

Licht-Immissionsgutachten
Photovoltaikanlage „Am Steinacker“ Zirndorf

Gutachten über die zu erwartende Blendung durch Sonnenreflexionen der geplanten Photovoltaikanlage „Am Steinacker“ Zirndorf



GA-Nummer: Te-210315-Z-1

Im Auftrag von
geobra-Brandstätter Stiftung & Co KG
Zirndorf

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

Fürth, 26.04.2021

Licht-Immissionsgutachten
Photovoltaikanlage „Am Steinacker“ Zirndorf

Auftraggeber:

geobra-Brandstätter Stiftung & Co KG

Brandstätterstraße 2-10
90513 Zirndorf

Auftragnehmer:

Dipl.-Ing. Jens Teichelmann

IBT 4Light GmbH

Ingenieur- und Sachverständigenbüro
für Licht- und Beleuchtungstechnik

Boenerstraße 34
90765 Fürth

Inhaltsverzeichnis

1 Extrakt	4
2 Allgemeines	5
2.1 Aufgabenstellung, Zweck des Gutachtens	5
2.2 Tatsachenfeststellung, Beschreibung der Situation	6
2.3 Zur Verfügung stehende Unterlagen	8
2.4 Verwendete Hilfsmittel	9
2.5 Verwendetes Schrifttum und Quellen	9
3 Vorgehensweise Berechnung und Bewertung der Sonnenreflexion an den Photovoltaikmodulen	10
3.1 Grundlegende Methodik	10
3.2 Ortstermin, beteiligte Personen	11
4 Schutzgut Mensch: Ergebnisse und Auswertung der an den Immissionsorten erreichten Reflexionswerte	12
4.1 Ermittlung der Eckpunkte des Reflexionsverhaltens der Photovoltaikmodule	12
4.2 Ermittlung der möglicherweise relevanten Immissionsorte	17
4.3 Ermittlung der Störungen durch Direktreflexion und durch Streulicht durch Bündelaufweitung	19
5 Schutzgut Fauna: Auswirkungen der Lichtimmissionen durch Sonnenreflexion auf Tiere	21
6 Zusammenfassung und Erörterung der Ergebnisse	22

1 Extrakt

Im Auftrag der geobra-Brandstätter Stiftung & Co KG in Zirndorf wurde die geplante geplante Photovoltaik-Freiflächenanlage „Am Steinacker“ östlich des Playmobil-Funparks und nordwestlich der Zwickauer Straße nordwestlich der Zwickauer Straße in Zirndorf hinsichtlich der in der umliegenden Wohnbebauung und auf den umliegenden Straßen 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 und störend wahrgenommen werden und ob diese die ggf. sicherheitsrelevante Auswirkungen - z.B. für das Führen von Fahrzeugen auf betroffenen Verkehrswegen - haben können.

Durch die Realisierung der untersuchten Photovoltaik-Anlage sind bei Ausführung der Anlage gemäß des uns vorliegenden, im Vorfeld bzgl. der Blendung optimierten Konzeptes, bei Verwendung der vorgesehenen PV-Module mit Frontglas Saint Gobain Albarino P oder gleich wirkend und bei Realisierung der vorgesehenen Sichtschutzmaßnahme in entsprechend wirksamer Höhe und Ausführung keine störenden oder unzumutbaren Blendwirkungen durch Sonnenlichtreflexionen in der umliegenden Wohnbebauung oder auf den umliegenden Straße zu erwarten.

Möglicherweise auftretende Reflexionen, die punktuell unter sehr flachen Einblickwinkeln auf die Moduloberflächen als Aufhellung mit moderater Leuchtdichte wahrgenommen werden können, liegen in ihrer Intensität unterhalb der anzusetzenden Schwelle der Blendgrenze und werden in der Regel nicht als unzumutbare Störung empfunden.

Insofern ist hier von einer Einhaltung der Richtwerte auszugehen.

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.

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. Die 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 geobra-Brandstätter Stiftung & Co KG in Zirndorf war die geplante Photovoltaik-Freiflächenanlage „Am Steinacker“ östlich des Playmobil-Funparks und nordwestlich der Zwickauer Straße auf folgende Punkte hin zu prüfen:

- Prüfung der geplanten Anlagen-Ausführung auf mögliche Störwirkungen durch direkte Sonnenreflexion an den möglichen Immissionsorten in der umliegenden Wohnbebauung und auf den umliegenden Straßen 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.

Licht-Immissionsgutachten
Photovoltaikanlage „Am Steinacker“ Zirndorf

2.2 Tatsachenfeststellung, Beschreibung der Situation

Bei der zu betrachtenden geplanten Anlage handelt es sich um eine Photovoltaik-Freiflächenanlage, die auf einer bisher brachliegenden Fläche östlich des Playmobil-Funparks und nordwestlich der Zwickauer Straße in dem gekennzeichneten Bereich montiert werden soll.

Die Module sollen auf entsprechenden Unterkonstruktionen mit einer Ausrichtung auf 180° Süd bei einer Aufneigung auf 20° montiert werden.

Es sollen polykristalline Photovoltaikmodule mit einem prismatisch verformten Frontglas der Type Saint Gobain Albarino P oder gleich wirkend Verwendung finden, deren genaue Type zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Gutachtens noch nicht feststand.



Die maximale Höhe der Module mit den vorgesehenen Unterkonstruktionen soll laut Planung ca. 2,0 m mit entsprechenden Toleranzen zum Geländeausgleich betragen.

Es soll hier eine statische Anlage betrachtet werden.

An der östlichen und südöstlichen Geländekante in Richtung der Wohnbebauung an der Zwickauer Straße sind in dem oben gelb markierten Bereich der Geländekante entsprechende Sichtschutzmaßnahmen mit einer wirksamen Höhe von 3,0 m vorgesehen.

Die Höhe dieses Sichtschutzes wurde so festgelegt, daß negative bzw. sehr flache Beobachter-Elevationswinkel vermieden werden und daß somit nur noch der Blick zu den PV-Modulen aus

Licht-Immissionsgutachten
Photovoltaikanlage „Am Steinacker“ Zirndorf

den höheren Fenstern der umliegenden Bebauung mit dann entsprechend höheren Beobachter-Elevationswinkeln möglich ist.

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

Bei Realisierung des Sichtschutzes durch eine Anpflanzung ist möglichst eine Mischung aus immergrünen oder sehr früh austreibenden, stark verästelten Gewächsen vorzusehen. Bis zum Erreichen des endgültigen und wirksamen Vegetationszustandes sind ggf. entsprechende Zwischenmaßnahmen vorzusehen.

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

Über die in obiger Grafik gelb markierte Sichtschutzmaßnahme hinaus sind weitere Anpflanzungen um die Anlage herum vorgesehen.

Da bereits die ersten Berechnungen der Situation gezeigt haben, daß bei Realisierung einer PV-Anlage an diesem Standort bei Verwendung von Standardmodulen relevante Blendwirkungen oberhalb der anzusetzenden Richtwerte in Richtung der umliegenden Wohnbebauung auftreten, wurden die maßgeblichen Expositionszeitberechnungen hier nur im Rahmen der Vorprüfung für einige Punkte durchgeführt.

Zur Minderung dieser Blendwirkungen wurde die die PV-Anlage hinsichtlich der zu verwendenden PV-Module verändert und optimiert.

Das Gelände wird nach Angaben des Auftraggebers vor Realisierung der PV-Anlage noch eingeebnet und hat somit in den einzelnen Modulfeldbereichen keine nennenswerten Unebenheiten. Es ist davon auszugehen, daß bei Montage der Modulreihen keine größeren Querneigungen auftreten werden, die bei den Berechnungen berücksichtigt werden müssen.

Östlich und südöstlich angrenzend an das Gelände verläuft die Zwickauer Straße auf etwa gleicher Höhe wie das betrachtete Gelände. Die Oberflächen der PV-Module sind durch den vorgesehenen Sichtschutz von dieser Straße aus nicht zu sehen.

Östlich bzw. südöstlich des Geländes befindet sich umliegend Wohnbebauung mit teilweise hohen relevanten Fenstern im 2.OG.

Zwischen dieser Wohnbebauung und der PV-Anlage befindet sich im Bestand teilweise hoher Laubbaumbewuchs, der jedoch kein vollständiger und wegen der fehlenden Belaubung im Winter auch kein dauerhaft wirksamer Sichtschutz ist. Im Sinne einer Worst-Case-Betrachtung wird dieser Bewuchs im ersten Schritt der Bewertung nicht mit betrachtet.

Bei den später vorliegenden Berechnungsergebnissen wird dann geprüft, inwieweit dieser Bewuchs eine relevante Minderung darstellt.

Licht-Immissionsgutachten
Photovoltaikanlage „Am Steinacker“ Zirndorf

Die für die Berechnungen der Blendwirkung erforderlichen Beobachter-Azimut- und -Elevationswinkel wurden bei einem Ortstermin per Peilwinkelmessung 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.

2.3 Zur Verfügung stehende Unterlagen

Die Begutachtung wurde anhand folgender vorliegender Unterlagen durchgeführt:

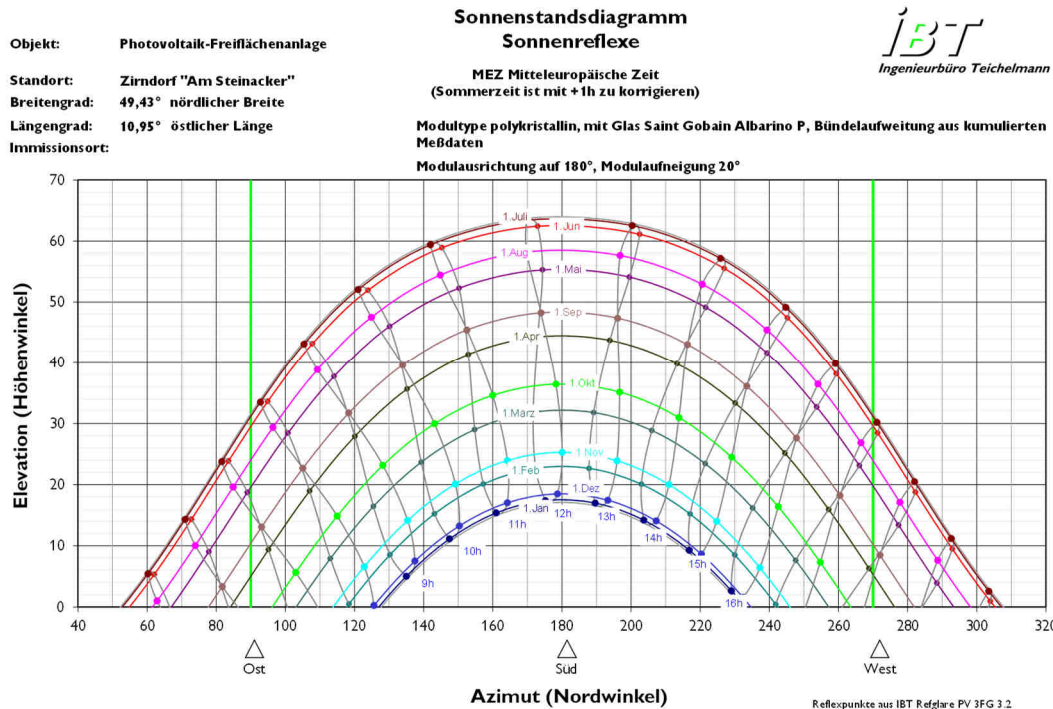
- Pläne:
 - 20200130_Modulplan_Zirndorf_6H_1196kwp_3mRA.pdf
 - ZIR_BP_Solarfeld Am Steinacker_VE_0_Planblatt_200401.pdf
- Luftbild des Geländes, vom AG bereitgestellt
- Fotos von der Ortsbegehung am 27.7.2020

Licht-Immissionsgutachten
Photovoltaikanlage „Am Steinacker“ Zirndorf

2.4 Verwendete Hilfsmittel

Für die Begutachtung wurden folgende Hilfsmittel verwendet:

- Sonnenstandsdiagramm MEZ für die Ortskoordinaten des Geländes



- Excel
- Reflexionsmatrixsoftware Refglare PV 3FG 3.3
- 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 Immissionsschutz (LAI), Beschluß der LAI vom 13.9.2012 (Aktualisierung des Anhangs 2 in 2016) /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 cd/m², am Horizont noch ca. 6 Mio cd/m².

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 cd/m².

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 cd/m² 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 „Am Steinacker“ Zirndorf

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 am 27.7.2020 durch H. Teichelmann, IBT 4Light GmbH, durchgeführt.

Die nachfolgenden Betrachtungen wurden auf Basis der beim Ortstermin erhobenen Daten sowie auf Basis der vom Auftraggeber bereitgestellten Daten und Angaben 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 mono- oder polykristallinen Photovoltaikmodule mit einer Frontscheibe aus eisenarmem Standard-Solarglas 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. 40° 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 „Am Steinacker“ Zirndorf



Bündelaufweitung beim Sonnentest eines polykristallinen Moduls,
Einstrahlwinkel ca. 20°, Reflexleuchtdichte ca. 8 Mio cd/m²

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 „Am Steinacker“ Zirndorf

Im Zuge der vorangegangenen Vorprüfung der zu erwartenden Sonnenlichtreflexionen der PV-Anlage hat sich gezeigt, daß eine Südausrichtung der Modulreihen bei Verwendung von poly- oder monokristallinen PV-Modulen mit Standard-Solarglas zu Blendwirkungen in der Wohnbebauung führen würde.

Deshalb wurde im Vorfeld eine Planungsvariante mit Verwendung von PV-Modulen mit einem tiefstrukturierten Frontglas der Type Saint Gobain Albarino P oder gleich wirkend mit Ausrichtung der Modulreihen nach Süden erarbeitet, die nachfolgend betrachtet werden soll.

Solche PV-Module mit dem prismatisch strukturierten Glas Saint Gobain Albarino P oder vergleichbar weichen hinsichtlich ihrer Reflexionseigenschaften stark von PV-Modulen mit Standard-Solargläsern ab.

Für die nachfolgende Bewertung der vorgesehenen PV-Module mit prismatisch verformtem Glas Saint Gobain Albarino P wurden Eckdaten des Reflexionsverhaltens von Testmodulen der Type ReneSola JC230M-24/Bb bzw. Alpinsun Prisma M60, die in partiellen Messungen der Reflexionsdaten ermittelt wurden, herangezogen. Beide Module sind mit einem Frontglas des gleichen Typs Saint Gobain Albarino P ausgestattet.

Bei der vorgesehenen Modultype handelt es sich um ein polykristallines Photovoltaikmodul mit einer durch eine eingedrückte Prismenstruktur mit ca. 2 mm Kantenlänge sehr grob strukturierten Deckscheibe, hinter dem die energieerzeugenden Siliziumelemente aufgebracht sind.

Durch das verwendete spezielle Frontglas weisen die Reflexionsdaten dieses PV-Moduls einige Besonderheiten auf.

Durch die ausgeprägte und geometrische Prismenstruktur des Glases ist das Reflexionsverhalten stark atypisch.

Der Hauptreflex folgt nicht der Regel Einfallswinkel=Ausfallswinkel, sondern er wird sehr stark zur Moduloberfläche hin sowie in zwei Maxima um einige Grad nach oben bzw. unten reflektiert. Die Reflexion erfolgt nicht homogen, sondern mit sich überlappenden Minima und Maxima, die durch die Direktreflexion der eingedrückten Strukturen verursacht werden.

Das Licht wird dabei stark zerlegt und diffus reflektiert, so dass die partiellen Reflexionsgrade in den Beobachterraichtungen stark reduziert sind.

Der Reflexionsgrad steigt bei flachen Einstrahlwinkeln stark an.

Bei Einstrahlwinkeln bis ca. 40° auf die Moduloberfläche können in einem Winkelbereich zwischen 0° und ca. 6,5° zur Moduloberfläche und bei gleichzeitig hohen, für die jeweilige Reflexion verantwortlichen Sonnenständen Reflexleuchtdichten über 100.000 cd/m² erreicht werden.

Es wurden unter flachen Einstrahlwinkeln partielle Reflexionsgrade bis maximal ca. 0,044% in der jeweiligen Richtung des Hauptreflexes ermittelt.

Durch die Richtung der eingedrückten Strukturen entsteht der Hauptreflex bei dieser Type bei steileren Blickwinkeln in einem ausgeprägten geometrischen Muster.

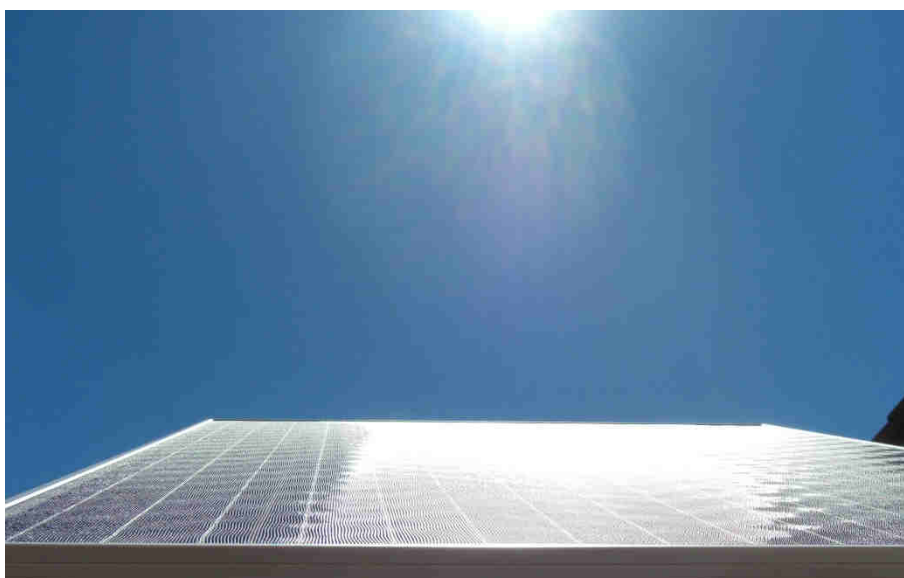
Licht-Immissionsgutachten Photovoltaikanlage „Am Steinacker“ Zirndorf

Sonnentests zeigen bei steilen Blickwinkeln auf die Oberfläche eine mit ca. 20.000 cd/m² moderate, relativ gleichmäßige Leuchtdichte mit einer geometrischen Form, die durch die sich überlappenden Reflexionsmaxima erzeugt werden.



steiler Einstrahlwinkel, steiler Blickwinkel, maximale Reflexleuchtdichte ca. 20.000 cd/m²

Mit zunehmend flachem Blickwinkel sowie mit zunehmend flachem Einstrahlwinkel steigt die Intensität des Reflexes stark an.



Einstrahlwinkel ca. 20°, Blickwinkel ca. 4°, Leuchtdichte des Hauptreflexes ca. 230.000cd/m²,
Maxima am linken bzw. rechten Rand des Reflexes

Licht-Immissionsgutachten
Photovoltaikanlage „Am Steinacker“ Zirndorf

Bei sonnigem oder schwach bewölktem Himmel kann durch die Moduloberfläche eine Leuchtdichte erzeugt werden, deren Intensität nur bei sehr flachen Einblickswinkeln und bei gleichzeitig hohen Sonnenleuchtdichten, die in unseren Breiten nur bei hohen Sonnenständen auftreten können, noch im Grenzbereich der Absolutblendung des menschlichen Auges liegen kann.

Diese Kombination aus hohen, für die jeweilige Reflexion verantwortlichen Sonnenständen und flachen Einblickswinkeln auf die Module kann in der vorliegenden Situation nur Beobachter-Elevationswinkeln $< \text{ca. } 0,5^\circ$ vorliegen.

Testmessungen an verschiedenen Modultypen haben gezeigt, dass hier das Frontglas das bestimmende Element für die Reflexionseigenschaften ist. Es ist also von einer guten Übertragbarkeit der vorliegenden und zu Grunde liegenden Messdaten auf das vorgesehene PV-Modul des Fabrikats Luxor oder auch auf andere PV-Module mit diesem Frontglas auszugehen.

Die vorgenannten Angaben beziehen sich spezifisch auf diese Glastype Saint Gobain Albarino P, für die aussagekräftige und verifizierte Reflexionsdaten aus diversen Messungen vorliegen. Inwieweit andere strukturierte Gläser eine vergleichbare Wirkung haben, das müsste konkret überprüft werden.

Die in der damaligen Untersuchung 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.

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 Reflexionsindikator mit einem geringen Reflexionsgrad von ca. 2 ... 5% aufwies.

Licht-Immissionsgutachten
Photovoltaikanlage „Am Steinacker“ Zirndorf

4.2 Ermittlung der möglicherweise relevanten Immissionsorte

Auftragsgemäß waren die möglicherweise relevanten Immissionsorte in der umliegenden Wohnbebauung und auf den umliegenden Straßen zu untersuchen.

Relevante Einblickwinkel von den umliegenden Straßen aus auf die Moduloberflächen können bei wirksamer Höhe und Ausführung des Sichtschutzes bereits im Vorfeld ausgeschlossen werden, so daß unter dieser Voraussetzung keine detaillierte Betrachtung der Straßen notwendig ist.

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



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.

Licht-Immissionsgutachten
Photovoltaikanlage „Am Steinacker“ Zirndorf

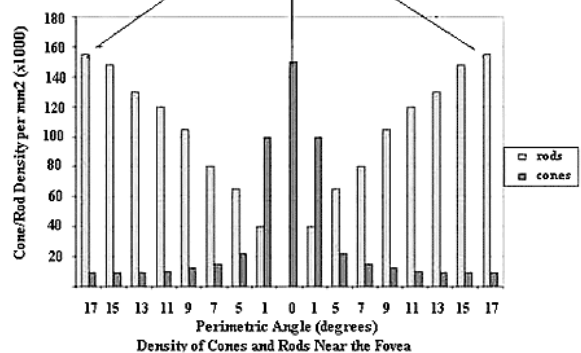
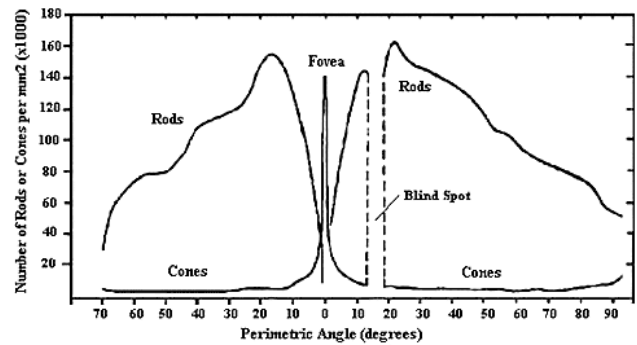
Weiter von der Hauptblickrichtung abweichende Blickwinkel sind hinsichtlich der Blendwirkung weitgehend unkritisch.

Der Reflex wird bei stark abweichenden Blickwinkeln in der Regel nur am Rand des Sichtfeldes peripher wahrgenommen und behindert die für eine sichere Fahrt auf dieser Fahrspur erforderliche Blickrichtung 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.

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.



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

Insofern ist bei stärker von der Hauptblickrichtung abweichenden Blickwinkeln nicht von einer störenden Direktblendung durch die Sonnenlichtreflexionen an den Moduloberflächen auszugehen.

Unter diesem Aspekt liegen auf den Fahrbahnen der umliegenden Straßen keine relevanten Immissionsorte vor.

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

Wegen der bereits nach den Ergebnissen der Vorprüfung zu erwartenden Überschreitung der anzusetzenden zeitlichen Richtwerte für die Blendwirkungen bei Einsatz von PV-Modulen mit Standard-Solarglas wurde die ursprüngliche Planung der PV-Anlage dahingehend verändert, daß nun in der aktuellen Planung PV-Module mit dem tiefstrukturierten Frontglas Saint Gobain Albarino P (wie in Pkt. 4.1 dieses Gutachtens beschrieben) oder gleich wirkend eingesetzt werden sollen.

Anordnung, Ausrichtung und Aufneigung der PV-Module entsprechen dabei noch der ursprünglichen Planung.

Die vorgesehenen PV-Module mit dem prismatisch strukturierten Glas Saint Gobain Albarino P oder vergleichbar weichen hinsichtlich ihrer Reflexionseigenschaften stark von PV-Modulen mit Standard-Solargläsern ab und weisen ein stark atypisches Reflexionsverhalten auf.

Für die nachfolgende Bewertung der vorgesehenen PV-Module mit prismatisch verformtem Glas Saint Gobain Albarino P wurden Eckdaten des Reflexionsverhaltens verschiedener Testmodule mit diesem Frontglas, die in mehreren partiellen Messungen der Reflexionsdaten im Rahmen anderer, vergleichbarer Projekte ermittelt wurden, herangezogen.

Von der umliegenden Wohnbebauung aus können Beobachter-Azimutwinkel zwischen ca. 2° Nord und 209° Südsüdwest bei Beobachter-Elevationswinkeln zwischen ca. +0,5° und +8,5° vorliegen.



Licht-Immissionsgutachten
Photovoltaikanlage „Am Steinacker“ Zirndorf

Die möglichen Beobachter-Elevationswinkel werden durch die gewählte Kombination aus Bauhöhe der Modulkonstruktionen und wirksamer Höhe des vorgesehenen Sichtschutzes auf minimal ca. +0,5° begrenzt. Einblickwinkel mit niedrigeren Beobachter-Elevationswinkeln werden durch den Sichtschutz unterbrochen.

Der Blick zu den Moduloberflächen ist somit nur von höheren Beobachterpositionen von oben möglich.

Bei sonnigem oder schwach bewölktem Himmel kann durch die vorgesehene Moduloberfläche eine Leuchtdichte erzeugt werden, deren Intensität nur bei sehr flachen Einblickwinkeln und gleichzeitig hohen Sonnenständen mit entsprechend hohen Leuchtdichten der Sonnenscheibe noch im Grenzbereich der Absolutblendung des menschlichen Auges liegen kann.

Bei der hier gegebenen geometrischen Situation und insbesondere durch den vorgesehenen Sichtschutz mit einer wirksamen Höhe von 3,0 m bei einer Bauhöhe der Modulkonstruktionen von 2,0 m treten die beschriebenen Kombinationen aus sehr flachem Einblickwinkel auf die Moduloberflächen bei gleichzeitigen Reflexionsvorgängen mit hohen Sonnenständen nicht auf. Die in die möglichen Einblickrichtungen auf die Moduloberflächen möglichen Reflexionen werden können lediglich durch tiefere Sonnenstände, die dann auch entsprechend niedrigere Leuchtdichten der Sonnenscheibe aufweisen, erzeugt werden. Durch diesen Effekt konnten bei allen festgelegten Immissionsorten keine Sonnenstände ermittelt werden, die an diesem Standort und bei der gegebenen Anlagengeometrie und dem vorliegenden Reflexionsverhalten der Oberflächen Blendreflexionen oberhalb der anzusetzenden Schwelle von 100.000 cd/m² erzeugen können.

Es wurden daher keine Sonnenlichtreflexionen ermittelt, die nach dem zu Grunde liegenden Bewertungsverfahren /1/ als störende oder unzumutbare Blendung eingestuft werden.

Dies gilt für alle markierten Immissionsorte in der umliegenden Wohnbebauung in gleichem Maße.

Die hier relevanten tiefen Sonnenstände werden durch die relativ hohe Verbauung südwestlich der Fläche und durch die Eigenverschattung der Modulkonstruktionen teilweise abgeschattet, was die möglichen Reflexionen weiter mindert.

Die bei flachen Einblickwinkel und bei bestimmten Sonnenständen können noch Aufhellungen wahrgenommen werden, die in der Intensität unterhalb der Blendgrenze liegen und die erfahrungsgemäß nicht als unzumutbare Störungen empfunden werden.

Bei Einsatz von PV-Modulen mit dem Frontglas Saint Gobain Albarino P oder vergleichbar und bei Realisierung der vorgesehenen Sichtschutzmaßnahme in entsprechend wirksamer Höhe und Ausführung ist bei der vorgesehenen Anlagengeometrie also von einer Einhaltung der Richtwerte auszugehen.

Dies trifft auch auf die mögliche zukünftige Belegung der aktuell noch frei gelassenen Fläche zwischen der Carportanlage und dem mittleren Modulfeld zu.

Somit sind bei Ausführung der Photovoltaikanlage nach der optimierten Planung und bei Einsatz der vorgesehenen PV-Module mit Frontglas Saint Gobain Albarino P oder einem vergleichbaren Frontglas keine störenden oder unzumutbaren von der geplanten Photovoltaikanlage ausgehenden Blendwirkungen durch Sonnenlichtreflexionen 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 „Am Steinacker“ Zirndorf sind bei Ausführung der Anlage gemäß des vorliegenden, im Vorfeld hinsichtlich der Blendwirkung optimierten Konzeptes und unter Verwendung der vorgesehenen Module mit Frontglas Saint Gobain Albarino P oder gleich wirkend und bei Realisierung des vorgesehenen Sichtschutzes in entsprechend wirksamer Höhe und Ausführung keine Störungen in der umliegenden Wohnbebauung oder auf der vorbeiführenden Straße durch von den Moduloberflächen ausgehende Blendreflexionen zu erwarten.

Der Einsatz der genannten PV-Module mit prismatisch verformtem Glas Saint Gobain Albarino P oder gleich wirkend sowie die Realisierung des vorgesehenen Sichtschutzes sind notwendig, weil bei der ursprünglich geplanten Anlagenkonstellation mit kristallinen PV-Modulen mit Solarglas und Antireflexbeschichtung Blendwirkungen in Richtung der östlich, südöstlich und südlich liegenden Wohnbebauung festgestellt wurden, die rechnerisch deutlich über den anzusetzenden Richtwerten liegen würden.

In Richtung der nahe liegenden Gebäude in der umliegenden Wohnbebauung können bei Realisierung der PV-Anlage mit den nach der Optimierung vorgesehenen Modulen mit Frontglas Saint Gobain Albarino P oder gleich wirkend unter flachen Einblickwinkeln auf die Moduloberflächen lediglich Aufhellungen moderater Leuchtdichte gesehen werden, die in der Regel nicht als störende Blendung wahrgenommen werden.

Der vorhandene Bewuchs, der die Sichtachsen teilweise einschränkt, mindert mögliche Reflexionen in Richtung der betreffenden Wohngebäude zusätzlich.

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

26.04.2021
Jens Teichmann
Dipl.-Ing. Lichttechnik



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.

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