



Maibach & Ronig
Architekt + Beratender Ingenieur
PartGmbB

Fachgutachten zur Bewertung der Blendwirkung durch Reflexion an PV-Modulen (Blendgutachten)

für die

FF-PVA Reudelsterz, 56727 Reudelsterz





Angaben zur Auftragsbearbeitung

Auftraggeber: Enverio GmbH
Hinter der Jungenstraße 22
56218 Mülheim-Kärlich

Auftragsnummer: MR24_PV012

Auftragnehmer: Maibach & Ronig Architekt + Beratender Ingenieur
PartGmbB
Karthäuserhofweg 31
56075 Koblenz

Projektleiter: Herr Steven Maibach, M.Eng.
Mobil: 0172/91 50 930
E-Mail: steven.maibach@mr-ai.de

Herr Peter Ronig, M.Sc., M.BC.
Mobil: 0171/69 70 630
E-Mail: peter.ronig@mr-ai.de

Bearbeitungsstand	Datum	Änderung
-------------------	-------	----------

Erstellt am:	18.06.2024
--------------	------------

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung.....	1
2.	Grundlagen der Strahlentheorie.....	3
2.1.	Geometrische Reflexionssituation	3
2.2.	Geometrische Reflexionssituation	5
2.3.	Technische Parameter der PV-Anlage.....	5
3.	Beurteilungsgrundlagen	8
3.1.	Bewertungsgrundlage	8
3.2.	Simulationskriterien und Modellierung	10
3.3.	Geländemodell.....	11
4.	Beschreibung der Umgebung.....	13
5.	Beschreibung der PV-Anlage.....	14
6.	Zu betrachtende Immissionsorte	17
6.1.	Die Kürrenberger Straße	18
6.2.	Die Straße Am Hochgarten	18
6.3.	Wohnbebauung an der Kürrenberger Straße.....	18
6.4.	Wohnbebauung an der Straße Am Hochgarten.....	18
7.	Mögliche Maßnahmen zur Verminderung und Vermeidung von Blendwirkungen.....	19
7.1.	Auswahl und Anordnung von Maßnahmen zur Minderung oder Vermeidung von Blendungen.....	19
8.	Simulationsergebnisse	22
8.1.	Berechnungsergebnis für die Kürrenberger Straße	24
8.2.	Berechnungsergebnis für die Straße Am Hochgarten.....	24
8.3.	Wohnbebauung an der Kürrenberger Straße.....	25
8.4.	Wohnbebauung an der Straße Am Hochgarten.....	26
9.	Maßnahmen zur Gefahrenabwehr der Verkehrsteilnehmer	28
10.	Fazit.....	28
11.	Literaturverzeichnis	29

1. Einleitung

Im folgenden Gutachten wird die durch Reflexionen verursachte Lichtemission einer PV-Freiflächenanlage (- nachfolgend FF-PVA genannt -) und die damit einhergehende und durch Blendung ausgelöste Beeinträchtigung der Umgebung untersucht.

Gelegen ist die FF-PVA in der Gemarkung Reudelsterz im Landkreis Mayen-Koblenz in Rheinland-Pfalz. Reudelsterz gehört der Verbandsgemeinde Vordereifel an, die ihren Verwaltungssitz in Mayen hat. Die Lage der FF-PVA ist in Abbildung 1 dargestellt

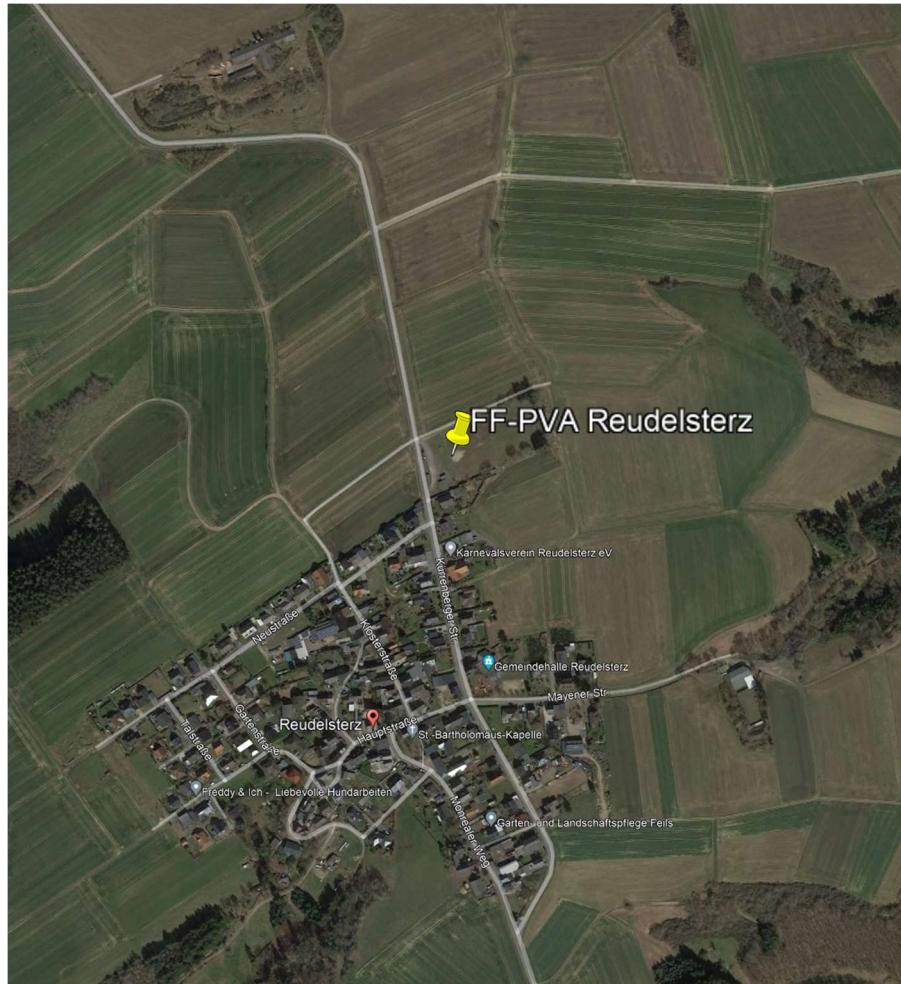


Abb. 1: Lage der PV-Anlage

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

Westlich der geplanten Anlage verläuft die Kürrenberger Straße, die in ein Wohngebiet führt. Südlich der geplanten Anlage verläuft die Straße Am Hochgarten, die östlich an die Kürrenberger Straße anschließt und westlich an die Klosterstraße sowie die Neustraße mündet.

Die Lage der geplanten FF-PVA ist in der nachfolgenden Abbildung 2 dargestellt:

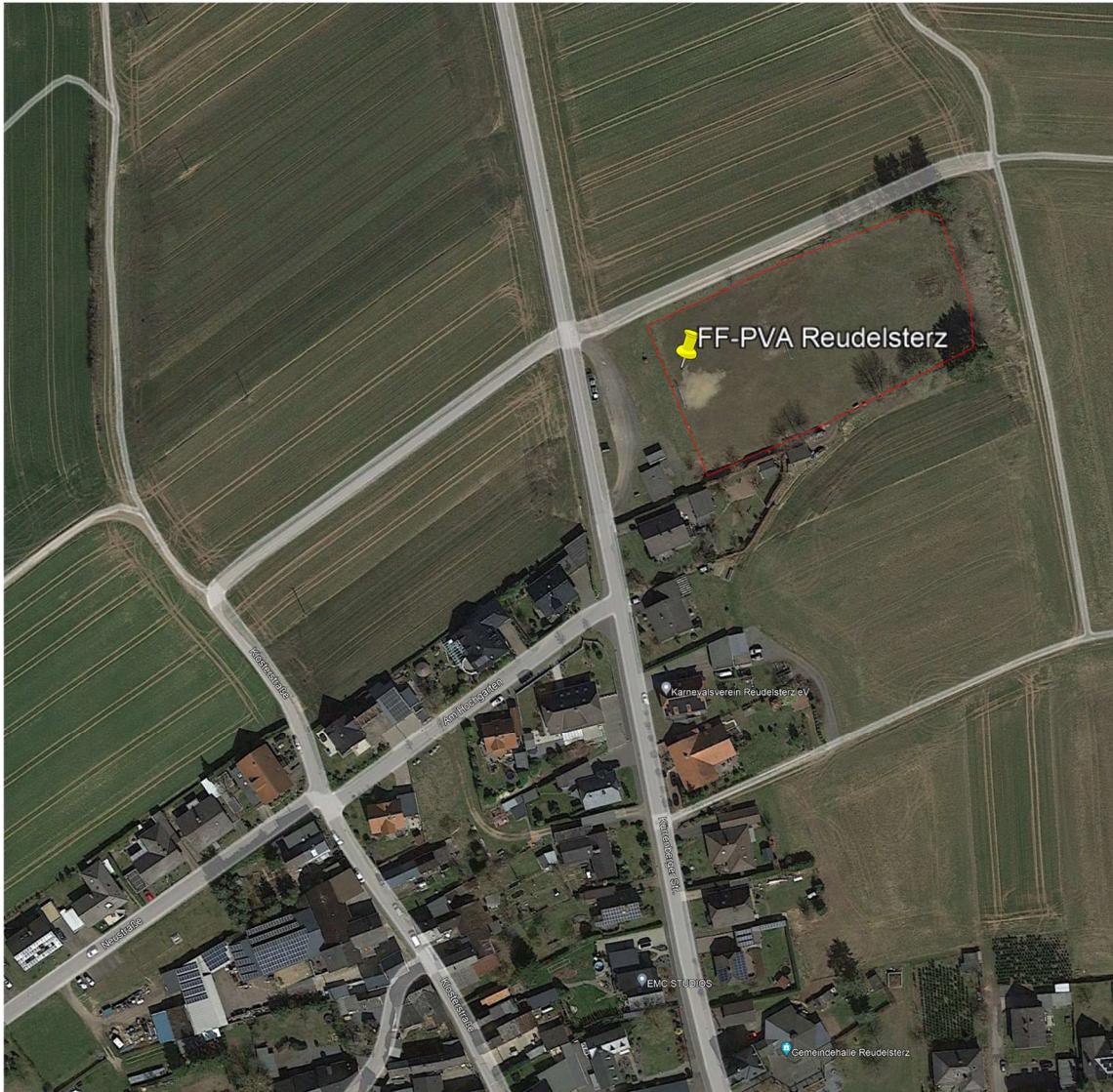


Abb. 2: Lage der geplanten FF-PVA

Die etwaigen Koordinaten des Mittelpunktes der Freifläche im Gesamten sind 50°19'10.60"N und 7° 9'19.14"E.

2. Grundlagen der Strahlentheorie

In diesem Abschnitt werden die physikalischen Grundlagen zur Berechnung der Lichtemission und die daraus resultierenden Reflexionen bzw. Blendwirkungen erläutert.

2.1. Geometrische Reflexionssituation

Nach dem Reflexionsgesetz ist der Winkel des einfallenden Lichtstrahles bezogen auf die Flächennormale (Senkrecht, Lot zur Fläche) gleich dem Winkel des reflektierenden Strahls zur Normalen ($\alpha=\beta$) (Abbildung 3).

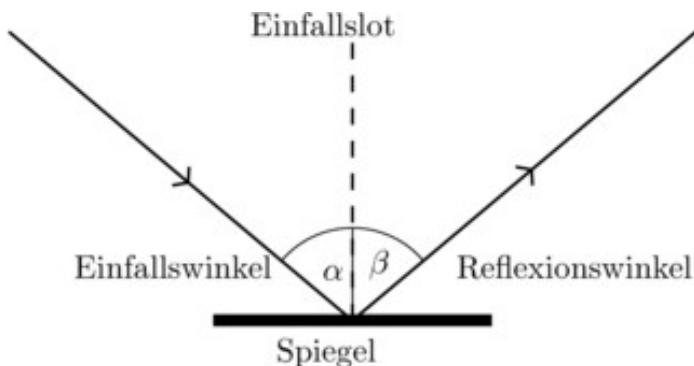


Abb. 3: Reflexion eines Lichtstrahles

Das Reflexionsgesetz gilt grundsätzlich bei Reflexion von Lichtstrahlen, auch wenn die reflektierende Oberfläche nicht eben ist oder diffuses Licht einfällt. In der Realität existiert keine ideale spiegelnde Reflexion. Ein Lichtstrahl wird bei einer realen spekularen Reflexion oder einer unvollkommenen spiegelnden Reflexion aufgespalten und in verschiedene Richtungen gestreut. Dabei entsteht ein vom Betrachtungswinkel v abhängiger Reflexionskegel. Ein weiteres physikalisches Reflexionsmodell ist die ideale oder vollkommene diffuse Reflexion. Dieses Reflexionsmodell beschreibt die perfekte gleichmäßige Streuung eines einfallenden Lichtstrahls in alle Richtungen mit gleicher Intensität. Die folgenden Abbildungen zeigen die Reflexionsphänomene in einer 2D-Ansicht.

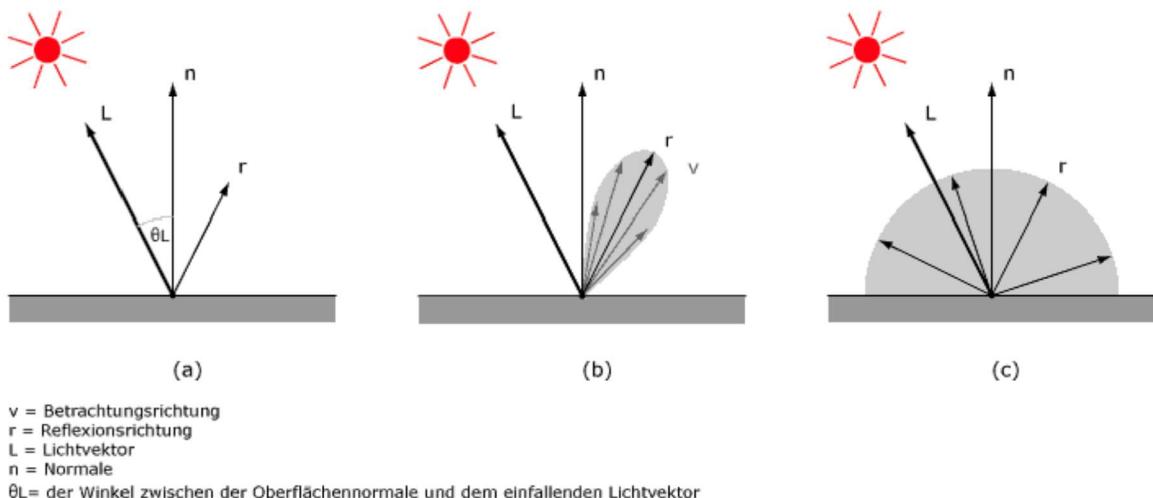


Abb. 4: (a) Ideale spekulare Reflexion, (b) Reale spekulare Reflexion, (c) Ideale diffuse Reflexion

Bei der realen spekularen Reflexion gilt für jeden einzelnen Lichtstrahl am jeweiligen Auftreffpunkt auf der Oberfläche individuell das Reflexionsgesetz.

Trifft das Licht auf eine schwarze und undurchsichtige Oberfläche, so wird es (zum größten Teil) absorbiert. Es wird nur ein sehr geringer Teil des Lichtes reflektiert. So erscheint das Modul, welches mit schwarzen (monokristallinen) bzw. blauen (polykristallinen) Zellen als dunkle Fläche bestückt ist.

Die Streuung der reflektierten Strahlung ist relativ hoch, so dass eine Blendwirkung durch gerichtete (Sonnen-)Strahlung mit zunehmendem Abstand im Allgemeinen nicht als Blendung, sondern als Aufhellung („heller Fleck“) der bestrahlten Oberfläche wahrgenommen wird. Der Kernbereich eines „Strahlenbündels“ (von der Sonne kommende, parallele Lichtstrahlen) ist als helle Fläche auf dem übrigen Bereich des dunklen Moduls wahrzunehmen, die zu keiner Blendung führt. Verschmutzung durch Staub etc. kann zu einer zusätzlichen Streuung des reflektierenden Lichtes führen.

Neben der idealen Reflexion (a), entsprechend dem Brechungsgesetz, ergeben sich durch strukturierte Glasoberflächen weitere Strahlrichtungen. Dabei bildet sich nach dem Lambertischen Gesetz ein weiterer Schwerpunkt in Richtung der Normalen, d.h. senkrecht zur Glasoberfläche verlaufend, aus. Im Falle von aufgeständerten PV-Anlagen ist diese Strahlrichtung nicht relevant, da diese in den Himmel gerichtet sind. Die nichtideale Reflexion (b) beschreibt die Form der Bündelaufweitung. Mit steigendem Differenzwinkel zwischen Reflexionswinkel und Richtung des Betrachters nimmt die Intensität der reflektierten Strahlung stark ab. Für die Untersuchung der Blendwirkung ist daher nur die Richtung der ideal reflektierten Strahlung relevant.

Im Rahmen der vorliegenden Analyse wird die Moduloberfläche entsprechend den Vorgaben der Licht-Leitlinie (Ministerium für Umwelt, 2012) als ideal reflektierend betrachtet.

2.2. Geometrische Reflexionssituation

Zum Aufbau des Deckmaterials der PV-Module liegen keine gesonderten Informationen vor. Photovoltaikmodule zeigen im Hinblick auf Reflexion andere Eigenschaften als alltägliche Glasoberflächen (z.B. PKW-Scheiben, Glasfassaden, Fenster, Gewächshäuser) oder z.B. Oberflächen von Gewässern. Direkt einfallendes Sonnenlicht wird von der Moduloberfläche diffus reflektiert (Abb. 5). Typischerweise kommen bei kristallinen Modulen leicht strukturierte (matt/matt) Einscheibensicherheitsgläser als Frontabdeckung zum Einsatz.



Abb. 5: Diffuse Reflexion von direktem Sonnenlicht

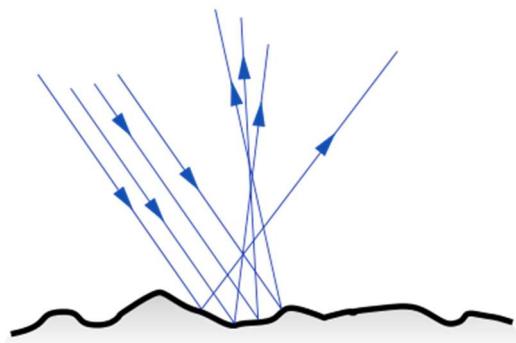


Abb. 6: Streuung der gerichteten Oberfläche

Vereinfacht ausgedrückt nutzen PV-Module das Sonnenlicht zur Erzeugung von Strom. Hersteller von PV-Modulen sind daher bestrebt, dass möglichst viel Licht im PV-Modul absorbiert wird, da nach Möglichkeit das gesamte Licht für die Stromproduktion genutzt werden soll. Um dies zu erreichen, werden Gläser mit möglichst hoher Transmission und niedriger Reflexion verwendet. Die Transmission der Solargläser liegt typischerweise bei 90 – 96%, so dass die Reflexions- und Streungsverluste maximal 10% betragen. Allerdings kommt es bei Einfallwinkeln von mehr als 50° zu höheren Reflexionen bis hin zur vollständigen Reflexion bei mehr als 88°.

Die Materialforschung hat mit speziell strukturierten Glasoberflächen (Texturen) und Antireflexionsfolien den Anteil des reflektierten Lichtes bei marktüblichen PV-Modulen auf 1–4% reduzieren können.

2.3. Technische Parameter der PV-Anlage

Die optischen Eigenschaften und die Installation der PV-Module, insbesondere die Ausrichtung und Neigung der PV-Module, sind wesentliche Faktoren für die Berechnung der Reflexion. Die folgenden Zeichnungen (Abb. 7 & 8) zeigen die schematische Konstruktion der Modulinstallation sowie das Verhalten der Sonnenstrahlen bzw. der Reflexionen. Abbildung 7 zeigt den schematischen Aufbau von Modultischen, welche nach Osten bzw. Westen ausgerichtet sind.

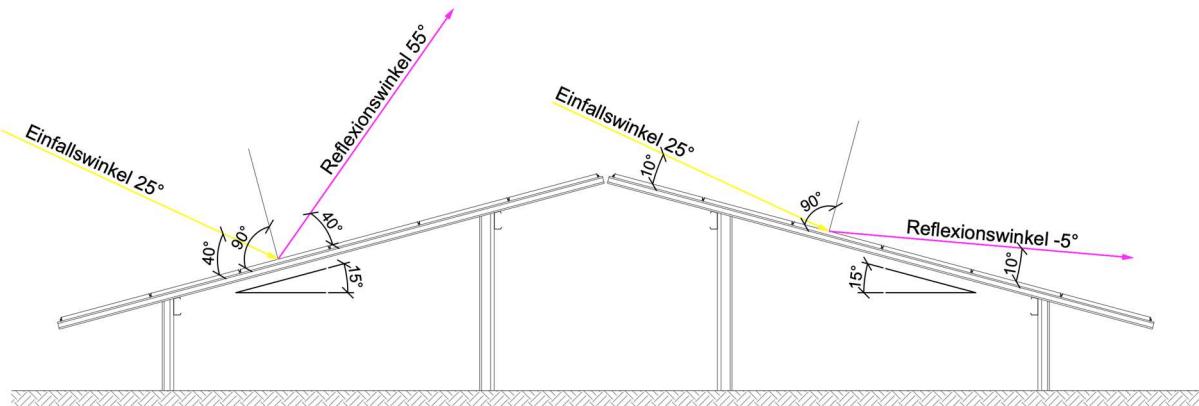


Abb. 7: Konstruktionszeichnung einer Ost-West FF-PVA mit einem Beispiel Sonnenstand von 25°

Abbildung 7 zeigt zeichnerisch, dass der eintreffende Sonnenstrahl (Gelb) orthogonal (rechteckig) zur Modulneigung reflektiert wird (Magenta). Dies ist unabhängig vom Einfallsinkel. Je nach Sonnenstand, Modulausrichtung und Modulneigung kann ein eintreffender Sonnenstrahl nach oben oder auch nach unten reflektiert werden. Bei dem oben gezeigten Beispiel wird veranschaulicht, dass ein Sonnenstrahl, welcher aus Westen mit einem Einfallsinkel von 25° (Horizontalen) auf die nach Westen ausgerichtete Modulflächen trifft, mit 55° (Horizontalen) nach oben reflektiert wird. Gleichzeitig wird jedoch ein Sonnenstrahl, der ebenfalls mit einem Einfallsinkel von 25° (Horizontalen) auf die nach Osten ausgerichtete Modulfläche trifft, mit einem negativen Winkel von -5° (Horizontalen) bzw. nach unten reflektiert wird.

Die folgende Abbildung 8 zeigt die o.g. Eigenschaft bei Modultischen, welche nach Süden ausgerichtet sind. Jedoch ist hier zu beachten, dass es sich hier um unterschiedliche Tageszeiten und damit unterschiedlichen Sonnenständen handelt.

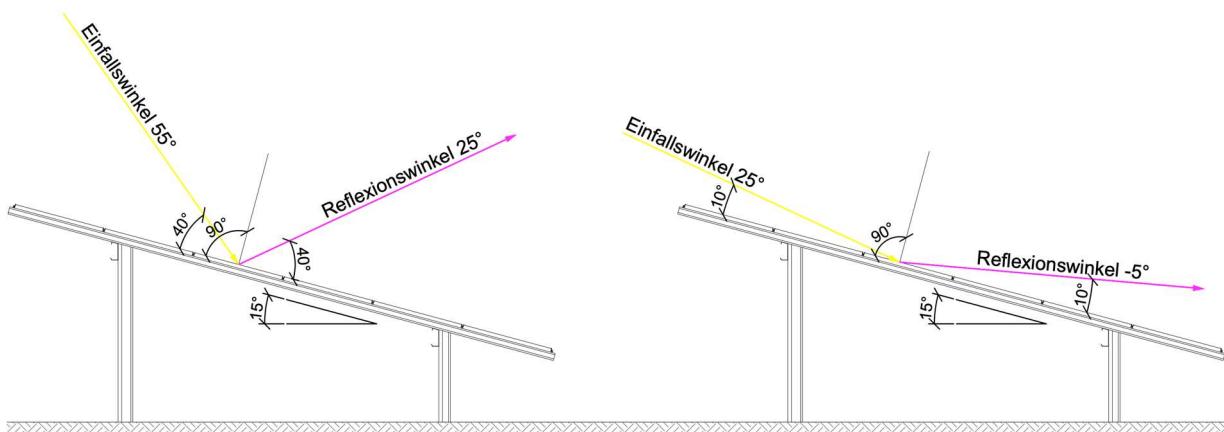


Abb. 8: Konstruktionszeichnung einer Süd FF-PVA mit einem beispielhaften Sonnenstand von 55° und 25°

Zur Untersuchung der Reflexionssituation an den Modulen sind demnach die geometrischen Daten von Bedeutung, die sich aus der Sonnenbahn und der Modulausrichtung ergeben. Die Lage der Modulfläche ist definiert durch die Geländeneigung und die Orientierung und Neigung der Module. Diese geometrischen Daten werden in einem Berechnungsprogramm eingegeben und für den Standort über die Sonnenstände von Sonnenaufgang bis Sonnenuntergang in 1-Minutenschritten über den PV-Modulen ermittelt. Anhand der

Azimut- und Höhenwinkel der Sonne über der Modulfläche werden die Azimut- und Höhenwinkel der reflektierten Strahlung berechnet.

Folgende Winkeldefinitionen werden dabei verwendet:

Azimut: 0° = Norden $\rightarrow 90^\circ$ = Osten $\rightarrow 180^\circ$ = Süden $\rightarrow 270^\circ$ = Westen

Höhe: -90° $\rightarrow 0^\circ$ (Horizontlinie) $\rightarrow 90^\circ$

Beispiele hierfür:

- Eine Einstrahlung aus Richtung 270° bedeutet eine Einstrahlung aus Osten
 \rightarrow in der nördlichen Hemisphäre = Abendsonne
- Eine Reflexion aus 135° bedeutet eine Reflexion aus Südosten
- Ein Reflexionswinkel von -5° bedeutet eine Reflexion unterhalb der Horizontlinie
 \rightarrow bei einer auf einem Plateau liegenden PV-Anlage

3. Beurteilungsgrundlagen

3.1. Bewertungsgrundlage

In der Fachliteratur sind hinsichtlich der Beurteilung von Blendeinwirkungen keine belastungsfähigen Beurteilungskriterien validiert und festgelegt. Als Grundlage werden Kriterien von verschiedenen Verwaltungsbehörden wie die Entfernung zwischen FF-PVA und den Immissionspunkten sowie die Dauer der Reflexionen und Einwirkungen, genannt. Für die Beurteilung der Blendungen auf Gebäude und anschließenden Außenflächen wird in Fachkreisen die von der Bund-/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) veröffentlichte Richtlinie „Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen“ vom 13.09.2012 herangezogen. Die Auswirkung einer Blendung auf die Nachbarschaft kann demnach, wie der periodische Schattenwurf von Windenergieanlagen betrachtet werden. Schwellenwerte für eine entsprechende Einwirkdauer der Blendungen auf Gebäude und anschließende Außenflächen werden entsprechend der WEA-Schattenwurf-Hinweise festgelegt.

Schutzwürdige Räume im Sinne dieser Hinweise sind:

- Wohnräume, einschließlich Wohndielen
- Schlafräume, einschließlich Übernachtungsräume in Beherbergungsstätten und Bettenräume in Krankenhäusern und Sanatorien
- Unterrichtsräume in Schulen, Hochschulen und ähnlichen Einrichtungen
- Büroräume, Praxisräume, Schulungsräume und ähnliche Arbeitsräume

An Gebäuden anschließende Außenflächen (z.B. Terrassen und Balkone) sind schutzwürdigen Räumen zwischen 6:00 Uhr und 22:00 Uhr gleichgestellt. Zusätzlich sind unbebaute Flächen in einer Bezugshöhe von 2 m über Grund an dem am stärksten betroffenen Rand der Flächen, auf denen nach Bau- oder Planungsrecht Gebäude mit schutzwürdigen Räumen zugelassen sind, schützenwert.

Ob es an einem Immissionsort im Jahresverlauf überhaupt zu einer Blendung kommt, hängt von der Lage des Immissionsorts zur Photovoltaikanlage ab. Dadurch lassen sich nach der LAI einige Immissionsorte ohne genauere Prüfung schon im Vorfeld ausklammern:

- Immissionsorte, die sich weiter als ca. 100 m von einer Photovoltaikanlage entfernt befinden (Abbildung 9), erfahren erfahrungsgemäß nur kurzzeitige Blendwirkungen. Lediglich bei ausgedehnten Photovoltaikparks könnten auch noch weiter entfernte Immissionsorte relevant sein.
- Immissionsorte, die überwiegend nördlich von einer Photovoltaikanlage gelegen sind (Abbildung 10), sind in der Regel ebenfalls unproblematisch. Eine genauere Betrachtung ist im Wesentlichen nur dann erforderlich, wenn der Immissionsort vergleichsweise hoch liegt (z. B. bei Hochhäusern) und/oder die Photovoltaikmodule besonders flach angeordnet sind.
- Immissionsorte, die vorwiegend südlich von einer Photovoltaikanlage gelegen sind (Abbildung 11), brauchen nur bei Photovoltaik-Fassaden (senkrecht angeordnete Photovoltaikmodule) berücksichtigt zu werden.



Abb. 9: Immissionsort weiter als 100 m

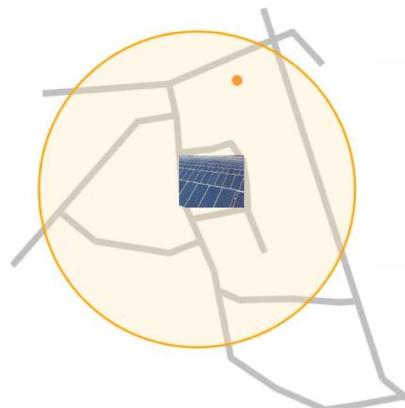


Abb. 10: Immissionsort nördlich der PVA



Abb. 11: Immissionsort südlich der PVA

Hinsichtlich einer möglichen Blendung kritisch sind Immissionsorte, die in erster Linie westlich oder östlich einer Photovoltaikanlage liegen und nicht weiter als ca. 100 m von dieser entfernt sind. Hier kann es im Jahresverlauf zu ausgedehnten Immissionszeiträumen kommen, die als erhebliche Belästigung der Nachbarschaft aufgefasst werden können.

Wenn anzunehmen ist, dass einer der o.g. Räume oder Außenflächen von Blendung betroffen sein können, muss überprüft werden, ob die Beeinträchtigung bzw. Belästigung in einem übermäßigen Maße stattfindet. Wie bereits zuvor erwähnt, bestehen hierfür noch keine speziellen gesetzlichen Regelungen. Der Gesetzgeber leitet die LAI-Richtlinie aus den Bewertungsgrößen aus dem Hinweispapier für Windenergieanlagen ab, welche derzeit wie folgt formuliert ist:

*„Gegenwärtig wird davon ausgegangen, dass eine erhebliche Belästigung im Sinne des BImSchG durch die maximale mögliche astronomische Blenddauer unter Berücksichtigung aller umliegenden Photovoltaikanlagen vorliegt, wenn diese **mindestens 30 Minuten am Tag oder 30 Stunden pro Kalenderjahr** beträgt.“*

Liegt die Blenddauer unterhalb dieser Grenzwerte, gilt die Belästigung als allgemein hinnehmbar.

Neben den schutzwürdigen Räumen muss überprüft werden, ob die auftretende Blendung die Sicherheit von folgenden Bereichen gefährdet:

- Straßenverkehr
- Schienenverkehr
- Schifffahrtsverkehr
- Verkehrssicherheit (Luft)

Tritt in einem dieser Bereiche eine Blendung auf, können selbst wenn sie nur kurzzeitig stattfindet, schwerwiegende Folgen auftreten.

Es sollte deshalb beim Auftreten von Blendung im Verkehrsbereich mit der Behörde und den Beteiligten eine Risikoanalyse und Gefährdungsbeurteilung vorgenommen werden, um ggf. Blendschutzmaßnahmen vorzunehmen.

3.2. Simulationskriterien und Modellierung

Das verwendete Simulationstool berechnet aus den lokalen Sonnenständen die Einfallswinkel auf die Module, bzw. Modulreihen. Aus den in Kapitel 4 dargestellten Grundlagen errechnet die Software zu jedem Emissionsort die maximal tägliche und die gesamte jährliche Immission. Hierbei wird lediglich die ideale Reflexion berücksichtigt. Durch die relative Lage im Raum von PV-Modulen und zur untersuchenden Fläche/Position kann geprüft werden, ob der reflektierende Sonnenstrahl eine Beeinträchtigung von schutzwürdigen Räumen oder eine Gefährdung der Verkehrssicherheit zur Folge hat.

Bei den Berechnungen wurden gemäß LAI folgende Annahmen berücksichtigt:

- Die Sonne ist punktförmig
- Die Auflösung der Simulation ist minütlich
- Für spiegelnde Oberflächen kann das Reflexionsgesetz „Einfallwinkel gleicht Ausfallwinkel“ angewendet werden
- Die Sonne scheint von ihrem Aufgang bis zu ihrem Untergang
- Bewölkung und bedeckter Himmel sind hierbei nicht berücksichtigt. Die Berechnung liefert somit die astronomisch maximal möglichen Immissionszeiträume
- Bei streifendem Lichteinfall auf die spiegelnde Fläche dominiert der direkte Blick in die Sonne die Blendwirkung. Erst ab einem Differenzwinkel von mehr als 10° kommt es zu einer zusätzlichen Blendung durch die Blendlichtquelle

Eine wesentliche Voraussetzung für das Auftreten einer Blendung ist eine Sichtverbindung zwischen dem Beobachter und der Blendlichtquelle.

Sollten sicherheitsrelevante Bereiche wie z.B. der Straßen-, Schienen- oder Schiffsverkehr in Sichtverbindung zu der geplanten FF-PVA liegen, ist die zusätzliche Betrachtung von unterschiedlichen Verkehrsteilnehmern notwendig. Hierzu kann die oben erwähnte Software unterschiedliche Teilnehmer bzw. unterschiedlich hohe Emissionsorte simulieren. Zum Beispiel ermöglicht die Software die Differenzierung zwischen Personenkraftfahrzeugen (PKW) und Lastkraftwagen (LKW). Zum besseren Verständnis zeigen die Abbildungen 12 und 13 unterschiedliche Verkehrsteilnehmer.

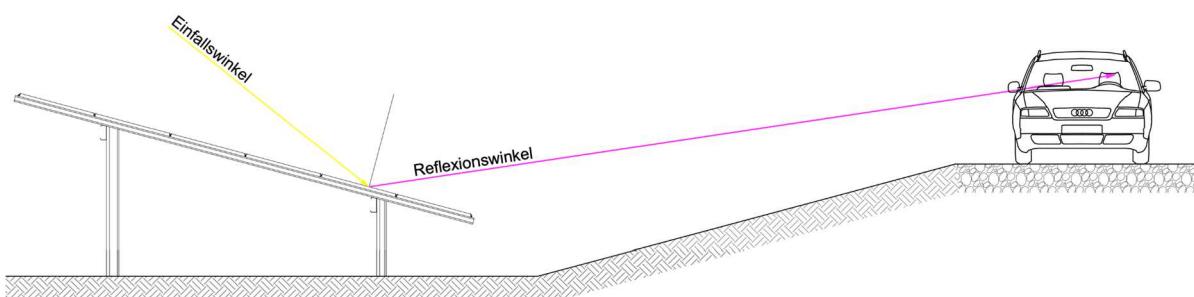


Abb. 12: Blendung eines PKW-Führers (Quelle: Maibach & Ronig)

Abbildung 12 zeigt die Blendung eines PKW-Führers bei einem flachen Sonneneinfallwinkel. Mit steigendem Sonnenwinkel ist jedoch davon auszugehen, dass die Reflexionsstrahlen über das Fahrzeug hinweg abstrahlen und somit keine Gefahr für PKW-Führer bestehen wird. Jedoch zeigt Abbildung 13, wie sich ein steigender Sonnenwinkel auf LKW-Führer auswirkt.

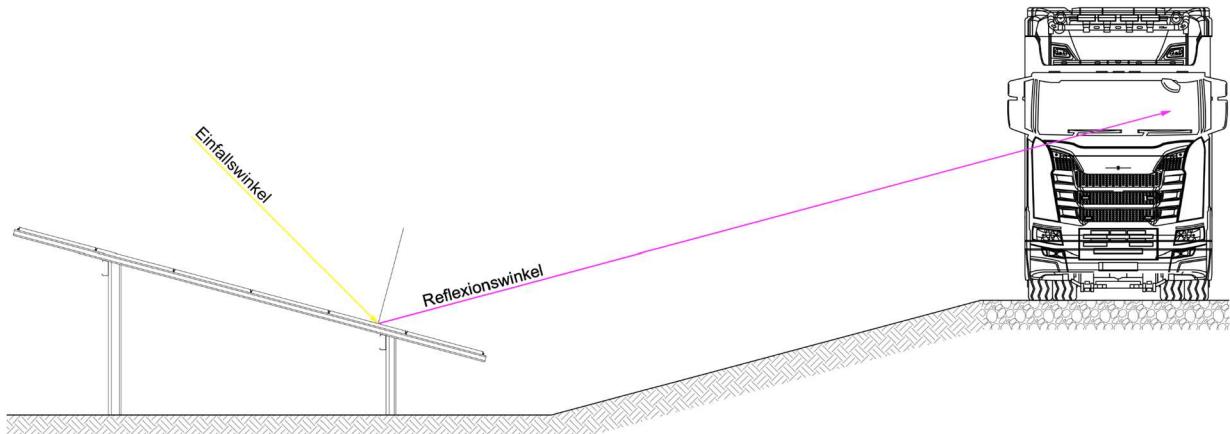


Abb. 13: Blendung eines LKW-Führers (Quelle: Maibach & Ronig)

Die Abbildung veranschaulicht, dass ein Reflexionsstrahl, welcher für PKW-Führer nicht störend ist, für andere Verkehrsteilnehmer, in diesem Fall einem LKW-Führer, sehr wohl Gefahrenpotential birgt.

3.3. Geländemodell

Um die Topografie des Geländes in der Simulationssoftware korrekt darzustellen, werden je nach Gefährdungspotential und Anforderung unterschiedliche topografische Datensätze verwendet:

- Bei dem Geländemodell von **Google-Earth** liegen die wirklich ermittelten Geländehöhen in einem Raster von mehr als 30 m. Die Fläche zwischen den Messpunkten wird interpoliert, was zu starken Abweichungen zwischen CAD-Modell und Realität führen kann. Diese Daten sind frei zugänglich. → Diese Datensätze kommen lediglich dann zur Anwendung, wenn von keiner oder einer nur sehr geringen Blendung von schutzwürdigen Räumen auszugehen ist (z.B. ist dies der Fall, wenn ein Solarpark von hohen Bäumen/ Sträuchern umgeben ist und/oder die Entfernung zu schutzwürdigen Räumen größer als 100 m ist). Zusätzlich muss eine Bilddokumentation vorliegen, welche aufzeigt, dass mit keinen großen Geländesprüngen zu rechnen ist.
- Bei den **SRTM-Daten** von National Aeronautics and Space Administration (NASA) handelt es sich um Fernerkundungsdaten der Erdoberfläche, welche bei der STS-99 Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) im Februar 2000 aus dem Weltraum aufgezeichnet wurden. Die kompletten Daten mit einer Auflösung von einer

Bogensekunde (ca. 30 m) sind frei verfügbar. → Diese Datensätze kommen zur Anwendung, wenn von einer geringen bis mittleren Blendung von schutzwürdigen Räumen auszugehen ist und im Vorfeld eine Begehung des Geländes erfolgt ist, oder eine aussagekräftige Bilddokumentation vorliegt.

- Höhenkoordinaten aus dem **UTM-Koordinatensystem** der Kataster- und Vermessungsämter sind Datensätze, die in einer Auflösung von 1m x 1m bei dem jeweiligen Kataster- und Vermessungsamt käuflich erworben werden können → Diese Daten kommen zur Anwendung, wenn die Möglichkeit besteht, dass Gefahrensituationen durch auftretende Blendungen verursacht werden. Dies ist z.B. der Fall, wenn der Solarpark in der Nähe von Verkehrs wegen jeglicher Art liegt. Außerdem werden diese Daten verwendet, wenn sich schutzwürdige Räume in unmittelbarer Nähe zum Solarpark befinden. Zusätzlich erfolgt eine Begehung des Geländes oder es liegt eine ausführliche und aussagekräftige Bilddokumentation vor.

4. Beschreibung der Umgebung

Im Folgenden werden die für die Begutachtung relevanten Gegebenheiten der Umgebung näher erläutert.



Abb. 14 Blick auf die Kürrenberger Straße in Fahrtrichtung Norden

Die Abbildung 14 zeigt den Blick auf die Kürrenberger Straße in Fahrtrichtung Norden. Zusätzlich ist der zukünftige Standort der Trafostation visualisiert und dargestellt



Abb. 15: Blick auf die Kürrenberger Straße in Fahrtrichtung Süden

Die Abbildung 15 zeigt den Blick auf die Kürrenberger Straße in Fahrtrichtung Süden. Diese Straße führt in ein Wohngebiet. Auf dem Bild ist auch die Straße Am Hochgarten zu sehen, die in die Kürrenberger Straße einmündet.



Abb. 16: Blick auf die Solarparkfläche von dem Feldweg

Die Abbildung 16 zeigt den Blick von einem Feldweg aus, der nördlich der geplanten Freiflächen-Photovoltaik-Anlage (FF-PVA) verläuft. Auf dem Bild ist die visualisierte Darstellung des Solarparks mit einem Zaun zu erkennen

5. Beschreibung der PV-Anlage

Im folgenden Kapitel werden der Aufbau und die verwendeten Komponenten der geplanten FF-PVA, welche für eine Bewertung der Blendemissionseigenschaften notwendig sind, näher erläutert. Die nachfolgende Abbildung 17 zeigt das PV-Layout.



Abb. 17: PV-Layout der geplanten Photovoltaikanlage

Zu sehen ist die Lage der Modulreihen, dessen PV-Module mit einem Azimutwinkel von 158° (Süd) ausgerichtet sind. Die Traufhöhe des geplanten Modultisches liegt bei 0,80 m über der Geländeoberkante (GOK), während die Firsthöhe des Modultisches 2,69 m über der Geländeoberkante liegt.

Der Aufbau der Unterkonstruktion sowie den Neigungswinkel von ca. 15° können der Abbildung 18 entnommen werden.

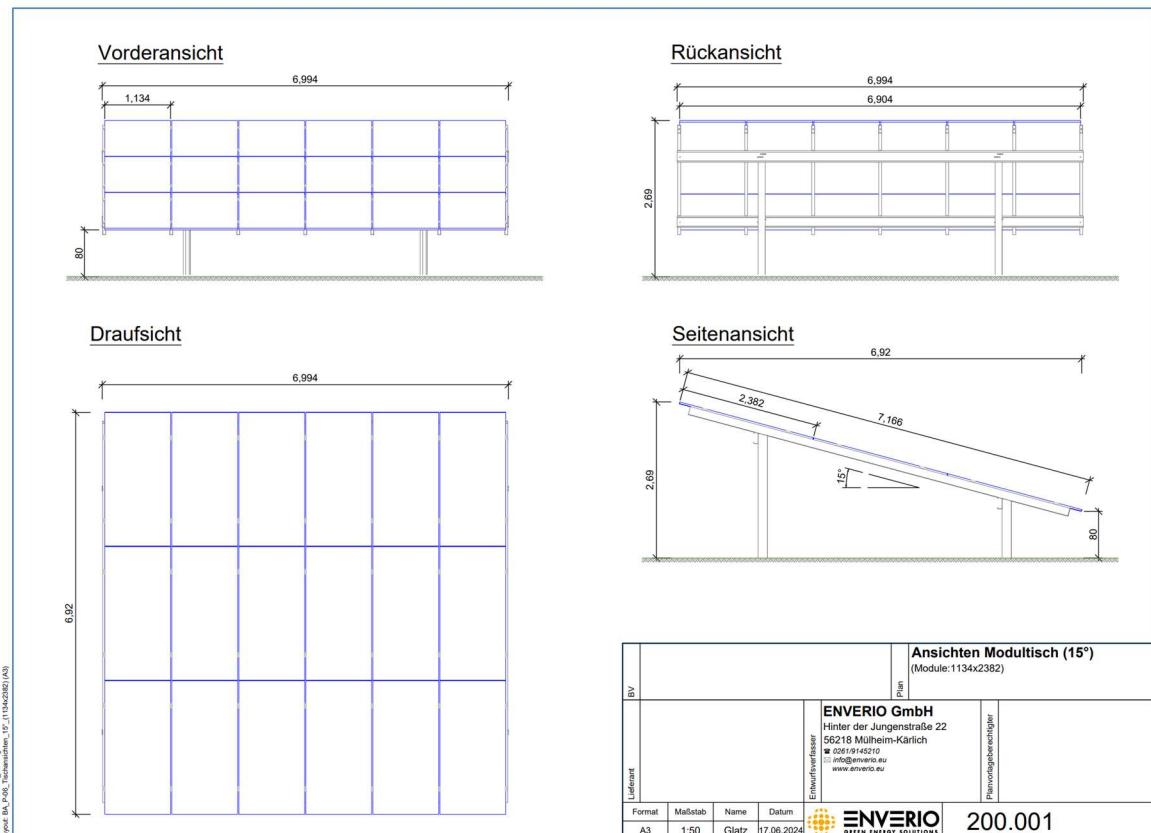


Abb. 18: Konstruktionszeichnung Modultisch mit horizontaler Ausrichtung von 15°

Die für die Untersuchung der Reflexion wesentlichen Parameter der FF-PVA sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

PV-Modultyp	Poly- oder Monokristallin			
Moduloberfläche	Solarglas			
Unterkonstruktion	Modultische, fest aufgeständert			
Traufhöhe	0,80 m			
Firsthöhe	ca. 2,69 m			
Ausrichtung (Azimut)	158° (Süd)			
Horizontale Ausrichtung	15°			
Standort	50°19'10.60"N / 7° 9'19.14"E.			

6. Zu betrachtende Immissionsorte

Für die Erstellung des Blendgutachtens sind vier wesentliche Immissionsbereiche zu berücksichtigen und zu bewerten. Zwei dieser Bereiche können nach den Vorgaben der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) geprüft bzw. bewertet werden. Die Bereiche sind jedoch von entscheidender Bedeutung, um potenzielle Blendwirkungen angemessen zu bewerten und geeignete Maßnahmen zur Vermeidung von Blendung zu entwickeln. Die Berücksichtigung und Bewertung dieser vier Bereiche (Abb. 19, blau, Orange, Grün und Magenta umrandet) sind von entscheidender Bedeutung, um sicherzustellen, dass die geplante FF-PVA (Abb. 19, rot umrandet) keine schädlichen Blendwirkungen verursacht und die Interessen aller betroffenen Parteien angemessen berücksichtigt werden.



Abb.19: Lage FF-PVA und Immissionsorten

6.1. Die Kürrenberger Straße

Der erste zu untersuchende Bereich ist die Kürrenberger Straße (vgl. Abbildung 19, Blau), welche westlich der geplanten FF-PVA verläuft. Hierbei handelt es sich um eine wichtige Verkehrsverbindung, deren Blendwirkungen aufgrund von vorbeifahrenden Fahrzeugen oder direkter Sonneneinstrahlung auf die Straße von Relevanz sein können. Die Analyse dieses Bereichs wird es ermöglichen, geeignete Maßnahmen zur Blendminderung im Straßenverkehr zu entwickeln und so die Sicherheit der Verkehrsteilnehmer zu gewährleisten, falls Blendungen auftreten.

6.2. Die Straße Am Hochgarten

Der zweite zu untersuchende Bereich ist die Straße Am Hochgarten (vgl. Abbildung 19, Magenta), welche südlich und parallel zur geplanten FF-PVA-Anlage verläuft, im Südosten an die Kürrenberger Straße anschließt und im Südwesten an die Klosterstraße sowie die Neustraße mündet. Hierbei handelt es sich auch um eine befahrene Verkehrsverbindung und die Analyse dieses Bereichs wird es ermöglichen, geeignete Maßnahmen zur Blendminderung im Straßenverkehr zu entwickeln und so die Sicherheit der Verkehrsteilnehmer zu gewährleisten, sofern Blendungen auftreten.

6.3. Wohnbebauung an der Kürrenberger Straße

Der dritte zu untersuchende Bereich ist die Wohnbebauung an der Kürrenberger Straße (vgl. Abbildung 18, Grün), die im Süden des zukünftigen Solarparks liegt. Hier werden lediglich die Gebäude betrachtet, welche der Wohnnutzung dienen und schützenswerte Räume aufweisen. Hierbei sind insbesondere die Auswirkungen der Sonnenreflexion auf angrenzende Gebäude, Straßen und Arbeitsplätze von Bedeutung. Die Bewertung dieses Bereichs ermöglicht es, geeignete Maßnahmen zur Blendminderung für die dort tätigen bzw. wohnenden Personen und die umliegende Infrastruktur zu entwickeln.

6.4. Wohnbebauung an der Straße Am Hochgarten

Der vierte zu untersuchende Bereich ist die Wohnbebauung an der Straße Am Hochgarten (vgl. Abbildung 18, Orange). Hier werden lediglich die Gebäude betrachtet, welche der Wohnnutzung dienen und schützenswerte Räume aufweisen. Hierbei sind insbesondere die Auswirkungen der Sonnenreflexion auf angrenzende Gebäude, Straßen und Arbeitsplätze von Bedeutung. Die Bewertung dieses Bereichs ermöglicht es, geeignete Maßnahmen zur Blendminderung für die dort tätigen bzw. wohnenden Personen und die umliegende Infrastruktur zu entwickeln.

7. Mögliche Maßnahmen zur Verminderung und Vermeidung von Blendwirkungen

Nach dem LAI gibt es bei der Maßnahmenplanung kein allgemein gültiges Vorgehen. Art und Umfang geeigneter Maßnahmen hängen immer von der konkreten Standortsituation vor Ort ab. In jedem Fall ist eine sorgsame Planung im Vorfeld sinnvoll, da Maßnahmen im Nachhinein - beispielweise die Veränderung des Neigungswinkels oder die Installation einer Abschirmung - kostenaufwendig sind.

Maßnahmen zur Minderung oder Vermeidung von Blendungen können neben baulichen Änderungen an der FF-PVA selbst, folgende Maßnahmen beinhalten:

- Unterbindung der Sicht auf das Photovoltaikmodul in Form von Wällen oder blickdichtem Bewuchs in Höhe der Moduloberkante
- Optimierung von Modulaufstellung bzw. Ausrichtung oder Neigung
- Einsatz von Modulen mit geringem Reflexionsgrad

7.1. Auswahl und Anordnung von Maßnahmen zur Minderung oder Vermeidung von Blendungen

Wie bereits erwähnt ist die Lage der Immissionsorte ein entscheidender und nicht zu vernachlässigende Faktor. Im Zusammenspiel mit dem Sonnenstand, Ausrichtung der Modultische und Position im Gelände können unterschiedliche Gefahrenpotentiale entstehen. Abbildung 20 stellt die Blendung (Roter Strahl) eines vorbeifahrenden PKWs dar.

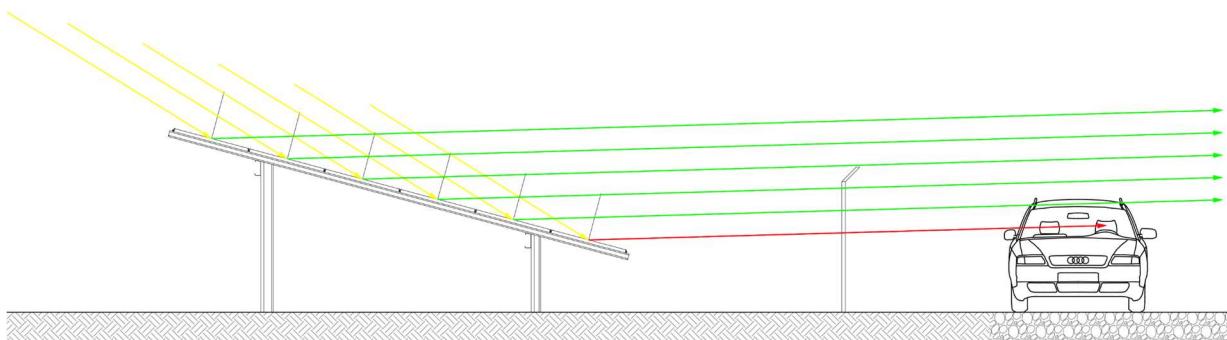


Abb.20: Darstellung Blendung eines PKWs

Als Gegenmaßnahme wird in Abbildung 21 ein blickdichtes, luftdurchlässiges textiles Gewebe an dem Zaun des Solarparks angebracht.

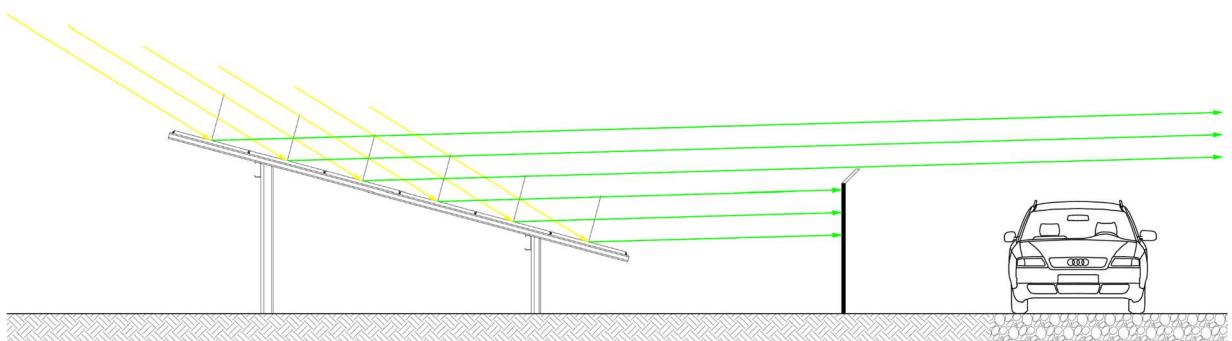


Abb.21: Geplante Gegenmaßnahme zu Abb. 20

Die in Abbildung 21 getroffene Maßnahme führt dazu, dass Führer von PKWs nicht mehr geblendet werden. Jedoch berücksichtigt diese Maßnahme nicht alle Verkehrsteilnehmer. Daher Betrachtet Abbildung 22 die gleiche Situation jedoch hinsichtlich eines vorbeifahrenden LKW.

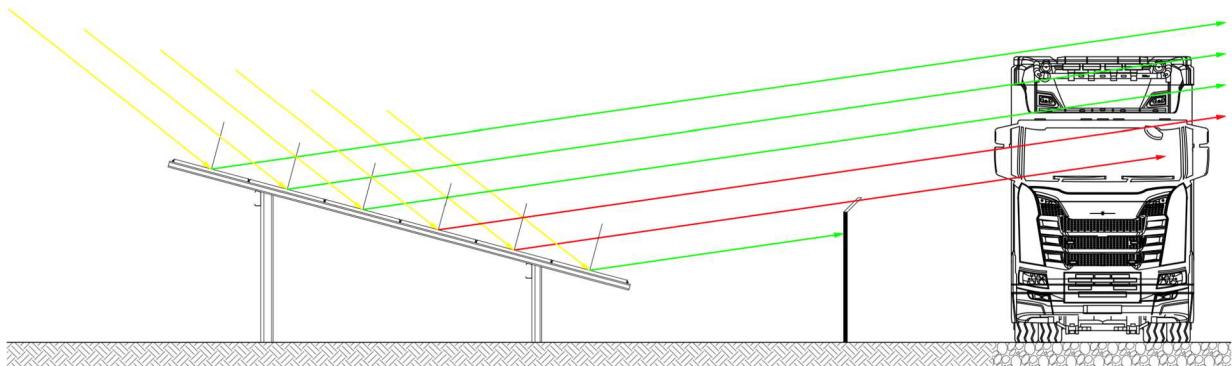


Abb.22: Gegenmaßnahme aus Abb. 21 für LKW wirkungslos

Die Abbildung 22 zeigt, dass die getroffene Maßnahme keine ausreichende Wirkung zeigt, da weiterhin Verkehrsteilnehmer einer Gefahrensituation ausgesetzt sein können. Daher wird in Abbildung 23 eine andere Gegenmaßnahme gezeigt.

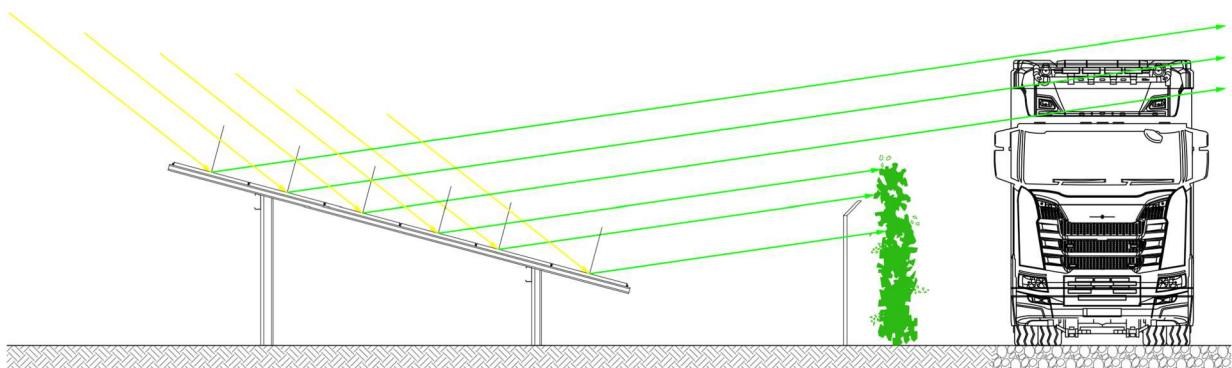


Abb.23: Erfolgreiche Gegenmaßnahme aus Abb. 21 für LKW

Durch die Verwendung von textilen Geweben am Solarparkzaun können Gefahrensituationen vermieden werden. Da Einfriedungen im Normalfall nicht höher als 2,0 m ausgeführt werden, ist in dieser Situation jedoch ein anderer Lösungsansatz notwendig. Daher wurden in Abbildung 23 Gehölzstrukturen angebracht bzw. simuliert, welche höher

sein müssen als der geplante Zaun. Diese Maßnahme führt dazu, dass keine Reflexionsstrahlen auf die Verkehrsteilnehmer treffen.

Die Abbildungen 24 bis 26 zeigen eine ähnliche Situation wie zuvor. Jedoch besteht in dieser Situation ein Höhenunterschied zwischen Solarpark und Immissionsorten. Diese weitere Darstellung soll verdeutlichen, mit welcher Komplexität die Software unterschiedliche Gefahrensituation ermittelt.

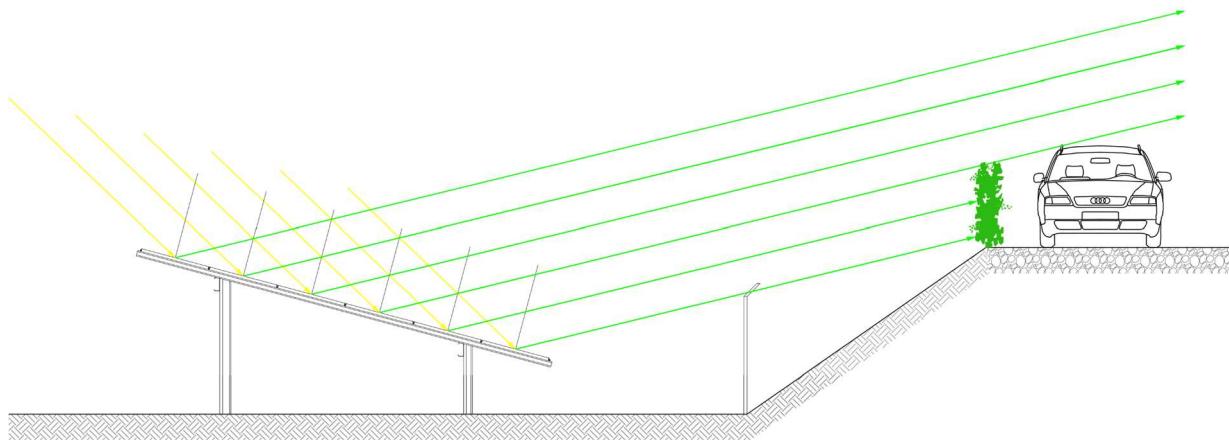


Abb.24: Gegenmaßnahme für PKWs

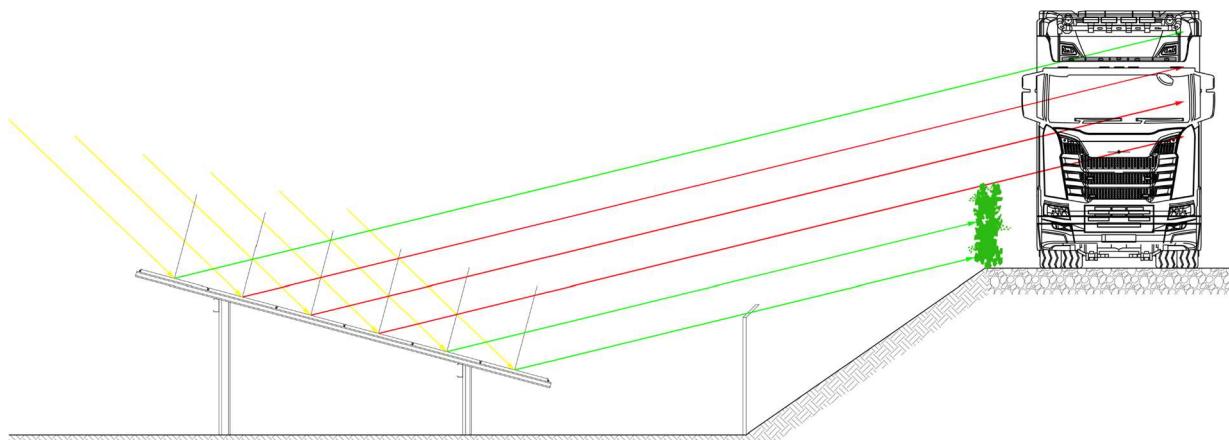


Abb.25: Wirkung der Gegenmaßnahme aus Abb. 23 bei LKW

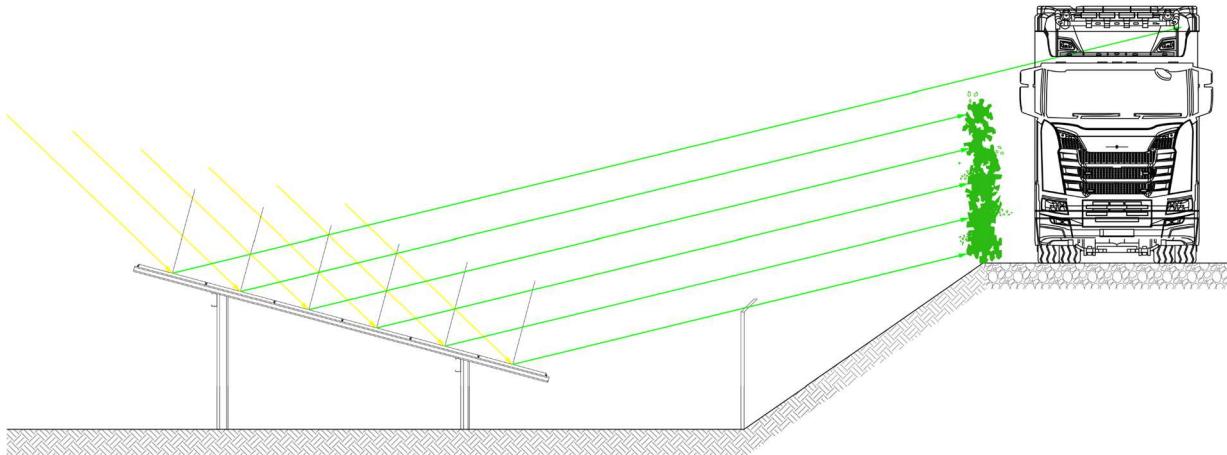


Abb.26: Erfolgreiche Gegenmaßnahme zur Gefahrenabwehr

Durch die Aufnahme des Geländemodells sowie der FF-PVA in die Simulationssoftware wird exakt ermittelt, wie hoch Gegenmaßnahmen ausgeführt werden müssen, damit keine Gefahrensituationen entstehen.

8. Simulationsergebnisse

Die vorliegende Untersuchung basiert auf umfangreichen Simulationsergebnissen, die mithilfe der Software IMMI 2023 erzielt wurden. Ergeben sich aus der Simulation Zeiten mit Blendung, erfolgt eine detaillierte Aussage zur maximalen Einwirkdauer sowie Datum und Uhrzeit der Blendwirkung. Die Betroffenheit innerhalb des ermittelten Blendintervalls ist dabei jedoch nicht kontinuierlich. Sie beschreibt die Grenzen des frühst- bzw. spätestmöglichen Auftretens von Minuten mit einer potenziellen Blendwirkung. Außerhalb der ermittelten Intervalle kann daher von Blendfreiheit auf Basis des Reflexionsgesetzes und des astronomischen Sonnenstandes ausgegangen werden.

Die Ergebnisse für die jeweiligen Messpunkte sind in Minuten pro Jahr angegeben und werden in drei Kategorien unterteilt:

- Grün = keine bis geringe Blendung
- Gelb = geringe Blendung
- Rot = mittlere bis starke Blendung

Das Simulationsergebnis bzgl. der Blendwirkung des PV-Anlagenlayouts aus Abbildung 17 wird in Abbildung 27 aufgezeigt.



Abb. 27: Ergebnis der Blendberechnung

In Abbildung 27 ist sowohl der geplante Solarpark als auch die Positionen der Messstandorte für die Emissionswerte dargestellt. Die farbliche Kennzeichnung in dieser Abbildung dient dazu, Informationen über Blendwirkungen aufzuzeigen und zwar sowohl bezogen auf die Position und Ausrichtung der Solarmodule als auch bezogen auf die Emissionsstandorte.

Position und Ausrichtung der Solarmodule:

- Solarmodule, deren Position und Ausrichtung keine Blendungen verursachen, sind in grüner Farbe gekennzeichnet
- Solarmodule, die potenziell zu geringfügigen bis mäßigen Blendungen führen können, sind in gelber Farbe gekennzeichnet
- Solarmodule, die zu erheblichen Blendungen führen können, sind in roter Farbe markiert

Emissionsstandorte:

- Messstandorte, an denen keine Blendung festgestellt wurde, sind ebenfalls grün markiert
- Messstandorte, an denen leichte bis mäßige Blendungen errechnet wurden, sind gelb gekennzeichnet
- Messstandorte, an denen erhebliche Blendungen festgestellt wurden, sind in rot markiert

Die farbliche Abstufung ermöglicht eine schnelle und klare Identifizierung von Bereichen, in denen Blendungsprobleme auftreten können, so wie von Bereichen, die unauffällig sind. Sie erleichtert die gezielte Entwicklung von Blendminderungsmaßnahmen und unterstützt die Planung und Umsetzung des Solarparks in Übereinstimmung mit den Blendrichtlinien und -vorgaben.

8.1. Berechnungsergebnis für die Kürrenberger Straße

Die durchgeführte Blendberechnung, die in Form von Simulationen, Analysen, Testläufen und deren Auswertung erfolgte, zeigt, dass in beiden Fahrtrichtungen der Kürrenberger Straße nicht mit Blendungen zu rechnen ist.



Abb. 28: Detailansicht der kritischsten Emissionsstandorte entlang der Kürrenberger Straße in beide Fahrtrichtungen

Abbildung 28 zeigt eine Detailansicht der Berechnungsergebnisse am Emissionsstandort entlang der Kürrenberger Straße in beiden Fahrtrichtungen. Die Ergebnisse der durchgeführten Blendberechnung weisen keine potenziellen Blendwirkungen auf, die die Verkehrssicherheit auf der Kürrenberger Straße beeinträchtigen oder den Komfort der Verkehrsteilnehmer mindern könnten.

8.2. Berechnungsergebnis für die Straße Am Hochgarten

Die durchgeföhrte Blendberechnung, die in Form von Simulationen, Analysen, Testläufen und deren Auswertung erfolgte, zeigt, dass in beiden Fahrtrichtungen der Straße Am Hochgarten nicht mit Blendungen zu rechnen ist.



Abb. 29: Detailansicht der kritischsten Emissionsstandorte entlang der am Hochgarten Straße in beide Fahrtrichtungen

Abbildung 29 zeigt eine Detailansicht der Berechnungsergebnisse am Emissionsstandort entlang der Straße Am Hochgarten in beiden Fahrtrichtungen. Die Ergebnisse der durchgeföhrten Blendberechnung weisen keine potenziellen Blendwirkungen auf, die die Verkehrssicherheit, auf der Straße am Hochgarten beeinträchtigen oder den Komfort der Verkehrsteilnehmer mindern könnten.

8.3. Wohnbebauung an der Kürrenberger Straße

Im Rahmen dieses Gutachtens wurde die mögliche Blendung der geplanten Photovoltaik-Freiflächenanlage, auf die südlich des Solarpark gelegene Wohnbebauung an die Kürrenberger Straße sorgfältig simuliert und analysiert. Als Bewertungsgrundlage dient die oben erwähnte LAI. Basierend auf den durchgeföhrten Analysen, Simulationen und Testläufen kann festgehalten werden, dass mit Beeinträchtigungen in Form von Blendungen zu rechnen ist. Die Abbildung 30 zeigt die Berechnungsergebnisse für die angrenzende Wohnbebauung.



Abb. 30: Simulation Wohnbebauung – Maximale Blenddauer in einem Jahr

Die Ergebnisse weisen keine potenziellen Blendungen in schutzwürdigen Räumen auf. Demnach müssen grundsätzlich keine Maßnahmen ergriffen werden.

8.4. Wohnbebauung an der Straße Am Hochgarten

Im Rahmen dieses Gutachtens wurde die mögliche Blendung der geplanten Photovoltaik-Freiflächenanlage, die sich in der Nähe der Wohnbebauung an der Am Hochgarten Straße befindet, sorgfältig simuliert und analysiert. Als Bewertungsgrundlage dient die oben erwähnte LAI. Basierend auf den durchgeführten Analysen, Simulationen und Testläufen kann festgehalten werden, dass mit Beeinträchtigungen in Form von Blendungen zu rechnen ist. Die Abbildung 31 zeigt die Berechnungsergebnisse für die angrenzende Wohnbebauung.

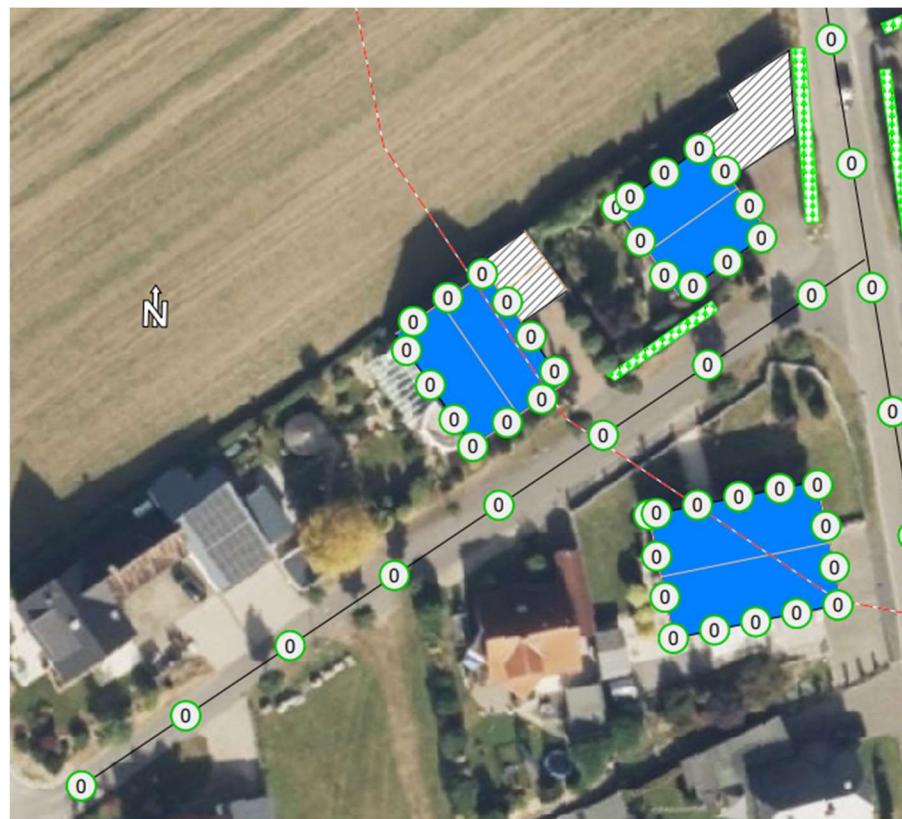


Abb. 31: Simulation Wohnbebauung – Maximale Blenddauer in einem Jahr

Die Ergebnisse weisen keine potenziellen Blendungen in schutzwürdigen Räumen auf. Demnach müssen grundsätzlich keine Maßnahmen ergriffen werden.

9. Maßnahmen zur Gefahrenabwehr der Verkehrsteilnehmer

Kapitel 8 zeigt auf, dass durch die geplante FF-PVA keine Blendungen auf der Kürrenberger Straße, an der Straße Am Hochgarten und in der Wohnbebauung an beiden Straßen verursacht werden. Daher ist die Erarbeitung eines Maßnahmenkataloges zur Gefahrenabwehr nicht notwendig.

10. Fazit

In der Gemarkung Reudelsterz plant der Auftraggeber die Errichtung einer FF-PVA. Mit diesem Gutachten sollte ermittelt werden, ob durch die geplante FF-PVA Beeinträchtigungen für die Verkehrsteilnehmer auf der umliegenden Straße in Form von Blendungen entstehen können. Für die Planung wurden die entsprechenden Berechnungen und Simulationen durchgeführt und die Ergebnisse dargelegt.

Eine Belästigung der Verkehrsteilnehmer durch Blendung, ausgelöst durch die FF-PVA Reudelsterz, gemäß § 5 BImSchG ist entsprechend der Berechnungsergebnisse aus Kapitel 8 ausgeschlossen, da die Sicherheit durch Vermeidung von potenziellen Sonnenlichtreflexionen auf der Kürrenberger Straße, an der Straße Am Hochgarten und in der Wohnbebauung an beiden Straßen jederzeit gewährleistet werden kann.



Peter Ronig, M.Sc., M.BC.



Steven Maibach, M.Eng.

11. Literaturverzeichnis

- [1] Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) „Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen“; Stand 08.10.2012.
- [2] Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU) „Lichtimmissionen durch Sonnenlichtreflexionen – Blendwirkung von Photovoltaikanlagen“; Stand: 17.10.2012.
- [3] Länderausschuss für Immissionsschutz „Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen“ (WEA-Schattenwurf-Hinweise); Stand: Mai 2002.
- [4] Belegungsplan und Aufständerung; erhalten vom Bauherrn
- [5] Bildmaterial vom Immissionsbereich; erhalten durch Google-Streetview
- [6] Strahlenschutzkommision, „Blendung durch natürliche und neue künstliche Lichtquellen und ihre Gefahren, Empfehlung der Strahlenschutzkommision“; 17.02.2006.
- [7] Fachverband für Strahlenschutz e.V.; Rüdiger Borgmann, Thomas Kurz; „Leitfaden „Lichteinwirkung auf die Nachbarschaft“; 10.06.2014.