

Solarpraxis AG · Zinnowitzer Straße 1 · 10115 Berlin, Germany

► **Solarpark Tramm-Goethen**

Analyse der Reflexionswirkung einer Photovoltaikanlage- Version 2.0

Auftraggeber

BELECTRIC Solarkraftwerke GmbH

Frau Tanja Orth
Wadenbrunner Str. 10
97509 Kolitzheim

erstellt von

Michaela Fischbach Version 2.0, Version 1.0 von David Ludwig
Solarpraxis AG
Zinnowitzer Straße 1
10115 Berlin Germany
Tel. 030/ 726 296-403
Fax. 030/ 726 296-309
E-Mail: MichaelaFischbach@solarpraxis.de
Internet: www.solarpraxis.de



Datum: 20.11.2013



Inhalt

| | |
|--|-----------|
| 1 Zweck und Gegenstand des Gutachtens | 3 |
| 2 Zusammenfassung der Ergebnisse | 4 |
| 3 Einleitung | 5 |
| 3.1 Gesetzliche Grundlagen | 5 |
| 3.1.1 Nutzung erneuerbarer Energien als ein explizites Ziel von Baurecht und Raumordnung..... | 5 |
| 3.1.2 Immissionsschutz | 6 |
| 3.1.3 Verkehrssicherheit | 7 |
| 3.2 Blendung | 7 |
| 3.3 Entstehung von Reflexionen bei Photovoltaikanlagen..... | 8 |
| 3.4 Verwendete Azimut-Winkelangaben..... | 10 |
| 4 Situation vor Ort | 11 |
| 4.1 Der geplante Solarpark | 11 |
| 4.2 Die L 09 | 12 |
| 5 Berechnungen | 13 |
| 5.1 Methodik der Berechnung | 13 |
| 5.2 Berechnung der Reflexionswirkung..... | 15 |
| 5.2.1 Punkt 1..... | 16 |
| 5.2.2 Punkt 2..... | 18 |
| 5.2.3 Punkt 3..... | 19 |
| 6 Bewertung der Berechnungsergebnisse..... | 20 |
| 7 Verwendete Materialien | 21 |
| 8 Abbildungsverzeichnis..... | 22 |



1 Zweck und Gegenstand des Gutachtens

Es soll untersucht werden, ob Reflexionen des Sonnenlichts an den Photovoltaikmodulen des geplanten Solarparks "Tramm-Goethen" bei 19089 Tramm in das Blickfeld von Verkehrsteilnehmern auf der direkt westlich der Photovoltaikanlage verlaufenden Landesstraße L 09 fallen und zu Blendwirkung führen können.

Die hier vorliegende Version 2.0 wurde erforderlich, da nach der Version 1.0 vom 17.08.2013 eine Umplanung der Photovoltaikanlage erfolgte.

Anschließend sind ggfs. Maßnahmen zur Verhinderung evtl. auftretender Blendung zu erarbeiten.

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

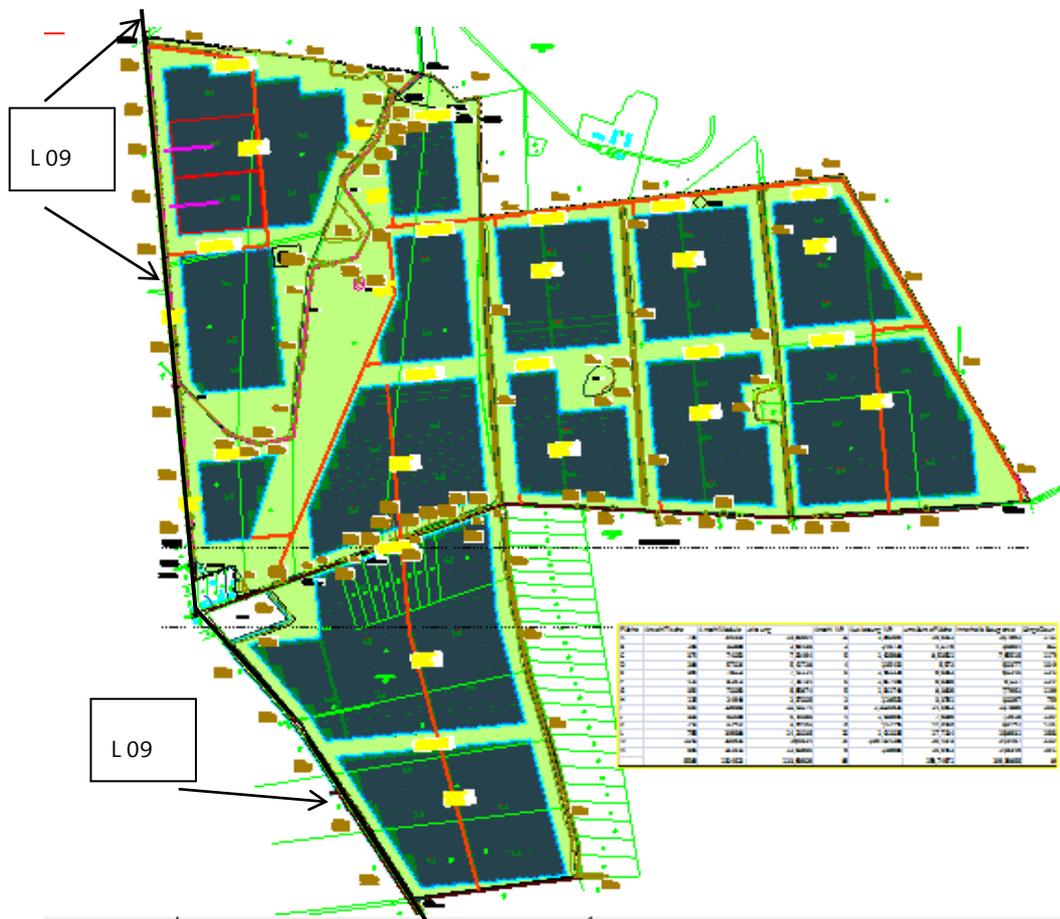


Abbildung 1: Lage der geplanten Photovoltaikanlage (blau) sowie der L 09 (schwarz), westlich des Solarparkgeländes verlaufend



2 *Zusammenfassung der Ergebnisse*

Im Rahmen des Gutachtens wurde festgestellt, dass die Verkehrsteilnehmer auf der L 09 nicht von Reflexionen im Blickfeld, die zu eigenständiger Blendung führen können, betroffen sind.

Die Reflexionswirkung der Photovoltaikanlage Tramm-Goethen auf die L 09 wird als unbedenklich bewertet.

Blendschutzmaßnahmen sind für die untersuchte Landesstraße L 09 somit 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 berechtigte Interessenten nach dem Informationsfreiheitsgesetz. Eine Weitergabe an sonstige Dritte oder Veröffentlichung des Berichtes unabhängig vom B-Plan als Ganzes oder in Teilen ist nur in Absprache mit der Solarpraxis AG zulässig.

3.1 Gesetzliche Grundlagen

3.1.1 Nutzung erneuerbarer Energien als ein explizites Ziel von Baurecht und Raumordnung

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

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

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

U.a. wurden

¹ Baugesetzbuch



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

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

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

3.1.2 Immissionsschutz

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

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

§3 Abs. 2 BImSchG erklärt weiterhin: Immissionen im Sinne dieses Gesetzes sind auf Menschen, Tiere und Pflanzen, den Boden, das Wasser, die Atmosphäre sowie Kultur- und sonstige Sachgüter einwirkende Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen, Licht, Wärme, Strahlen und ähnliche Umwelteinwirkungen.

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



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

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

3.1.3 Verkehrssicherheit

Geht es um Verkehrssicherheit, so ist entscheidend, dass Verkehrsteilnehmer zu keinem Zeitpunkt durch zu große Leuchtdichtekontraste im Blickfeld beim Erkennen von potenziellen Gefahren im Verkehrsraum behindert werden können.

3.2 Blendung

Im Gegensatz zu den messtechnisch erfassbaren lichttechnischen Größen beschreibt der Begriff Blendung primär eine subjektiv empfundene Beeinträchtigung des Sehvermögens aufgrund zu hoher Leuchtdichten oder Leuchtdichtekontraste. Da Blendwirkungen durch verschiedene Ursachen ausgelöst und subjektiv sehr unterschiedlich empfunden werden, fällt eine Definition allgemeingültiger Blendkriterien schwer.

Nicht jedes helle Licht bedeutet zwangsläufig eine Blendung. Wer spazieren geht oder am Strand liegt und dem dabei die hochstehende Sonne ins Gesicht scheint, sieht das nicht als Blendung an, sondern freut sich über das Licht. Blendung liegt vor, wenn man daran gehindert wird, Dinge zu erkennen, die man sehen muss oder will.

Eine eigenständige Blendwirkung kann dabei eine das Sonnenlicht reflektierende Fläche nur dann entfalten, wenn sie aus Sicht des Betroffenen weit genug von der Sonne selbst als dominierender Blendlichtquelle entfernt ist. Als Mindestabstand kann ein Abstandswinkel von 15° zwischen den Blickrichtungen zur Sonne und zur Blendlichtquelle angesetzt werden.

Für die Bewertung der möglichen Blendung durch Reflexionen auf Verkehrsteilnehmer wird vor allem das Blickfeld des Verkehrsteilnehmers betrachtet. 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 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}

Für die Beurteilung des Bereichs, in dem auftretende Reflexion als Blendung empfunden wird, wird hier nicht das bewusst wahrgenommene Blickfeld sondern, um einen weiteren Bereich zu erfassen, das Gebrauchsblickfeld zur Bewertung herangezogen. Dabei werden die Maximalwerte betrachtet, also je 30° rechts und links der Blickrichtung.

Tabelle 1: Menschliches Gebrauchsblickfeld

| | horizontal | vertikal |
|--------------|------------------------------|------------------------|
| visual tasks | $\pm 9^\circ - \pm 10^\circ$ | $+25^\circ, -35^\circ$ |
| maximal | $\pm 30^\circ$ | $+30^\circ, -45^\circ$ |

(Vertikal positiv ist oben, negativ unten)

Des Weiteren haben Untersuchungen gezeigt, dass sich die wahrgenommene Intensität von Strahlungsquellen und somit das Blendpotential reziprok zum Quadrat des Abstandswinkels zwischen Strahlungsquelle und Blickrichtung verhält.

3.3 Entstehung von Reflexionen bei Photovoltaikanlagen

Eine Photovoltaikanlage besteht aus den Komponenten Montagegestell, Wechselrichter und Photovoltaik-Modul (PV-Modul).

Komponenten, an denen ggf. relevante Reflexionen entstehen können, sind die Deckgläser der PV-Module. Da die PV-Module nach Süden geneigt sind, ergibt sich nach Norden unterhalb der durch die Moduloberfläche festgelegten geometrischen Ebene ein Raum, in den mit Sicherheit nie Strahlung von der Oberfläche reflektiert werden kann, wie Abbildung 2 verdeutlicht.

³ H.-D. Reidenbach, K. Dollinger, G. Ott, M. Janßen, M. Brose. Blendung durch optische Strahlungsquellen. Dresden : Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, 2008.

⁴ Kaufmann, Herbert. Strabismus. Stuttgart : Enke, 1986.

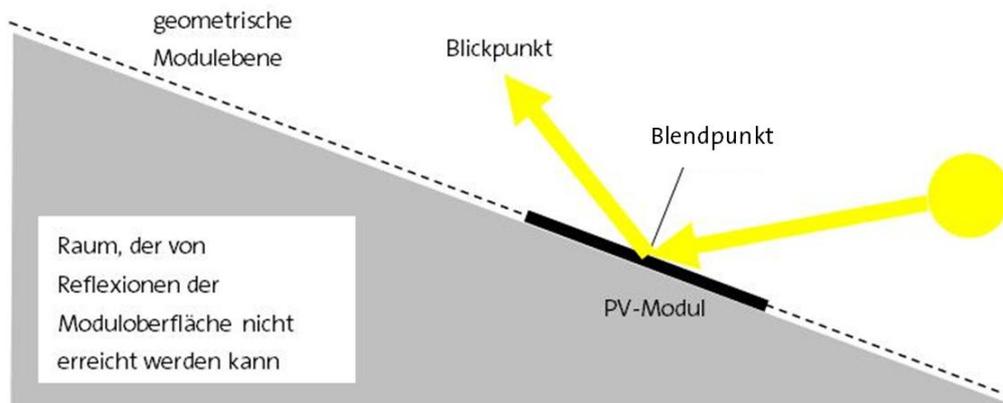


Abbildung 2: Die Moduloberfläche beschreibt eine geometrische Ebene, unterhalb derer keine von der Oberfläche her reflektierte Strahlung auftreten kann

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 3 verdeutlicht.

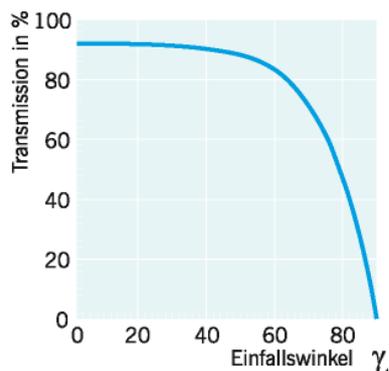


Abbildung 3: Auswirkung des Einfallswinkels auf den Transmissionsgrad für Modulgläser

Ein Einfallswinkel von 0° bedeutet in dieser Grafik einen senkrechten Lichteinfall auf die Modulverglasung. Mit zunehmender Abweichung des Einfallswinkels von 0° sinkt die Transmission und die Reflexion steigt. Bis zu einer Abweichung von etwa 65° vom senkrechten Lichteinfall werden also weniger als 20 % der Einstrahlung reflektiert.



3.4 *Verwendete Azimut-Winkelangaben*

Allgemein werden in der Solartechnik Azimutwinkel von Süden ($=0^\circ$) aus angegeben, so dass üblicherweise eine Ostausrichtung mit -90° und eine Westausrichtung mit $+90^\circ$ angegeben wird.

Da die Berechnungsmethode zur Bestimmung der Reflexionen jedoch aus der Geodäsie entnommen worden ist und dort allgemein vom Norden ($=0^\circ$) aus im Uhrzeigersinn gerechnet wird, werden im Folgenden die sich daraus ergebenden Azimutangaben verwendet:

Norden = 0° , Osten = 90° , Süden = 180° und Westen = 270°

Zur Erinnerung und leichteren Lesbarkeit für Leser, die in der Regel mit der in der Solartechnik üblichen Bezeichnung zu tun haben, werden ab und zu Azimutwinkel zusätzlich in dieser Solardiktion aufgeführt, z.B. Azimut 121° (in Solardiktion -59°).



4 Situation vor Ort

4.1 Der geplante Solarpark

Das Gelände der geplanten Photovoltaikanlage liegt östlich der Gemeinde Tramm. Die geplante Anlage sowie die zu untersuchende L 09 sind in Abbildung 4 eingezeichnet.

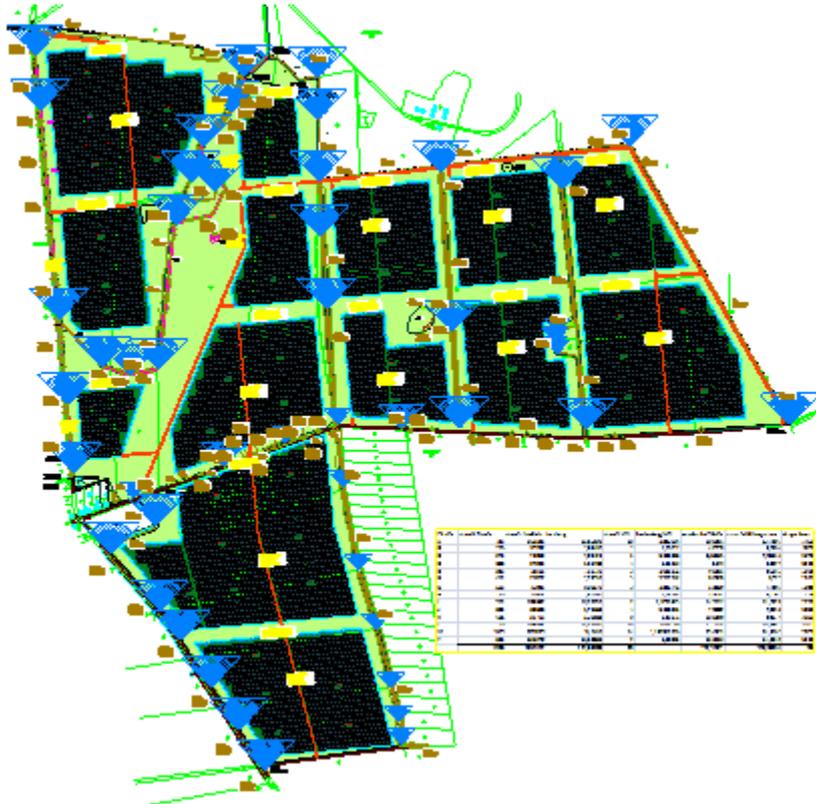


Abbildung 4: Belegungsplan der geplanten Anlage (schwarz-), in blau ist die Verschattung von Bäumen eingezeichnet

Die Module werden mit einer Modulneigung von 8° leicht nach Süd-Osten (5° von Süden nach Osten gedreht) ausgerichtet (siehe Abbildung 5). Die Modulunterkante liegt 1 m über Bodenniveau, die Oberkante liegt auf einer Höhe von 2,57 m.

Das Gelände weist geringe Höhenunterschiede auf, grundsätzlich liegt die L 09 und die geplante Photovoltaikanlage in etwa auf demselben Höhenniveau.

Laut den Höhenprofilen in Google Earth steigt das PV Gelände direkt neben der Landesstraße L 09 teilweise nach Osten leicht an (max. 3,2 % Steigung nach Osten, meist eben oder 1-2 % Steigung), teilweise verläuft es eben.

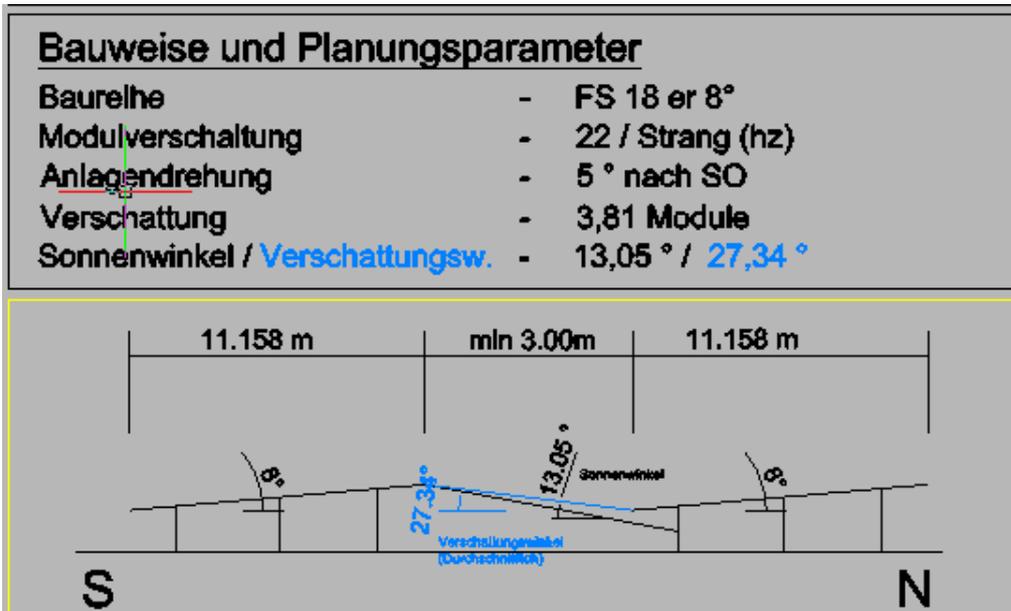


Abbildung 5: Auszug aus dem Belegungsplan mit der Bauweise und den Anlagenparametern

4.2 Die L 09

Die L 09 verläuft mit einem Mindestabstand von 37 m über eine Strecke von ca. 2,4 km direkt westlich der äußersten Modulreihen.

Das Höhenniveau der Landstraße ändert sich entlang des Solarparks leicht, liegt jedoch stets auf dem Niveau der direkt östlich gelegenen Modultische.



5 Berechnungen

5.1 Methodik der Berechnung

Zunächst wird eine Aufstellung mit sämtlichen Sonneneinfallswinkeln im Jahresverlauf am Standort des geplanten Solarparks bei Tramm (geografische Länge $11,66^\circ$, Breite $53,53^\circ$) in 6-minütiger Auflösung für 12 Tage im Jahr erstellt (jeweils der 21. jeden Monats); die sich daraus ergebenden Reflexionsrichtungen werden bestimmt. Jedem Einfallswinkel des Sonnenlichts entspricht nach dem Reflexionsgesetz („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 6).

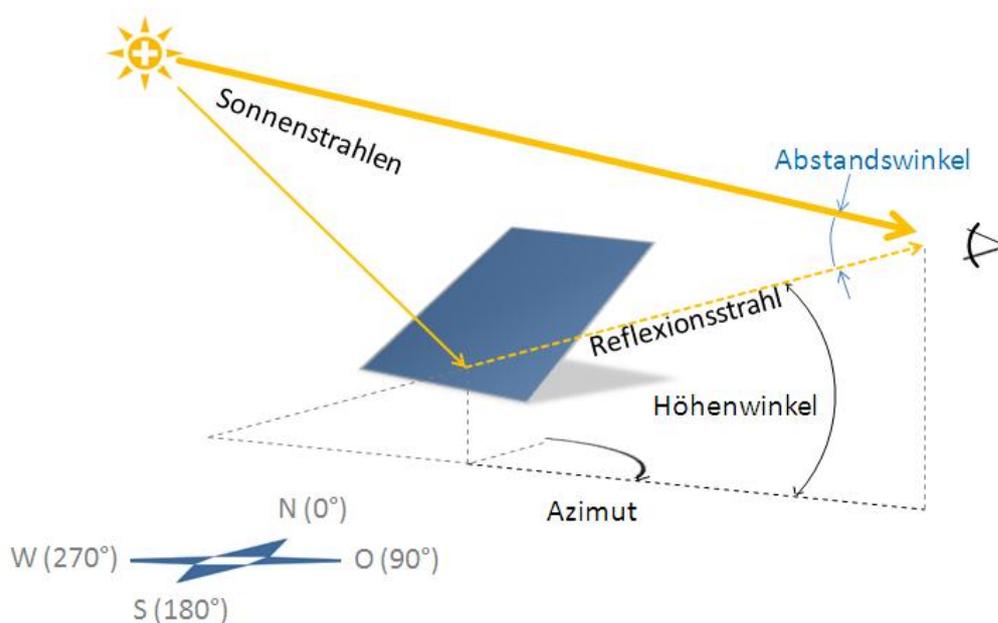


Abbildung 6: Darstellung des Reflexionsstrahls anhand von Azimut und Höhenwinkel wie im Reflexionsdiagramm verwendet und Beschreibung des Abstandswinkels zwischen Blickrichtungen zur Sonne und zum Blendpunkt

Ebenfalls in Abbildung 6 ist der Abstandswinkel zwischen den Blickrichtungen zur Sonne und zum Blendpunkt beschrieben, der bei kleinen Werten kein eigenständiges Blendpotenzial der Reflexion zulässt, da bei kleinen Abstandswinkeln die Blendkraft der Sonne selbst absolut dominiert (siehe auch Abschnitt 3.2)

Für einen beliebigen Punkt ergibt sich so das in Abbildung 7 dargestellte Reflexionsdiagramm.

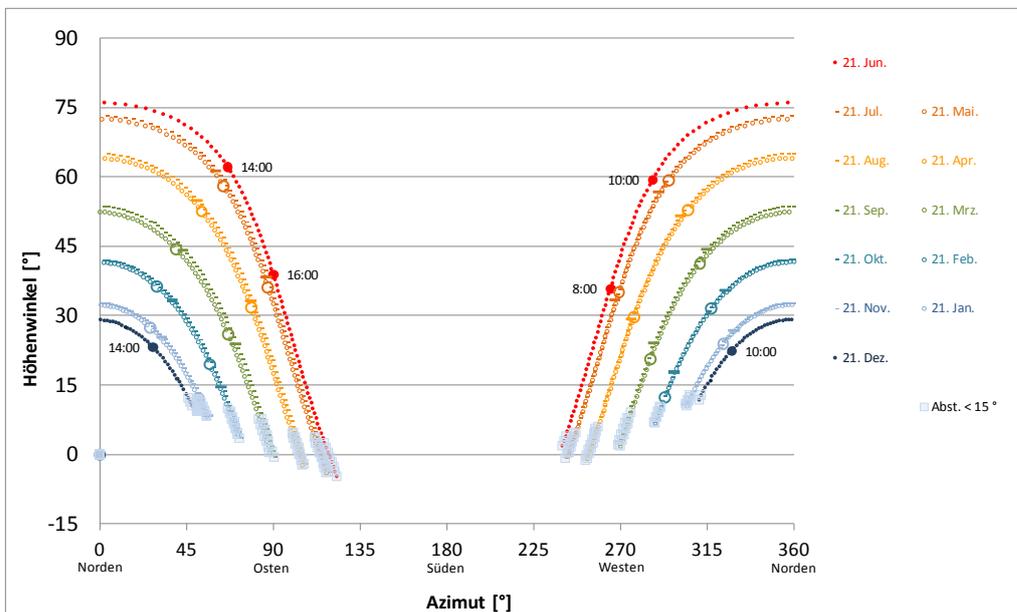


Abbildung 7: Reflexionsdiagramm aus Sicht eines beliebigen potenziellen Blendpunktes der Reflexionsebene der geplanten PVA mit einer Modulneigung von 8° und einer Abweichung der Ausrichtung von Süden um 5° nach Osten; waagrecht aufgetragen sind die Azimutwinkel von Norden (0°) über Osten (90°), Süden (180°) nach Westen (270°), senkrecht die Höhenwinkel; Reflexionen ohne eigenständiges Blendpotenzial (geringer Abstandswinkel zur Sonne) sind hellblau markiert

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



5.2 Berechnung der Reflexionswirkung

Die Fahrrichtung von Verkehrsteilnehmern auf der L 09 ändert sich entlang der Photovoltaikanlage 3-mal, so dass diese Teilabschnitte jeweils separat untersucht werden müssen.

Nördlich von Tramm verläuft die L 09 gerade, somit ändert sich die Fahrrichtung relativ zu der Anlage nicht. In der Ortschaft knickt die Straße in Südrichtung nach Osten hin ab und verläuft ca. 400 m gerade entlang der Anlage. Nach dieser Strecke ändert sich die Fahrrichtung wiederum leicht in Richtung Süden.

Diese Abschnitte werden anhand der in Abbildung 8 eingezeichneten Punkten 1 bis 3 untersucht.

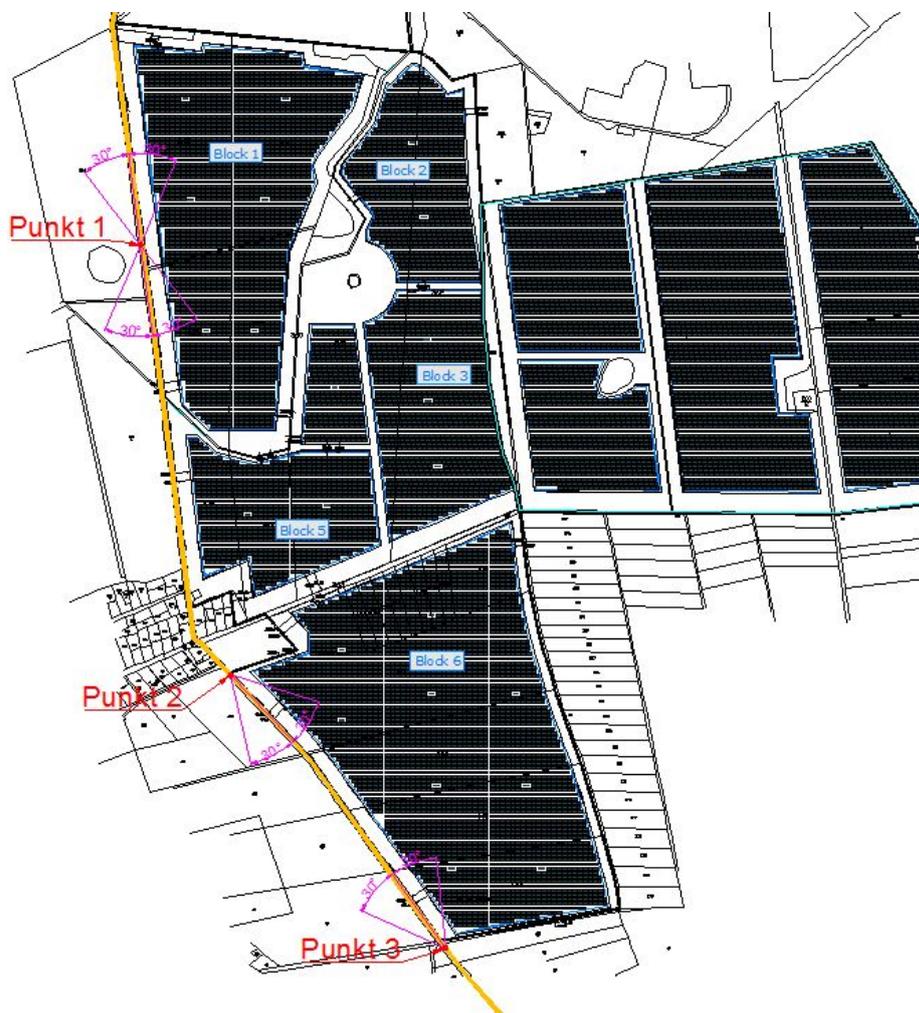


Abbildung 8: Untersuchte Punkte sowie das Blickfeld von Verkehrsteilnehmern auf den jeweiligen Abschnitten der L 09; diese Abbildung noch mit der Modulbelegung vor der Umpfanung



5.2.1 Punkt 1

Punkt 1 liegt nördlich von Tramm, die nächstgelegenen Modultische sind ca. 40 m entfernt. Es wird sowohl die nördliche als auch die südliche Fahrtrichtung auf Reflexionen im Blickfeld, die zu Blendung führen können, untersucht. Die Blickrichtung für die Fahrtrichtung nach Süden beträgt 173° , das Blickfeld damit $173^\circ \pm 30^\circ = 143$ bis 203° . Die Blickrichtung für die Fahrtrichtung nach Norden beträgt -7° , das Blickfeld damit $-7^\circ \pm 30^\circ = -37$ (also 323°) bis 23° . Reflexionen, die ins Blickfeld gelangen können, müssen der Blickrichtung entgegengesetzt sein. Für das Blickfeld von Süden kommender Verkehrsteilnehmer ist also der Reflexions-Azimutbereich zwischen 143 und 203° relevant, und für die entgegengesetzte Fahrtrichtung derjenige zwischen 323 und 23° . Die Ergebnisse der Reflexionsberechnungen sind in Abbildung 9 und Abbildung 10 dargestellt.

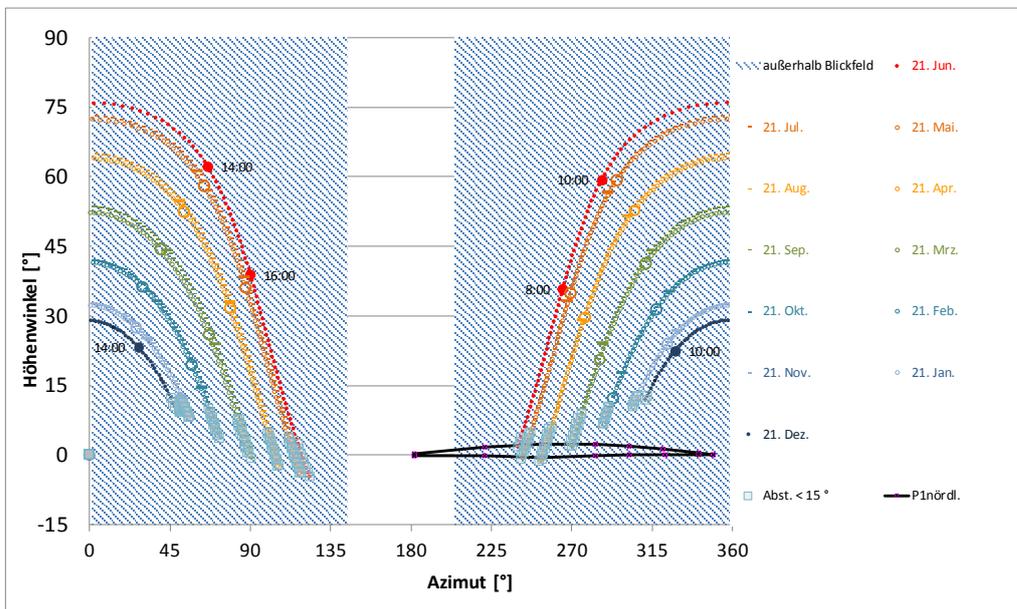


Abbildung 9: Ergebnisse der Reflexionsberechnungen für Verkehrsteilnehmer auf der L 09 nördlich von Tramm mit nördlicher Fahrtrichtung

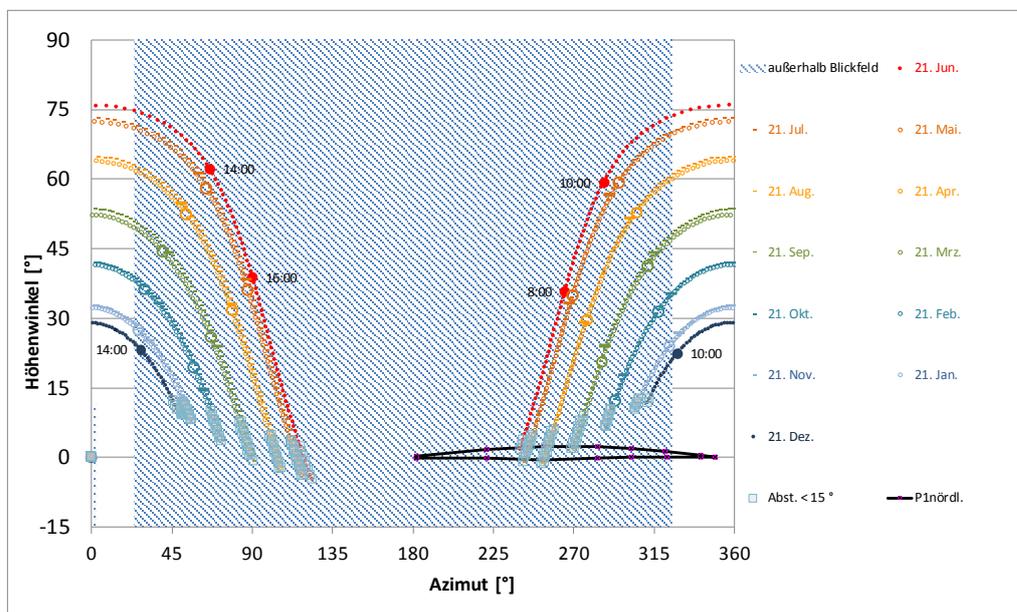


Abbildung 10: Ergebnisse der Reflexionsberechnungen für Verkehrsteilnehmer auf der L 09 nördlich von Tramm mit südlicher Fahrtrichtung

Aus den Berechnungen geht hervor, dass weder in nördlicher noch südlicher Fahrtrichtung Reflexionen im Blickfeld und auf Höhe von Verkehrsteilnehmern auftreten können.

Auch Außerhalb des Blickfeldes treten keine Reflexionen auf Höhe der Verkehrsteilnehmer mit Abstandswinkel zu den Sonnenstrahlen selber größer 15° auf. Somit kann auch diskontinuierlich auftretendes Schlaglicht außerhalb des Blickfeldes ausgeschlossen werden.



5.2.2 Punkt 2

Punkt 2 liegt südlich von Tramm, die nächstgelegenen Modultische liegen in einer Entfernung von ca. 80 m. Für Punkt 2 wird die südliche Fahrtrichtung untersucht, da in nördlicher Blickrichtung die Anlage nicht im Blickfeld von Verkehrsteilnehmern liegt und Reflexionen im Blickfeld somit ausgeschlossen sind. Die Blickrichtung für die Fahrtrichtung nach Süden beträgt 137° , das Blickfeld damit $137^\circ \pm 30^\circ = 107$ bis 167° und damit sind Reflexionen relevant mit entgegengesetzter Richtung, also zwischen 287 und 347° .

Die Ergebnisse der Reflexionsberechnungen sind in Abbildung 11 dargestellt.

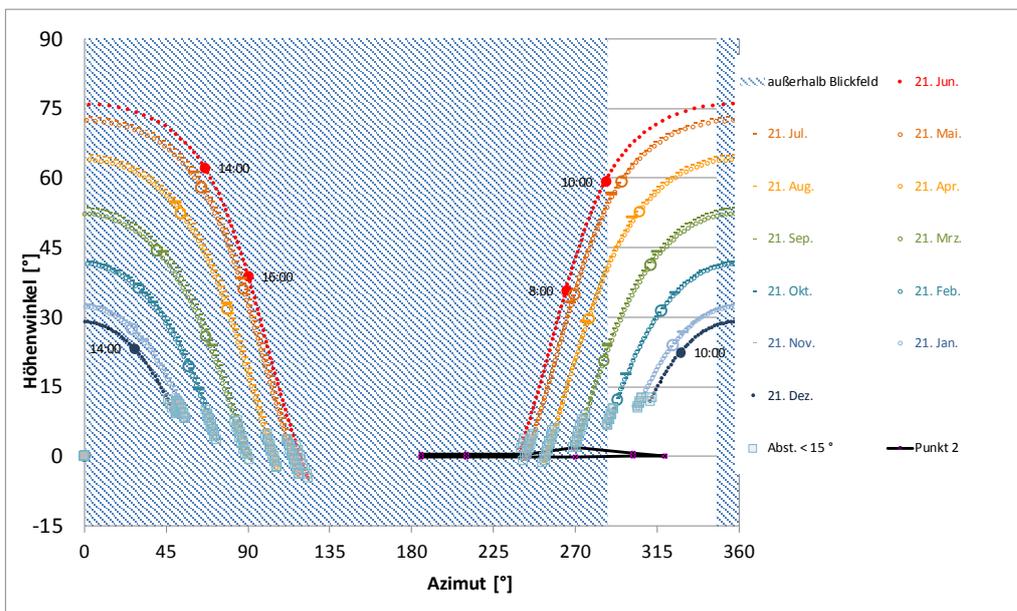


Abbildung 11: Ergebnisse der Reflexionsberechnungen für Punkt 2

Aus den Berechnungen geht hervor, dass im untersuchten Abschnitt keine Reflexionen auf Höhe der Verkehrsteilnehmer in deren Blickfeld fallen.

Da auch außerhalb des Blickfeldes keine Reflexionen auf Höhe der Verkehrsteilnehmer auftreten, deren Abstandswinkel zwischen Reflexionspunkt und Sonne größer als 15° ist, kann auf diesem Abschnitt der L 09 diskontinuierlich auftretendes, seitlich einfallendes Schlaglicht ausgeschlossen werden.



5.2.3 Punkt 3

Punkt 3 liegt ca. 900 m südlich von Tramm. Da der Punkt direkt südlich der Anlage liegt, wird hier die nördliche Fahrtrichtung betrachtet. Die nächstgelegenen Modultische liegen in einer Entfernung von ca. 42 m.

Die Ergebnisse der Reflexionsberechnungen sind in Abbildung 12 dargestellt.

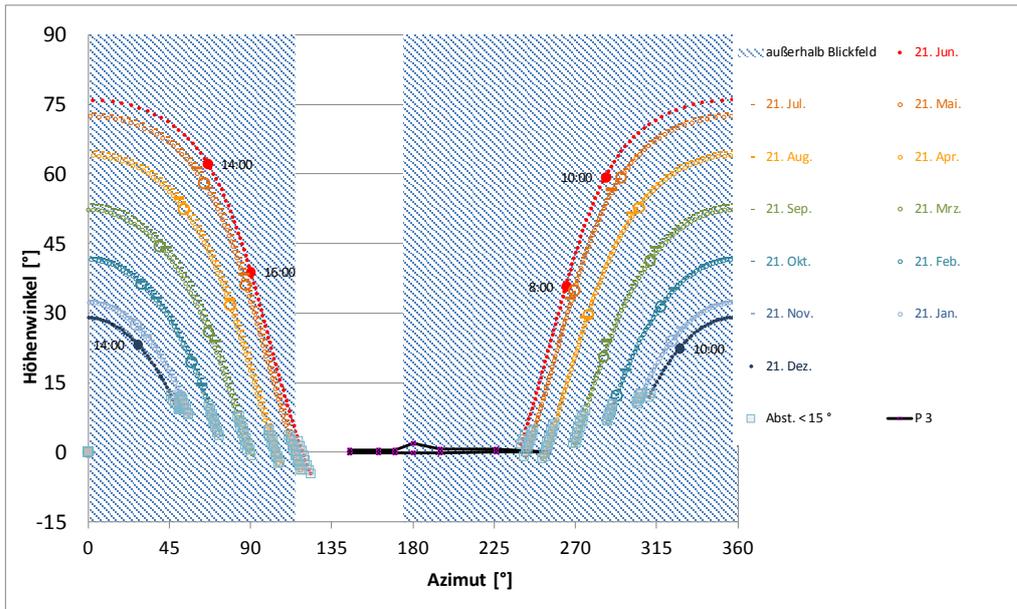


Abbildung 12: Ergebnisse der Reflexionsberechnungen für Punkt 3

Aus den Berechnungen geht hervor, dass im Blickfeld von Verkehrsteilnehmern keinerlei Reflexionen auftreten können.

Wie bei den vorher untersuchten Punkten kann auch für Punkt 3 diskontinuierliches, seitlich einfallendes Schlaglicht ausgeschlossen werden.



6 *Bewertung der Berechnungsergebnisse*

Im Rahmen der Reflexionsberechnungen wurde festgestellt, dass Verkehrsteilnehmer auf der L 09 zu keinem Zeitpunkt von Reflexionen im Blickfeld betroffen sind, die zu eigenständiger Blendung führen können. Die im Gutachten dargestellte Reflexionsdiagramme sind für eine vernachlässigbare West-Ost-Hangneigung dargestellt. Aber auch die Berücksichtigung der doch flachen Hangneigung von 1-2° führt zum selben Ergebnis, dass es zu keiner eigenständigen Blendung kommen kann und wurde daher hier nicht zusätzlich dargestellt.

Darüber hinaus wurde festgestellt, dass auf Höhe der Verkehrsteilnehmer zu keinem Zeitpunkt Reflexionen auftreten, die zu diskontinuierlich von der Seite einfallendem Schlaglicht führen könnten.

Zusammenfassend wird die Reflexionswirkung der Photovoltaikanlage Tramm-Goethen auf die angrenzende L 09 als unbedenklich bewertet.



7 ***Verwendete Materialien***

Basis der Berechnungen sind:

- ▶ Ausführungsplan der Photovoltaikanlage
- ▶ Flurkarte
- ▶ Vermesserkarte



8 *Abbildungsverzeichnis*

| | |
|---|----|
| Abbildung 1: Lage der geplanten Photovoltaikanlage (blau) sowie der L 09 (schwarz), westlich des Solarparkgeländes verlaufend..... | 3 |
| Abbildung 2: Die Moduloberfläche beschreibt eine geometrische Ebene, unterhalb derer keine von der Oberfläche her reflektierte Strahlung auftreten kann | 9 |
| Abbildung 3: Auswirkung des Einfallswinkels auf den Transmissionsgrad für Modulgläser | 9 |
| Abbildung 4: Belegungsplan der geplanten Anlage (schwarz-), in blau ist die Verschattung von Bäumen eingezeichnet | 11 |
| Abbildung 5: Auszug aus dem Belegungsplan mit der Bauweise und den Anlagenparametern..... | 12 |
| Abbildung 6: Darstellung des Reflexionsstrahls anhand von Azimut und Höhenwinkel wie im Reflexionsdiagramm verwendet und Beschreibung des Abstandswinkels zwischen Blickrichtungen zur Sonne und zum Blendpunkt | 13 |
| Abbildung 7: Reflexionsdiagramm aus Sicht eines beliebigen potenziellen Blendpunktes der Reflexionsebene der geplanten PVA mit einer Modulneigung von 8° und einer Abweichung der Ausrichtung von Süden um 5° nach Osten; waagrecht aufgetragen sind die Azimutwinkel von Norden (0°) über Osten (90°), Süden (180°) nach Westen (270°), senkrecht die Höhenwinkel; Reflexionen ohne eigenständiges Blendpotenzial (geringer Abstandswinkel zur Sonne) sind hellblau markiert | 14 |
| Abbildung 8: Untersuchte Punkte sowie das Blickfeld von Verkehrsteilnehmern auf den jeweiligen Abschnitten der L 09; diese Abbildung noch mit der Modulbelegung vor der Umplanung..... | 15 |
| Abbildung 9: Ergebnisse der Reflexionsberechnungen für Verkehrsteilnehmer auf der L 09 nördlich von Tramm mit nördlicher Fahrtrichtung..... | 16 |
| Abbildung 10: Ergebnisse der Reflexionsberechnungen für Verkehrsteilnehmer auf der L 09 nördlich von Tramm mit südlicher Fahrtrichtung | 17 |
| Abbildung 11: Ergebnisse der Reflexionsberechnungen für Punkt 2..... | 18 |
| Abbildung 12: Ergebnisse der Reflexionsberechnungen für Punkt 3..... | 19 |