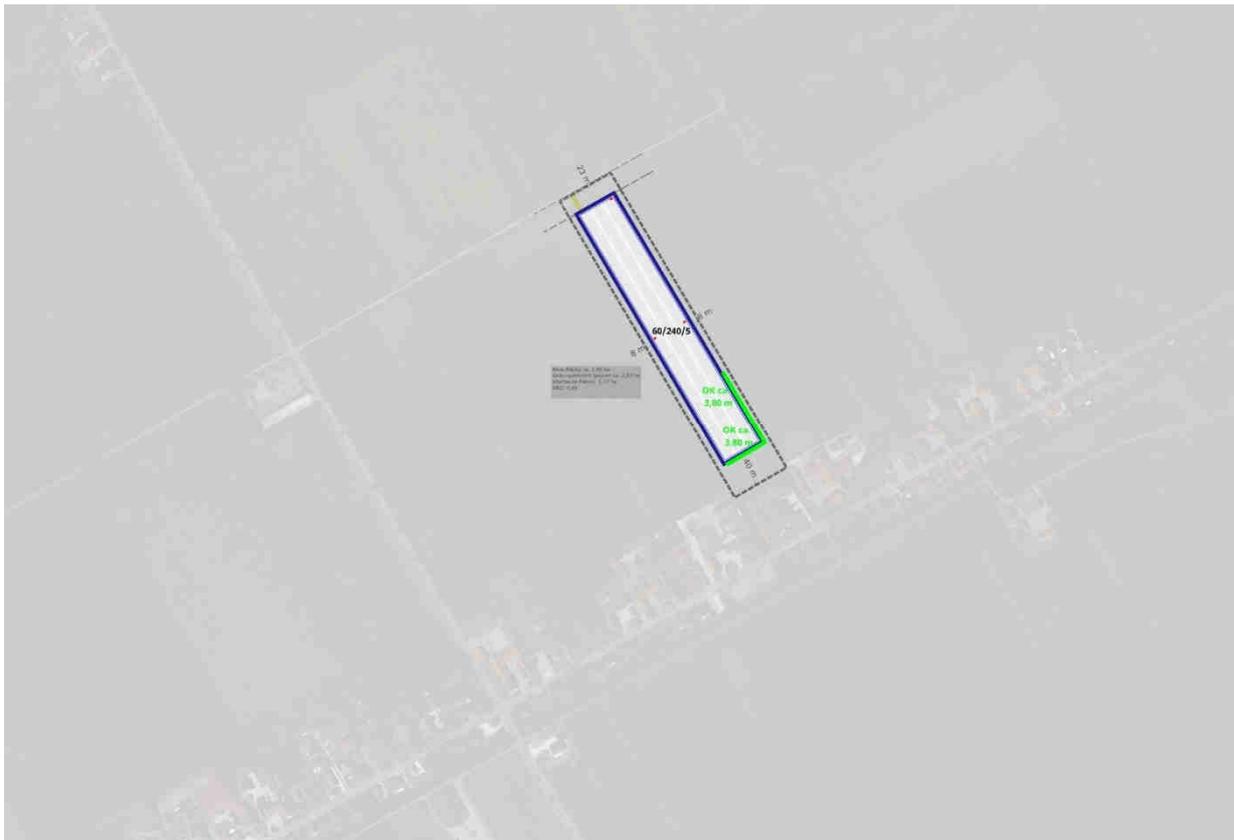


## Gutachten über die zu erwartende Blendung durch Sonnenreflexionen der geplanten Photovoltaikanlage Klingsmoos 2



GA-Nummer: Te-240513-K-1

Im Auftrag von  
Anumar Solar GmbH  
Ingolstadt

Verfasser  
Jens Teichelmann, Dipl.-Ing. Lichttechnik  
IBT 4Light GmbH  
Fürth

Fürth, 31.05.2024

Licht-Immissionsgutachten  
Photovoltaikanlage Klingsmoos 2

**Auftraggeber:**

Anumar Solar GmbH

Hauwöhler Straße 21  
85051 Ingolstadt

**Auftragnehmer:**

Dipl.-Ing. Jens Teichelmann

IBT 4Light GmbH

Ingenieur- und Sachverständigenbüro  
für Licht- und Beleuchtungstechnik

Boenerstraße 34  
90765 Fürth

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>1 Extrakt</b>	<b>4</b>
<b>2 Allgemeines</b>	<b>6</b>
2.1 Aufgabenstellung, Zweck des Gutachtens	6
2.2 Tatsachenfeststellung, Beschreibung der Situation	7
2.3 Zur Verfügung stehende Unterlagen	10
2.4 Verwendete Hilfsmittel	11
2.5 Verwendetes Schrifttum und Quellen	11
<b>3 Vorgehensweise Berechnung und Bewertung der Sonnenreflexion an den Photovoltaikmodulen</b>	<b>12</b>
3.1 Grundlegende Methodik	12
3.2 Ortstermin, beteiligte Personen	13
<b>4 Schutzgut Mensch: Ergebnisse und Auswertung der an den Immissionsorten erreichten Reflexionswerte</b>	<b>14</b>
4.1 Ermittlung der Eckpunkte des Reflexionsverhaltens der Photovoltaikmodule	14
4.2 Ermittlung der möglicherweise relevanten Immissionsorte	16
4.3 Ermittlung der Störungen durch Direktreflexion und durch Streulicht durch Bündelaufweitung	19
<b>5 Schutzgut Fauna: Auswirkungen der Lichtimmissionen durch Sonnenreflexion auf Tiere</b>	<b>28</b>
<b>6 Zusammenfassung und Erörterung der Ergebnisse</b>	<b>29</b>

## 1 Extrakt

Im Auftrag der Anumar Solar GmbH in Ingolstadt wurde die geplante Photovoltaik-Freiflächenanlage Klingsmoos 2 nördlich der Pfalzstraße von Untermaxfeld und östlich der Birkenstraße hinsichtlich der auf der Birkenstraße, der Pfalzstraße und in der östlich, südlich und südwestlich liegenden Wohnbebauung von Untermaxfeld zu erwartenden Blendung durch Sonnenreflexion untersucht.

Da es sich um eine noch nicht realisierte Anlage handelt wurde über eine Worst-Case-Betrachtung anhand der vorliegenden Angaben eine rechnerische Bewertung der geplanten Anlage durchgeführt.

Hierzu wurden in Ermangelung produktspezifischer Reflexionsdaten der vorgesehenen Photovoltaikmodule vom Hersteller Eckdaten für das Reflexionsverhalten der Moduloberflächen aus anderen, vergleichbaren Situationen herangezogen.

Die Betrachtung der zu erwartenden Blendung erfolgte durch eine Bewertung der bei dieser Anlagengeometrie möglichen Effekte durch Direktreflexion des Sonnenlichtes sowie durch eine Bewertung des bei der Reflexion auf der Oberfläche des Photovoltaikmoduls gestreuten Sonnenlichtanteils mittels einer Reflexionsberechnung im dreidimensionalen Raum und unter Berücksichtigung des Reflexionsverhaltens der Oberfläche.

Es wurde jeweils untersucht, inwieweit mögliche Blendwirkungen durch Sonnenlichtreflexionen an den Oberflächen der Photovoltaikmodule als relevant wahrgenommen werden und ob diese die für das Führen von Fahrzeugen auf den betreffenden Verkehrswegen relevanten Sichtfelder betreffen.

Durch die Realisierung der untersuchten Photovoltaik-Freiflächenanlage sind bei Ausführung der Anlage gemäß des uns vorliegenden, im Vorfeld bzgl. der Blendung optimierten Konzeptes und bei Realisierung der vorgesehenen Ausrichtung der Modulreihen und Realisierung der vorgesehenen Sichtschutzmaßnahme in entsprechend wirksamer Höhe und Ausführung keine störenden oder unzumutbaren Blendwirkungen durch Sonnenlichtreflexionen auf der Birkenstraße, der Pfalzstraße und in der östlich, südlich und südwestlich liegenden Wohnbebauung von Untermaxfeld zu erwarten.

Möglicherweise auftretende Reflexionen in Richtung der entfernten Beobachter auf der Birkenstraße in Fahrtrichtung Süd werden unter kleinen Blickwinkeldifferenzen zur Sonne gesehen, so daß diese durch die natürliche Direktblendung der Sonne überlagert werden und nicht als eigenständige Blendquelle wahrgenommen werden. Solche Reflexionen sind nach dem zu Grunde liegenden Bewertungsverfahren /1/ nicht als Blendung zu qualifizieren.

In Richtung der östlich und südlich liegenden Wohnbebauung Untermaxfeld können bei freien Sichtverbindungen und entsprechenden Sonnenständen Blendreflexionen auftreten, die durch den vorgesehenen Sichtschutz in entsprechend wirksamer Höhe und Ausführung unter die angesetzten Richtwerte gebracht werden können.

Licht-Immissionsgutachten  
Photovoltaikanlage Klingsmoos 2

Daneben treten weitere Reflexionen unter kleinen Blickwinkeldifferenzen zur Sonne auf, so daß sie durch die natürliche Direktblendung der Sonne überlagert werden und nicht als eigenständige Blendquelle wahrgenommen werden.

Eventuell auftretende kleinflächige Highlights durch Reflexionen an Biege- oder Schnittkanten z.B. des Rahmens oder der Leiterbahnen werden in größerer Entfernung gemittelt wahrgenommen und sind als unkritisch anzusehen.

Größere gerundete reflektierende Oberflächen in der Konstruktion sollten jedoch nach Möglichkeit vermieden werden.

Licht-Immissionsgutachten  
Photovoltaikanlage Klingsmoos 2

## 2 Allgemeines

Licht gehört zu den Emissionen bzw. Immissionen im Sinne des Bundesimmissionsschutzgesetzes. Sofern Immissionen „nach Art, Ausmaß oder Dauer geeignet sind, Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit oder die Nachbarschaft herbeizuführen“, so gelten sie im Sinne dieses Gesetzes als schädliche Umwelteinwirkungen. Dies betrifft neben anderen Immissionsarten auch die Lichtimmissionen.

Laut Bundesimmissionsschutzgesetz sind sowohl bei genehmigungsbedürftigen als auch bei nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen mit Ausnahme der Anlagen des öffentlichen Straßenverkehrs geeignete Maßnahmen nach Stand der Technik zu treffen, um Lichtimmissionen zu vermeiden bzw. auf ein Mindestmaß zu reduzieren. Dies betrifft insbesondere Sportstättenbeleuchtungen, Beleuchtungen in Bau, Industrie und Gewerbe, Anstrahlungen sowie Reklamebeleuchtungen.

Technische oder bauliche Anlagen, die das Sonnenlicht reflektieren, sind nach Baurecht zu behandeln und so auszuführen, dass durch die Sonnenlichtreflexionen keine Störungen bei Anwohnern, auf Verkehrsstraßen oder in sicherheitsrelevanten Einrichtungen erzeugt werden.

### 2.1 Aufgabenstellung, Zweck des Gutachtens

Im Auftrag der Anumar Solar GmbH in Ingolstadt war die geplante Photovoltaik-Freiflächenanlage Klingsmoos 2 nördlich der Pfalzstraße von Untermaxfeld und östlich der Birkenstraße auf folgende Punkte hin zu prüfen:

- Prüfung der geplanten Anlagen-Ausführung auf mögliche Störwirkungen durch direkte Sonnenreflexion an den möglichen Immissionsorten auf der Birkenstraße, der Pfalzstraße und in der östlich, südlich und südwestlich liegenden Wohnbebauung von Untermaxfeld bei statischer Ausführung der Anlage
- Prüfung der geplanten Anlagen-Ausführung auf mögliche Störwirkungen durch Streuwirkung der Sonnenreflexion auf der Glasoberfläche oder des Rahmens der Module an den festgelegten möglichen Immissionsorten

Die Bewertung weiterer Auswirkungen neben den genannten war nicht Bestandteil dieser Untersuchung.

Das Gutachten wurde zur Klärung der zu erwartenden Störungen durch eine dauerhaft installierte Photovoltaikanlage im Rahmen der Erteilung der Baugenehmigung in Auftrag gegeben. Andere Nutzungen dieses Gutachtens sind nicht zugelassen.

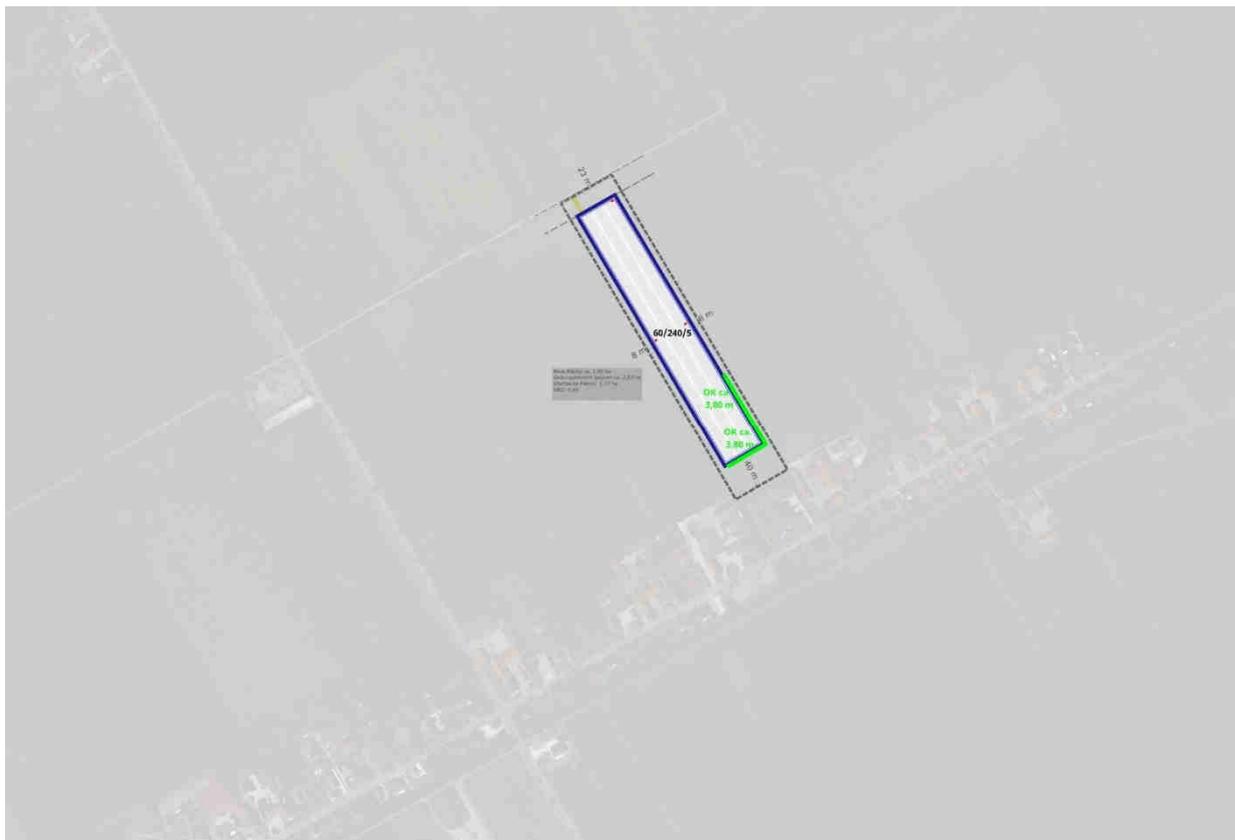
## 2.2 Tatsachenfeststellung, Beschreibung der Situation

Bei der zu betrachtenden geplanten Anlage handelt es sich um eine Photovoltaik-Freiflächenanlage, die auf einer momentan noch landwirtschaftlich genutzten Fläche nördlich der Pfalzstraße von Untermaxfeld und östlich der Birkenstraße in dem gekennzeichneten Bereich montiert werden soll.

Die Ausrichtung der Modulreihen wurde im Vorfeld über ein iteratives Rechenverfahren hinsichtlich der Blendwirkung durch Sonnenlichtreflexionen zur umliegenden Wohnbebauung und zu den Straßen hin optimiert.

Die Modulreihennormalen sollen auf entsprechenden Unterkonstruktionen mit einer verdrehten Ost-West-Ausrichtung mit einer Ausrichtung der beiden Giebelflanken auf 60° Ostnordost bzw. 240° Westsüdwest bei einer sehr flachen Aufneigung auf 5° montiert werden.

Es sollen monokristalline Photovoltaikmodule Verwendung finden, deren genaue Type zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Gutachtens noch nicht feststand.



## Licht-Immissionsgutachten Photovoltaikanlage Klingsmoos 2



Die maximale Höhe der Module mit den vorgesehenen Unterkonstruktionen soll laut Planung ca. 2,20 m mit entsprechenden Toleranzen zum Geländeausgleich betragen.  
Die Unterkante der PV-Module soll auf einer Höhe von ca. 1,70 m liegen.

An dem grün markierten Bereichen der Geländekante sollen entsprechende Sichtschutzmaßnahmen in entsprechend wirksamer Höhe und Ausführung realisiert werden.

Es soll hier eine statische Anlage betrachtet werden.

Das Gelände ist in sich sehr eben ohne nennenswerte Unebenheiten. Es ist davon auszugehen, daß bei Montage der Modulreihen in der vorgesehen Ausrichtung entsprechende keine nennenswerten Querneigungen auftreten werden, die die resultierende Ausrichtung der Einzelmodule beeinflussen und die bei den weiteren Betrachtungen berücksichtigt werden müssen.

Südlich bzw. südöstlich des Geländes verläuft von Südwest nach Nordost die Pfalzstraße auf etwa gleicher Höhe wie das betrachtete Gelände. Die Pfalzstraße endet östlich der gegenständlichen Anlage.

Entlang der Pfalzstraße befindet sich Bebauung mit Wohn- und Nutzgebäuden.

Licht-Immissionsgutachten  
Photovoltaikanlage Klingsmoos 2

Westlich der betrachteten Fläche verläuft von Nordwesten kommend und annähernd rechtwinklig auf die Pfalzstraße stoßend die Birkenstraße.

Zwischen der Bebauung und der gegenständlichen Fläche befindet sich teilweise Bewuchs, der auch bei fehlender Belaubung einen gewissen Sichtschutz darstellt. Dieser Sichtschutz wird in den nachfolgenden Betrachtungen im Sinne einer Worst Case-Bewertung im ersten Schritt nicht berücksichtigt.

Die für die Berechnungen der Blendwirkung erforderlichen Beobachter-Azimut- und -Elevationswinkel wurden durch Berechnung ermittelt und gehen in die weiteren Betrachtungen ein.

Die nachfolgende Bewertung bezieht sich auf die gesamte zu Grunde gelegte Fläche und auf die genannten Rahmenbedingungen (Ausrichtung und Aufneigung der Module, Bauhöhe der Modulkonstruktionen, Querneigung, Art der Module usw.). Kleine Änderungen innerhalb dieser Parameter wie z.B. leicht veränderte Modulanordnungen, andere Reihenabstände, niedrigere oder geringfügig höhere Bauhöhen, Modulanordnungen quer oder hochkant usw. wirken sich auf die ermittelten Ergebnisse nicht aus.

Die nachfolgenden Aussagen gelten also für alle Anlagengeometrien innerhalb der oben genannten Fläche mit den oben genannten Ausrichtungen und Aufneigungen der Modulreihen, den benannten Modultypen und innerhalb der genannten Bauhöhe der Modulkonstruktionen in gleichem Maße.

An der südlichen und einem Teil der östlichen Geländekante in Richtung der Wohnbebauung von Untermaxfeld sind entsprechende Sichtschutzmaßnahmen vorgesehen.

Die erforderlichen Daten zur Festlegung der wirksamen Sichtschutzhöhen wurden dem Bayernatlas entnommen. Die ermittelten wirksamen Sichtschutzhöhen müssen im weiteren Verlauf der Planung noch mal geprüft und verifiziert werden, da Abweichungen in den Geländehöhen und auch in den Bauhöhen der Modulkonstruktionen ggf. auch andere Höhen des Sichtschutzes erforderlich machen können.

Die wirksame Höhe dieses Sichtschutzes muß entweder durch Berechnung oder durch Anpeilen über eine Meßlatte anhand der nach Realisierung der Photovoltaikanlage vorliegenden Geländehöhen und der sichtbaren Modulflächen ermittelt werden.

Eine überschlägige Ermittlung der wirksamen Höhen auf Basis der Geländehöhen aus Google Earth bzw. dem Bayernatlas ergab bei der geplanten Bauhöhe der Modulkonstruktionen eine Höhe der Oberkante des Sichtschutzes von ca. 3,80 m. Die untere Seite des Zaunes kann wegen der erhöhten Unterkante der Module bis zu einer Höhe von ca. 1,40 m ohne Sichtschutz realisiert werden.

Ein solcher Sichtschutz kann durch eine entsprechend hohe und dichte, im betreffenden Zeitraum belaubte Bepflanzung oder durch bauliche Maßnahmen am Zaun wie Wellblech- oder Kunststoffplatten, textiler Sicht- oder Sonnenschutz usw. realisiert werden.

Licht-Immissionsgutachten  
Photovoltaikanlage Klingsmoos 2

Dieser Sichtschutz ist nur in den Bereichen erforderlich, in denen die entsprechenden Sichtverbindungen tatsächlich vorliegen. Sofern die relevanten Sichtachsen bereits durch vorhandene Gegebenheiten wie z.B. Bewuchs, Verbauung oder den Geländeverlauf unterbrochen werden, so ist in diesen Bereichen kein zusätzlicher Sichtschutz erforderlich. Sofern sich die Situation diesbezüglich im Laufe der Betriebsdauer der Anlage verändert, so sind ggf. nachträglich ergänzende Sichtschutzmaßnahmen vorzusehen.

Mit dieser Maßnahme können die festgestellten Blendwirkungen bei entsprechender Ausführung und Höhe des Sichtschutzes vermieden bzw. stark gemindert werden, so daß von einer Einhaltung der Richtwerte ausgegangen werden kann.

### **2.3 Zur Verfügung stehende Unterlagen**

Die Begutachtung wurde anhand folgender vorliegender Unterlagen durchgeführt:

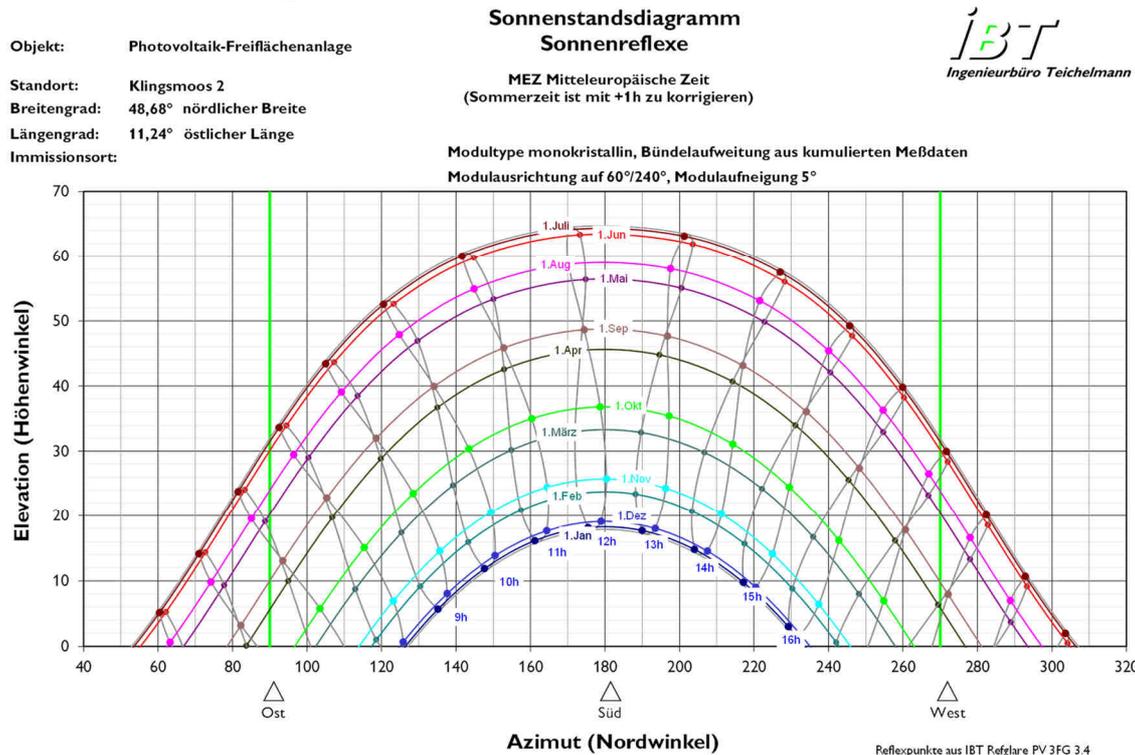
- Modulbelegungspläne/Pläne:
  - o 20240320\_Modullayout P21-400 SP Königsmoos II-Gesamt.pdf
- Luftbild des Geländes, vom AG bereitgestellt

Licht-Immissionsgutachten  
Photovoltaikanlage Klingsmoos 2

## 2.4 Verwendete Hilfsmittel

Für die Begutachtung wurden folgende Hilfsmittel verwendet:

- Sonnenstandsdiagramm MEZ für die Ortskoordinaten des Geländes



- Excel
- Reflexionsmatrixsoftware Refglare PV 3FG 3.4
- Sonnenbahnsoftware Sunway PV 1.11 MEZ
- Expositionsermittlungssoftware Sunway Exposure 1.1 MESZ
- Eckdaten aus Messungen der Reflexionsindikator und des Reflexionsgrades zur Ermittlung der Bündelaufweitung/Streuung an der Moduloberfläche an diversen poly- und monokristallinen Testmodulen verschiedener Typen und Hersteller mit Standard-Solarglas

## 2.5 Verwendetes Schrifttum und Quellen

Auf folgende Quellen wurde bei der Bewertung Bezug genommen:

- Messwerte des Reflexionsverhaltens von Probemodulen aus anderen, ähnlichen Untersuchungen
- Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionschutz (LAI), Beschluß der LAI vom 13.9.2012 /1/

### 3 Vorgehensweise Berechnung und Bewertung der Sonnenreflexion an den Photovoltaikmodulen

#### 3.1 Grundlegende Methodik

Das Gutachten bezieht sich auf eine Worst-Case-Betrachtung der relevanten Eckpunkte der noch nicht realisierten Photovoltaikanlage. Die Bewertung beruht ausschließlich auf der im Plan vorgesehenen Ausführung hinsichtlich Montage und Ausrichtung der Module. Es wurde jeweils das direkt in Hauptreflexionsrichtung reflektierte Sonnenlicht und die dadurch verursachte Abbildung der Sonnenscheibe sowie das anhand von verschiedenen Messwerten aus früheren Untersuchungen abgeschätzte Streulicht betrachtet.

Die Begutachtung der Lichtimmission beruht ausschließlich auf rechnerischen Ergebnissen auf Basis der vorliegenden Daten. Veränderungen in der Ausführung oder Anordnung der Anlage müssen ggf. nochmals geprüft werden.

Die Sonnenscheibe im Zenit hat bei klarer Sicht eine Leuchtdichte von ca. 1,6 Mrd  $\text{cd}/\text{m}^2$ , am Horizont noch ca. 6 Mio  $\text{cd}/\text{m}^2$ .

Die Absolutblendung des menschlichen Auges, die eine nachwirkende Störung der Sehfähigkeit (z.B. helle Punkte im Sichtfeld, nachdem man in die Sonne geschaut hat) bewirkt, beginnt bei ca. 100.000  $\text{cd}/\text{m}^2$ .

Je nach Adaptationszustand des Auges können bereits bei punktuellen Leuchtdichteerhöhungen um das ca. 3...5-fache der Umgebungshelligkeit Blendwirkungen erzeugt werden. Wenn durch diese die Sehfähigkeit kurzzeitig gestört wird nennt man dies physiologische Blendung. Bei Blendungen, die die Sehfähigkeit zwar nicht beeinträchtigen, aber störend wirken, spricht man von psychologischer Blendung.

Je nach Reflexionsverhalten der Umgebung kann die Adaptationsleuchtdichte des Auges an einem hellen Sommertag außen ca. 5.000...8.000  $\text{cd}/\text{m}^2$  betragen. Bei Aufenthalt in einem Raum ist diese wesentlich niedriger, so dass eine Blendquelle hier deutlich stärker blendet als im Außenbereich.

Auch bei Oberflächen, die nur einen geringen Anteil dieser hohen Leuchtdichte in eine bestimmte Richtung reflektieren, können durch die Reflexion in diese Richtung noch sehr hohe Leuchtdichten entstehen, die eine physiologische Blendung, u.U. auch eine Absolutblendung bewirken.

Die Bewertung des direkt reflektierten Sonnenlichtes erfolgt über entsprechende Winkelberechnungen im dreidimensionalen Raum zwischen der geplanten Anordnung und Ausrichtung der vorgesehenen Photovoltaikmodule, deren winkelabhängig differenzierten Reflexionseigenschaften, den von der Jahres- und Tageszeit abhängigen möglichen Sonnenständen sowie der geografischen Lage der festgelegten zu betrachtenden möglichen Immissionsorte.

Licht-Immissionsgutachten  
Photovoltaikanlage Klingsmoos 2

In der Reflexionsmatrixsoftware wird für jeden an diesem Standort möglichen Sonnenstand die mögliche Blendwirkung für den betreffenden Beobachter ermittelt und im Sonnenbahn-diagramm dargestellt. Diese Darstellungsform hat sich als sehr praktikabel erwiesen, weil hier sowohl die Winkelverhältnisse der Sonne mit den entsprechenden Azimut- und Elevationswinkeln als auch die relevanten Tages- und Jahreszeiten des Auftretens der Reflexionen darstellbar sind.

Für die korrekte Berechnung des bei der Reflexion von der Oberfläche der Module gestreuten Lichtes werden Angaben zum Reflexionsverhalten des Materials - insbesondere der Reflexionsgrad und die Reflexionsindikatrix - benötigt.

Diese lagen im konkreten Fall nicht vor. Die Bewertung des Streulichtanteils erfolgte somit anhand von Reflexionswerten anderer Module aus vorangegangenen Untersuchungen.

Für Wohnbebauung erfolgt die Bewertung der Blendung nach Richtwerten, die von der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz und den Landesumweltämtern als zumutbare Grenze festgelegt wurden. Nach diesen werden Blendwirkungen durch Sonnenlichtreflexionen als zumutbar angesehen, wenn die astronomisch mögliche Einwirkzeit als wetterunabhängige Größe 30 min pro Tag und 30 h pro Jahr nicht überschreitet.

Diese Richtwerte werden auch hier angesetzt.

Die zu Grunde liegende, von der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz verabschiedete Leitlinie /1/, die diese Richtwerte beinhaltet, wurde zwar von den Ministerien der meisten Bundesländer nicht veröffentlicht, kann aber in Ermangelung anderer Richtlinien zu diesem Thema informativ herangezogen werden.

### **3.2 Ortstermin, beteiligte Personen**

Ein Ortstermin wurde nicht durchgeführt. Die nachfolgenden Betrachtungen wurden auf Basis von vom Auftraggeber bereitgestellten Daten und Angaben sowie auf Basis von Fotos aus Google Streetview durchgeführt, die für diese Bewertung hinreichend genau und aussagekräftig vorlagen.

## **4 Schutzgut Mensch: Ergebnisse und Auswertung der an den Immissionsorten erreichten Reflexionswerte**

### **4.1 Ermittlung der Eckpunkte des Reflexionsverhaltens der Photovoltaikmodule**

Als Basis für die Bewertung wurden Eckdaten des Reflexionsverhaltens verschiedener vergleichbarer Testmodule herangezogen.

Die vermessenen Photovoltaikmodule mit einer simulierten Verschmutzung unterscheiden sich in ihrem Reflexionsverhalten deutlich.

Die Moduloberflächen weisen bei steilen Einstrahlwinkeln ein stark gerichtetes Reflexionsverhalten mit einer mittleren Bündelaufweitung von ca. 4° ... 6° Halbwinkel auf. Der partielle Reflexionsgrad in Hauptreflexionsrichtung beträgt bei den vermessenen Modulen zwischen ca. 0,3 ... 0,5% bei steilem Einstrahlwinkel.

Außerhalb der genannten Bündelaufweitung sinkt der partielle Reflexionsgrad stark ab, so dass im übrigen Halbraum keine störenden Reflexleuchtdichten erzeugt werden. Ein kleiner Teil des auftreffenden Lichtes wird mit einer Lambertcharakteristik streuend reflektiert.

Bei flacheren Einstrahlwinkeln ab ca. <math>40^\circ</math> zur Modulebene verändert sich das Reflexionsverhalten der Oberflächen. Insbesondere in diesem Einstrahlbereich unterscheiden sich die vermessenen Module in ihren Reflexionsdaten.

Der Reflexionsgrad der Oberflächen steigt bei beiden Modultypen stark an. Die Streuung nimmt – hauptsächlich durch die Verschmutzung und die Struktur der Oberflächen – ebenfalls stark zu. Dies hat zur Folge, dass die Abbildung der Sonnenscheibe unschärfer wird und aus einem größeren Winkelkorridor wahrgenommen werden kann. Durch die stärkere Streuung bei diesen flachen Einstrahlwinkeln ist die Leuchtdichte der Abbildung gleichzeitig stark reduziert. In der Regel steigt die Bündelaufweitung, in der noch nennenswerte Reflexleuchtdichten erreicht werden, ab einem Einstrahlwinkel von ca. 40° zur Modulebene deutlich an und hat im Bereich zwischen ca. 10° und 25° ein unterschiedlich stark ausgeprägtes Minimum, teilweise einhergehend mit einer Reduzierung des partiellen Reflexionsgrades in diese Reflexionsrichtungen.

Licht-Immissionsgutachten  
Photovoltaikanlage Klingsmoos 2

Bündelaufweitung beim Sonnentest eines polykristallinen Moduls,  
Einstrahlwinkel ca. 20°, Reflexleuchtdichte ca. 8 Mio cd/m<sup>2</sup>

Außerhalb der genannten Reflexionsbündel konnten in den Messungen keine nennenswerten Leuchtdichteerhöhungen mehr festgestellt werden.

Die ermittelten partiellen Reflexionsgrade sowie die Bündelaufweitungen stellen die Basis für die weiteren Untersuchungen der erreichten Blendwerte dar.

Vor allem bei größeren Entfernungen zwischen Immissionsort und Blendquelle ist die Bündelaufweitung eine wichtige Größe der Beurteilung.

Diese lagen im konkreten Fall für die verwendete Modultype von Seiten des Herstellers nicht vor. Für die Untersuchung wurde eine kumulierte Rechendatei aus den Reflexionsdaten diverser kristalliner Modultypen mit Standard-Solarglas mit einem Sicherheitspuffer von 2° verwendet. Die zu Grunde liegenden Reflexionsdaten dieser Modultypen wurden in partiellen Vermessungen der Reflexionsdaten im Rahmen vorangegangener ähnlicher Untersuchungen ermittelt.

Diese Modultypen weisen mittlere, typische Reflexionsdaten mit den typischen Minima und Maxima auf, so daß von einer guten Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere, vergleichbare Modultypen ausgegangen werden kann.

Die in den damaligen Untersuchungen nicht aufgenommenen Winkel konnten interpoliert werden.

Bei der hier betrachteten konkreten Situation ergaben sich durch sehr flache Einstrahlwinkel jedoch Blickwinkel, in die das reflektierte Sonnenlicht stark gestreut wird, so dass sich durch Differenzen im Reflexionsverhalten in erster Linie die Einwirkzeit und die Helligkeit der Blenderscheinung ändert, die geometrische Situation aber nur geringfügig beeinflusst wird.

## Licht-Immissionsgutachten Photovoltaikanlage Klingsmoos 2

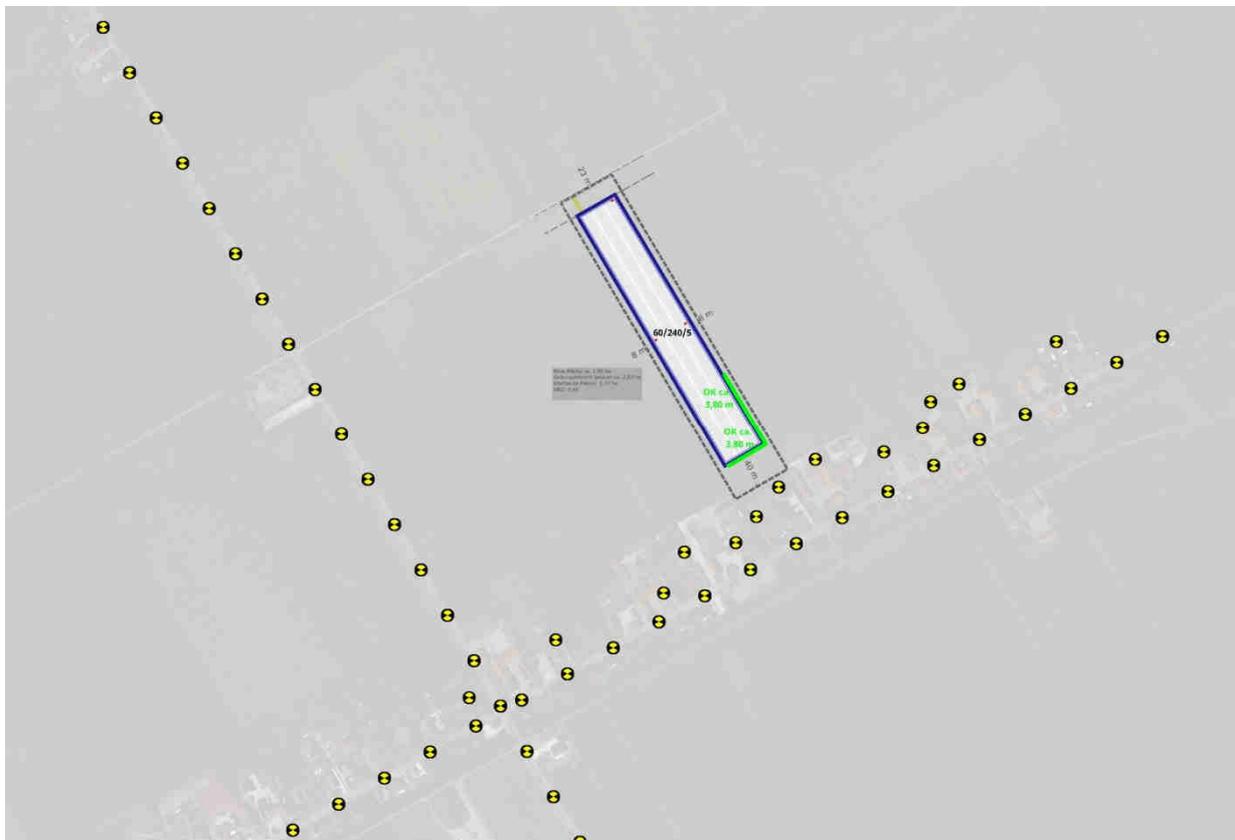
Die Messungen beziehen sich jeweils auf Oberflächen mit einer leichten Staubauflagerung, die bei der Messung simuliert wurde. Entsprechende stärkere Verschmutzungen, die in der Realität durchaus vorkommen, wirken sich mindernd auf die Leuchtdichte der Reflexion des Sonnenlichtes und stärker streuend aus.

Die Rahmen bestanden bei den Testmodulen meist aus gebürstetem Aluminium, das in den Messungen eine in Hauptreflexionsrichtung leicht gerichtete und ansonsten sehr gleichmäßige, fast lambertartige Reflexionsindikatrix mit einem geringen Reflexionsgrad von ca. 2 ... 5% aufwies.

### 4.2 Ermittlung der möglicherweise relevanten Immissionsorte

Auftragsgemäß waren die möglicherweise relevanten Immissionsorte auf der Birkenstraße, der Pfalzstraße und in der östlich, südlich und südwestlich liegenden Wohnbebauung von Untermaxfeld zu untersuchen.

Möglicherweise relevante Immissionsorte können auf Grund der geometrischen Situation und der vorliegenden Sichtachsen auf und zwischen den markierten Punkten liegen:



Licht-Immissionsgutachten  
Photovoltaikanlage Klingsmoos 2

Für weiter entfernt liegende Beobachter liegen keine Sichtverbindungen zu den Moduloberflächen vor.

Teilweise können die Modulkonstruktionen im relevanten Sichtfeld der Beobachter nur von hinten gesehen werden, so daß hier keine von den Moduloberflächen ausgehende Blendwirkung erfolgen kann.

Bei der Bewertung von Blendwirkungen in Richtung von KFZ-Führern wird jeweils das relevante Sichtfeld bis maximal 30° Abweichung von der Hauptblickrichtung herangezogen.

Weiter von der Hauptblickrichtung abweichende Blickwinkel werden hinsichtlich der Blendwirkung in der Regel als unkritisch eingeschätzt.

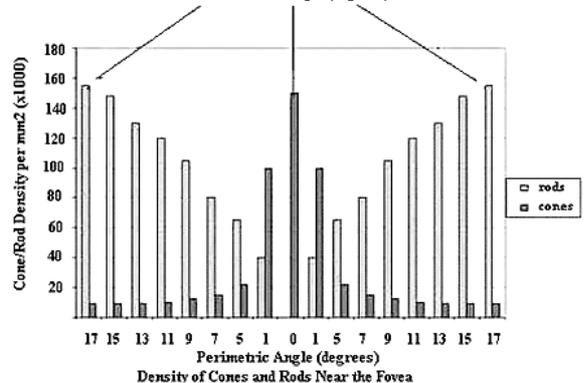
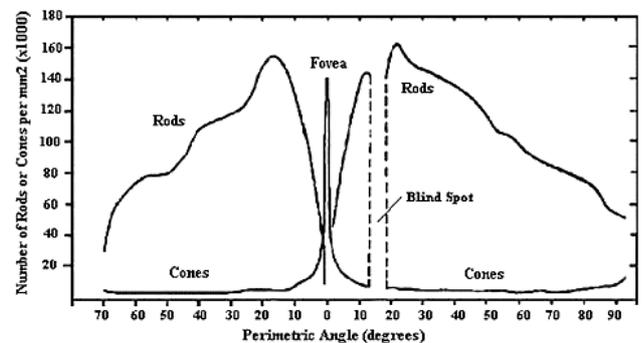
In Kreuzungs- oder Abbiegebereichen wird wegen dem dann schweifenden Blick der Fahrer ein entsprechend weiteres relevantes Sichtfeld angesetzt.

Für diesen Ansatz eines relevanten Sichtfeldes bei der Bewertung von Lichtreflexionen für Fahrer, Lokomotivführer, Piloten oder ähnliches gibt es in Deutschland langjährige Erfahrungen. Dieser Ansatz erfolgt dabei in Anlehnung an verschiedene Richtlinien wie z.B. die in Österreich zur Bewertung von Blendung durch Sonnenlicht verwendete OVE-Richtlinie R 11-3 oder der ECE-Regelung für das vordere Sichtfeld bei KFZ und wird in ähnlicher Form mit einem kleineren Winkelbereich z.B. auch bei den autobahneigenen Blendschutzzäunen angewendet. Durch den langjährigen Ansatz dieser Prämisse und die Tatsache, daß mittlerweile viele tausend PV-Anlagen unter Ansatz eines solchen relevanten Sichtfeldes auf den privilegierten Flächen entlang von Autobahnen, Verkehrsstraßen, Bahnstrecken, Flughäfen oder ähnlichem realisiert worden sind, entspricht dieser Ansatz dem Stand der Technik.

Es sind keine Fälle bekannt, bei denen durch Sonnenlichtreflexionen außerhalb dieses relevanten Sichtfeldes verkehrgefährdende Situationen, Unfälle oder ähnliches verursacht worden sind.

Der Reflex wird bei stark von der Hauptblickrichtung abweichenden Blickwinkeln in der Regel nur am Rand des Sichtfeldes peripher oder bei kurzzeitigen Veränderungen der Blickrichtung z.B. beim Überholen oder beim Spurwechsel nur kurzzeitig und erwartbar wahrgenommen und behindert die für eine sichere Fahrt auf dieser Fahrspur erforderliche Blickrichtung in der Regel nicht.

Bei der für einen Fahrer in dieser Situation typischen Blickrichtung wird der Reflex in einem Bereich zwischen 10° ... 20° abweichend von der Fovea Centralis, dem Ort der scharfen Abbildung sowie der höchsten Konzentration an Zapfen im Auge, abgebildet.



Distribution of Rods and Cones on the Human Retina

(From Osterberg, G. "Topography of the Layer of Rods and Cones in the Human Retina", Acta Ophthalmologica, Supplement, Vol. 6, 1-103, 1935)

Figure 2

Licht-Immissionsgutachten  
Photovoltaikanlage Klingsmoos 2

Hier ist die Konzentration der für eine Blendwirkung verantwortlichen Zapfen („Cones“ – die für das Tagsehen verantwortlichen Rezeptoren im Auge) sehr gering, so dass eine Blendung in diesem peripheren Sehbereich stark vermindert wahrgenommen wird.

Man geht hier auf Grund der Konzentration der Rezeptoren von einer um ca. 90% ... 95% reduzierten Blendwirkung aus.

Daher sind bei stärker von der Hauptblickrichtung abweichenden Blickwinkeln keine störenden Direktblendung durch die Sonnenlichtreflexionen an den Moduloberflächen zu erwarten. Insofern ist davon auszugehen, daß eine Differenzierung möglicher Direktreflexionen des Sonnenlichtes in kritische Blendreflexionen innerhalb des angesetzten relevanten Sichtfeldes der Fahrer und weitestgehend unkritische Sonnenlichtreflexionen außerhalb des relevanten Sichtfeldes der Fahrer die Relevanz dieser Reflexionen auf mögliche Beeinträchtigungen des Verkehrs in der Realität gut abgebildet und daß mögliche Gefährdungen der Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs auf den betreffenden Verkehrswegen durch diesen Ansatz gut eingeschätzt werden können.

Weitere mögliche und relevante Immissionsorte, die der Spezifikation der Aufgabenstellung entsprechen, wurden auf in diesen Bereichen nicht festgestellt.

### **4.3 Ermittlung der Störungen durch Direktreflexion und durch Streulicht durch Bündelaufweitung**

#### Wohnbebauung von Untermaxfeld

In der östlich, südlich und südwestlich der Anlage liegenden Wohnbebauung der Ortschaft Untermaxfeld bestehen von einigen Gebäuden aus Sichtverbindungen zu den Moduloberflächen, die hinsichtlich einer möglichen Blendung relevant sein können.

Bei den für die nachfolgenden Betrachtungen relevanten Gebäuden handelt es sich um Wohngebäude mit Fenstern in die entsprechenden Richtungen im Erdgeschoß und 1. Obergeschoß.

Stellvertretend werden hier einige Punkte berechnet, bei denen nach den bekannten Daten vom Vorliegen der entsprechenden Sichtverbindungen über einen großen Winkelbereich ausgegangen werden kann.

Die Auswirkungen auf die in ähnlichen Winkelbereichen zur Anlage liegenden Gebäude können aus den ermittelten Ergebnissen interpoliert werden.

Teilweise sind die Sichtverbindungen zu den Reflexionsflächen der Anlage durch Verbauung oder Bewuchs unterbrochen. Hier wurde jeweils der Worst Case berechnet, in dem der Bewuchs, dessen abschattende Wirkung im Jahresverlauf sowie auch über die Laufzeit der Photovoltaikanlage betrachtet keine konstante Größe ist, nicht berücksichtigt wird.

Hier werden in Anlehnung an das Bewertungsverfahren der Landesumweltämter die zeitlichen Richtwerte einer als noch zumutbar angesehenen astronomisch möglichen Einwirkdauer der Blendwirkung von maximal 30 min/Tag und maximal 30 h/Jahr angesetzt.

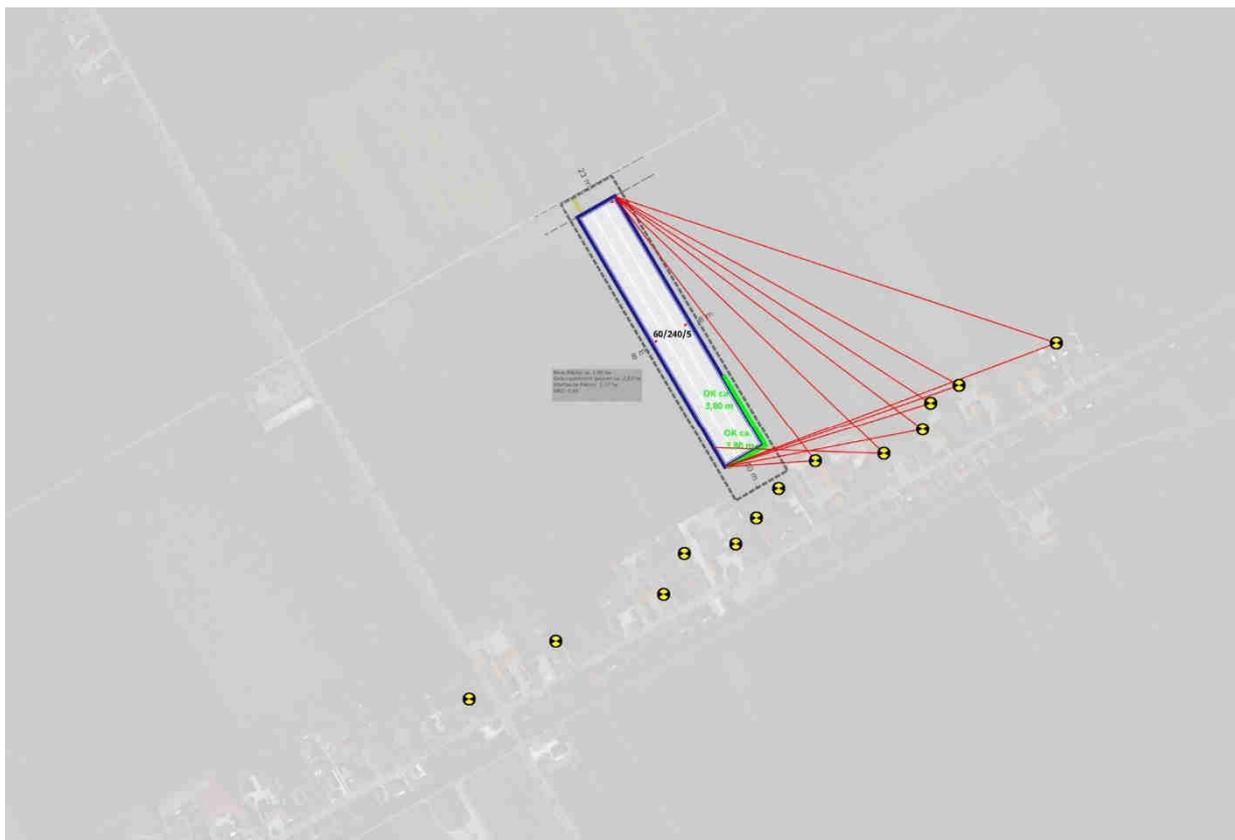
Die übrigen Punkte können aus diesen Ergebnissen interpoliert werden.

## Licht-Immissionsgutachten Photovoltaikanlage Klingsmoos 2

### Südöstlich der Anlage liegende Wohnbebauung

Stellvertretend für die Wohnbebauung im östlichen bzw. südöstlichen Bereich der Anlage wurden die nachfolgend markierten Immissionsorte berechnet.

Hier können beim Blick zu den Moduloberflächen Beobachter-Azimuthwinkel zwischen ca. 69° Ostnordost und 143° Südost bei Beobachter-Elevationswinkeln zwischen ca. +0,2° und +1,3° bezogen auf die Einzelflächen auftreten.



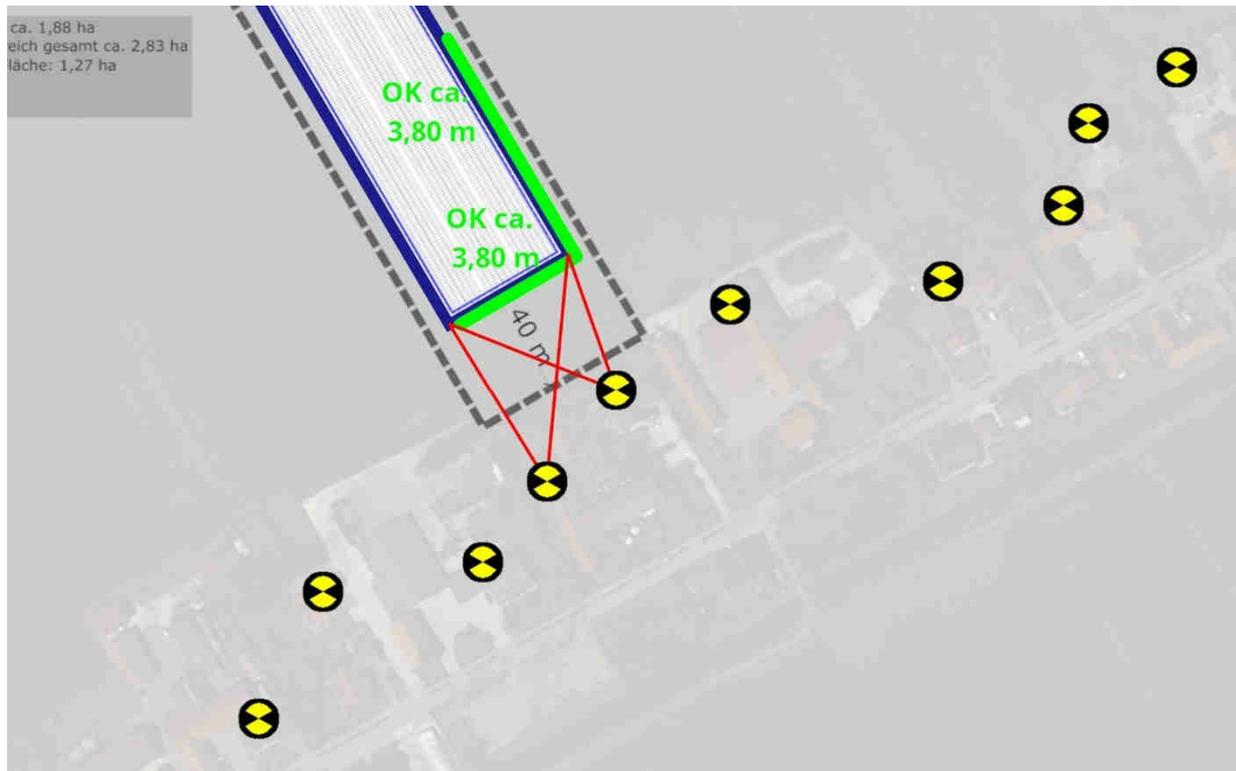
Die Blickwinkel werden durch die Position der Anlage begrenzt.

In diese Richtungen könnten bei freien Sichtverbindungen bis zu einem Beobachter-Azimuthwinkel von ca. 115° Ostsüdost Blendwirkungen an der nach Ostnordost zeigenden Flanke der gegenständlichen PV-Anlage auftreten. Diese Blickwinkel werden durch die Realisierung der vorgesehenen Sichtschutzmaßnahme in entsprechend wirksamer Höhe und Ausführung unterbrochen, so daß hier keine störenden oder unzumutbaren Blendwirkungen zu erwarten sind.

An den weiter nördlich liegenden Teilen der Anlage, bei denen Beobachter-Azimuthwinkel > 115° auftreten, wurden hier keine Direktreflexionen des Sonnenlichtes ermittelt, von denen störende oder unzumutbare Blendwirkungen ausgehen können.

## Licht-Immissionsgutachten Photovoltaikanlage Klingsmoos 2

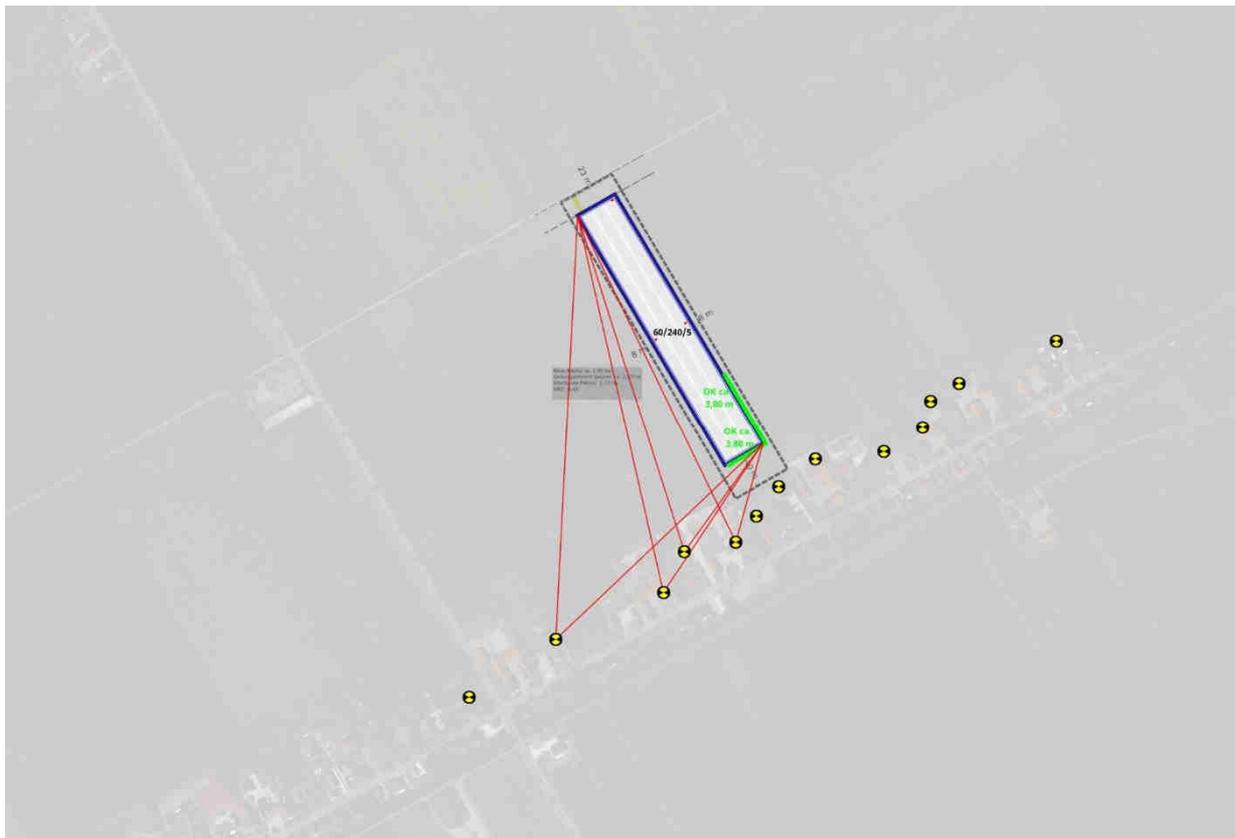
In der südlich der Anlage liegenden Wohnbebauung können die gegenständlichen Moduloberflächen bei freien Sichtverbindungen unter Beobachter-Azimutwinkeln zwischen ca.  $109^\circ$  Ostsüdost und  $190^\circ$  Süd und Beobachter-Elevationswinkel zwischen ca.  $+0,2^\circ$  und  $+4,6^\circ$  gesehen werden.



Diese Sichtverbindungen werden durch die vorgesehene Sichtschutzmaßnahme in entsprechend wirksamer Höhe und Ausführung unterbrochen, so daß auch hier keine störenden oder unzumutbaren Blendwirkungen an den Moduloberflächen zu erwarten sind.

## Licht-Immissionsgutachten Photovoltaikanlage Klingsmoos 2

Von der weiter südwestlich liegenden Bebauung aus können bezogen auf die Moduloberflächen der betrachteten Anlage Beobachter-Azimutwinkel zwischen ca. 154° Südsüdost und 227° Südwest und Beobachter-Elevationswinkel zwischen ca. +0,2° und +3,8° vorliegen.



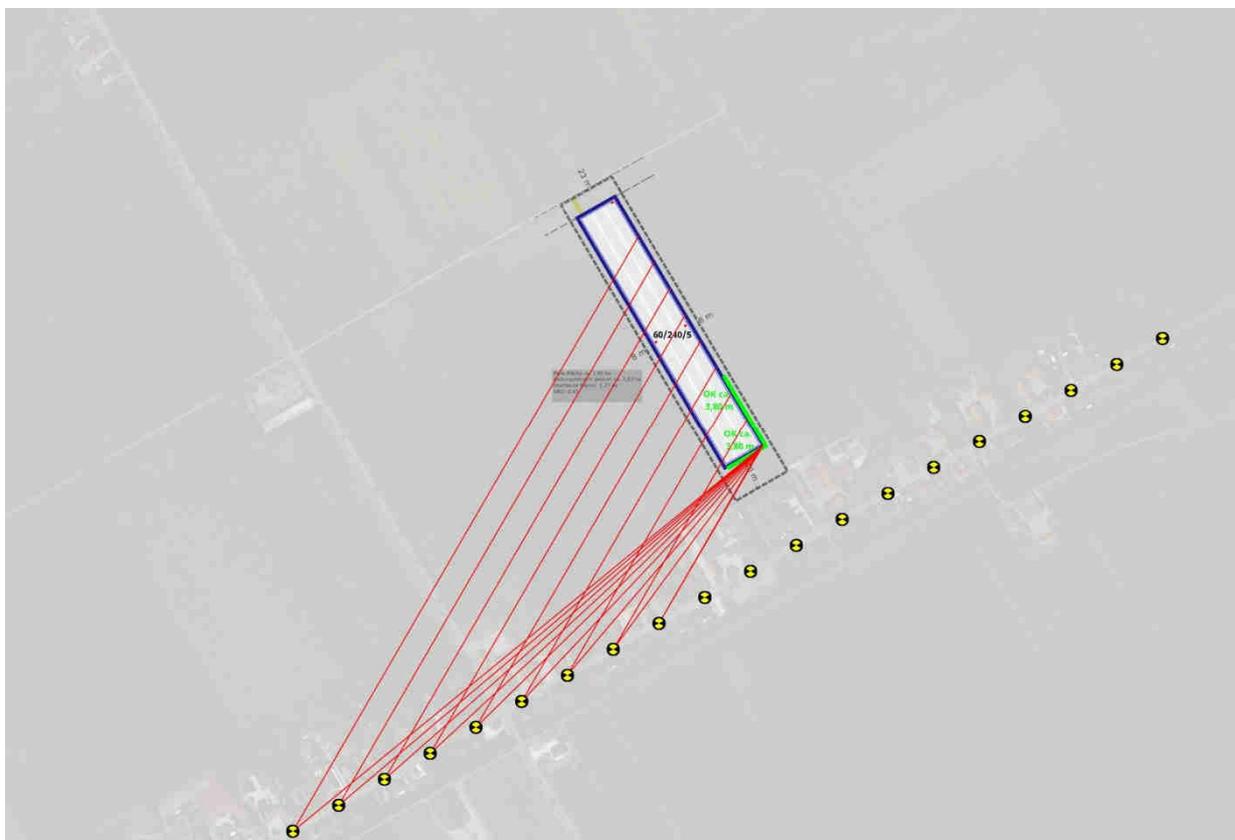
Es wurden keine Sonnenstände ermittelt, die bei der gegebenen Situation und an diesem Standort Blendreflexionen in Richtung der relevanten Blickrichtungen auslösen können.

In Richtung der Wohnbebauung von Untermaxfeld wurden somit keine störenden oder unzumutbaren Blendwirkungen durch Sonnenlichtreflexionen an den gegenständlichen

## Licht-Immissionsgutachten Photovoltaikanlage Klingsmoos 2

### Pfalzstraße

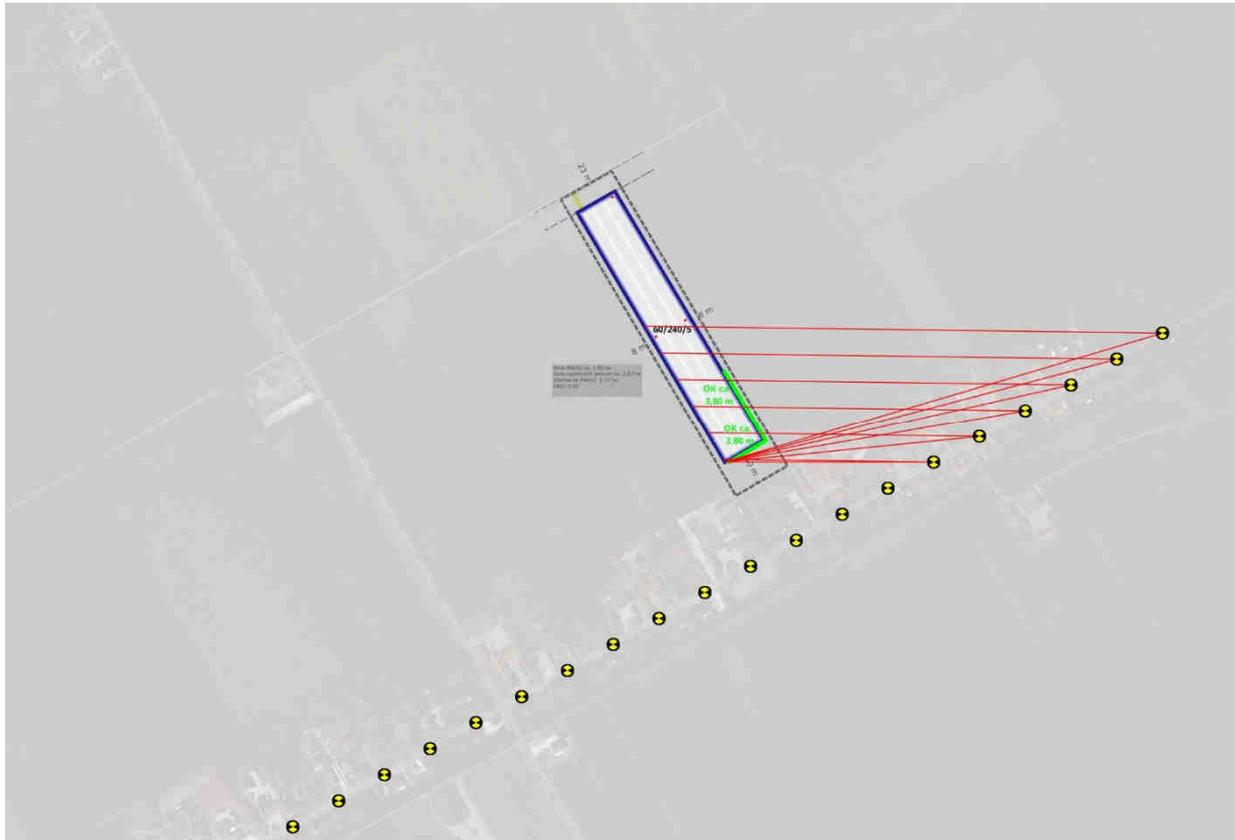
Für die möglichen Immissionsorte auf der Pfalzstraße in Fahrtrichtung Nordost werden mögliche Sichtachsen durch die Verbauung entlang der Straße größtenteils unterbrochen. Sofern punktuell Sichtverbindungen vorliegen sollten, so können hier innerhalb des relevanten Sichtfeldes der Fahrer bis maximal 30° Abweichung von der Hauptblickrichtung Sichtverbindungen zur geplanten Photovoltaikanlage mit Beobachter-Azimutwinkeln zwischen ca. 210° Südsüdwest und 231° Südwest bei Beobachter-Elevationswinkeln zwischen ca. +0,1° und +0,4° vorliegen.



Auch hier wurden keine Sonnenstände ermittelt, die bei der gegebenen Situation und an diesem Standort Blendreflexionen in Richtung der betrachteten Blickrichtungen auslösen können.

## Licht-Immissionsgutachten Photovoltaikanlage Klingsmoos 2

In der entgegengesetzten Fahrtrichtung nach Süden können im relevanten Sichtfeld der Fahrer Beobachter-Azimutwinkel zwischen ca.  $73^\circ$  Ostnordost und  $91^\circ$  Ost und Beobachter-Elevationswinkel zwischen ca.  $+0,1^\circ$  und  $+0,4^\circ$  vorliegen.



Auch hier werden mögliche Sichtverbindungen zu den Moduloberflächen durch die Verbauung unterbrochen.

Sofern punktuell Sichtverbindungen vorliegen sollten, so trifft hier im Grunde die gleiche geometrische Situation zu wie bei der östlich der Anlage liegenden Bebauung.

Auch hier werden die für eine mögliche Blendwirkung relevanten Sichtverbindungen, sofern diese durch die Verbauung hindurch punktuell vorliegen sollten, durch die vorgesehene Sichtschutzmaßnahme unterbrochen.

Hier sind daher ebenfalls keine störenden oder unzumutbaren Blendwirkungen durch Sonnenlichtreflexionen an den Moduloberflächen zu erwarten.



## Licht-Immissionsgutachten Photovoltaikanlage Klingsmoos 2

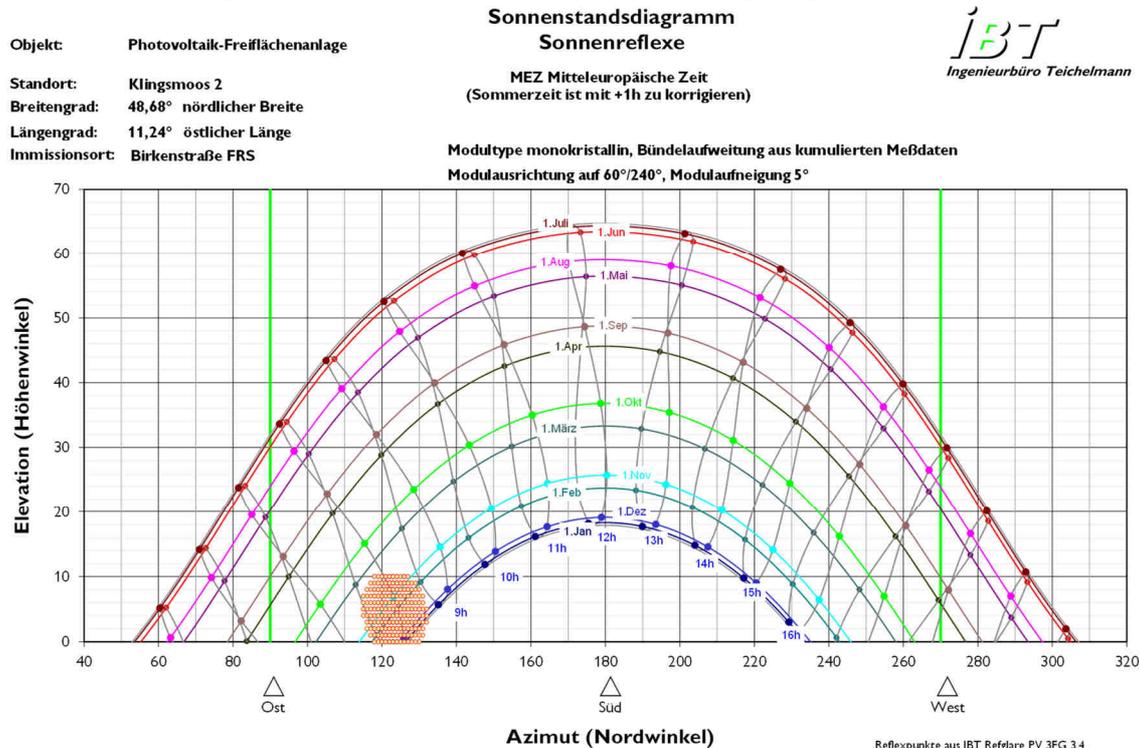
In der entgegengesetzten Fahrtrichtung auf der Birkenstraße nach Süden können im relevanten Sichtfeld der Fahrer zu den nach Westsüdwesten zeigenden Moduloberflächen der gegenständlichen Anlage Beobachter-Azimutwinkel zwischen ca. 300° Westnordwest und 306° Nordwest und Beobachter-Elevationswinkel zwischen ca. +0,1° und +0,3° vorliegen.



In dieser Situation treten in Richtung der vermerkten Beobachter nur Reflexionen bei tief stehender Sonne auf.

Licht-Immissionsgutachten  
Photovoltaikanlage Klingsmoos 2

Die Sonnenstände des Auftretens dieser Reflexionen werden im Sonnenbahndiagramm für diesen Standort dargestellt, so dass eine zeitliche Zuordnung möglich ist.



Die Stundenlinien im Sonnenbahndiagramm entsprechen der MEZ (mitteleuropäische Zeit = Winterzeit). Die in diesem Zeitraum gültige Sommerzeit (MESZ) muß mit +1h korrigiert werden. In den gekennzeichneten Zeiträumen der Monate Oktober bis Februar können in den Morgenstunden bei entsprechenden Sonnenständen also Reflexionen mit Leuchtdichten bis zu ca. 1 ... 5 Mio cd/m<sup>2</sup> in Richtung dieses Bereiches der Birkenstraße entstehen, die unter sehr kleinen Blickwinkeldifferenzen bis maximal 5,2° zur Sonnenscheibe gesehen werden.

In dieser Situation werden Reflex und Sonne gleichzeitig auf der Netzhaut eines Beobachters abgebildet. Dabei wird der Reflex von der um den Faktor ca. 45 ... 50 wesentlich höheren Leuchtdichte der Sonne überlagert, so dass die Reflexion in der Regel nicht mehr als zusätzliche Blendung wahrgenommen wird.

Nach dem von der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz angesetzten Bewertungsverfahren /1/ sind solche Reflexionen nicht als Blendung zu qualifizieren.

Die Reflexleuchtdichte ist in dieser Situation durch die nachlassende Leuchtdichte der Sonnenscheibe ebenfalls stark gemindert.

Somit sind bei Ausführung der Photovoltaikanlage Klingsmoos 2 nach der vorliegenden Planung und bei Realisierung der vorgesehenen Ausrichtung der Modulreihen und bei Realisierung der vorgesehenen Sichtschutzmaßnahme in entsprechend wirksamer Höhe und Ausführung keine störenden oder unzumutbaren von der geplanten Photovoltaikanlage ausgehenden

Blendwirkungen durch Sonnenlichtreflexionen auf der Birkenstraße, der Pfalzstraße und in der östlich, südlich und südwestlich liegenden Wohnbebauung von Untermaxfeld zu erwarten.

## **5 Schutzgut Fauna: Auswirkungen der Lichtimmissionen durch Sonnenreflexion auf Tiere**

Von künstlichem Licht verursachte nächtliche Lichtimmissionen wie Blendung, Raumaufhellung und Lichtverschmutzung (Lichtglocke) sind insbesondere für nachtaktive Insekten, Vögel oder Fledermäuse eine zu vermeidende Beeinträchtigung, die durchaus drastische Auswirkungen haben können.

Es sind keine konkreten Erkenntnisse dahingehend bekannt, dass es durch Sonnenreflexionen von Photovoltaikanlagen bei Tag zu nennenswerten Belastungen für die lokale wilde Tierwelt kommt.

Es gibt jedoch Hinweise darauf, dass Tiere, die in ihrer Bewegungsfreiheit eingeschränkt sind und den Blendwirkungen nicht ausweichen können (z.B. Pferdekoppel, betroffene Stallgebäude usw.), teilweise sehr sensibel auf solche Blendwirkungen reagieren. Betroffene Landwirte berichten z.B. von Auswirkungen wie einer höheren Nervosität der Tiere, Schwierigkeiten beim Melken, reduzierten Reproduktions- und Wachstumsraten usw.

Diesbezüglich möglicherweise relevante Punkte liegen in der hier untersuchten Situation nicht vor.

## 6 Zusammenfassung und Erörterung der Ergebnisse

Durch die Realisierung der geplanten Photovoltaik-Freiflächenanlage Klingsmoos 2 sind bei Ausführung der Anlage gemäß des vorliegenden, im Vorfeld hinsichtlich der Blendwirkung optimierten Konzeptes und unter Realisierung der vorgesehenen Ausrichtung der Modulreihen und bei Realisierung der vorgesehenen Sichtschutzmaßnahme in entsprechend wirksamer Höhe und Ausführung keine Störungen auf der Birkenstraße, der Pfalzstraße und in der östlich, südlich und südwestlich liegenden Wohnbebauung von Untermaxfeld durch von den Moduloberflächen ausgehende Blendreflexionen zu erwarten.

In Richtung der Birkenstraße in Fahrtrichtung Süd wurden bei Untersuchung der geplanten Anlagengeometrie lediglich Reflexionen in Richtung der entfernten Beobachter ermittelt, die bei tief stehender Sonne unter kleinen Blickwinkeldifferenzen  $<10^\circ$  zur Sonnenscheibe gesehen werden. In dieser Situation wird der Reflex durch die unvermeidbare Direktblendung der Sonne überlagert und deshalb in der Regel nicht als eigenes Blendereignis wahrgenommen. Nach dem zu Grunde liegenden Bewertungsverfahren werden solche Sonnenlichtreflexionen nicht als Blendung eingestuft.

In Richtung der südöstlich und südlich der Anlage liegenden Wohnbebauung von Untermaxfeld könnten bei freien Sichtachsen und entsprechenden Sonnenständen Blendreflexionen auftreten, die bei guten Sichtverhältnissen innerhalb des kritischen Blickwinkelkorridors teilweise über den angesetzten Richtwerten liegen können.

Diese können durch die vorgesehene Sichtschutzmaßnahme in entsprechend wirksamer Höhe und Ausführung auf ein Ausmaß innerhalb der Richtwerte gebracht werden.

Darüber hinaus wurden keine Sonnenstände ermittelt, die an diesem geografischen Standort und bei der untersuchten Anlage Blendreflexionen in die relevanten Richtungen erzeugen können.

31.05.2024  
Jens Teichmann  
Dipl.-Ing. Lichttechnik

Jens Teichmann  
Dipl.-Ing. Lichttechnik  
Geschäftsführung  
Tel. +49 (0) 911 - 979155-91  
Mobile: +49 (0) 177 - 1980807  
Fax: +49 (0) 911 - 979155-93  
IBT@4Light.de - www.4Light.de

### Urheberschutz:

Alle Rechte vorbehalten. Das Gutachten ist nur für den Auftraggeber und die direkt am Projekt beteiligten Personen und Behörden und nur für den angegebenen Zweck bestimmt.

Das Gutachten darf in diesem Sinne Bestandteil der gemäß § 3 BauGB im Internet zu veröffentlichenden Planunterlagen sein.

Eine Vervielfältigung, Veröffentlichung oder Verwertung durch Dritte ist nur mit schriftlicher Genehmigung gestattet.