

Teil E

► *Photovoltaikanlage Großarmschlag*

Analyse der Reflexionswirkungen einer Photovoltaikanlage

Auftraggeber:

Projektentwicklung Friedrich Brehm GmbH & Co. KG
Herrn Felix Rost
Dietersdorf 1
91487 Vestenbergsgreuth

erstellt von:

Ralf Schmersahl
Solarpraxis Engineering GmbH
Alboinstraße 36-42
12103 Berlin Germany
Tel. 030/ 726 296-350
Fax. 030/ 726 296-360
E-Mail: ralfschmersahl@solarpraxis.com
Internet: www.solarpraxis.com



Datum: 04.11.2022

Projektnummer: P22458/v.1



Inhalt

1	Zweck und Gegenstand des Gutachtens.....	4
2	Zusammenfassung der Ergebnisse.....	5
3	Einleitung.....	6
3.1	Gesetzliche Grundlagen.....	6
3.1.1	Nutzung erneuerbarer Energien in Raumordnung und Baurecht.....	6
3.1.2	Immissionsschutz.....	7
3.2	Blendung.....	7
3.3	Entstehung von Reflexionen bei Photovoltaikanlagen.....	11
3.4	Verwendete Azimut-Winkelangaben.....	12
4	Situation vor Ort.....	13
4.1	Überblick.....	13
4.2	PV-Anlage.....	14
4.3	Gemeindeverbindungsstraße.....	14
4.4	Wohngebäude.....	15
5	Berechnungen.....	16
5.1	Methodik der Berechnung.....	16
5.1.1	Geometrische Aspekte.....	16
5.1.2	Allgemeine Reflexionsdiagramme.....	17
5.1.3	Modellierung der Reflexions- und Blickpunkte.....	18
5.1.4	Reflexionsdiagramme mit Blickbeziehungen.....	19
5.1.5	Lichttechnische Aspekte.....	20
5.2	Berechnungsergebnisse Straßenverkehr.....	21
5.2.1	Blickpunkt vSüd_1.....	21
5.2.2	Blickpunkt vSüd_2.....	23
5.2.3	Blickpunkt vSüd_3.....	23
5.2.4	Blickpunkt vSüd_4.....	24
5.2.5	Blickpunkt vSüd_5.....	25

5.3	Berechnungsergebnisse Wohngebäude.....	26
5.4	Berechnungsergebnisse für abweichende Ausrichtungen der PV-Anlage	28
5.4.1	Straßenverkehr.....	28
5.4.2	Wohngebäude.....	29
6	Bewertung der Blendrisiken.....	31
6.1	Straßenverkehr.....	31
6.2	Wohngebäude.....	31
7	Verwendete Materialien.....	32
7.1	Dokumente vom Auftraggeber.....	32
7.2	Literatur.....	32
8	Abbildungsverzeichnis.....	34
9	Tabellenverzeichnis.....	36





1 Zweck und Gegenstand des Gutachtens

Es soll geprüft werden, ob von den Modulen der geplanten PV-Anlage Großarmschlag bei einer Errichtung innerhalb der Vorgaben des Bebauungsplans Sonnenlicht auf die Verkehrsteilnehmer auf der östlich verlaufenden Gemeindeverbindungsstraße oder nahegelegene Wohngebäude reflektiert werden kann und ob dadurch gegebenenfalls gefährdende oder störende Blendwirkungen auftreten können.

Die Lage der geplanten Photovoltaikanlage und der zu prüfenden potenziellen Immissionsorte ist in Abbildung 1 dargestellt.

Anschließend sind ggf. Maßnahmen zur Verhinderung eventuell auftretender Blendung aufzuzeigen.

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



Abbildung 1: Lage der geplanten Photovoltaikanlage Großarmschlag (Modulreihen blau eingezeichnet) und der potenziellen Immissionsorte; Quelle: Kundenmaterial vor dem Hintergrund einer nach geografisch Nord ausgerichteten Luftbildkarte aus Bing Maps

2 Zusammenfassung der Ergebnisse



Es wird festgestellt, dass von der geplanten PV-Anlage bei einer Errichtung entsprechend den Vorgaben des Bebauungsplans keine unzumutbaren oder verkehrsgefährdenden Sonnenlichtreflexionen ausgehen können.

Zusätzliche Blendschutzmaßnahmen sind nicht erforderlich.



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 Anlage 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

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 $1,6 \cdot 10^6 \text{ cd}/\text{m}^2$ wird die Adaptationsfähigkeit des menschlichen Auges überschritten. Dieser Zustand wird als Absolutblendung bezeichnet.¹

¹ Wittlich 2010



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

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. 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

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.



- ▶ 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.

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

Gebrauchsblickfeld	Benennung im Text	horizontal	vertikal
für Sehaufgaben	zentrales Blickfeld	$\pm 10^\circ$	$+25^\circ, -35^\circ$
maximal	Blickfeld	$\pm 30^\circ$	$+30^\circ, -45^\circ$

³ Reidenbach u. a. 2008

⁴ Kaufmann 1986

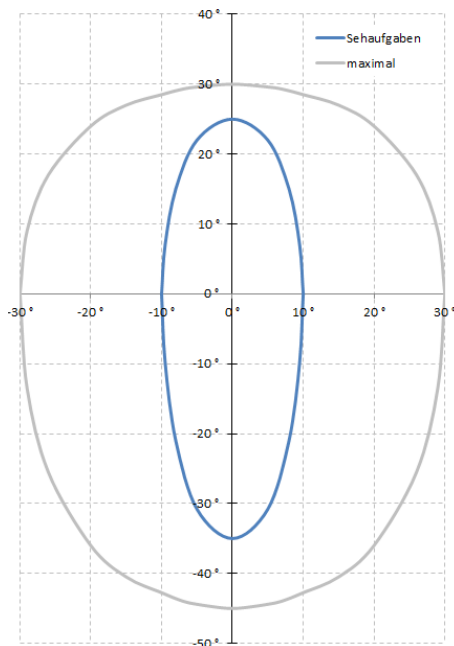


Abbildung 3: Blickfelder von Tabelle 1; der Achsenschnittpunkt $0^{\circ}/0^{\circ}$ stellt dabei einen Punkt auf der Blickachse dar, auf den die Augen fokussieren, und nicht notwendigerweise einen Punkt auf dem Horizont

Für die Beurteilung des Bereichs, in dem auftretende Reflexion als Blendung empfunden wird, wird typischerweise das maximale Gebrauchsblickfeld mit je 30° 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 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. Bei Einmündungen oder Kreuzungen muss ein größerer Blickbereich frei von Blendrisiken sein.

3.3 Entstehung von Reflexionen bei Photovoltaikanlagen

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

Komponenten, an denen ggf. relevante direkte Reflexionen entstehen können, sind in erster Linie die Deckgläser der PV-Module. Daneben bewirken Reflexionen an inneren Grenzflächen von Einbettmaterialien oder Rückseitenfolien sowie die Texturierung der Oberflächen, dass auch Anteile diffuser Reflexion auftreten können. Dies kann zu Bündelauflösung 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 eingestrahlt sichtbaren Lichtes reflektiert werden.

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

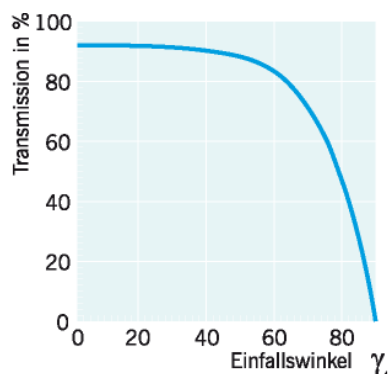


Abbildung 4: Auswirkung des Einfallswinkels auf den Transmissionsgrad für Modulgläser

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 $6 \cdot 10^6$ cd/m² beträgt und um die Mittagszeit $1,5 \cdot 10^9$ cd/m² erreicht, muss aber auch bei den niedrigen Reflexionsgraden von Solarmodulen mit dem Eintritt von Absolutblendung ($> 10^5$ cd/m²) bei Beobachtern gerechnet werden.

3.4 *Verwendete Azimut-Winkelangaben*

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

Da die Berechnungsmethode zur Bestimmung der Reflexionen jedoch aus der Geodäsie entnommen worden ist und dort allgemein vom Norden (=0°) 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 Überblick

Die geplante PV-Anlage soll auf einer 7 Hektar großen Fläche (Scheibenberg) unmittelbar westlich der Gemeindeverbindungsstraße von Großarmschlag nach Schildertschlag errichtet werden. Südwestlich der geplanten Anlage liegt ein landwirtschaftliches Gehöft mit dem Wohngebäude Judenhof 23. Südöstlich der geplanten Anlage liegt ein landwirtschaftliches Gehöft mit dem Wohngebäude Judenhof 30.

Abbildung 5 zeigt die Lage der geplanten Anlage und der zu prüfenden potenziellen Immissionsorte.



Abbildung 5: Lage der geplanten Photovoltaikanlage Großarmschlag (Modulreihen blau eingezeichnet) und der potenziellen Immissionsorte; Quelle: Kundenmaterial vor dem Hintergrund einer nach geografisch Nord ausgerichteten Luftbildkarte aus Bing Maps

Das Baufeld liegt auf hügeligem Gelände und schließt die Kuppe des Hügels Scheibenberg mit ein. Das Gelände steigt dabei von 685 m ü. NN am südöstlichen Rand des Baufelds bis auf 700 m ü. NN auf der am östlichen Rand des Baufelds gelegenen Hügelkuppe und fällt zum nordöstlichen Rand des Baufelds auf 695 m ü. NN. Von West nach Ost steigt das Gelände von 683 m Richtung Scheibenberg an. Der Verlauf der Höhenlinien in Abbildung 6 zeigt, dass die Modulreihen im südlichen Bereich fast parallel zu den Höhenlinien und damit ohne oder mit nur geringer seitlicher Tischneigung errichtet werden. Im mittleren und nördlichen Bereich verläuft das Gelände nach Osten hin ansteigend, so dass eine maximale seitliche Tischneigung von bis zu 2° zu berücksichtigen ist.

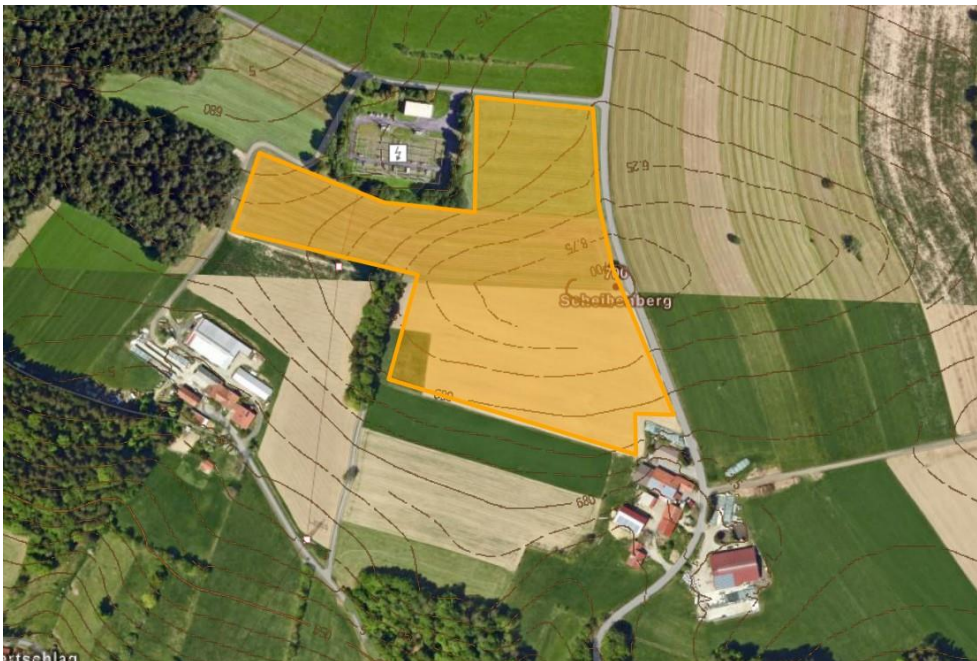


Abbildung 6: Höhenprofil des Baufelds mit Höhenlinien im 1,25 m Abstand; Quelle: Kundenmaterial

4.2 PV-Anlage

Der vorläufige Belegungsplan sieht ein größeres östliches Hauptfeld und ein kleineres nordwestliches Teilfeld vor. Die Module des Hauptfeldes sollen lt. Bebauungsplan mit einer Ausrichtung zwischen 155° und 205° Süd errichtet werden. Der vorläufige Bebauungsplan sieht für die Module des Hauptfeldes eine Ausrichtung von $185,3^\circ$ ($5,3^\circ$ nach Solardiktion) vor. Die Module des westlichen Teilfelds soll mit einer Ausrichtung von $197,7^\circ$ ($17,7^\circ$ nach Solardiktion) nach Süden ausgerichtet werden. Die Modulneigung darf zwischen 15° und 25° betragen. Die Moduloberkanten dürfen maximal 3,5 m über dem Baugrund liegen.

Die Berechnungen erfolgen im ersten Schritt unter der Annahme, dass alle Tischreihen auf ebenem Gelände errichtet werden. Anschließend wird geprüft, ob die Berücksichtigung der maximalen seitlichen Tischneigungen die Ergebnisse der Reflexionsberechnungen insoweit verändert, dass es die Bewertung des Reflexionsgeschehens beeinflusst. Die Berechnungen werden für eine Modulneigung von 15° und 25° durchgeführt.

4.3 Gemeindeverbindungsstraße

Die Gemeindeverbindungsstraße läuft in nord-nordöstlicher Richtung (340°) mit einem Abstand von 5 m am östlichen Rand des Baufelds der geplanten PV-Anlage vorbei. Die Straße verläuft bis zur Kuppe des Scheibenberg ansteigend und danach mit Gefälle und einer leichten Rechtskurve weiter in Richtung Großarmschlag.



Es ist zu prüfen, ob die geplante PV-Anlage Sonnenlicht in das Blickfeld der Verkehrsteilnehmer reflektieren kann und ob dadurch eine Gefährdung des Straßenverkehrs verursacht werden kann.

4.4 Wohngebäude

Das Wohngebäude des südwestlich der geplanten PV-Anlage gelegenen Gehöfts Judenhof 23 ist mehr als 120 m von den nächstgelegenen Modulen entfernt und liegt damit nach den Bestimmungen der LAI-Richtlinie zur Messung und Beurteilung von Lichtimmissionen außerhalb des Bereichs für den eine Berechnung der Lichtimmissionen erforderlich ist.

Das Wohngebäude des Gehöfts Judenhof 30 liegt 60 m von den nächstgelegenen Modulen entfernt. Der Baugrund des Gebäudes liegt mit einer Höhe von 676,5 m unterhalb der tiefstgelegenen Modulreihe.



Abbildung 7: Blick auf das Gehöft Judenhof 30 aus nordwestlicher Richtung vom südlichen Rand des Baufelds der geplanten PV-Anlage; Quelle: Kundenmaterial

Es ist zu prüfen, ob die Reflexionen der geplanten PV-Anlage zu unzumutbaren Lichtimmissionen für die Bewohner des Wohngebäudes führen können.



5 Berechnungen

5.1 Methodik der Berechnung

5.1.1 Geometrische Aspekte

Die Reflexionsberechnung erfolgt nach dem Reflexionsgesetz für ideal gerichtete Reflexion (Einfallswinkel = Ausfallswinkel). Jedem Einfallswinkel des Sonnenlichts entspricht genau ein Ausfallswinkel reflektierter Strahlung bei gegebener reflektierender Ebene. Abbildung 8 zeigt die geometrischen Beziehungen einschließlich des Abstandswinkels zwischen den Blickrichtungen zur Sonne und dem Reflexionspunkt.

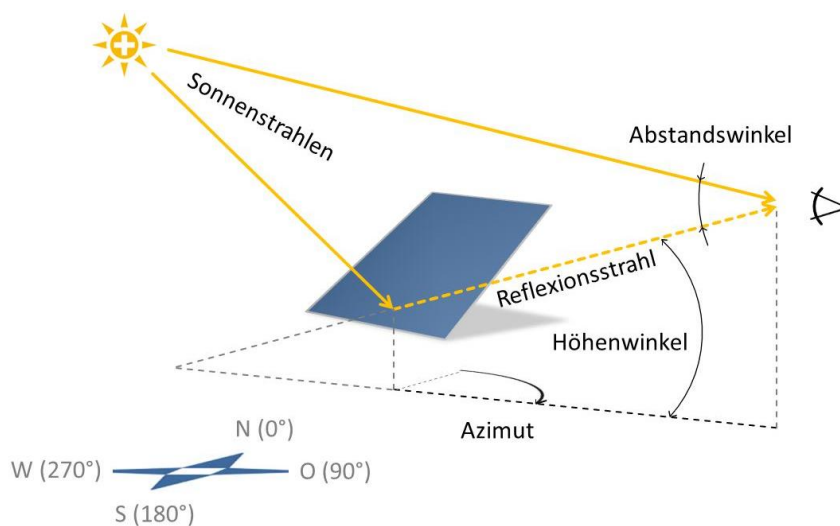


Abbildung 8: Darstellung des Reflexionsstrahls anhand von Azimut und Höhenwinkel wie in den Berechnungen verwendet und des Abstandswinkels zwischen den Blickrichtungen zur Sonne und zum Reflexionspunkt

Abbildung 9 zeigt, wie die Höhenwinkel zwischen Reflexionspunkt und Immissionsort variieren können. Bei Gebäuden werden die oberen und unteren Fensterkanten berücksichtigt. Im Straßenverkehr wird die minimale Augenhöhe mit 1 m und die maximale mit 3 m über Fahrbahnhöhe angesetzt.

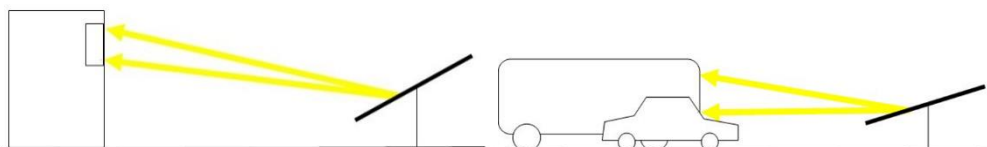


Abbildung 9: Beispiel für Bandbreite möglicher Höhenwinkel bei Gebäuden (links) und im Straßenverkehr (rechts)



5.1.2 Allgemeine Reflexionsdiagramme

Der Belegungsplan der geplanten Solaranlage wird georeferenziert und auf eine nach geographisch Nord ausgerichtete Karte in winkeltreuer Lambert-Kegelprojektion übertragen. 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 Jackerath (geografische Länge 13,31°, Breite 54,36°) in 6-minütiger Auflösung für 12 Tage im Jahr vorgenommen (jeweils für den 21. jeden Monats)⁵. Die sich daraus ergebenden Reflexionsrichtungen werden berechnet und anschaulich in einem Reflexionsdiagramm aus Sicht eines beliebigen Reflexionspunktes dargestellt. Alle möglichen Reflexionsrichtungen werden dabei durch Azimut (x-Wert) und Höhenwinkel (y-Wert) beschrieben.

Abbildung 10 zeigt die physikalisch möglichen Reflexionsrichtungen für die mit einer Neigung von 15° nach Süden ausgerichteten Module des Hauptfelds der Anlage. Unter Berücksichtigung einer seitlichen Tischneigung von 2° ergibt sich eine reale solare Ausrichtung von 12,9°. Potenziell störende Reflexionen mit negativen (nach unten gerichteten) oder gering positiven Höhenwinkeln können in einem östlichen Azimutbereich von 105° bis 120° und einem westlichen von 245° bis 275° auftreten.

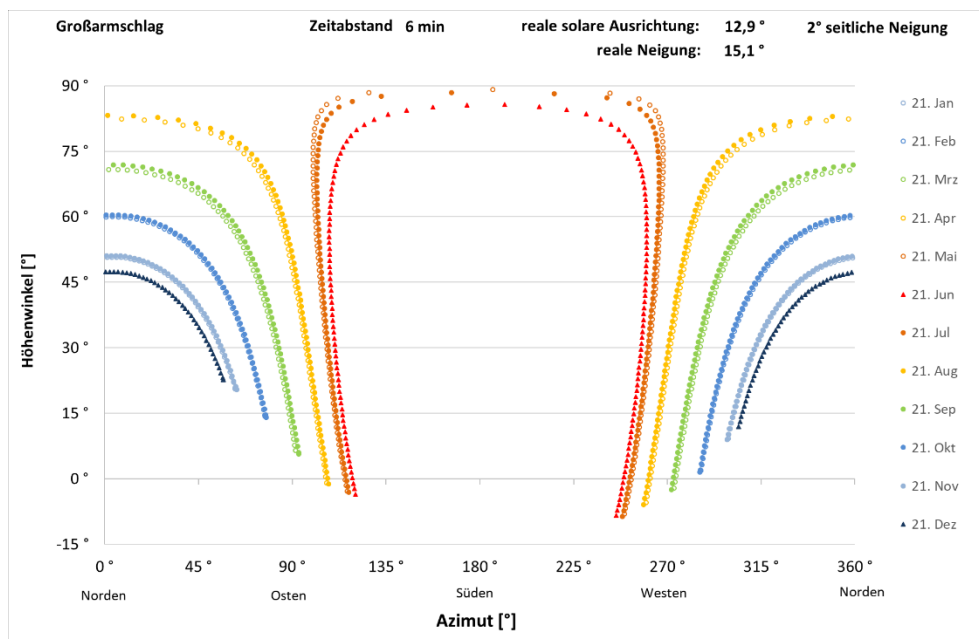


Abbildung 10: Reflexionsdiagramm aus Sicht eines beliebigen Reflexionspunktes von Modulen mit südlicher Ausrichtung (12,9° reale solare Ausrichtung) und 15° Planneigung am Standort der geplanten Anlage mit waagrecht aufgetragenen Azimut- und senkrecht aufgetragenen Höhenwinkeln

⁵ Berechnung nach Eicker 2001



5.1.3 Modellierung der Reflexions- und Blickpunkte

Für die Berechnung der potenziellen Blendwirkungen werden die Koordinaten der relevanten Immissionsorte und die der PV-Module auf der Karte ermittelt und als Reflexions-, bzw. Blickpunkte in das Berechnungstool übernommen. Aus den Daten wird ein Modell im dreidimensionalen, kartesischen Koordinatensystem mit der Einheit Meter erstellt. Die positive y-Achse zeigt Richtung Norden, die positive x-Achse Richtung Osten und die z-Koordinate stellt die Höhe dar. Die Reflexionen werden durch ihre Winkel (Azimut in der x-y-Ebene und Höhenwinkel zwischen x-y-Ebene und z-Achse gemessen) charakterisiert. 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. Der Nullpunkt des Koordinatensystems kann dementsprechend frei gewählt werden. Im Rahmen dieser Betrachtung wird er südwestlich der Anlage gewählt, damit alle Koordinaten positive Werte erhalten.

Die möglichen Lichtimmissionen auf die Fahrzeugführenden auf der Gemeindeverbindungsstraße werden für den aus südlicher Richtung kommenden Verkehr in Richtung Großarmschlag untersucht. Abbildung 11 zeigt die Lage der dafür modellierten Blickpunkte.

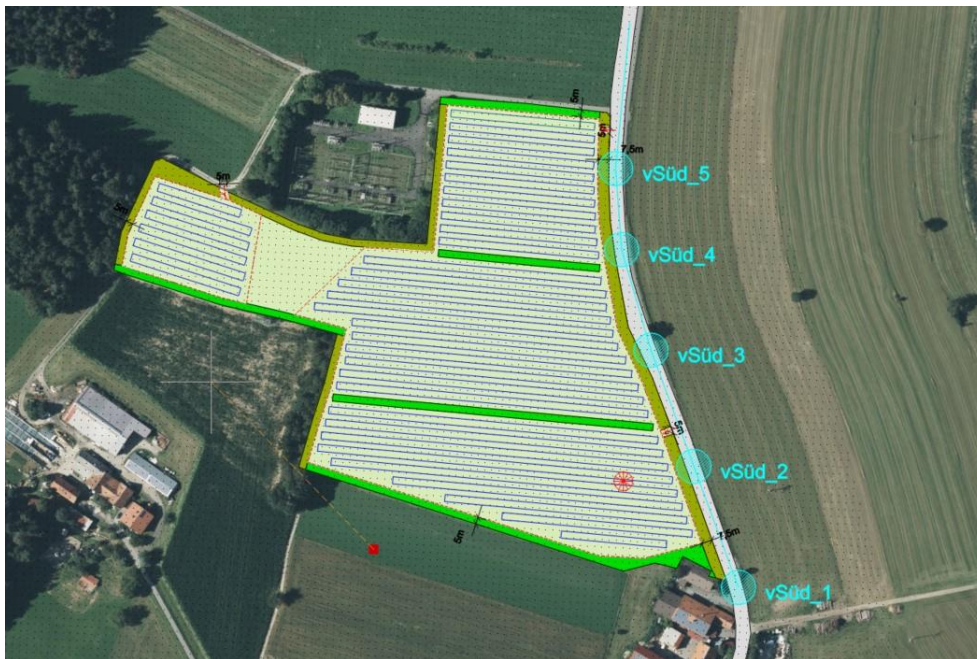


Abbildung 11: Blickpunkte (türkise Kreise) für die Prüfung auf Blendung durch Lichtreflexionen der PV-Anlage

Für das Wohngebäude Judenhof 30 wird exemplarisch ein Fenster im 1. OG modelliert. Die Höhe und Breite des Fensters beträgt jeweils 1,5 m. Die Fensterunterkante liegt mit 680,5 m ü. NN in 4 m Höhe.

Für die PV-Anlage werden das östliche Haupt- und das westliche Nebefeld mit den Außenpunkten jeder Tischreihe des vorläufigen Belegungsplan modelliert und um weitere Punkte für die erste und



letzte Reihe ergänzt. Für das Hauptfeld werden eine weitere Reihe im südlichen Bereich und die höchstliegenden Tischreihe mit zusätzlichen Reflexionspunkten modelliert. Abbildung 12 zeigt die Lagebeziehungen der modellierten Reflexions- und Blickpunkte in der x-y-Ebene. Die Modulunterkanten werden mit 80 cm und die Oberkanten mit 3,5 m Höhe angesetzt.

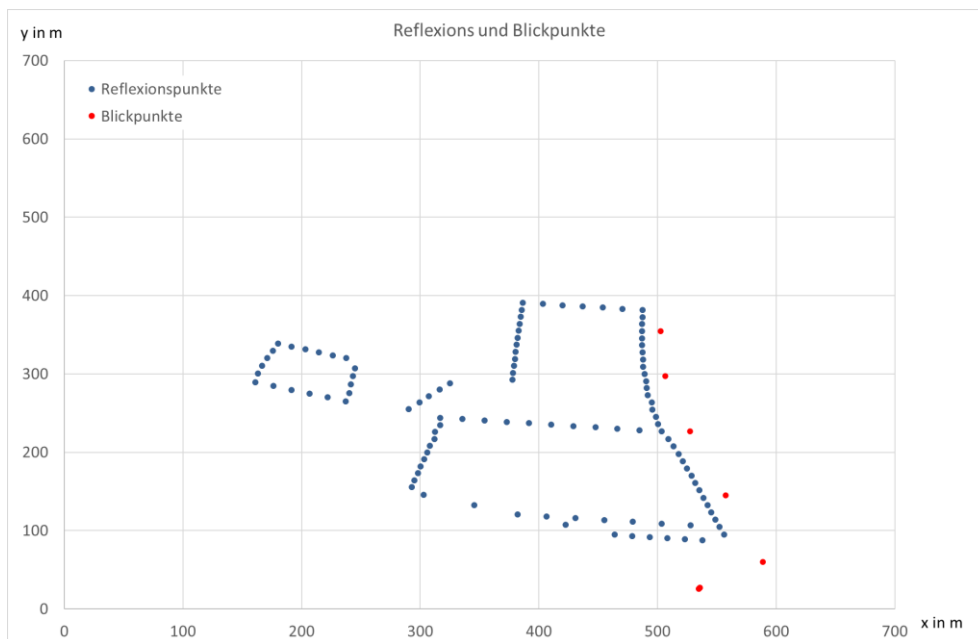


Abbildung 12: Übersicht der modellierten Reflexions- (blau) und Blickpunkte (rot) in der x-y-Ebene

5.1.4 Reflexionsdiagramme mit Blickbeziehungen

Das Reflexionsdiagramm gibt für einen beliebigen Punkt der PV-Anlage die möglichen Reflexionsrichtungen im Jahresverlauf in Kugelkoordinaten mit Azimut- und Höhenwinkeln an und dient zum Abgleich, ob ein Reflexionspunkt im Jahresverlauf zu einem Blickpunkt Reflexionen senden kann. Dazu werden die Kugelkoordinaten Azimut- und Höhenwinkel eines Blickpunkts aus Sicht des untersuchten Reflexionspunktes in das Reflexionsdiagramm eingetragen.

Jeder einzelne Punkt der Moduloberfläche weist die gleiche Reflexionscharakteristik auf, aber aus Sicht jedes einzelnen Emissionspunktes unterscheiden sich Azimut- und Höhenwinkel zu ein und demselben Immissionsort. Um zu einem aussagekräftigen Diagramm zu gelangen, werden die Kugelkoordinaten eines Blickpunkts aus Sicht aller modellierten Punkte der PV-Anlage berechnet und in das Reflexionsdiagramm eingetragen. Die minimale und maximale Augenhöhe der Fahrzeugführenden werden dabei mit „min“ und „max“ gekennzeichnet.

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).



5.1.5 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.



5.2 Berechnungsergebnisse Straßenverkehr

5.2.1 Blickpunkt vSüd_1

Die Berechnungsergebnisse zeigen, dass das Blickfeld der Fahrzeugführenden aus Richtung Süden am ersten modellierten Blickpunkt zu jedem Zeitpunkt frei von Sonnenlichtreflexionen bleibt. Die Reflexionsdiagramme in Abbildung 13 veranschaulichen die Berechnungsergebnisse für eine Modulneigung von 15° ohne und mit seitliche Tischneigung.

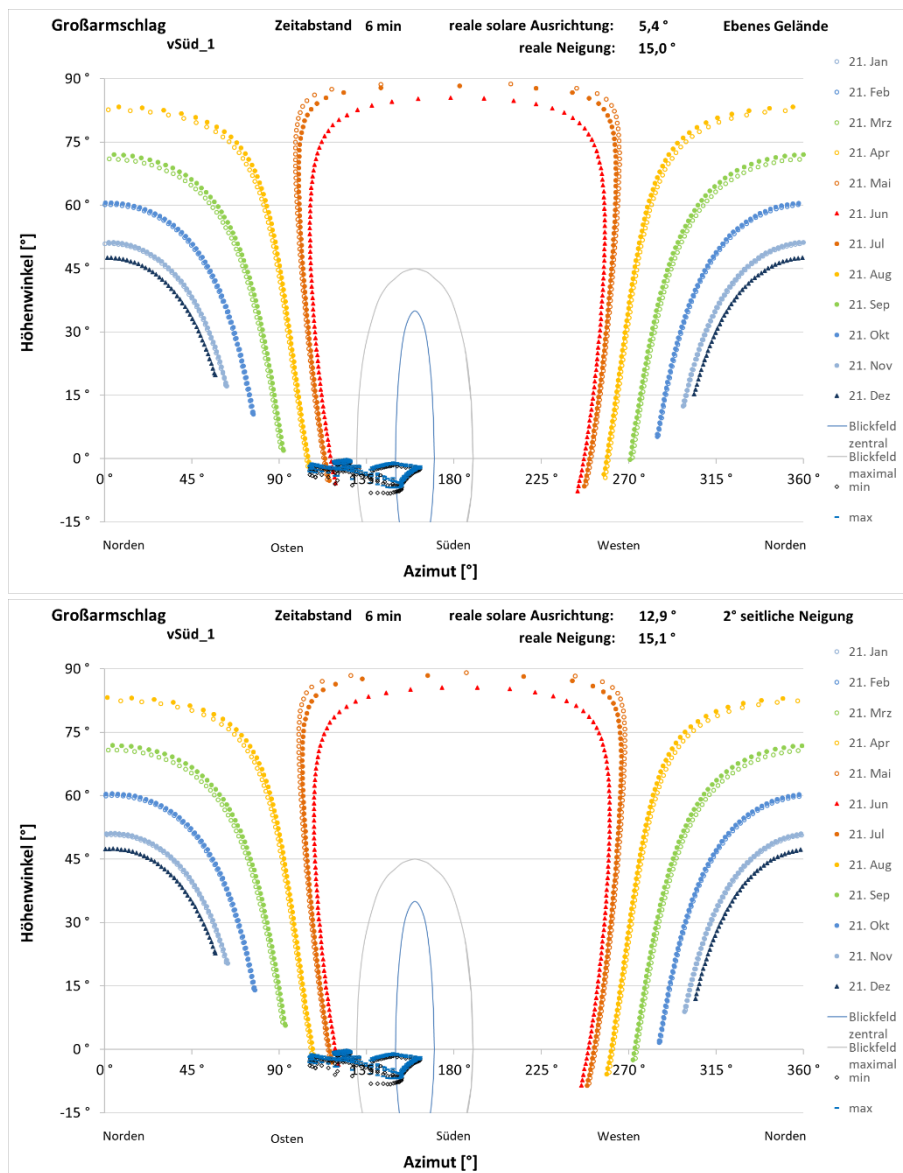


Abbildung 13: Reflexionsdiagramme für eine Neigung von 15° ohne (obere Grafik) und mit (untere Grafik) seitlicher Tischneigung am Blickpunkt vSüd_1



Die Reflexionsdiagramme in Abbildung 14 veranschaulichen die Berechnungsergebnisse für eine Modulneigung von 25° ohne und mit seitlicher Tischneigung. Das Blickfeld der Fahrzeugführenden bleibt zu jedem Zeitpunkt frei von Reflexionen.

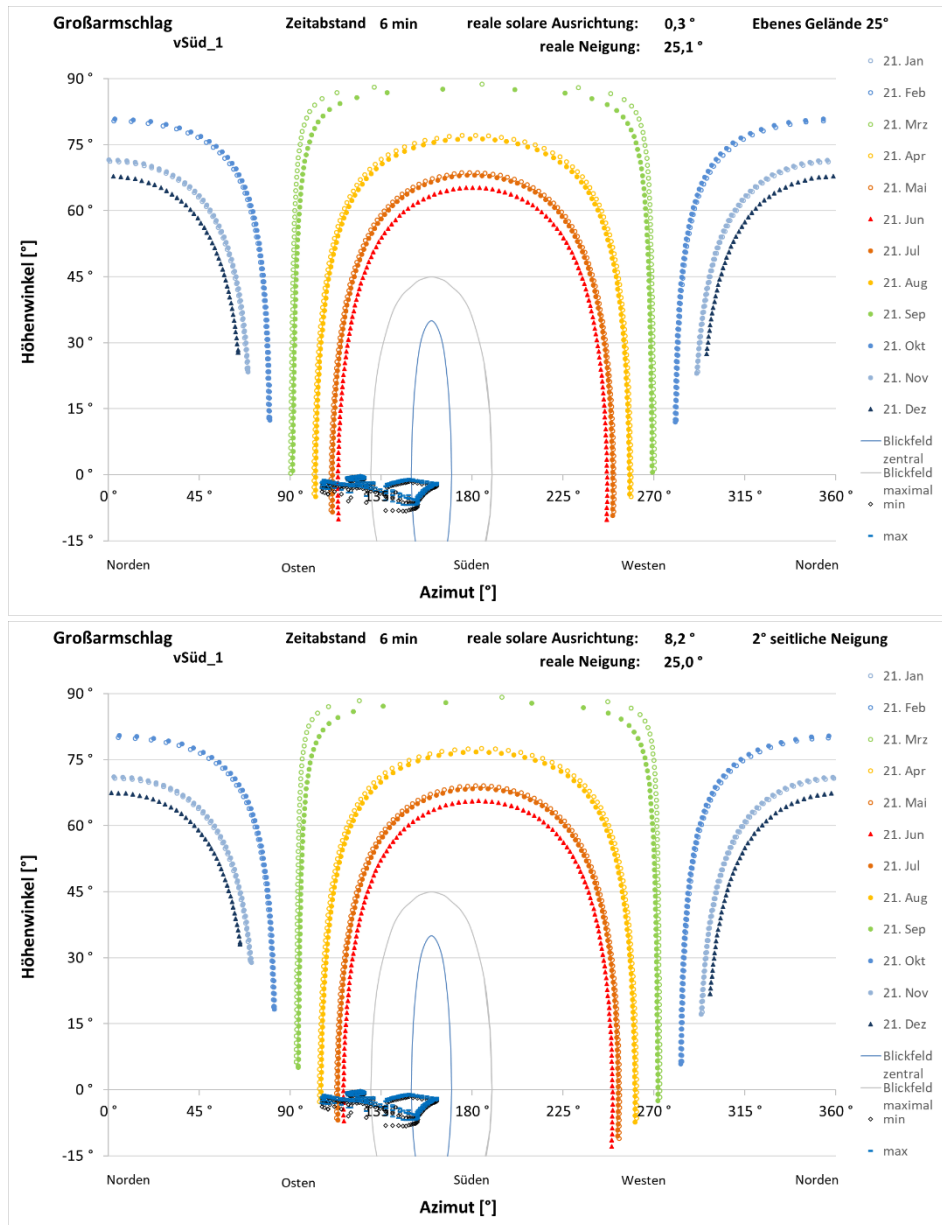


Abbildung 14: Reflexionsdiagramme für eine Neigung von 25° ohne (obere Grafik) und mit (untere Grafik) seitlicher Tischneigung am Blickpunkt vSüd_1



5.2.2 Blickpunkt vSüd_2

Auch am Blickpunkt vSüd_2 bleibt das Blickfeld der Verkehrsteilnehmer zu jedem Zeitpunkt im Jahr frei von Sonnenlichtreflexionen der geplanten PV-Anlage. Abbildung 15 und Abbildung 16 veranschaulichen die Berechnungsergebnisse für die unterschiedlichen Modulneigungen.

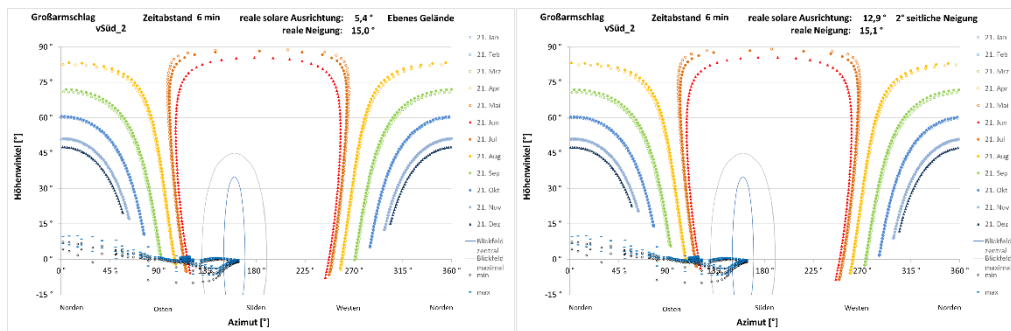


Abbildung 15: Reflexionsdiagramme für eine Neigung von 15° ohne (linke Grafik) und mit (rechte Grafik) seitlicher Tischneigung am Blickpunkt vSüd_2

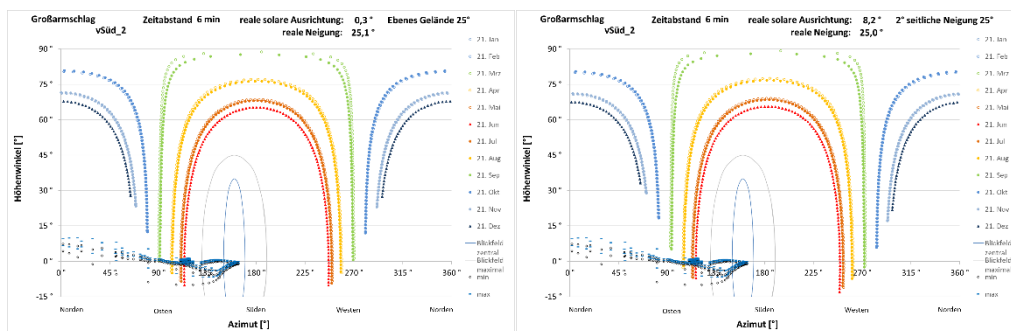


Abbildung 16: Reflexionsdiagramme für eine Neigung von 25° ohne (linke Grafik) und mit (rechte Grafik) seitlicher Tischneigung am Blickpunkt vSüd_2

5.2.3 Blickpunkt vSüd_3

Am Blickpunkt vSüd_3 bleibt das Blickfeld der Verkehrsteilnehmer zu jedem Zeitpunkt im Jahr frei von Sonnenlichtreflexionen der geplanten PV-Anlage. Abbildung 17 und Abbildung 18 veranschaulichen die Berechnungsergebnisse für die unterschiedlichen Modulneigungen.

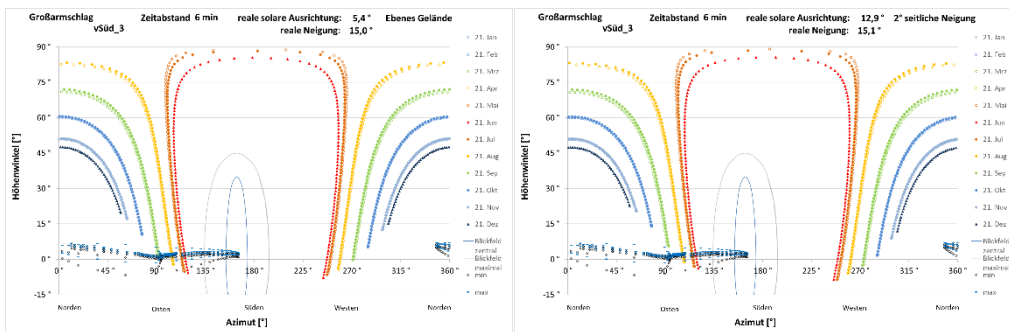


Abbildung 17: Reflexionsdiagramme für eine Neigung von 15° ohne (linke Grafik) und mit (rechte Grafik) seitlicher Tischneigung am Blickpunkt vSüd_3

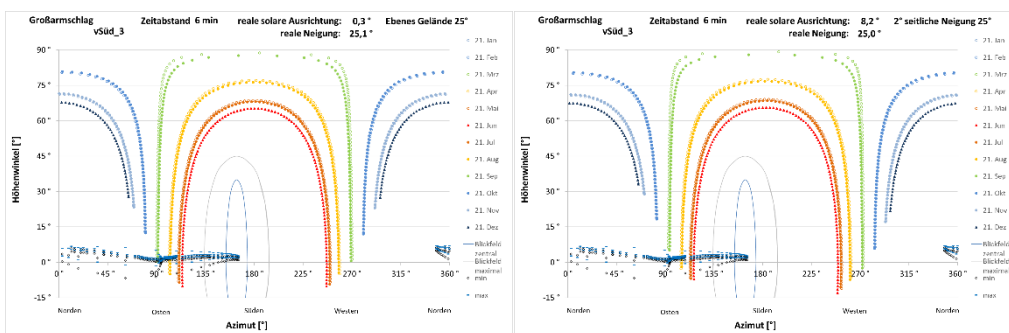


Abbildung 18: Reflexionsdiagramme für eine Neigung von 25° ohne (linke Grafik) und mit (rechte Grafik) seitlicher Tischneigung am Blickpunkt vSüd_3

5.2.4 Blickpunkt vSüd_4

Nach dem Durchfahren der Kurve wandert das Blickfeld der Verkehrsteilnehmer etwas nach Osten und damit weg von der Anlage. Am Blickpunkt vSüd_4 bleibt das Blickfeld der Verkehrsteilnehmer zu jedem Zeitpunkt im Jahr frei von Sonnenlichtreflexionen der geplanten PV-Anlage. Abbildung 19 und Abbildung 20 veranschaulichen die Berechnungsergebnisse für die unterschiedlichen Modulneigungen.

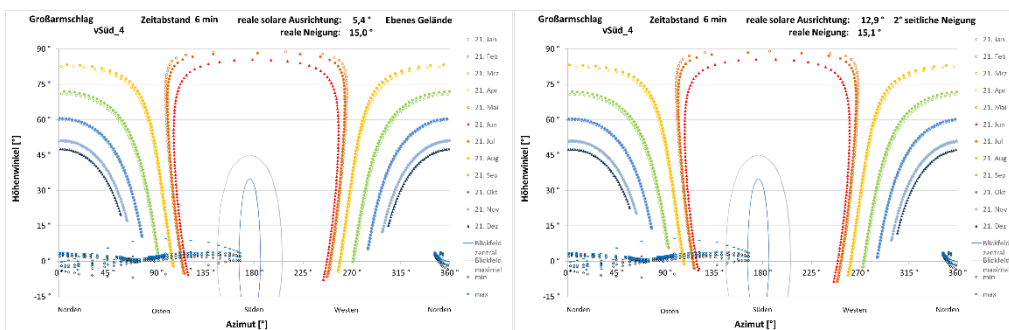


Abbildung 19: Reflexionsdiagramme für eine Neigung von 15° ohne (linke Grafik) und mit (rechte Grafik) seitlicher Tischneigung am Blickpunkt vSüd_4

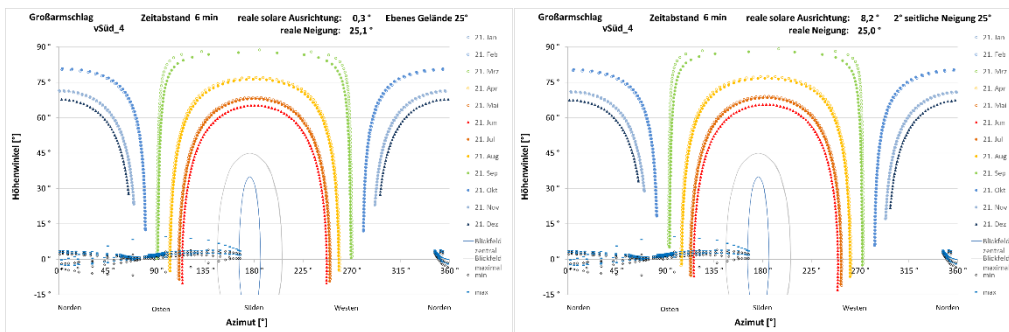


Abbildung 20: Reflexionsdiagramme für eine Neigung von 25° ohne (linke Grafik) und mit (rechte Grafik) seitlicher Tischneigung am Blickpunkt vSüd_4

5.2.5 Blickpunkt vSüd_5

Auch am Blickpunkt vSüd_5 bleibt das Blickfeld der Verkehrsteilnehmer zu jedem Zeitpunkt im Jahr frei von Sonnenlichtreflexionen der geplanten PV-Anlage. Abbildung 21 und Abbildung 22 veranschaulichen die Berechnungsergebnisse für die unterschiedlichen Modulneigungen.

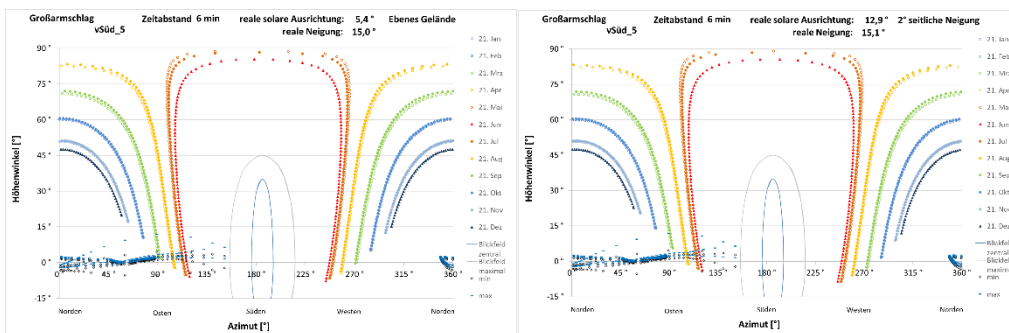


Abbildung 21: Reflexionsdiagramme für eine Neigung von 15° ohne (linke Grafik) und mit (rechte Grafik) seitlicher Tischneigung am Blickpunkt vSüd_5

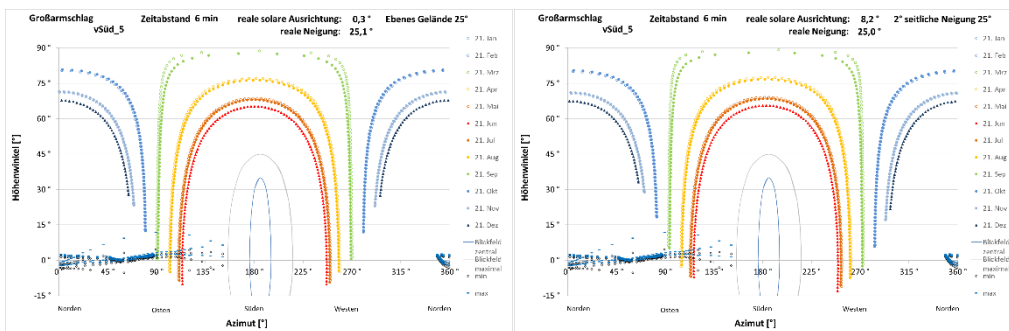


Abbildung 22: Reflexionsdiagramme für eine Neigung von 25° ohne (linke Grafik) und mit (rechte Grafik) seitlicher Tischneigung am Blickpunkt vSüd_5



5.3 Berechnungsergebnisse Wohngebäude

Die Berechnungen ergeben, dass von Ende Mai bis Mitte Juli für weniger als 5 Minuten täglich abends Sonnenlichtreflexionen der geplanten Anlage auf das modellierte Fenster im 1. OG des Wohngebäudes Judenhof 30 treffen können. Der Abstandswinkel der Reflexionen zur Sonne beträgt in diesen Zeiträumen deutlich weniger als 10°. Abbildung 23 veranschaulicht die Berechnungsergebnisse für Module mit einer Neigung von 15° mit und ohne seitliche Tischneigung.

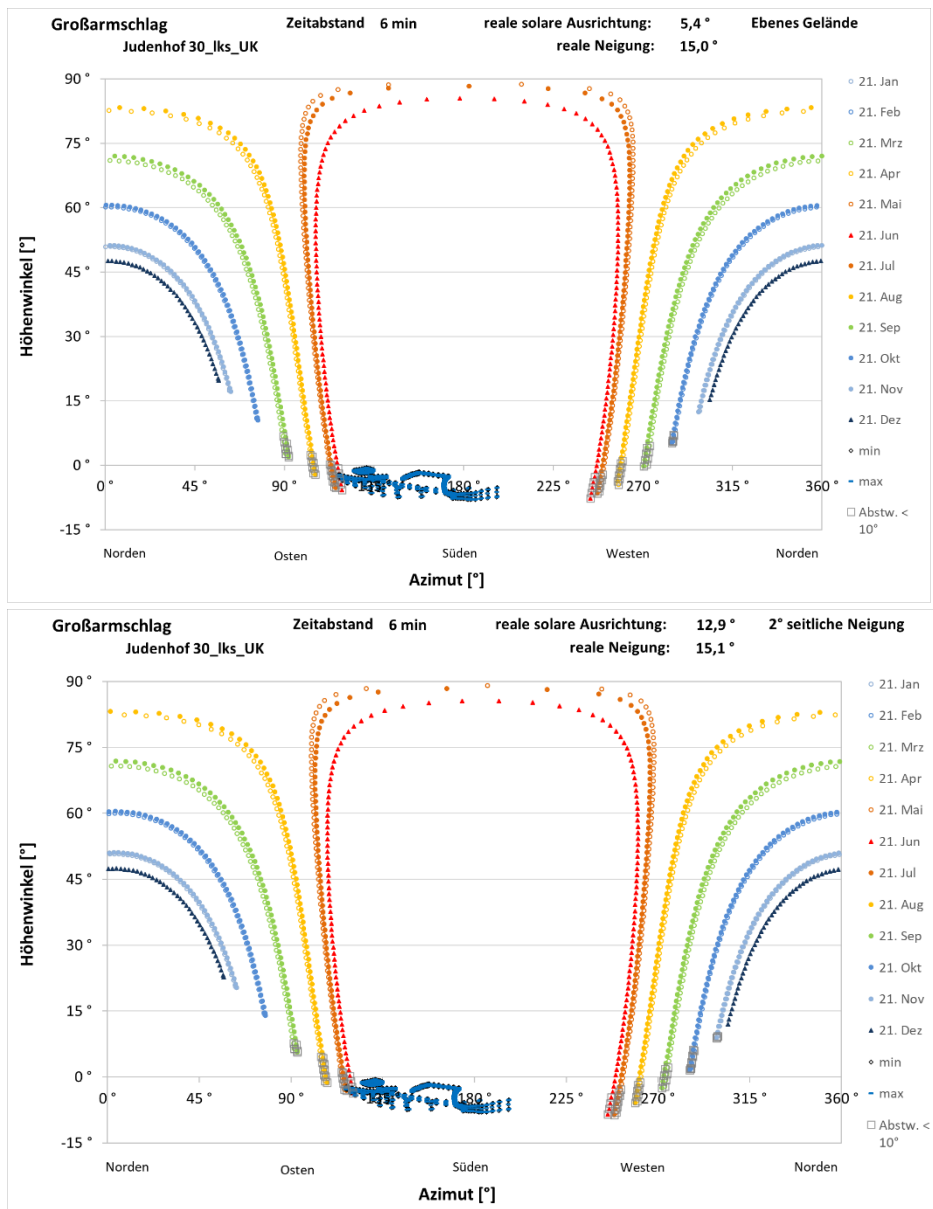


Abbildung 23: Reflexionsdiagramme für das Fenster des Wohngebäudes Judenhof 30 für eine Modulneigung von 15° ohne (obere Grafik) und mit (untere Grafik) seitlicher Tischneigung



Die Reflexionsdiagramme in Abbildung 24 zeigen, dass bei einer Modulneigung von 25° noch weniger Reflexionen auf das Fenster fallen können.

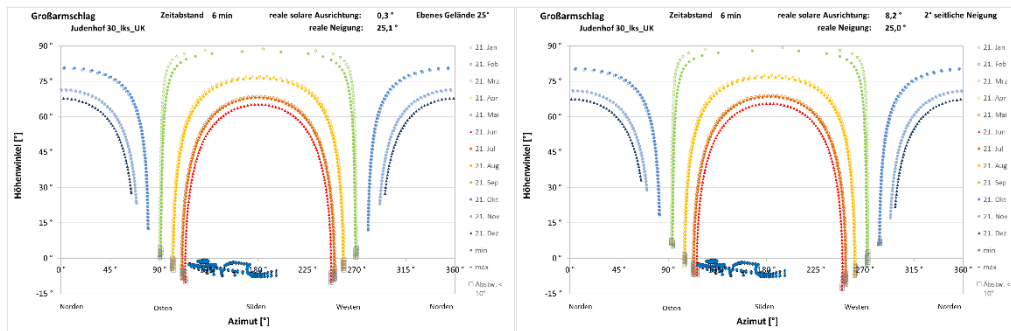


Abbildung 24: Reflexionsdiagramme für das Fenster des Wohngebäudes Judenhof 30 für eine Modulneigung von 25° ohne (linke Grafik) und mit (rechte Grafik) seitlicher Tischneigung



5.4 Berechnungsergebnisse für abweichende Ausrichtungen der PV-Anlage

5.4.1 Straßenverkehr

Um die Auswirkungen einer veränderten Ausrichtung der PV-Anlage innerhalb der vorgegebenen Grenzen von 155° bis 205° zu prüfen, wird der Blickpunkt vSüd_2 ausgewählt, an dem die potenziellen Sonnenlichtreflexionen bei einer Ausrichtung entsprechend dem vorläufigen Belegungsplan den geringsten Abstand zum Blickfeld der Fahrzeugführenden auf der Gemeindeverbindungsstraße haben.

Abbildung 25 veranschaulicht die Berechnungsergebnisse für eine Ausrichtung der Anlage auf 155° Süd mit einer Modulneigung von 15° und ohne seitliche Tischneigung. Das Blickfeld der Verkehrsteilnehmer bleibt für jeden Zeitpunkt im Jahr frei von Reflexionen. Der Abstand der Reflexionen zum Rand des Blickfelds beträgt 20° und ist damit größer als die Veränderungen durch eine seitliche Tischneigung bis 2° oder einen Neigungswinkel von 25°.

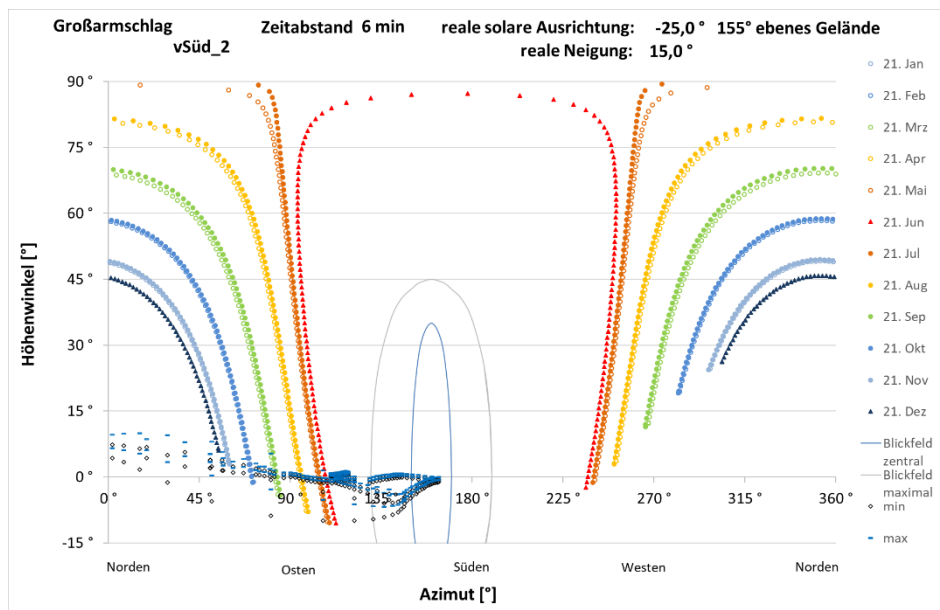


Abbildung 25: Reflexionsdiagramme für eine Ausrichtung der Modulreihen nach 155° Süd, einer Modulneigung von 15° und ohne seitliche Tischneigung am Blickpunkt vSüd_2

Abbildung 26 veranschaulicht die Berechnungsergebnisse für eine Ausrichtung auf 205° Süd mit einer Modulneigung von 15° und ohne seitliche Tischneigung. Das Blickfeld der Verkehrsteilnehmer bleibt für jeden Zeitpunkt im Jahr frei von Reflexionen. Der Abstand der Reflexionen zum Rand des Blickfelds beträgt 6° und ist damit größer als die Veränderungen durch eine seitliche Tischneigung bis 2° oder einen Neigungswinkel von 25°.

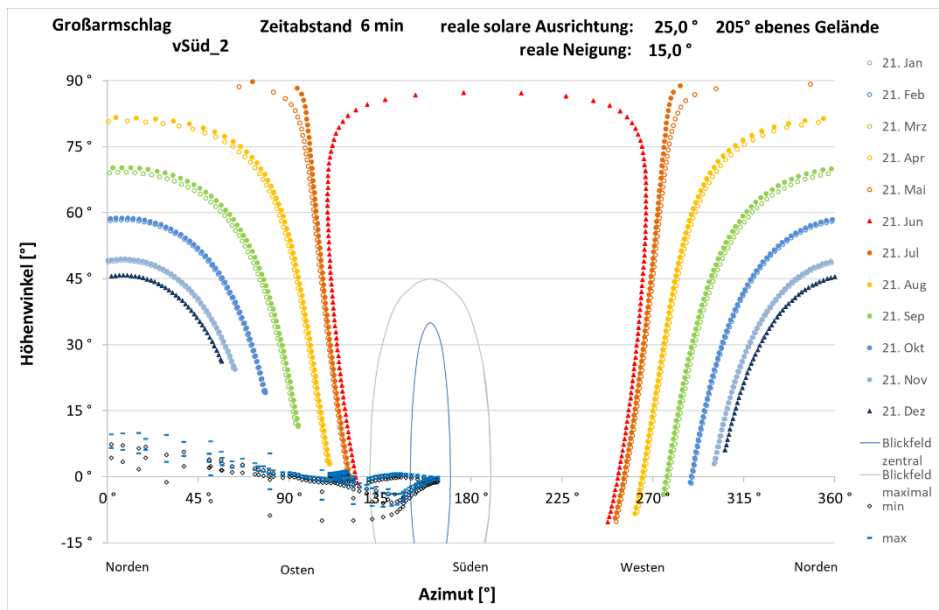


Abbildung 26: Reflexionsdiagramme für eine Ausrichtung der Modulreihen nach 205° Süd, einer Modulneigung von 15° und ohne seitliche Tischneigung am Blickpunkt vSüd_2

5.4.2 Wohngebäude

Die Berechnungen für die Auslegungsgrenzen der Ausrichtung der Module werden für eine Modulneigung von 15° und ohne seitliche Tischneigung durchgeführt. Die Reflexionsdiagramme in Abbildung 27 zeigen, dass sowohl bei einer Ausrichtung von 155° als auch bei einer Ausrichtung von 205° zu keinem Zeitpunkt im Jahr Sonnenlichtreflexionen mit einem Abstandswinkel zur Sonne >10° auf das Fenster treffen können.

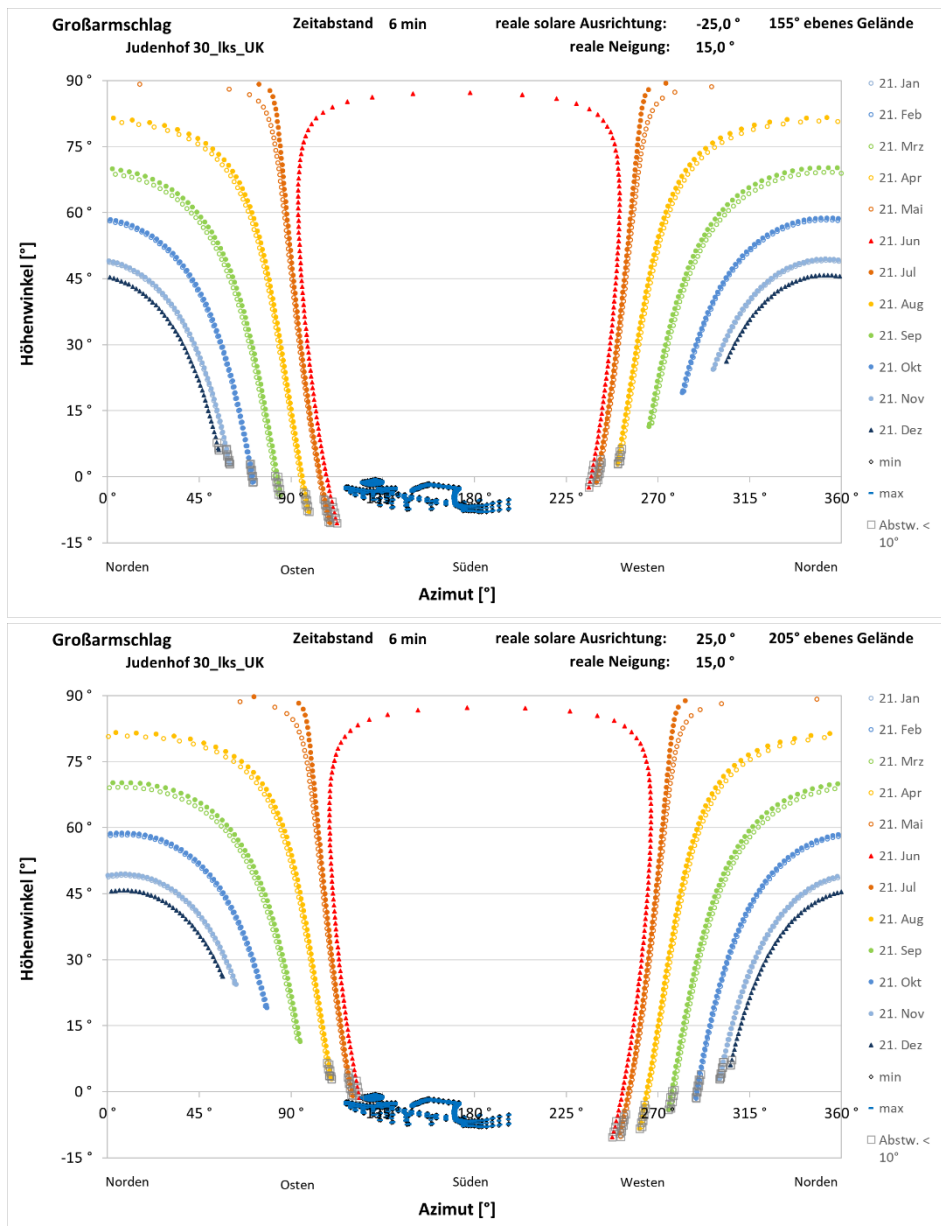


Abbildung 27: Reflexionsdiagramme für das Fenster des Wohngebäudes Judenhof 30 für eine Ausrichtung der Module auf 155° Süd (obere Grafik) und 205° Süd (untere Grafik) mit einer Modulneigung von 15° ohne seitliche Tischneigung



6 *Bewertung der Blendrisiken*

6.1 *Straßenverkehr*

Das maximale Gebrauchsblickfeld der Fahrzeugführenden auf der Gemeindeverbindungsstraße Richtung Großarmschlag bleibt für alle Auslegungsvarianten in Bezug auf Ausrichtung und Modulneigung zu jedem Zeitpunkt im Jahr frei von Sonnenlichtreflexionen der geplanten Anlage.

6.2 *Wohngebäude*

Die Bewohner des Wohngebäudes Judenhof 30 sind für alle Auslegungsvarianten der geplanten PV-Anlage in Bezug auf Ausrichtung und Modulneigung zu keinem Zeitpunkt im Jahr Lichtimmissionen im Sinne der LAI-Richtlinie ausgesetzt. Die in einigen Auslegungsvarianten auf das Fenster treffenden Sonnenlichtreflexionen haben einen Abstandswinkel zur Sonne von weniger als 10° und sind damit keine anrechenbaren Lichtimmissionen.



7 Verwendete Materialien

7.1 Dokumente vom Auftraggeber

- ▶ Datei „Stadt_Grafenau_Solarpark_Großarmschlag_VEP.dwg“
- ▶ Datei „Stadt_Grafenau_Solarpark_Großarmschlag_BP_VE_1000_2022.09.19.pdf“
- ▶ Datei „Lageplan mit Höhenlinien_Grafenau Großarmschlag_2022.05.24.pdf“
- ▶ Fotodateien mit Blick auf potenzielle Immissionsorte
- ▶ Höhendaten DGM 5 des Bayerischen Landesvermessungsamt vom 13.10.2022 als Datei Grafenau.shp

7.2 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 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





8 *Abbildungsverzeichnis*

Abbildung 1: Lage der geplanten Photovoltaikanlage Großarmschlag (Modulreihen blau eingezeichnet) und der potenziellen Immissionsorte; Quelle: Kundenmaterial vor dem Hintergrund einer nach geografisch Nord ausgerichteten Luftbildkarte aus Bing Maps.....	4
Abbildung 2: Gegenstände auf der Sichtachse zur Blendquelle sind nicht mehr wahrnehmbar.....	8
Abbildung 3: Blickfelder von Tabelle 1; der Achsenschnittpunkt $0^{\circ}/0^{\circ}$ stellt dabei einen Punkt auf der Blickachse dar, auf den die Augen fokussieren, und nicht notwendigerweise einen Punkt auf dem Horizont.....	10
Abbildung 4: Auswirkung des Einfallwinkels auf den Transmissionsgrad für Modulgläser	11
Abbildung 5: Lage der geplanten Photovoltaikanlage Großarmschlag (Modulreihen blau eingezeichnet) und der potenziellen Immissionsorte; Quelle: Kundenmaterial vor dem Hintergrund einer nach geografisch Nord ausgerichteten Luftbildkarte aus Bing Maps.....	13
Abbildung 6: Höhenprofil des Baufelds mit Höhenlinien im 1,25 m Abstand; Quelle: Kundenmaterial	14
Abbildung 7: Blick auf das Gehöft Judenhof 30 aus nordwestlicher Richtung vom südlichen Rand des Baufelds der geplanten PV-Anlage; Quelle: Kundenmaterial.....	15
Abbildung 8: 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 9: Beispiel für Bandbreite möglicher Höhenwinkel bei Gebäuden (links) und im Straßenverkehr (rechts).....	16
Abbildung 10: Reflexionsdiagramm aus Sicht eines beliebigen Reflexionspunktes von Modulen mit südlicher Ausrichtung ($12,9^{\circ}$ reale solare Ausrichtung) und 15° Planneigung am Standort der geplanten Anlage mit waagrecht aufgetragenen Azimut- und senkrecht aufgetragenen Höhenwinkeln.....	17
Abbildung 11: Blickpunkte (türkise Kreise) für die Prüfung auf Blendung durch Lichtreflexionen der PV-Anlage.....	18
Abbildung 12: Übersicht der modellierten Reflexions- (blau) und Blickpunkte (rot) in der x-y-Ebene	19
Abbildung 13: Reflexionsdiagramme für eine Neigung von 15° ohne (obere Grafik) und mit (untere Grafik) seitlicher Tischneigung am Blickpunkt vSüd_1.....	21
Abbildung 14: Reflexionsdiagramme für eine Neigung von 25° ohne (obere Grafik) und mit (untere Grafik) seitlicher Tischneigung am Blickpunkt vSüd_1.....	22



Abbildung 15: Reflexionsdiagramme für eine Neigung von 15° ohne (linke Grafik) und mit (rechte Grafik) seitlicher Tischneigung am Blickpunkt vSüd_2	23
Abbildung 16: Reflexionsdiagramme für eine Neigung von 25° ohne (linke Grafik) und mit (rechte Grafik) seitlicher Tischneigung am Blickpunkt vSüd_2	23
Abbildung 17: Reflexionsdiagramme für eine Neigung von 15° ohne (linke Grafik) und mit (rechte Grafik) seitlicher Tischneigung am Blickpunkt vSüd_3	24
Abbildung 18: Reflexionsdiagramme für eine Neigung von 25° ohne (linke Grafik) und mit (rechte Grafik) seitlicher Tischneigung am Blickpunkt vSüd_3	24
Abbildung 19: Reflexionsdiagramme für eine Neigung von 15° ohne (linke Grafik) und mit (rechte Grafik) seitlicher Tischneigung am Blickpunkt vSüd_4	24
Abbildung 20: Reflexionsdiagramme für eine Neigung von 25° ohne (linke Grafik) und mit (rechte Grafik) seitlicher Tischneigung am Blickpunkt vSüd_4	25
Abbildung 21: Reflexionsdiagramme für eine Neigung von 15° ohne (linke Grafik) und mit (rechte Grafik) seitlicher Tischneigung am Blickpunkt vSüd_5	25
Abbildung 22: Reflexionsdiagramme für eine Neigung von 25° ohne (linke Grafik) und mit (rechte Grafik) seitlicher Tischneigung am Blickpunkt vSüd_5	25
Abbildung 23: Reflexionsdiagramme für das Fenster des Wohngebäudes Judenhof 30 für eine Modulneigung von 15° ohne (obere Grafik) und mit (untere Grafik) seitlicher Tischneigung	26
Abbildung 24: Reflexionsdiagramme für das Fenster des Wohngebäudes Judenhof 30 für eine Modulneigung von 25° ohne (linke Grafik) und mit (rechte Grafik) seitlicher Tischneigung.....	27
Abbildung 25: Reflexionsdiagramme für eine Ausrichtung der Modulreihen nach 155° Süd, einer Modulneigung von 15° und ohne seitliche Tischneigung am Blickpunkt vSüd_2.....	28
Abbildung 26: Reflexionsdiagramme für eine Ausrichtung der Modulreihen nach 205° Süd, einer Modulneigung von 15° und ohne seitliche Tischneigung am Blickpunkt vSüd_2.....	29
Abbildung 27: Reflexionsdiagramme für das Fenster des Wohngebäudes Judenhof 30 für eine Ausrichtung der Module auf 155° Süd (obere Grafik) und 205° Süd (untere Grafik) mit einer Modulneigung von 15° ohne seitliche Tischneigung.....	30

9 *Tabellenverzeichnis*

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

