

► ***Blendgutachten PV-Anlage Elfershausen-Langendorf***

Analyse der Reflexionswirkungen einer Photovoltaikanlage - Vorabversion

Auftraggeber:

Prowind Solar GmbH
Frau Melanie Rohlmann
Rheiner Landstraße 195a
49078 Osnabrück

erstellt von:

Ralf Schmersahl
Solarpraxis Engineering GmbH
Alboinstraße 36-42
12103 Berlin Germany
Tel. 030/ 726 296-399
Fax. 030/ 726 296-360
E-Mail: ralf.schmersahl@solarpraxis.com
Internet: www.solarpraxis.com

Datum: 06.06.2023

Projektnummer: P22247/v.1

Inhalt



1	Zweck und Gegenstand des Gutachtens.....	4
2	Zusammenfassung der Bewertung	5
3	Einleitung	6
3.1	Gesetzliche Grundlagen.....	6
3.1.1	Nutzung erneuerbarer Energien in Raumordnung und Baurecht.....	6
3.1.2	Immissionsschutz	7
3.2	Blendung.....	8
3.2.1	Blendung allgemein.....	8
3.2.2	Blendung im Verkehr.....	8
3.2.3	Blendung im Wohn- und Arbeitsbereich.....	11
3.3	Entstehung von Reflexionen bei Photovoltaikanlagen	12
3.4	Verwendete Azimut-Winkelangaben	13
4	Situation vor Ort	14
4.1	PV-Anlage	14
4.2	Potenzielle Immissionsorte	15
5	Berechnungsmethodik	16
5.1	Reflexionsberechnung	16
5.2	Eingrenzung blendrelevanter Azimutbereiche	17
5.3	Modellierung der Reflexions- und Blickpunkte	19
5.4	Lichttechnische Aspekte.....	20
5.5	Ergebnisdarstellung durch Reflexionsdiagramme.....	20
6	Berechnungsergebnisse	22
6.1	Verkehr auf der Autobahn A 7	22
6.1.1	Blickpunkt A7_01.....	22
6.1.2	Blickpunkt A7_02.....	23
6.1.3	Blickpunkt A7_03.....	23
6.1.4	Blickpunkt A7_04.....	24

6.2	Verkehr auf der Kreisstraße KG 42	25
6.2.1	Blickpunkt KG42_01.....	25
6.2.2	Blickpunkt KG42_02	25
6.2.3	Blickpunkt KG42_03	26
7	Bewertung der Blendrisiken.....	27
8	Verwendete Materialien.....	28
8.1	Materialien vom Auftraggeber	28
8.2	Literatur.....	28
9	Abbildungsverzeichnis.....	30
10	Tabellenverzeichnis	32



1 Zweck und Gegenstand des Gutachtens



Es ist zu prüfen, ob von den Modulen der westlich der Autobahn A 7 in der Gemarkung Elfershausen im Landkreis Bad Kissingen in Bayern geplanten PV-Anlage Elfershausen-Langendorf Sonnenlicht auf die Autobahn A 7 oder die Kreisstraße KG 42 reflektiert werden kann und ob dadurch gegebenenfalls gefährdende oder störende Blendwirkungen auftreten können. Die Analyse erfolgt auf Basis der vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Daten. Die Lage der geplanten Photovoltaikanlage ist in Abbildung 1 dargestellt.

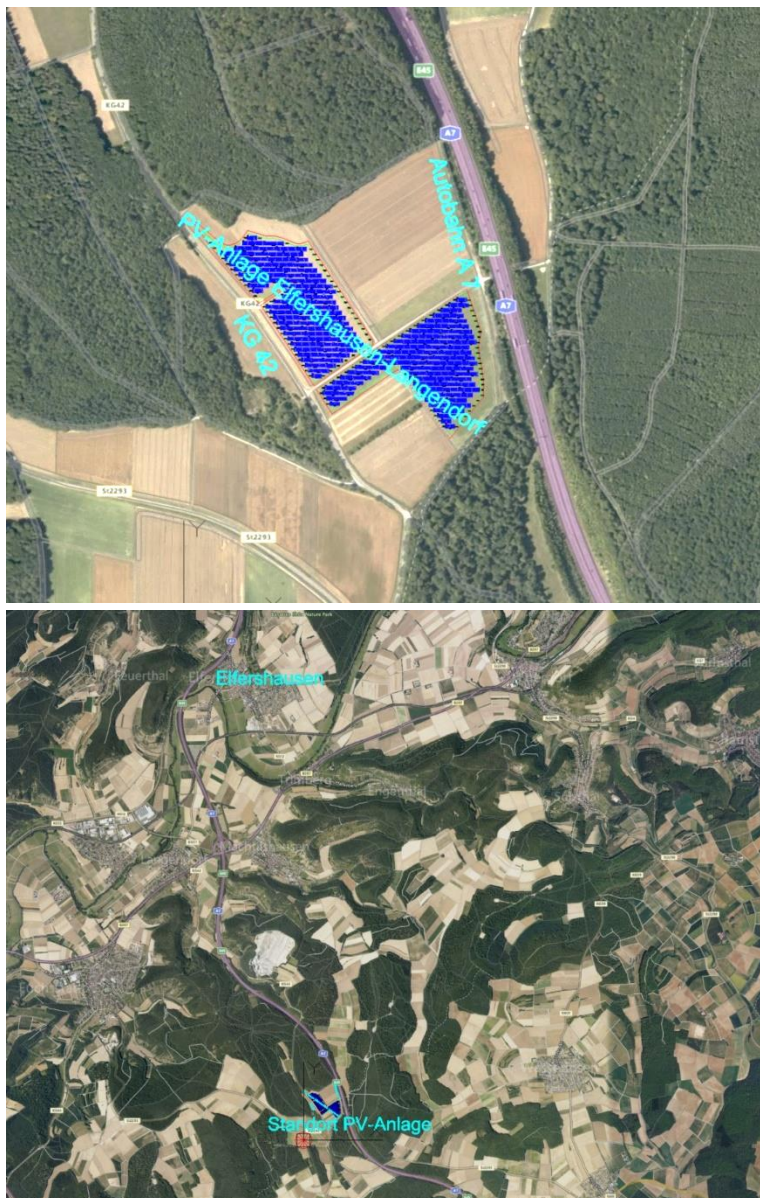


Abbildung 1: Lage der geplanten PV-Anlage Elfershausen-Langendorf; Quelle: Kundenmaterial vor dem Hintergrund eines nach geografisch Nord ausgerichteten Luftbilds aus Bing Maps

2 Zusammenfassung der Bewertung



Es wird festgestellt, dass zu keinem Zeitpunkt im Jahr Sonnenlichtreflexionen der geplanten PV-Anlage Elfershausen-Langendorf in das Blickfeld der Fahrzeugführenden auf der Autobahn A 7 oder der Kreisstraße KG 42 gerichtet sein können. Es kann keine Blendung der Fahrzeugführenden hervorgerufen werden.

Die Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs bleiben zu jedem Zeitpunkt im Jahr gewahrt.

Aus blendgutachterlicher Sicht ist die geplante PV-Anlage Elfershausen-Langendorf genehmigungsfähig.

3 Einleitung



Der vorliegende Bericht enthält vertrauliche Informationen. Der Bericht dient nur zur Vorlage bei den finanzierenden Banken, beim Errichter der Anlage bzw. dessen Rechtsnachfolger, beim Auftraggeber sowie zur Klärung genehmigungsrechtlicher Fragen bei den entsprechenden Behörden. Darunter fällt auch die Weitergabe des Berichts als Bestandteil des Bebauungsplanes (B-Plan) durch die Gemeinde an berechnigte Interessenten nach dem Informationsfreiheitsgesetz. Eine Weitergabe an sonstige Dritte oder eine Veröffentlichung des Berichtes unabhängig vom B-Plan als Ganzes oder in Teilen ist nur in Absprache mit der Solarpraxis Engineering GmbH zulässig.

3.1 Gesetzliche Grundlagen

3.1.1 Nutzung erneuerbarer Energien in Raumordnung und Baurecht

Die Ziele der Raumordnung der Bundesrepublik Deutschland liegen in der Sicherung der nachhaltigen Daseinsvorsorge, der Unterstützung von nachhaltigem Wirtschaftswachstum und Innovation, der Sicherung von Entwicklungspotenzialen und dem nachhaltigen Ressourcenschutz. Als Aufgabe der Raumordnung benennt das Gesetz u.a., die Versorgung mit Infrastrukturen der Daseinsvorsorge zu gewährleisten und die Schaffung der räumlichen Voraussetzungen für den Ausbau der erneuerbaren Energien.

Das Baugesetzbuch (BauGB) definiert die Nutzung erneuerbarer Energien als öffentlichen Belang, der bei der Aufstellung der Bauleitpläne zu berücksichtigen sei. Als Reaktion auf den Atomausstieg in Deutschland nach der Reaktorkatastrophe von Fukushima wurde die Bedeutung erneuerbarer Energien im BauGB durch das „Gesetz zur Förderung des Klimaschutzes bei der Entwicklung in den Städten und Gemeinde“ gestärkt und die Nutzung insbesondere auch von Photovoltaikanlagen an oder auf Gebäuden erleichtert. U.a. wurde

- ▶ die Ausstattung des Gemeindegebietes mit Anlagen zur dezentralen Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien als Teil des Flächennutzungsplans vorgesehen,
- ▶ die Festsetzung von Flächen und Gebieten im Bebauungsplan ermöglicht, die der dezentralen Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien dienen sollen,
- ▶ eine Privilegierung von gebäudeintegrierten Solaranlagen im Außenbereich aufgenommen.

Mit der Gesetzesänderung wird der Handlungsspielraum von Städten und Gemeinden hinsichtlich der Nutzung erneuerbarer Energien erweitert. War also schon vorher die Nutzung erneuerbarer Energie als politische Zielsetzung in einer Abwägung gem. BauGB zu berücksichtigen, so ist jetzt die politische Verantwortung der Städte und Gemeinden zur Forcierung dieser Politik hervorgehoben.

Das Erneuerbare-Energien-Gesetz 2023 verlangt eine noch höhere Priorisierung der Nutzung von erneuerbaren Energien gegenüber anderen Schutzgütern. In § 2 des Gesetzes wird festgelegt: „Die Errichtung und der Betrieb von Anlagen sowie den dazugehörigen Nebenanlagen liegen im überragenden öffentlichen Interesse und dienen der öffentlichen Sicherheit. Bis die Stromerzeugung

im Bundesgebiet nahezu treibhausgasneutral ist, sollen die erneuerbaren Energien als vorrangiger Belang in die jeweils durchzuführenden Schutzgüterabwägungen eingebracht werden.“



3.1.2 Immissionsschutz

Das Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) soll den Menschen, die natürliche Umwelt sowie Sachgüter vor schädlichen Umwelteinwirkungen schützen und deren Entstehung vorbeugen. Schädliche Umwelteinwirkungen im Sinne des Gesetzes sind Immissionen, die nach Art, Ausmaß oder Dauer geeignet sind, Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit oder die Nachbarschaft herbeizuführen. Immissionen im Sinne des BImSchG sind „auf Menschen, Tiere und Pflanzen, den Boden, das Wasser, die Atmosphäre sowie Kultur- und sonstige Sachgüter einwirkende Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen, Licht, Wärme, Strahlen und ähnliche Umwelteinwirkungen.“

Nach den Vorschriften des BImSchG sind sowohl genehmigungspflichtige als auch nicht genehmigungsbedürftige Anlagen so zu errichten und zu betreiben, dass schädliche Umwelteinwirkungen, sonstige Gefahren sowie erhebliche Nachteile und Belästigungen für die Allgemeinheit und die Nachbarschaft vermieden werden. Für genehmigungspflichtige Anlagen wird eine entsprechende Vorsorge nach dem Stand der Technik gefordert. Bei nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen sind schädliche Umweltwirkungen nach dem Stand der Technik auf ein Mindestmaß zu beschränken.

Bei der Bauleitplanung sind im Rahmen der Abwägung von öffentlichen und privaten Belangen auch Lichtreflexionen als Immissionen zu betrachten und zu bewerten. Es existiert aber keine die Errichtung und den Betrieb von Photovoltaikanlagen regelnde Immissionsschutz-Verordnung. Für die immissionsschutzrechtliche Bewertung der Lichtimmissionen von Photovoltaikanlagen werden deshalb Grenzwerte aus anderen Regelungsbereichen herangezogen.



3.2 Blendung

3.2.1 Blendung allgemein

Blendung wird in der DIN EN 1266 als "unangenehmer Sehzustand durch ungünstige Leuchtdichteverteilung oder zu hohe Kontraste" definiert. Die Leuchtdichte ist die Lichtstärke pro Fläche (cd/m^2) und stellt ein fotometrisches Maß für die von Menschen empfundene Helligkeit einer selbstleuchtenden oder beleuchteten Fläche dar. Zu große Leuchtdichteunterschiede oder ungünstige Leuchtdichteverteilungen im Gesichtsfeld können zu einem unangenehmen Gefühl (psychologische Blendung) oder einer tatsächlich messbaren Herabsetzung der Sehleistung (physiologische Blendung) führen. Ab einer Leuchtdichte von 10^4 bis $1,6 \cdot 10^6 \text{ cd/m}^2$ wird die Adaptationsfähigkeit des menschlichen Auges überschritten. Dieser Zustand wird als Absolutblendung bezeichnet.¹

Abbildung 2 zeigt zwei Beispiele für Blendsituationen². Auf der Sichtachse zur Blendquelle werden Gegenstände unerkennbar.



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

3.2.2 Blendung im Verkehr

Im Rahmen der Verkehrssicherheit kommt es vor allem auf die physiologische Blendung an, die die Sehleistung herabzusetzen vermag. Dagegen spielt die psychologische Blendung in diesem Zusammenhang kaum eine Rolle. Ein nur kurz auftretendes subjektives Unbehagen aufgrund von kurzzeitiger Blendung im Vorbeifahren führt noch nicht zu einer Beeinträchtigung der Fahrleistung.

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.



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. Für die Gefährdungsbeurteilung entscheidend ist die Beleuchtungsstärke am Auge von Verkehrsteilnehmern, die sich aus dem Produkt von Leuchtdichte und Blendquellengröße im Blickfeld und dem Winkel zwischen Blickrichtung und Blendquelle ergibt, in Relation zur Beleuchtungsstärke am Auge durch direktes, gestreutes und diffus von der Umgebung reflektiertes Sonnenlicht. Darüber hinaus sind die jeweils mögliche Einwirkzeit und die Position der Blendquelle im Blickfeld zu berücksichtigen.

Für die Bewertung der möglichen Blendung durch Reflexionen auf Verkehrsteilnehmer sind demgemäß das Blickfeld und die räumliche Lage der Blendquelle darin wesentlich. Beim Menschen unterscheidet man folgende Arten von Blickfeldern:

- ▶ das **monokulare Blickfeld**, das sich aus der Exkursionsfähigkeit (maximale Beweglichkeit) des jeweils rechten und linken Auges ergibt
- ▶ das **binokulare Blickfeld**, der Bereich, in dem beide Augen gemeinsam mit maximaler Sehschärfe (foveolar) fixieren können
- ▶ das **Fusionsblickfeld**, in dem binokulares Einfachsehen möglich ist
- ▶ das **Umblickfeld**, das die Summe der Wahrnehmungen ergibt, die bei unveränderter Standposition mit allen Blickbewegungen und maximalen Kopf- und Körperdrehungen erzielt werden können
- ▶ das **Gebrauchsblickfeld** als Bereich innerhalb des binokularen Blickfeldes, innerhalb dessen Objekte ohne zusätzliche, unterstützende Kopfbewegungen fixiert werden können; in der Literatur wird dieser Bereich mit $+25^{\circ}/-40^{\circ}$ vertikal und 30° 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}

Das maximale Gebrauchsblickfeld (im Allgemeinen hier einfach als „Blickfeld“ oder „maximales Blickfeld“ benannt) und das eingeschränkte für Sehaufgaben („zentrales Blickfeld“) werden in Tabelle 1 und in Abbildung 3 einander betragsmäßig und grafisch gegenübergestellt.

³ Reidenbach u. a. 2008

⁴ Kaufmann 1986



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

Funktion	Benennung im Text	horizontal	vertikal
Für Sehaufgaben	zentrales Blickfeld	$\pm 10^\circ$	$+25^\circ, -35^\circ$
Maximaler Fixierungsbereich	Blickfeld	$\pm 30^\circ$	$+30^\circ, -45^\circ$

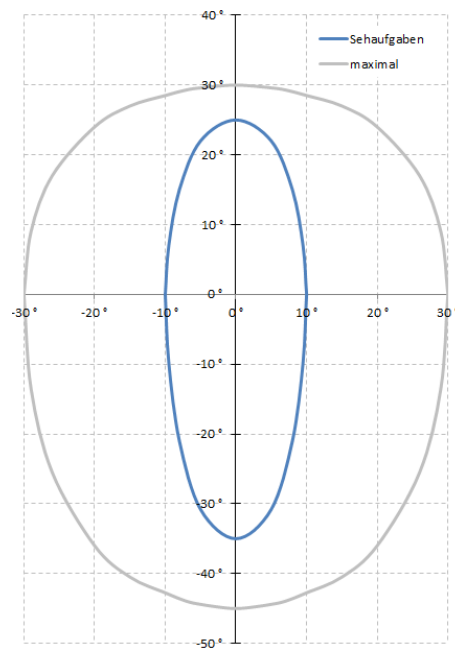


Abbildung 3: Blickfelder aus Tabelle 1; der Achsenschnittpunkt $0^\circ/0^\circ$ stellt dabei einen Punkt auf der Blickachse dar, auf den die Augen fokussieren, und nicht notwendigerweise einen Punkt auf dem Horizont

Für die Beurteilung des Bereichs, in dem auftretende Reflexion als Blendung empfunden wird, wird typischerweise das maximale Gebrauchsblickfeld mit je 30° 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 rund um 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). Zwischen $\pm 10^\circ$ und $\pm 20^\circ$ 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. Zwischen $\pm 20^\circ$ und $\pm 30^\circ$ kann es nur bei einem abrupten Anstieg der Helligkeit zu einer Adaptionsblendung der Fahrzeugführenden kommen. Wahrnehmbare Reflexionen außerhalb von $\pm 30^\circ$ werden generell als physiologisch unerheblich bewertet.

3.2.3 Blendung im Wohn- und Arbeitsbereich

Das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU) hat bereits vor über 15 Jahren damit begonnen, in Ermangelung von zeitlichen Grenzwerten für Sonnenlichtreflexionen von Photovoltaikanlagen (PVA), Grenzwerte aus einem anderen Regelungsbereich, der sogenannten Schattenwurf-Richtlinie für Windenergieanlagen (WEA), zu übernehmen und die Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) empfahl seit 2012 bundesweit, diese zeitlichen Grenzwerte als ersten Anhaltspunkt für die Zumutbarkeit im Wohn- und Arbeitsbereich zu nutzen. Danach liegt ein Hinweis auf Unzumutbarkeit vor, wenn ein Wohn- oder Arbeitsbereich länger als 30 Minuten am Tag oder kumuliert mehr als 30 Stunden im Jahr von Lichtimmissionen einer PVA getroffen werden kann. Zur Berechnung wird dabei ein vereinfachtes Verfahren vorgegeben, bei dem nur solche Sonnenlichtreflexionen als Immissionen zählen, die einen Abstandswinkel von mehr als 10° zur Sonne haben, und bei dem die Sonne punktförmig angenommen wird. Aufgrund der realen Größe der Sonnenscheibe mit einem Durchmesser von $0,56^\circ$ können real auftretende Reflexionen etwas länger andauern, als die schematische Berechnung ergibt.

Die LAI-Richtlinie stellt weiterhin fest, dass sich eine unzumutbare Belästigung für Immissionsorte in Abhängigkeit von ihrer Lage und Entfernung bereits ohne rechnerischen Nachweis ausschließen lassen, darunter Immissionsorte, die sich weiter als ca. 100 m von einer PV-Freiflächenanlage entfernt befinden und damit nur kurzzeitige Blendwirkungen erfahren.

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



3.3 Entstehung von Reflexionen bei Photovoltaikanlagen

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

Komponenten, an denen ggf. relevante direkte Reflexionen entstehen können, sind in erster Linie die Deckgläser der PV-Module. Daneben bewirken Reflexionen an inneren Grenzflächen von Einbettmaterialien oder Rückseitenfolien sowie die Texturierung der Oberflächen, dass auch Anteile diffuser Reflexion auftreten können. Dies kann zu Bündelaufweitung und Versatz der ideal gerichteten Reflexionsstrahlen führen.

Potenziell blendende Lichtreflexionen an den Gläsern der PV-Module können nur zu Zeiten direkter Sonneneinstrahlung auftreten. Bei diffusem Licht mit ungerichteter Strahlung kann keine gerichtete Reflexion auftreten.

Die Deckgläser der PV-Module bestehen im Allgemeinen aus unstrukturiertem eisenarmen Weißglas. Es wird ein spezielles Glas verwendet, um die Transmission zu erhöhen, also den Lichteinfall des gesamten Strahlungsspektrums auf die solar aktive Fläche der PV-Module zu maximieren. So werden ein hoher energetischer Wirkungsgrad, ein hoher Ertrag und eine geringe Reflexion gesichert. Dies hat nach heutigem Stand der Technik zur Folge, dass bei senkrechter Einstrahlung weniger als 9 % des gesamten eingestrahnten sichtbaren Lichtes reflektiert werden.

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

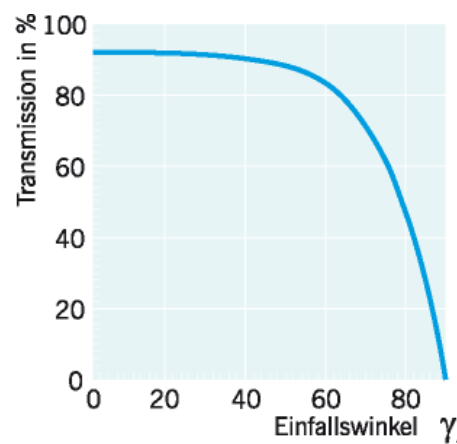


Abbildung 4: Auswirkung des Einfallswinkels auf den Transmissionsgrad für Modulgläser

Die Transmission ist bei senkrechtem Einfall auf die Modulebene (0°) am größten. Mit zunehmendem Einfallswinkel sinkt die Transmission und die Reflexion am Glas steigt an. Als Beispiel beträgt der Transmissionsgrad bei einem Einfallswinkel von 65° etwa 80 %. In diesem Falle werden für das Beispiel in Abbildung 4 ca. 20 % der auftretenden Strahlung reflektiert.

Da die Leuchtdichte der Sonne bei klarer Sicht bereits kurz über dem Horizont $6 \cdot 10^6 \text{ cd/m}^2$ beträgt und um die Mittagszeit $1,5 \cdot 10^9 \text{ cd/m}^2$ erreicht, muss aber auch bei den niedrigen Reflexionsgraden von Solarmodulen mit dem Eintritt von Absolutblendung ($> 10^5 \text{ cd/m}^2$) bei Beobachtern gerechnet werden.



3.4 Verwendete Azimut-Winkelangaben

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

Da die Berechnungsmethode zur Bestimmung der Reflexionen jedoch aus der Geodäsie entnommen worden ist und dort allgemein vom Norden ($=0^\circ$) aus im Uhrzeigersinn gerechnet wird, werden in den Reflexionsdiagrammen und bei der Beschreibung von Blickrichtungen die sich daraus ergebende Azimutangabe 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 PV-Anlage

Die PV-Anlage Elfershausen-Langendorf soll in der Gemarkung Elfershausen westlich der Autobahn A 7 errichtet werden. Östlich des Baufelds verläuft die Kreisstraße KG 42. Abbildung 5 zeigt den Belegungsplan und die Lage des Solarparks in Bezug zur Autobahn A 7.



Abbildung 5: Belegungsplan (PV-Tischreihen in blau) für die PV-Anlage Elfershausen-Langendorf; Quelle: Kundenmaterial vor dem Hintergrund eines nach geografisch Nord ausgerichteten Luftbilds aus Bing Maps

Die PV-Anlage ist mit 16.191 monokristallinen PV-Modulen mit Antireflexions-Beschichtung geplant. Die Gesamtleistung soll 8,74 MWp erreichen. Die PV-Anlage besteht aus einem nordwestlichen Teilfeld mit 27 Tischreihen und einem südöstlichen Teilfeld mit 25 Tischreihen.

Das Baugelände ist vermessen. Das nordwestliche Teilfeld weist einen Anstieg des Geländes in nordöstlicher Richtung auf. Das Gelände des südöstlichen Teilfelds steigt ebenfalls in nördliche Richtung und im nördlichen Bereich auch Richtung Osten, während es im südlichen Bereich Richtung Westen steigt. Der maximale Anstieg des Baugrunds in westlicher Richtung liegt bei 4,5° und in östlicher Richtung bei 2,4°.

Die PV-Module werden nach den Systemangaben mit einer Planneigung von 20° in Richtung Süden ausgerichtet. Die reale solare Ausrichtung und Neigung der PV-Module variiert mit der seitlichen Tischneigung des Untergestells. Die Unterkante der Module ist mit 0,8 m und die Oberkante mit 3,3 m über dem Gelände anzusetzen.



Der Belegungsplan ist in einem UTM-Koordinatensystem erstellt, das eine Meridiankonvergenz von $0,75^\circ$ zu geographisch Nord aufweist. Damit ergibt sich für PV-Module auf ebenem Gelände eine reale solare Ausrichtung von $0,7^\circ$.

Tabelle 2 fasst die für die Blendanalyse genutzten Systemangaben der PV-Anlage Elfershausen-Langendorf zusammen.

Tabelle 2: Systemangaben PV-Anlage Elfershausen-Langendorf

PV-Anlage:	Elfershausen-Langendorf
Standort:	Gemarkung Elfershausen (Breite: $50,09^\circ$, Länge: $9,98^\circ$)
UTM-Meridiankonvergenz:	$0,75^\circ$
Höhe:	293 bis 316 m üNNH
Planneigung:	20°
reale solare Ausrichtung:	$0,7^\circ$
Höhe Modulunterkante:	0,8 m
Höhe Moduloberkante:	3,3 m
Seitliche Tischneigung:	zwischen $-4,5^\circ$ und $2,4^\circ$

4.2 Potenzielle Immissionsorte

PV-Module mit einer solaren Ausrichtung nach Süden können morgens in Richtung West bis Westsüdwest und abends in Richtung Ost bis Ostsüdost Sonnenlichtreflexionen mit geringen Höhenwinkeln bewirken. Damit können am Standort der PV-Anlage Elfershausen-Langendorf nur der Verkehr auf der A 7 und auf der Kreisstraße KG 42 aus südlicher Richtung von potenziell blendenden Reflexionen betroffen sein.

Die Autobahn A 7 führt aus südlicher Richtung mit 345° Azimutrichtung östlich der PV-Anlage Elfershausen-Langendorf vorbei. Der Abstand des Fahrbahnrandes zum nächstgelegenen PV-Modul beträgt mindestens 60 m. Die Autobahn liegt höher als das angrenzende Gelände. Die Höhe der Fahrbahndecke liegt nach den Angaben aus Google Earth Pro auf Höhe des südlichen Rands der Anlage bei 309 m üNNH und auf Höhe des nördlichen Rands bei 305 m üNNH. Der Blick der Fahrzeugführenden auf die Anlage ist auf Grund des Baumbestandes zwischen Autobahn und Baufeld in den Sommermonaten nur eingeschränkt möglich.

Die Kreisstraße KG 42 führt aus südlicher Richtung mit einer Azimutrichtung von 326° am westlichen Rand der Anlage vorbei. Der Abstand des Fahrbahnrandes zum nächstgelegenen PV-Modul beträgt mindestens 20 m. Die Höhe der Fahrbahndecke der KG 42 steigt beim Passieren der Anlage nach den Angaben von Google Earth Pro in Richtung Norden von 292 m üNNH auf 312 m üNNH.

5 Berechnungsmethodik



5.1 Reflexionsberechnung

Die Reflexionsberechnung erfolgt nach dem Reflexionsgesetz für ideal gerichtete Reflexion (Einfallswinkel = Ausfallwinkel). Bei gegebener reflektierender Ebene entspricht jedem Einfallswinkel des Sonnenlichts genau ein Ausfallwinkel reflektierter Strahlung. Abbildung 6 zeigt diese geometrischen Beziehungen einschließlich des Abstandswinkels zwischen den Blickrichtungen zur Sonne und zum Reflexionspunkt.

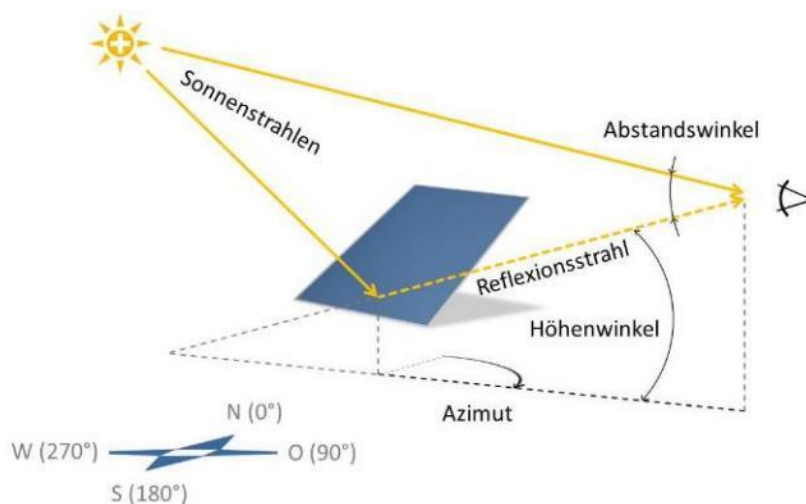


Abbildung 6: Darstellung des Reflexionsstrahls anhand von Azimut und Höhenwinkel wie in den Berechnungen verwendet und des Abstandswinkels zwischen den Blickrichtungen zur Sonne und zum Reflexionspunkt

Für die Reflexionsberechnungen wird der Belegungsplan der geplanten Solaranlage aus dem UTM-Koordinatensystem mit einer Meridiankonvergenz von $-0,75^\circ$ auf eine nach geographisch Nord ausgerichtete Karte mit einem Koordinatensystem in winkeltreuer Lambert-Kegelprojektion übertragen und dabei entsprechend der Meridiankonvergenz gedreht. Auf dieser Grundlage werden die reale Ausrichtung und die reale Neigung der Module unter Berücksichtigung des Höhenprofils des Baufelds bestimmt. Anschließend wird eine Aufstellung mit sämtlichen Sonneneinfallswinkeln im Jahresverlauf am Standort der Anlage (geografische Länge $50,09^\circ$, Länge: $9,98^\circ$) in 6-minütiger Auflösung für 12 Tage im Jahr vorgenommen (jeweils für den 21. jeden Monats)⁵. Die sich daraus ergebenden Reflexionsrichtungen werden für die drei unterschiedlichen solaren Ausrichtungen der Module berechnet und anschaulich in einem Reflexionsdiagramm aus Sicht eines beliebigen Reflexionspunkts dargestellt. Alle möglichen Reflexionsrichtungen werden dabei durch Azimut (x-Wert) und Höhenwinkel (y-Wert) beschrieben.

⁵ Berechnung nach Eicker 2001



5.2 Eingrenzung blendrelevanter Azimutbereiche

Das Reflexionsdiagramm in Abbildung 7 zeigt die physikalisch möglichen Reflexionsrichtungen für die nach Süden ausgerichteten PV-Module auf ebenem Gelände und einer Planneigung von 20°. Die Reflexionsrichtungen werden mit ihrem jeweiligen Azimut und Höhenwinkel als Tagesganglinien mit gleichfarbigen Markierungspunkten für den jeweils 21. des Monats dargestellt. Die roten Dreiecke markieren die Reflexionsrichtungen am 21. Juni und die dunkelblauen Dreiecke die des 21. Dezember. Zwischen den einzelnen Markierungspunkten liegt jeweils ein Zeitraum von 6 Minuten. Die graue Umrandung der Markierungspunkte zeigt, dass zu diesem Zeitpunkt der Abstandswinkel zwischen Reflexions- und Sonnenstrahlen bei weniger als 10° liegt.

Potenziell störende Reflexionen mit gering positiven Höhenwinkeln bis 5° können morgens in einem westlichen Azimutbereich von 245° bis 275° und abends in einem östlichen Azimutbereich von 86° bis 114° auftreten.

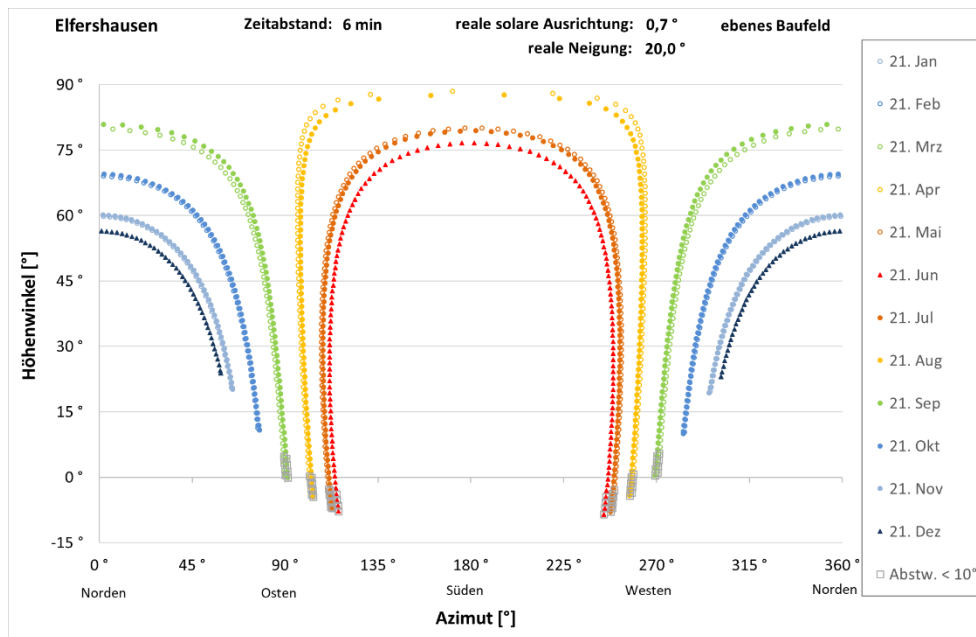


Abbildung 7: Reflexionsdiagramm aus Sicht eines beliebigen Reflexionspunktes von nach Süden ausgerichteten PV-Modulen (0,7°) mit 20° Planneigung am Standort der geplanten Anlage mit waagrecht aufgetragenen Azimut- und senkrecht aufgetragenen Höhenwinkeln und Markierung der Reflexionen mit einem Abstandswinkel zur Sonne von weniger als 10° durch graue Umrandung

Das Reflexionsdiagramm für PV-Module mit der maximalen seitlichen Tischneigung von 2,4° mit Anstieg in östliche Richtung in Abbildung 8 ergibt einen blendrelevanten westlichen Azimutbereich von 248° bis 278° und einen blendrelevanten östlichen Azimutbereich von 89° bis 117°.

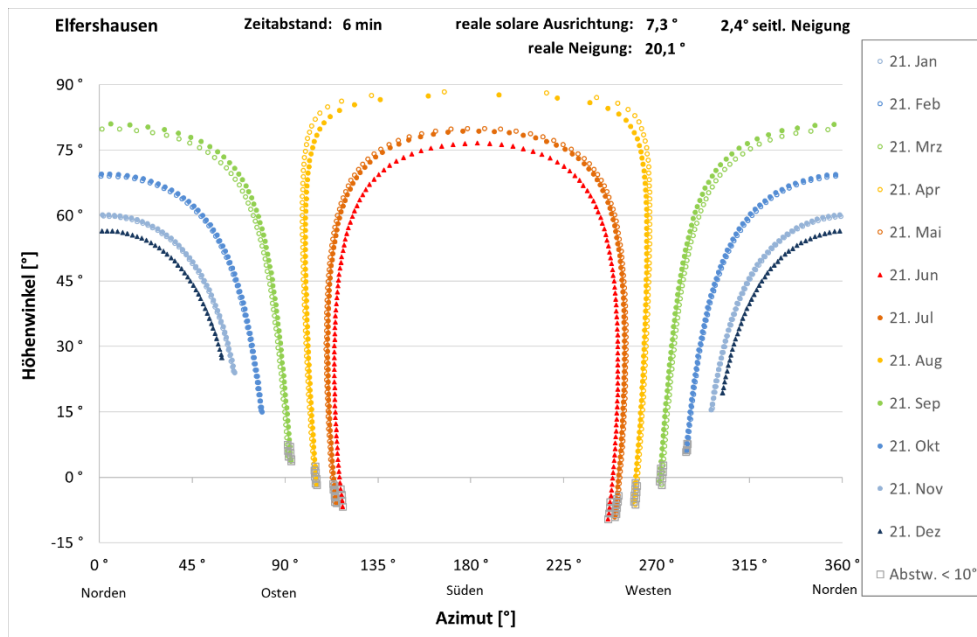


Abbildung 8: Reflexionsdiagramm für PV-Module mit 2,4° seitlicher Tischneigung

Das Reflexionsdiagramm für PV-Module mit der minimalen seitlichen Tischneigung von -4,5° mit Anstieg in westliche Richtung in Abbildung 9 ergibt einen blendrelevanten westlichen Azimutbereich von 242° bis 263° und einen blendrelevanten östlichen Azimutbereich von 74° bis 110°.

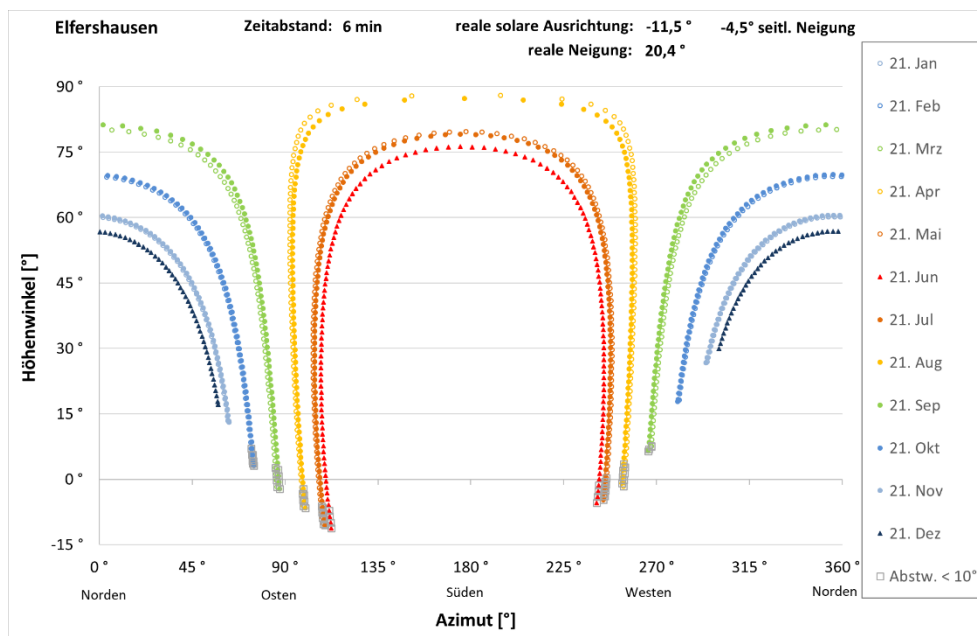


Abbildung 9: Reflexionsdiagramm für PV-Module mit -4,5° seitlicher Tischneigung



5.3 Modellierung der Reflexions- und Blickpunkte

Die x-y-Koordinaten der Reflexions- und Blickpunkte werden dem auf eine nach geographisch Nord ausgerichteten Karte in winkeltreuer Lambert-Kegelprojektion übertragenem Belegungsplan entnommen und mit den weiteren Höheninformationen ergänzt. Daraus wird ein Kugelmodell erstellt, in dem die Reflexionen durch ihre Winkel (Azimut in der x-y-Ebene und Höhenwinkel zwischen x-y-Ebene und z-Achse) charakterisiert werden. Ob ein Reflexionsstrahl einen Immissionsort treffen kann, hängt nur von den Azimut- und Höhenwinkeln zwischen Reflexions- und Immissionsort ab, die sich aus Entfernungs- und Höhendifferenzen ergeben.

Im Rahmen dieser Betrachtung wird die PV-Anlage mit den x-y-Koordinaten aller vier Eckpunkte jedes PV-Tisches modelliert. Für den z-Wert der PV-Module werden für die Unterkanten 0,8 m und für die Oberkanten 3,3 m zur Höhe des Geländepunkts der linken Unterkante addiert.

Der Straßenverkehr auf der A 7 und der KG 42 aus südlicher Richtung wird durch sieben Blickpunkte repräsentiert, vier für die Autobahn und drei für die Kreisstraße. Die Augenhöhe der Fahrzeugführenden wird mit minimal 1,0 m und maximal 3,0 m über der Fahrbahndecke angesetzt. Die Höhe der Fahrbahndecke wird Google Earth entnommen.

Abbildung 10 zeigt die südliche Begrenzung der potenziell blendrelevanten Azimutbereiche der Reflexionen und die für das Blendgutachten ausgewählten Blickpunkte.

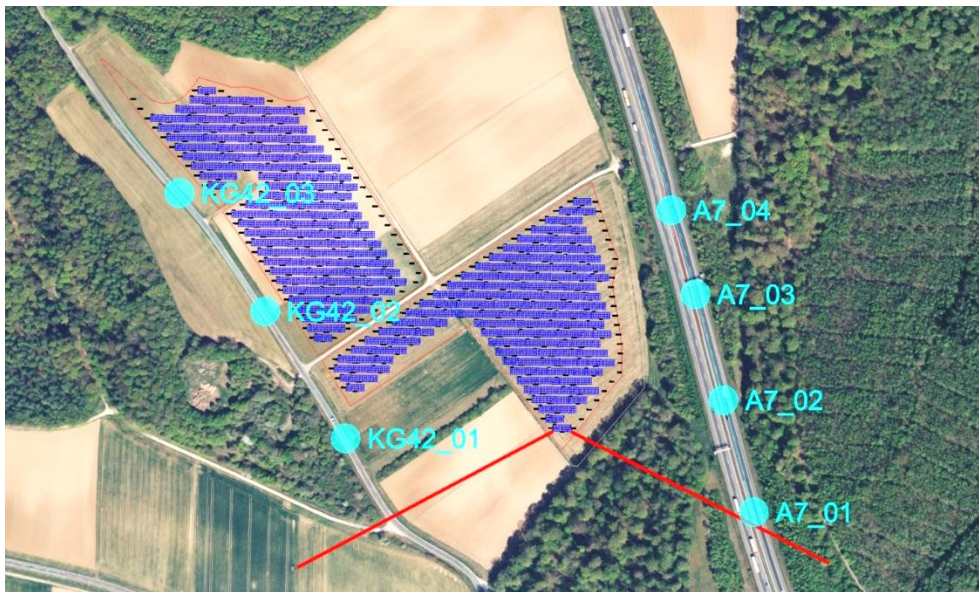


Abbildung 10: Südliche Grenze der blendrelevanten Reflexionsrichtungen (rote Linien) und Blickpunkte für den Straßenverkehr auf der A 7 und KG 42 aus südlicher Richtung (cyanfarbene Kreise)

Abbildung 11 zeigt die Lagebeziehungen der für das Blendgutachten modellierten Reflexions- und Blickpunkte in der x-y-Ebene.

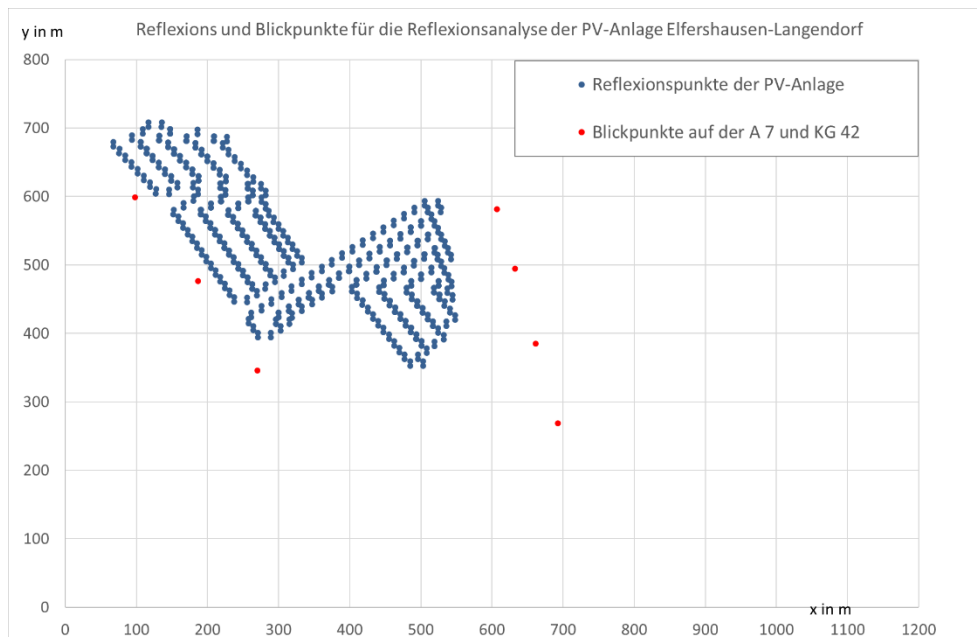


Abbildung 11: Übersicht der für das Blendgutachten modellierten Reflexions- und Blickpunkte

5.4 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 im Blickfeld von Verkehrsteilnehmern eine potenzielle Gefährdung darstellen.

Zur Abschätzung der Beleuchtungsstärken ist zunächst der Sonnenhöhenwinkel zu Zeitpunkten möglicher Betroffenheit durch Anlagenreflexionen zu bestimmen, um aus ihm auf diese Parameter schließen zu können. Dazu werden die Berechnungsformeln der DIN 5034 Teil 2 Abschnitt 5.3 für die Bedingungen von klarem Himmel verwendet, um sicherheitshalber den für Blendung ungünstigsten Fall zu betrachten. Die natürliche Beleuchtungsstärke bei klarem Himmel aus direktem Sonnenlicht und Himmelslicht beträgt nach DIN 5034 an sonnigen Tag in Mitteleuropa bei einer Sonnenhöhe von 60° (mittags im Sommer) 90.000 lx und bei einer Sonnenhöhe von 16° (mittags im Winter) 20.000 lx.

5.5 Ergebnisdarstellung durch Reflexionsdiagramme

In einem Reflexionsdiagramm mit Blickbeziehung zu den Fahrzeugführenden, wie in Abbildung 12 dargestellt, werden die Kugelkoordinaten Azimut- und Höhenwinkel eines Blickpunkts aus Sicht der modellierten Reflexionspunkte dargestellt. Die Augenhöhen der Fahrzeugführenden werden dabei mit „min“ als schwarzer Raute und „max“ als blauem Querstrich gekennzeichnet. Weil das Diagramm aus Sicht der Reflexionspunkte erstellt wird, muss das Blickfeld der Fahrzeugführenden um 180°



gedreht entgegen der Blickrichtung eingezeichnet werden. Das maximale Blickfeld von $\pm 30^\circ$ um die Blickachse wird durch ein graues Oval dargestellt. Das blaue Oval zeigt das zentrale Blickfeld von $\pm 10^\circ$ um die Blickachse.

Liegt ein Blickpunkt innerhalb des von Reflexionen betroffenen Bereichs, d.h. zwischen den Tagesganglinien für den 21. Juni (rote Dreiecke) und den 21. Dezember (dunkelblaue Dreiecke), so kann die Dauer und Jahreszeit potenzieller Reflexionen abgeschätzt werden. Im gezeigten Beispiel liegt etwa ein Drittel der PV-Anlage im Blickfeld der Fahrzeugführenden, das aber jederzeit frei von Sonnenlichtreflexionen bleibt. Der Abstandswinkel der Reflexionen zur Blickachse liegt bei mehr als 50° , so dass keine Blendwirkung hervorgerufen werden kann.

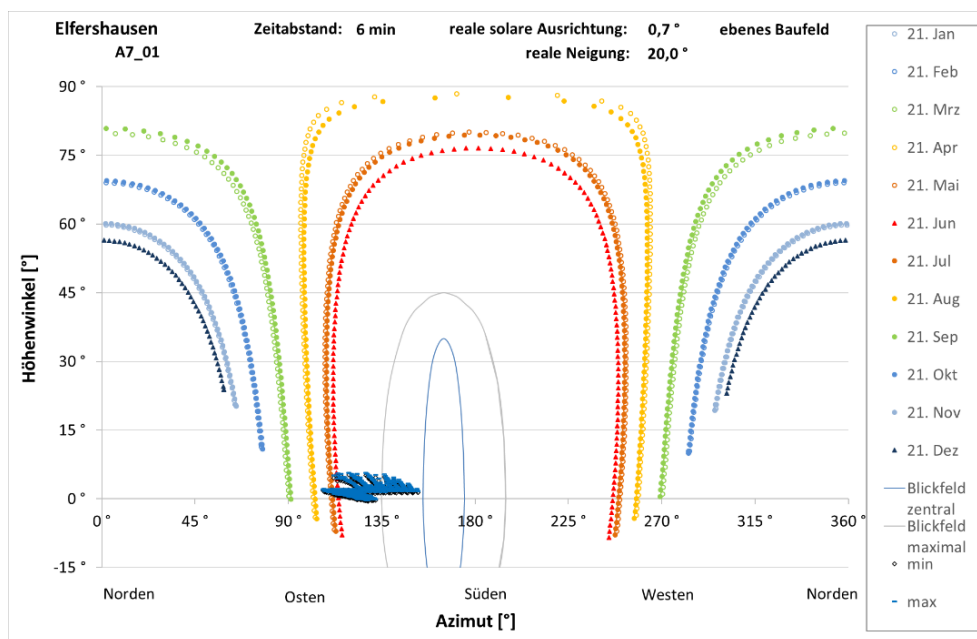


Abbildung 12: Beispielhaftes Reflexionsdiagramm für einen Blickpunkt im Straßenverkehr

6 Berechnungsergebnisse



Hinweis: Die Reflexionsberechnungen unterstellen eine freie Sichtverbindung zwischen Reflexions- und Blickpunkt. Ein durch Vegetation, Gebäude und das Geländeprofil bestehender Blendschutz wird erst im Nachgang berücksichtigt.

6.1 Verkehr auf der Autobahn A 7

6.1.1 Blickpunkt A7_01

Der Blickpunkt A7_01 befindet sich 220 m südöstlich der Anlage. Der Blick auf die Anlage ist durch den Baumbestand westlich der Autobahn sehr stark eingeschränkt.

Das Reflexionsdiagramm für PV-Module auf ebenem Baugrund und den Blickpunkt A7_01 in Abbildung 13 zeigt, dass ein Teil der PV-Module im Blickfeld der Fahrzeugführenden liegt, aber keine Sonnenlichtreflexionen in das Blickfeld gerichtet sein können. Der Abstandswinkel der Reflexionen zur Blickachse beträgt mehr als 50°. Die Berücksichtigung abweichender seitlicher Tischneigungen hat keinen bewertungsrelevanten Einfluss auf das Ergebnis.

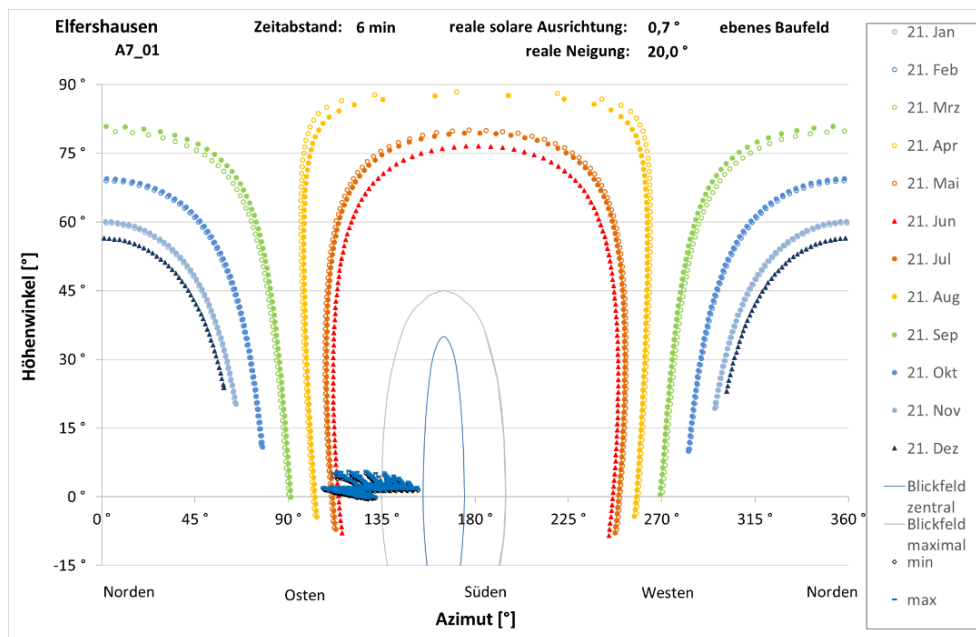


Abbildung 13: Reflexionsdiagramm für Module ohne seitliche Tischneigung und den Blickpunkt A7_01

6.1.2 Blickpunkt A7_02



Das Reflexionsdiagramm für den Blickpunkt A7_02 in Abbildung 14 veranschaulicht, dass das Blickfeld der Fahrzeugführenden weiterhin frei von Sonnenlichtreflexionen der PV-Anlage bleibt. Der Abstandswinkel der potenziellen Reflexionen beträgt $\geq 51^\circ$. Die Berücksichtigung abweichender seitlicher Tischneigungen hat keinen bewertungsrelevanten Einfluss auf das Ergebnis.

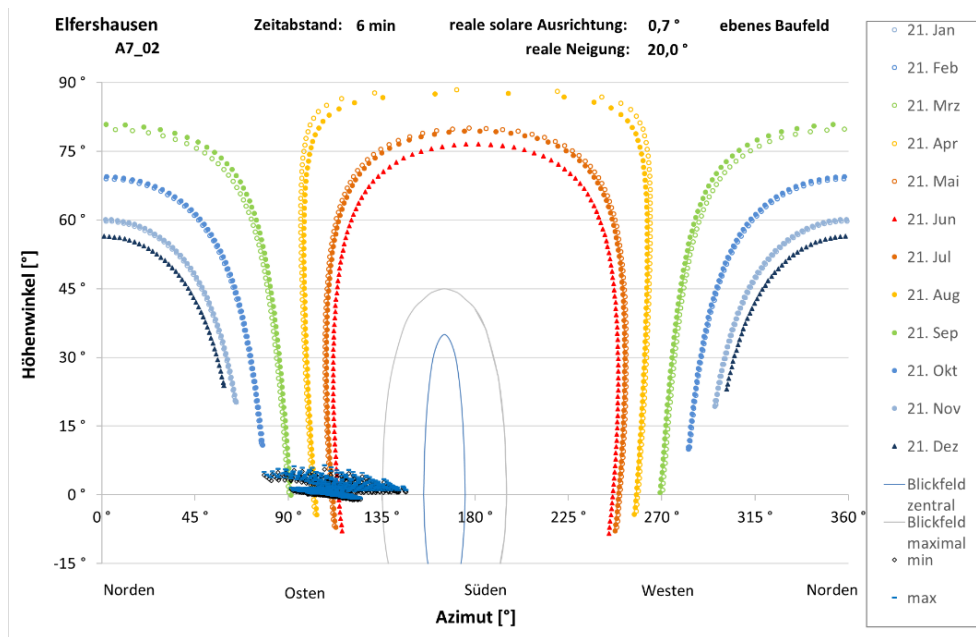


Abbildung 14: Reflexionsdiagramm für Module ohne seitliche Tischneigung und den Blickpunkt A7_02

6.1.3 Blickpunkt A7_03

Das Reflexionsdiagramm in Abbildung 15 veranschaulicht, dass die Anlage im weiteren Verlauf nicht mehr im Blickfeld der Fahrzeugführenden auf der A 7 liegt. Am Blickpunkt A7_03 beträgt der Abstandswinkel der potenziellen Sonnenlichtreflexionen zur Blickachse der Fahrzeugführenden $\geq 50^\circ$. Die Berücksichtigung abweichender seitlicher Tischneigungen hat keinen bewertungsrelevanten Einfluss auf das Ergebnis.

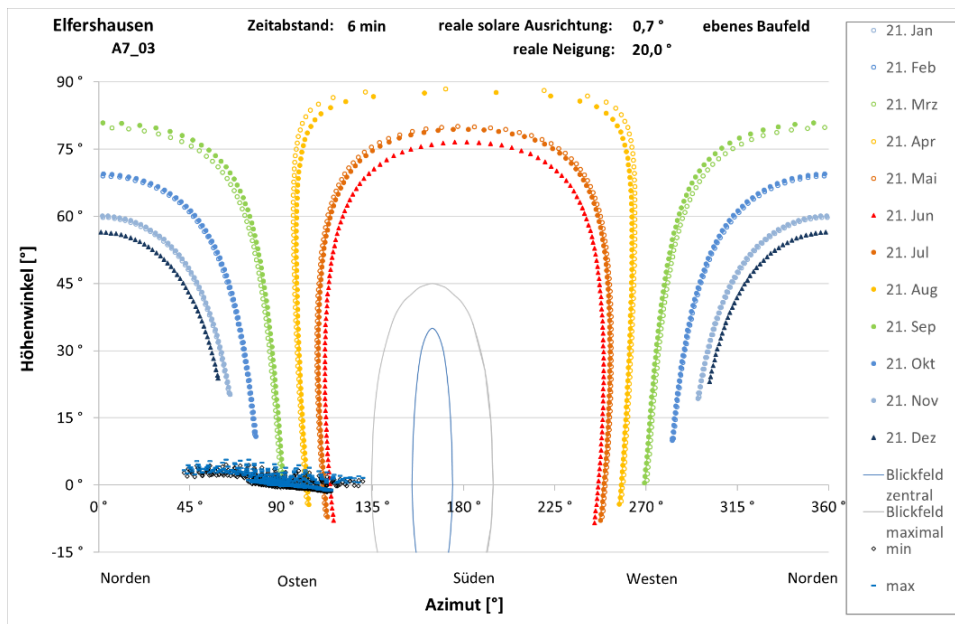


Abbildung 15: Reflexionsdiagramm für Module ohne seitliche Tischneigung und den Blickpunkt A7_03

6.1.4 Blickpunkt A7_04

Das Reflexionsdiagramm für den Blickpunkt A7_04 in Abbildung 16 zeigt, dass die PV-Anlage nicht im Blickfeld der Fahrzeugführenden liegt. Der Abstandswinkel der möglichen Reflexionen zur Blickachse der Fahrzeugführenden beträgt $\geq 59^\circ$. Auch die Berücksichtigung abweichender seitlicher Tischneigungen hat keinen bewertungsrelevanten Einfluss auf das Ergebnis.

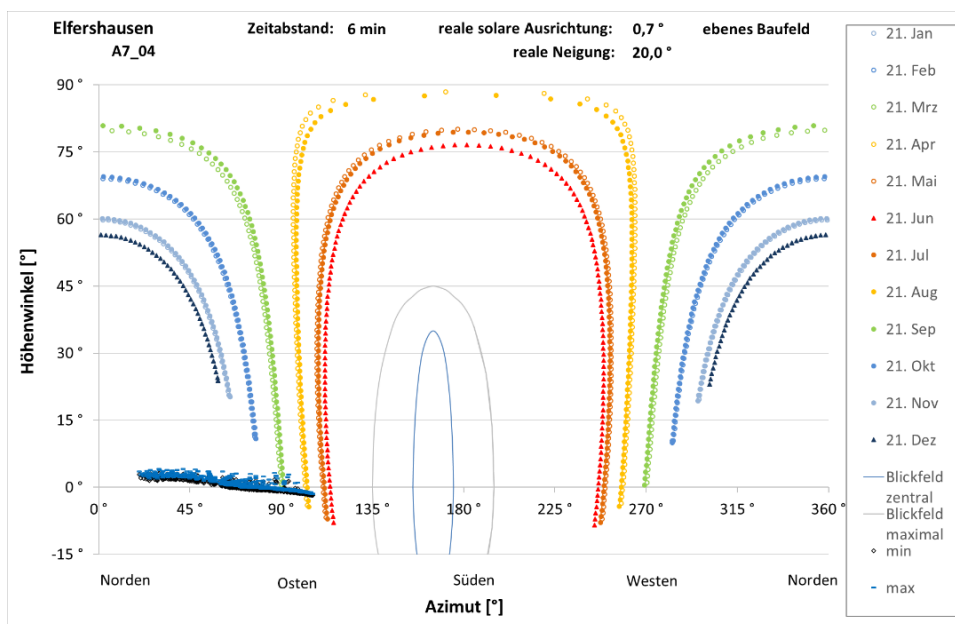


Abbildung 16: Reflexionsdiagramm für Module ohne seitliche Tischneigung und den Blickpunkt A7_04

6.2 Verkehr auf der Kreisstraße KG 42



6.2.1 Blickpunkt KG42_01

Das Reflexionsdiagramm für PV-Module auf ebenem Baugrund und den Blickpunkt KG42_01 in Abbildung 17 zeigt, dass einige PV-Module im zentralen Blickfeld der Fahrzeugführenden liegen, aber keine Sonnenlichtreflexionen in das Blickfeld gerichtet sein können. Der Abstandswinkel der Reflexionen zur Blickachse beträgt mehr als 90°. Die Berücksichtigung abweichender seitlicher Tischneigungen hat keinen bewertungsrelevanten Einfluss auf das Ergebnis.

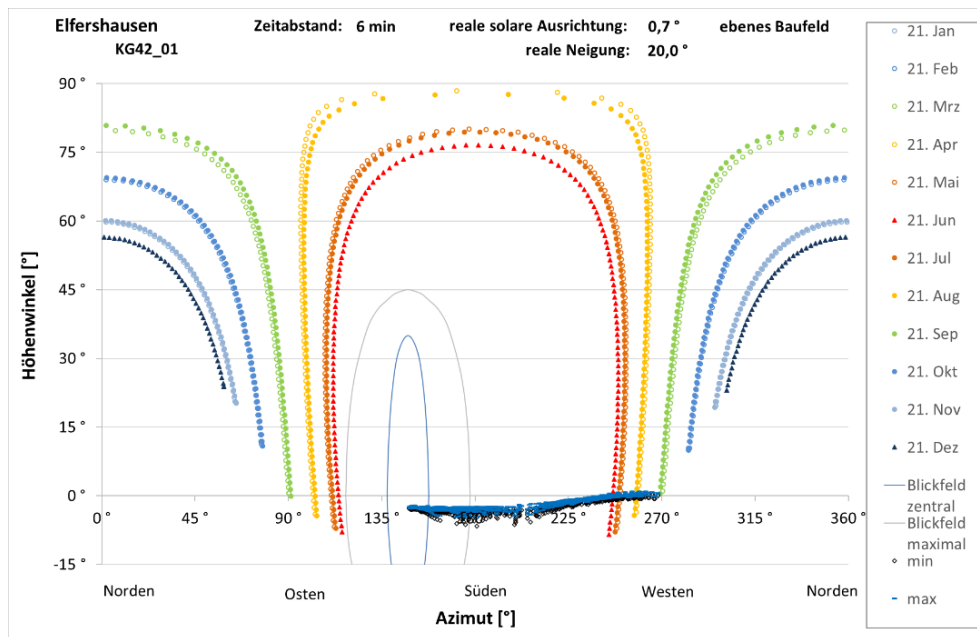


Abbildung 17: Reflexionsdiagramm für Module ohne seitliche Tischneigung und den Blickpunkt KG42_01

6.2.2 Blickpunkt KG42_02

Das Reflexionsdiagramm für den Blickpunkt KG42_02 in Abbildung 18 veranschaulicht, dass das Blickfeld der Fahrzeugführenden weiterhin frei von Sonnenlichtreflexionen der PV-Anlage bleibt. Der Abstandswinkel der potenziellen Reflexionen beträgt $\geq 102^\circ$. Die Berücksichtigung abweichender seitlicher Tischneigungen hat keinen bewertungsrelevanten Einfluss auf das Ergebnis.

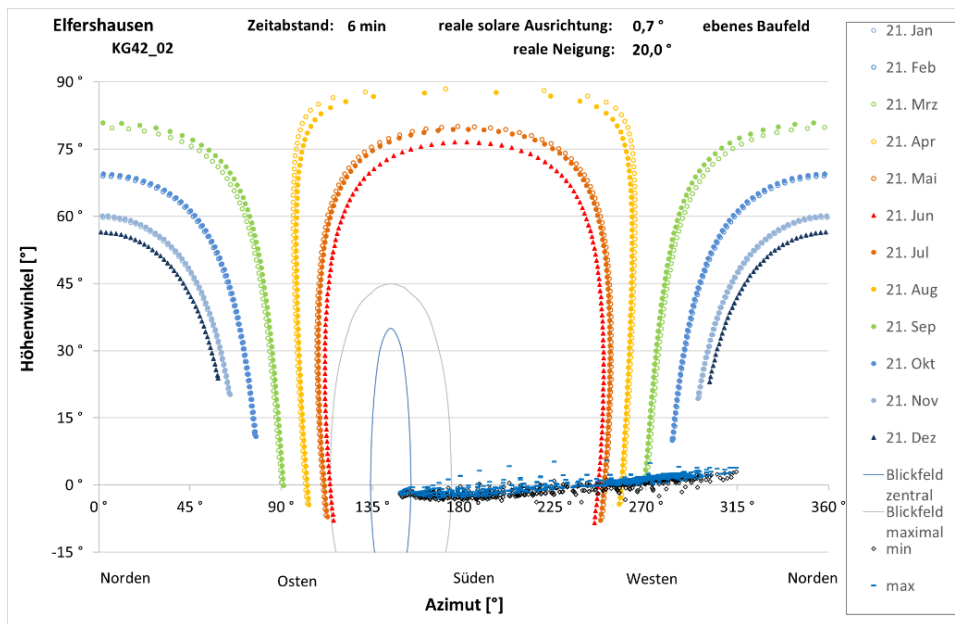


Abbildung 18: Reflexionsdiagramm für Module ohne seitliche Tischneigung und den Blickpunkt KG42_02

6.2.3 Blickpunkt KG42_03

Das Reflexionsdiagramm in Abbildung 19 zeigt, dass die PV-Anlage im Straßenverlauf aus dem Blickfeld der Fahrzeugführenden wandert. Am Blickpunkt KG42_03 ist der Abstandswinkel der potenziellen Sonnenlichtreflexionen zur Blickachse $\geq 106^\circ$. Die Berücksichtigung abweichender seitlicher Tischneigungen hat keinen bewertungsrelevanten Einfluss auf das Ergebnis.

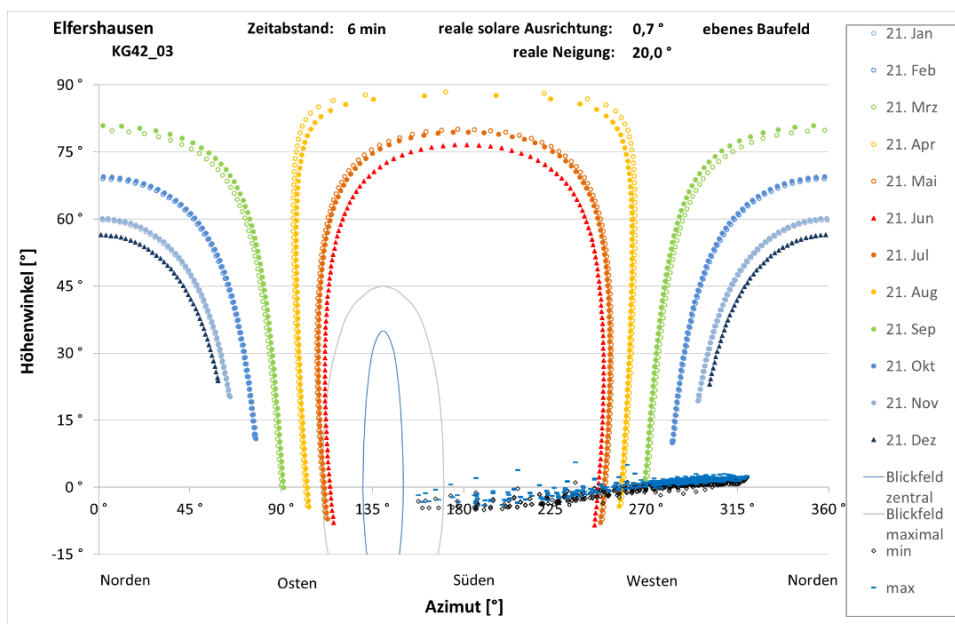


Abbildung 19: Reflexionsdiagramm für Module ohne seitliche Tischneigung und den Blickpunkt KG42_03

7 *Bewertung der Blendrisiken*



Die potenziellen Sonnenlichtreflexionen der geplanten PV-Anlage Elfershausen-Langendorf können zu keinem Zeitpunkt im Jahr in das Blickfeld der Fahrzeugführenden auf der Autobahn A 7 oder der Kreisstraße KG 42 gerichtet sein und damit auch keine Blendwirkung hervorrufen. Der Abstandswinkel zur Blickachse beträgt zu jedem Zeitpunkt mehr als 50°.

Die Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs auf der A 7 und KG 42 bleiben zu jedem Zeitpunkt im Jahr gewahrt.

Zusätzliche Blendschutzmaßnahmen sind nicht erforderlich.

8 *Verwendete Materialien*



8.1 *Materialien vom Auftraggeber*

- ▶ Belegungsplan als Datei „2023_04_18_Langedorf(Elfershausen)_20Grad_3m_CS 670.dwg“
- ▶ Weitere Systemangaben als Datei „4_1_techn_Zeichnung_Tisch.pdf“

8.2 *Literatur*

- ▶ Raumordnungsgesetz vom 22. Dezember 2008 (BGBl. I S. 2986), das zuletzt durch Artikel 5 des Gesetzes vom 3. Dezember 2020 (BGBl. I S. 2694) geändert worden ist
- ▶ Baugesetzbuch in der Fassung der Bekanntmachung vom 3. November 2017 (BGBl. I S. 3634), das zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 26. April 2022 (BGBl. I S. 674) geändert worden ist
- ▶ BMWK: Entwurf eines Gesetzes zu Sofortmaßnahmen für einen beschleunigten Ausbau der erneuerbaren Energien und weiteren Maßnahmen im Stromsektor, Bearbeitungsstand 4.3.2022
- ▶ Erneuerbare-Energien-Gesetz 2023, Stand 08.07.2022
- ▶ Bundes-Immissionsschutzgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274; 2021 I S. 123), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 24. September 2021 (BGBl. I S. 4458) geändert worden ist
- ▶ Licht und Beleuchtung - Grundlegende Begriffe und Kriterien für die Festlegung von Anforderungen an die Beleuchtung; Deutsche Fassung EN 12665:2018, Ausgabe 2018-08
- ▶ 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
- ▶ Leitlinie des Brandenburger Ministeriums für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz zur Messung und Beurteilung von Lichtimmissionen (Licht-Leitlinie) vom 16. April 2014
- ▶ Fischbach, M.; Mack, M.; Haselhuhn, R.: Blendgutachten Photovoltaik – ein Statusbericht aus der Gutachterpraxis; Tagungsband 29. Symposium Photovoltaische Solarenergie 12.-14.3.2014 Bad Staffelstein; Hsg.: OTTI e.V.
- ▶ Eicker, U.: Solare Technologien für Gebäude; 1. Aufl. B. G. Teubner GmbH Stuttgart/Leipzig/Wiesbaden, 2001
- ▶ Reidenbach H.-D., Dollinger K., Ott G., Janßen M., Brose M. (2008): Blendung durch optische Strahlungsquellen. Bericht der BAUA, Forschung Projekt 2185
- ▶ Kaufmann, H.: Strabismus. Stuttgart, Enke, 1986

- ▶ Empfehlungen der Strahlenschutzkommission: Blendung durch natürliche und neue künstliche Lichtquellen und ihre Gefahren; verabschiedet in der 205. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 16./17. Februar 2006
- ▶ DIN 5034-2:2021-08 Tageslicht in Innenräumen – Teil 2: Grundlagen



9 *Abbildungsverzeichnis*



Abbildung 1: Lage der geplanten PV-Anlage Elfershausen-Langendorf; Quelle: Kundenmaterial vor dem Hintergrund eines nach geografisch Nord ausgerichteten Luftbilds aus Bing Maps.....	4
Abbildung 2: Gegenstände auf der Sichtachse zur Blendquelle sind nicht mehr wahrnehmbar.....	8
Abbildung 3: Blickfelder aus 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.....	10
Abbildung 4: Auswirkung des Einfallwinkels auf den Transmissionsgrad für Modulgläser	12
Abbildung 5: Belegungsplan (PV-Tischreihen in blau) für die PV-Anlage Elfershausen-Langendorf; Quelle: Kundenmaterial vor dem Hintergrund eines nach geografisch Nord ausgerichteten Luftbilds aus Bing Maps.....	14
Abbildung 6: Darstellung des Reflexionsstrahls anhand von Azimut und Höhenwinkel wie in den Berechnungen verwendet und des Abstandswinkels zwischen den Blickrichtungen zur Sonne und zum Reflexionspunkt	16
Abbildung 7: Reflexionsdiagramm aus Sicht eines beliebigen Reflexionspunktes von nach Süden ausgerichteten PV-Modulen (0,7°) mit 20° Planneigung am Standort der geplanten Anlage mit waagrecht aufgetragenen Azimut- und senkrecht aufgetragenen Höhenwinkeln und Markierung der Reflexionen mit einem Abstandswinkel zur Sonne von weniger als 10° durch graue Umrandung	17
Abbildung 8: Reflexionsdiagramm für PV-Module mit 2,4° seitlicher Tischneigung.....	18
Abbildung 9: Reflexionsdiagramm für PV-Module mit -4,5° seitlicher Tischneigung.....	18
Abbildung 10: Südliche Grenze der blendrelevanten Reflexionsrichtungen (rote Linien) und Blickpunkte für den Straßenverkehr auf der A 7 und KG 42 aus südlicher Richtung (cyanfarbene Kreise)	19
Abbildung 11: Übersicht der für das Blendgutachten modellierten Reflexions- und Blickpunkte.....	20
Abbildung 12: Beispielhaftes Reflexionsdiagramm für einen Blickpunkt im Straßenverkehr	21
Abbildung 13: Reflexionsdiagramm für Module ohne seitliche Tischneigung und den Blickpunkt A7_01.....	22
Abbildung 14: Reflexionsdiagramm für Module ohne seitliche Tischneigung und den Blickpunkt A7_02.....	23
Abbildung 15: Reflexionsdiagramm für Module ohne seitliche Tischneigung und den Blickpunkt A7_03.....	24

Abbildung 16: Reflexionsdiagramm für Module ohne seitliche Tischneigung und den Blickpunkt A7_04.....	24
Abbildung 17: Reflexionsdiagramm für Module ohne seitliche Tischneigung und den Blickpunkt KG42_01.....	25
Abbildung 18: Reflexionsdiagramm für Module ohne seitliche Tischneigung und den Blickpunkt KG42_02.....	26
Abbildung 19: Reflexionsdiagramm für Module ohne seitliche Tischneigung und den Blickpunkt KG42_03.....	26



10 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Menschliches Gebrauchsblickfeld (vertikal positiv ist oben, negativ unten)	10
Tabelle 2: Systemangaben PV-Anlage Elfershausen-Langendorf.....	15

