

**Gutachten
über die zu erwartende Blendung
durch Sonnenreflexionen
der geplanten
Photovoltaikanlage Speichersdorf**



GA-Nummer: Te-210713-S-1

Im Auftrag von
Primus Solar GmbH
Regensburg

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

Fürth, 22.07.2021

Licht-Immissionsgutachten
Photovoltaikanlage Speichersdorf

Auftraggeber:

Primus Solar GmbH

Ziegetsdorfer Straße 109
93051 Regensburg

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	9
2.4 Verwendete Hilfsmittel	10
2.5 Verwendetes Schrifttum und Quellen	10
3 Vorgehensweise Berechnung und Bewertung der Sonnenreflexion an den Photovoltaikmodulen	11
3.1 Grundlegende Methodik	11
3.2 Ortstermin, beteiligte Personen	12
4 Schutzgut Mensch: Ergebnisse und Auswertung der an den Immissionsorten erreichten Reflexionswerte	13
4.1 Ermittlung der Eckpunkte des Reflexionsverhaltens der Photovoltaikmodule	13
4.2 Ermittlung der möglicherweise relevanten Immissionsorte	15
4.3 Ermittlung der Störungen durch Direktreflexion und durch Streulicht durch Bündelaufweitung	18
5 Schutzgut Fauna: Auswirkungen der Lichtimmissionen durch Sonnenreflexion auf Tiere	28
6 Zusammenfassung und Erörterung der Ergebnisse	29

1 Extrakt

Im Auftrag der Primus Solar GmbH in Regensburg wurde die geplante Photovoltaik-Freiflächenanlage Speichersdorf südöstlich von Speichersdorf, nördlich der Bahnstrecke und zwischen den Ortschaften Speichersdorf, Kemnath und Rosenhof hinsichtlich der auf der vorbeiführenden Bahnstrecke, den umliegenden Straßen sowie der umliegenden Bebauung und auf den Landeanflugbereichen des nordwestlich der Fläche liegenden Flugplatzes Rosenthal Field Plössen 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 optimierten Ausrichtung der Modulreihen keine störenden oder unzumutbaren Blendwirkungen durch Sonnenlichtreflexionen auf der Bahnstrecke, der Kreisstraße BT18 oder in der umliegenden Wohnbebauung zu erwarten.

In Richtung der Landeanflugbereiche des Flugplatzes Rosenthal Field Plössen wurden bei entsprechenden Sonnenständen und Witterungsbedingungen kurzzeitige Blendreflexionen ermittelt, die durch verschiedene Faktoren gemindert werden. Durch diese Minderung und in Relation mit anderen umliegenden PV-Anlagen wird eine mögliche Störwirkung dieser Sonnenlichtreflexionen als vergleichsweise gering eingeschätzt.

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. 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 Primus Solar GmbH in Regensburg war die geplante, aus zwei Modulfeldern bestehende Photovoltaik-Freiflächenanlage Speichersdorf südöstlich von Speichersdorf, nördlich der Bahnstrecke und zwischen den Ortschaften Speichersdorf, Kemnath und Rosenhof auf folgende Punkte hin zu prüfen:

- Prüfung der geplanten Anlagen-Ausführung auf mögliche Störwirkungen durch direkte Sonnenreflexion an den möglichen Immissionsorten auf der vorbeiführenden Bahnstrecke, den umliegenden Straßen sowie der umliegenden Bebauung und auf den Landeanflugbereichen des nordwestlich der Fläche liegenden Flugplatzes Rosenthal Field Plössen 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 momentan noch landwirtschaftlich genutzten Flächen südöstlich von Speichersdorf, nördlich der Bahnstrecke und zwischen den Ortschaften Speichersdorf, Kemnath und Rosenhof in den gekennzeichneten Bereichen montiert werden soll.

Die Ausrichtung der Modulreihen wurde teilweise im Vorfeld über ein iteratives Rechenverfahren hinsichtlich der Blendwirkung durch Sonnenlichtreflexionen zur Bahnstrecke hin optimiert.

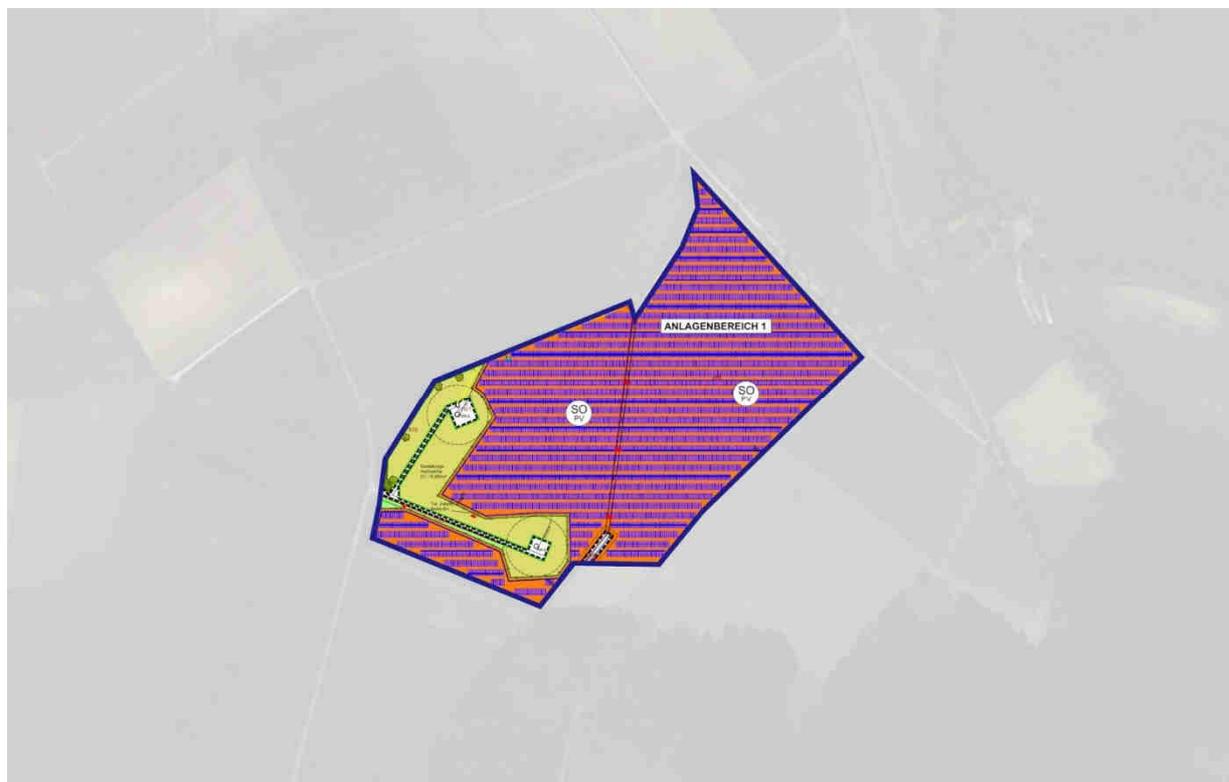
Die Modulreihennormalen des östlich liegenden Anlagenbereichs 1 sollen auf 180° Süd bei 17° Aufneigung der Modulkonstruktionen angeordnet werden.

Die Module des westlich liegenden Anlagenbereichs 2 sollen auf entsprechenden Unterkonstruktionen mit einer Ausrichtung auf 165° Südsüdost bei einer Aufneigung auf 15° ... 25° montiert werden.

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



Licht-Immissionsgutachten Photovoltaikanlage Speichersdorf



Östlich liegender Anlagenbereich 1, Ausrichtung der Modulreihen nach 180° Süd bei 17° Aufneigung



westlich liegender Anlagenbereich 2, Ausrichtung der Modulreihen nach 165° Südsüdost bei 15° ... 25° Aufneigung

Die maximale Höhe der Module mit den vorgesehenen Unterkonstruktionen soll laut Planung ca. 3,50 m mit entsprechenden Toleranzen zum Geländeausgleich betragen.

Te210713S1 Photovoltaikanlage Speichersdorf Gutachten über Lichtimmission durch Sonnenreflexion.docx

Es sollen hier jeweils statische Anlagen betrachtet werden.

Das Gelände des Anlagenbereichs 1 fällt von Ost nach West bzw. nach Südwest um einige Meter ab. Es ist davon auszugehen, daß bei Montage der Modulreihen durch das Geländegefälle entsprechende Querneigungen zwischen ca. $-4,0^\circ$... $-0,5^\circ$ auftreten werden, die die resultierende Ausrichtung der Einzelmodule beeinflussen und die bei den weiteren Betrachtungen berücksichtigt werden müssen.

Das Gelände des Anlagenbereichs 2 ist in sich sehr eben mit nur leichtem Gefälle nach Nordosten. Hier sind Querneigungen zwischen ca. 0° ... $0,7^\circ$ zu erwarten.

Südwestlich angrenzend an das Gelände verläuft von Südost nach Nordwest eine Bahnstrecke in leicht erhöhter Lage gegenüber dem betrachteten Gelände. Die Böschung der Bahnstrecke ist teilweise mit Bewuchs versehen, der auch bei fehlender Bepflanzung einen gewissen Sichtschutz darstellt – der jedoch nachfolgend im Sinne einer Worst Case-Betrachtung im ersten Schritt nicht mit berücksichtigt wird.

Umliegend und auch zwischen den beiden Anlagenbereichen der geplanten Anlage befindet sich Bebauung mit Wohn- und Nutzgebäuden. Nach den vorliegenden Daten liegen von der umliegenden Bebauung aus keine relevanten Sichtverbindungen zu den Moduloberflächen der geplanten PV-Anlage vor, so daß hier bereits aus diesem Grund keine störenden, von den Moduloberflächen dieser Anlage ausgehenden Blendwirkungen zu erwarten sind.

In nordwestlicher Richtung befindet sich die Start- und Landebahn des Flugplatzes Rosenthal Field Plössen, dessen Anflugzonen mit 10% Divergenz nachfolgend rot markiert sind.



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

Licht-Immissionsgutachten
Photovoltaikanlage Speichersdorf

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

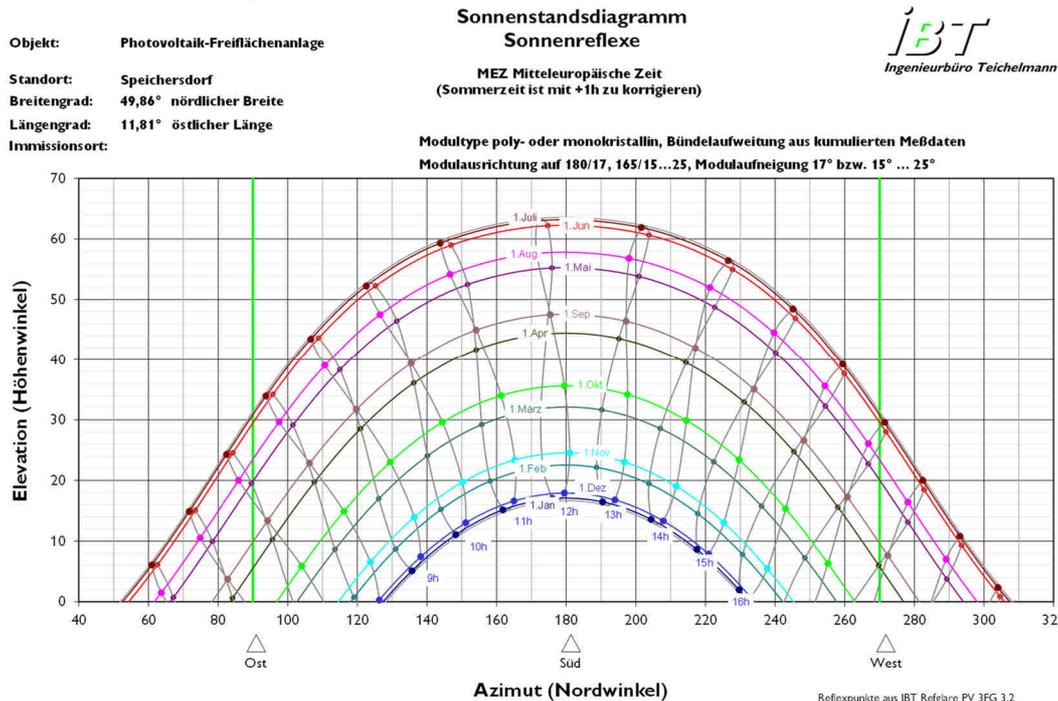
Die Begutachtung wurde anhand folgender vorliegender Unterlagen durchgeführt:

- Modulbelegungspläne/Pläne:
 - o 491-PVA-Speichersdorf_BP_26.07.21-02_BP.pdf
- Luftbild des Geländes, vom AG bereitgestellt
- Fotos von der Ortsbegehung durch den AG am 29.6.2021 und am 20.7.2021

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 /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 Speichersdorf

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, Angaben und Fotos 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. 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 Speichersdorf



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 Speichersdorf

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 südwestlich des Anlagenbereichs 2 verlaufenden Bahnstrecke, der umliegenden Straßen sowie der umliegenden Wohnbebauung zu untersuchen.

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



Für die in der umliegenden Wohnbebauung markierten Punkte liegen nach den vorliegenden Daten und Fotos keine relevanten Sichtachsen zu den Moduloberflächen der geplanten Anlage vor. Hier ist daher keine spezifische Untersuchung erforderlich.

Licht-Immissionsgutachten Photovoltaikanlage Speichersdorf

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.

Darüber hinaus sollen die Auswirkungen auf die Landeanflugbereiche des nordwestlich der geplanten Anlage liegenden Flugplatzes Rosenthal Field Plössen betrachtet werden.

Hier wurden entsprechende Beobachterpunkte an den Rändern der Landeanflugbereiche festgelegt. Die Winkelkonstellationen für dazwischenliegende Punkte werden dadurch mit erfasst.



Die Durchfliegung möglicher Platzrunden ist bei der vorliegenden Position der gegenständlichen PV-Anlagen zur Start- und Landebahn in der Regel unkritisch, da in dieser Situation die relevante Hauptblickrichtung der Piloten zur Landeschwelle hin gerichtet ist und die Durchfliegung der Reflexionssektoren der Anlagen quer erfolgt. Bei solchen Querdurchfliegungen der Reflexionswinkel treten mögliche Sonnenlichtreflexionen nur sehr kurzzeitig als schnell über die Anlage wandernder heller Fleck und in diesem Fall auch weit abweichend von der Hauptblickrichtung der Piloten auf, so daß hier keine Störungen zu erwarten sind.

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

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

Licht-Immissionsgutachten
Photovoltaikanlage Speichersdorf

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.

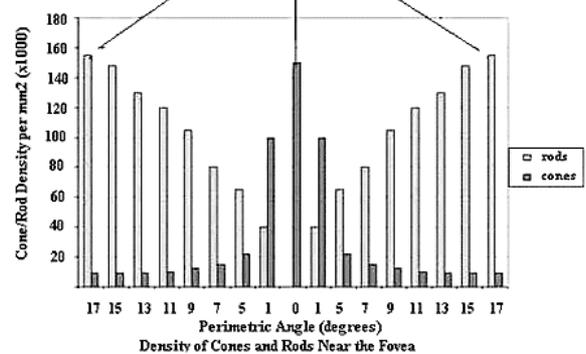
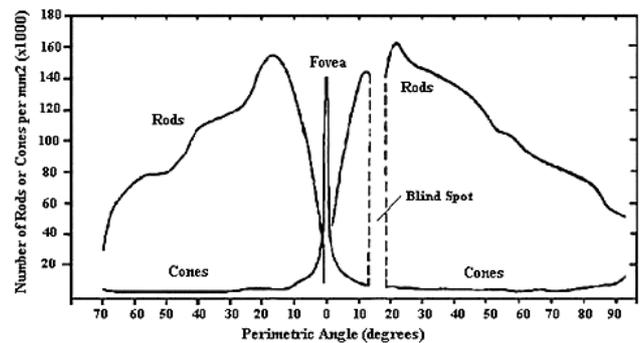
Bei der für einen Fahrer in dieser Situation typischen Blickrichtung wird der Reflex in einem Bereich zwischen 10° ... 20° abweichend von der Fovea Centralis, dem Ort der scharfen Abbildung sowie der höchsten Konzentration an Zapfen im Auge, abgebildet.

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.

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

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



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

4.3 Ermittlung der Störungen durch Direktreflexion und durch Streulicht durch Bündelaufweitung

Bahnstrecke

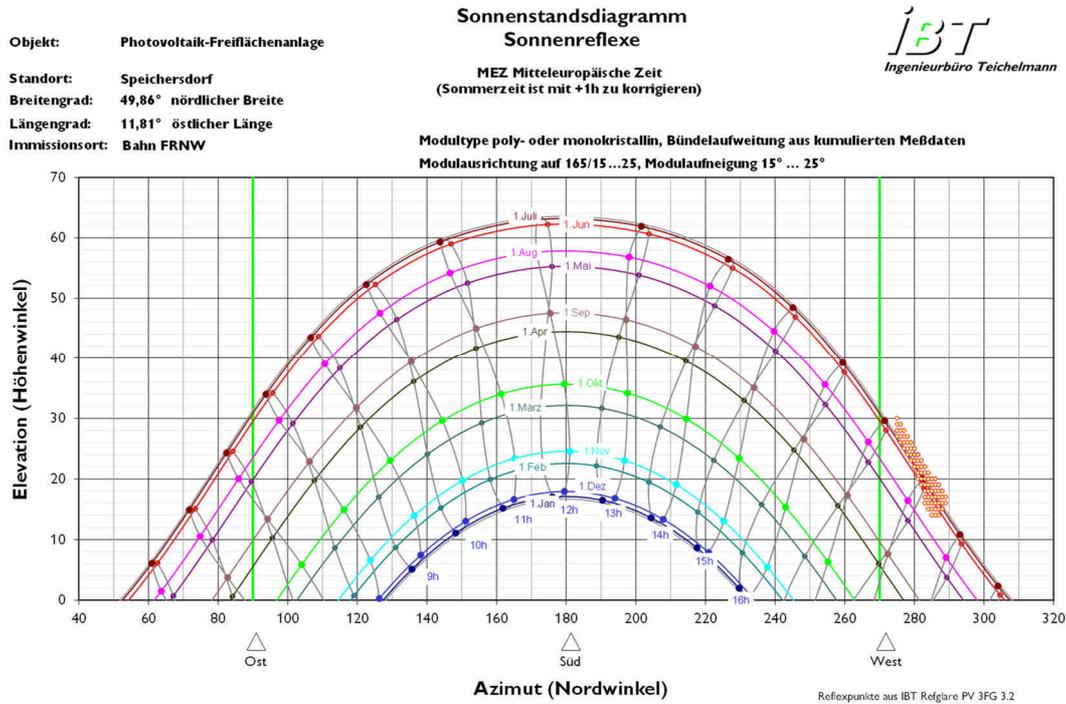
Für die möglichen Immissionsorte auf der Bahnstrecke in Fahrtrichtung Nordwest können im relevanten Sichtfeld der Fahrer bis maximal 30° Abweichung von der Hauptblickrichtung Sichtverbindungen zur geplanten Photovoltaikanlage mit Beobachter-Azimutwinkeln zwischen ca. 110° Ostsüdost und 141° Südost bei Beobachter-Elevationswinkeln zwischen ca. +0,5° und +3,2° vorliegen.



Bei der vorliegenden Geometrie wurden in Richtung der jeweils entfernten Beobachter in dieser Fahrtrichtung lediglich kurzzeitige Streiflichtreflexionen in den Tagen um die Sommersonnenwende herum an den südwestlichen Moduloberflächen dieses Anlagenteils ermittelt, die beim Näherkommen verschwinden.

Licht-Immissionsgutachten Photovoltaikanlage Speichersdorf

Diese Streiflichtreflexionen sind im nachfolgenden Sonnenbahndiagramm als Punktwolke mit Sonnenazimutwinkeln zwischen ca. 275° West und 290° Westnordwest dargestellt.



Unter Streiflichtreflexionen sind Sonnenlichtreflexionen zu verstehen, bei denen der Beobachter lediglich vom Rand der Reflexkeule, nicht aber von deren Maximum erreicht wird. Solche Streiflichtreflexionen werden typischerweise als flächige Aufhellung mit moderater Leuchtdichte ohne nennenswerte Blendwirkung wahrgenommen. Störende Blendwirkungen sind hier nicht zu erwarten.

Licht-Immissionsgutachten Photovoltaikanlage Speichersdorf

In der entgegengesetzten Fahrtrichtung auf der Bahnstrecke nach Südosten können die Modulkonstruktionen im relevanten Sichtfeld der Fahrer nur von hinten gesehen werden, so daß hier keine von den Moduloberflächen ausgehenden Blendwirkungen auftreten können.



Licht-Immissionsgutachten Photovoltaikanlage Speichersdorf

Kreisstraße BT18

Für Fahrer auf der Kreisstraße BT18 liegt der Anlagenteil 1 der gegenständlichen Anlage außerhalb des relevanten Sichtfeldes der Fahrer, so daß von diesem Anlagenbereich keine Einwirkungen innerhalb des relevanten Sichtfeldes ausgehen kann.

Fahrer auf der Kreisstraße BT18 in Fahrtrichtung Nord können die PV-Module des Anlagenteils 2 der gegenständlichen Anlage bei freien Sichtachsen im relevanten Sichtfeld der Fahrer unter Beobachter-Azimutwinkeln zwischen ca. 120° Ostsüdost und 135° Südost bei Beobachter-Elevationswinkeln zwischen ca. +0,3° und +0,7° sehen.



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

Licht-Immissionsgutachten Photovoltaikanlage Speichersdorf

In der entgegengesetzten Fahrtrichtung auf der Kreisstraße BT18 können innerhalb des relevanten Sichtfeldes der Fahrer nur die Rückseiten der Modulkonstruktionen des Anlagenbereichs 2 gesehen werden, so daß auch hier keine von den Moduloberflächen ausgehenden Blendwirkungen auftreten können.



Wohnbebauung

Nach den vorliegenden Daten und Fotos liegen von der umliegenden Bebauung aus keine Sichtverbindungen zu den Moduloberflächen der hier betrachteten PV-Anlage vor, so daß bei Zutreffen dieses Umstandes auch hier keine störenden oder unzumutbaren Blendwirkungen an den Oberflächen der betrachteten PV-Module zu erwarten sind.

In Richtung der vorbeiführenden Bahnstrecke, der umliegenden Straße sowie in Richtung der umliegenden Wohnbebauung wurden somit keine störenden oder unzumutbaren, den Verkehr auf den jeweiligen Verkehrswegen beeinträchtigenden Blendwirkungen ermittelt.

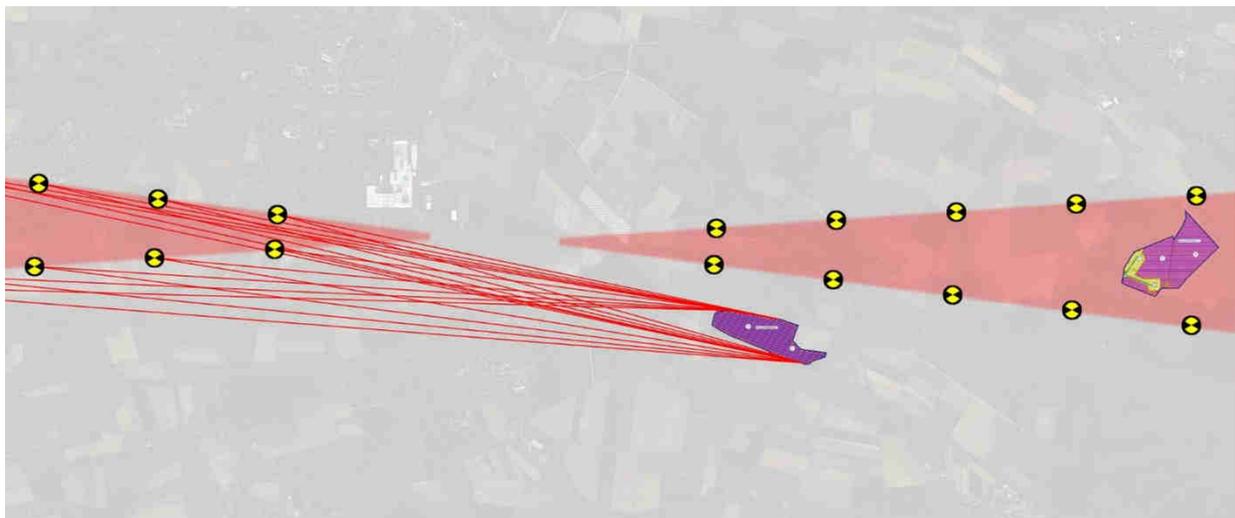
Licht-Immissionsgutachten
Photovoltaikanlage Speichersdorf

Flugplatz Rosenthal Field Plössen

Grundsätzlich werden Einwirkungen durch Sonnenlichtreflexionen in Anflugbereichen von Flugplätzen in der Regel dann als kritisch eingeschätzt, wenn sich diese in unmittelbarer Sichtachse des Piloten beim Landeanflug befinden.

In den anderen Situationen werden mögliche Reflexionen bei Bewegung eines Flugzeugs durch die schnelle Bewegung der Luftfahrzeuge im Anflug schräg durch den Reflexwinkelbereich und durch die Veränderung der Höhe beim Landeanflug in der Regel nur sehr kurzzeitig als sich schnell über die Fläche bewegendem Effekt entfernt von der eigentlichen Blickrichtung zur Landeschwelle wahrgenommen. Solche Reflexionen werden typischerweise als deutlich weniger störend wahrgenommen als solche, bei denen sich das Luftfahrzeug innerhalb des Reflexionswinkels auf den Reflex zubewegt und dieser daher länger und näher der Hauptblickrichtung einwirkt.

Bei Landeanflug 09 auf den Flugplatz Rosenthal Field Plössen können innerhalb des relevanten Sichtfeldes der Piloten Einblickwinkel auf die Modulkonstruktionen des Anlagenbereichs 2 der gegenständlichen PV-Anlage Beobachter-Azimutwinkel zwischen ca. 271° West und 286° Westnordwest bei Beobachter-Elevationswinkeln zwischen ca. +0,8° und +2,5° vorliegen.



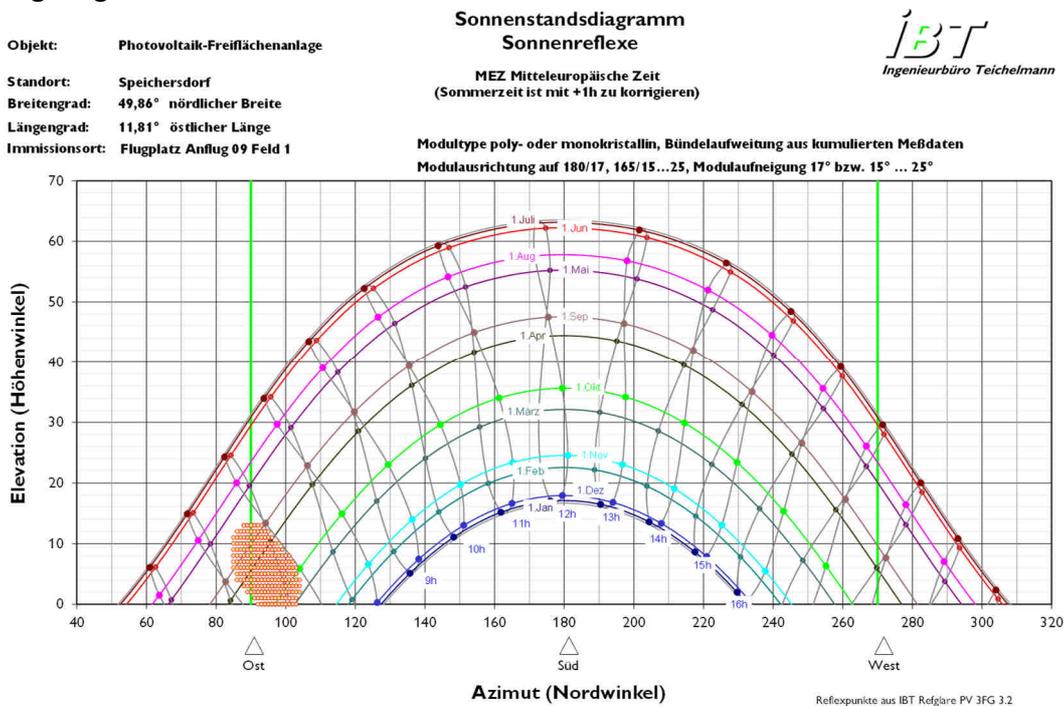
Die Modulkonstruktionen des östlichen Modulfeldes können aus diesen Richtungen nur von hinten gesehen werden, so daß hier keine von den Moduloberflächen ausgehenden Blendwirkungen auftreten können.

Licht-Immissionsgutachten
Photovoltaikanlage Speichersdorf

Die Modulkonstruktionen des weiter östlich liegenden Anlagenbereichs 1 können im Landeanflug 09 unter Beobachter-Azimutwinkeln zwischen ca. 267° West und 277° West bei Beobachter-Elevationswinkeln zwischen ca. +0,6° und +1,7° gesehen werden.



Dabei können an diesen Moduloberflächen Sonnenlichtreflexionen unter kleinen Blickwinkeldifferenzen $< 10^\circ$ entstehen, die durch die Direktblendung der tiefstehenden Sonne überlagert und daher nach dem zu Grunde liegenden Bewertungsverfahren /1/ nicht als Blendung eingestuft werden.



Licht-Immissionsgutachten Photovoltaikanlage Speichersdorf

Lediglich bei hohen Beobachtern im südlichen Grenzbereich der rot markierten Anflugzone 09 können rechnerisch für einen kurzen Zeitpunkt Winkeldifferenzen auftreten, die innerhalb der Rechenunschärfe im Grenzbereich der 10°-Schwelle liegen.

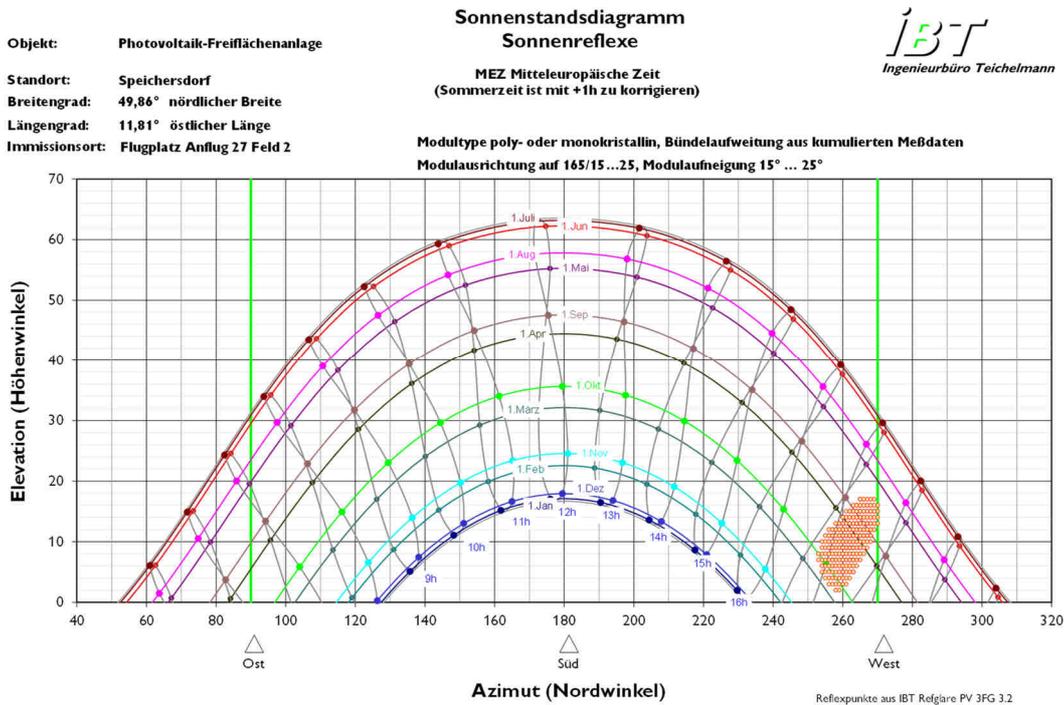
Durch das sehr kurze Auftreten dieser Reflexionen bei sehr großer Entfernung von mehr als ca. 4.500 m, das ausschließliche Auftreten am Rand des relevanten Sichtfeldes abseits der Hauptblickrichtung und die Überlagerung durch die Direktblendung der Sonne sind hier keine Störungen oder Beeinträchtigungen des Flugverkehrs in der Landeanflugzone 09 zu erwarten.

In der entgegengesetzten Anflugrichtung 27 können die Modulkonstruktionen des Modulbereichs 2 im relevanten Sichtfeld der Piloten unter Beobachter-Azimutwinkeln zwischen ca. 56° Nordost und 93° Ost bei Beobachter-Elevationswinkeln zwischen ca. +1,5° und +2,8° gesehen werden.



In dieser Situation können bei entsprechenden Sonnenständen und Witterungsbedingungen für Beobachter in größeren Entfernungen > ca. 950 m Blendreflexionen auftreten, die je nach Geschwindigkeit des Luftfahrzeugs als ein für ca. 15 s ... 25 s über die sichtbare Fläche der Anlage wandernder Lichteffect sichtbar sein können und die beim Näherkommen verschwinden.

Licht-Immissionsgutachten Photovoltaikanlage Speichersdorf



Bei näher liegenden Punkten auf diesen Anfluglinien können nur noch Sonnenlichtreflexionen auftreten, die unter kleinen Blickwinkeldifferenzen zur Sonne gesehen werden. Solche Reflexionen werden durch die Direktblendung der Sonne überlagert und nicht als störende Blendung eingestuft.

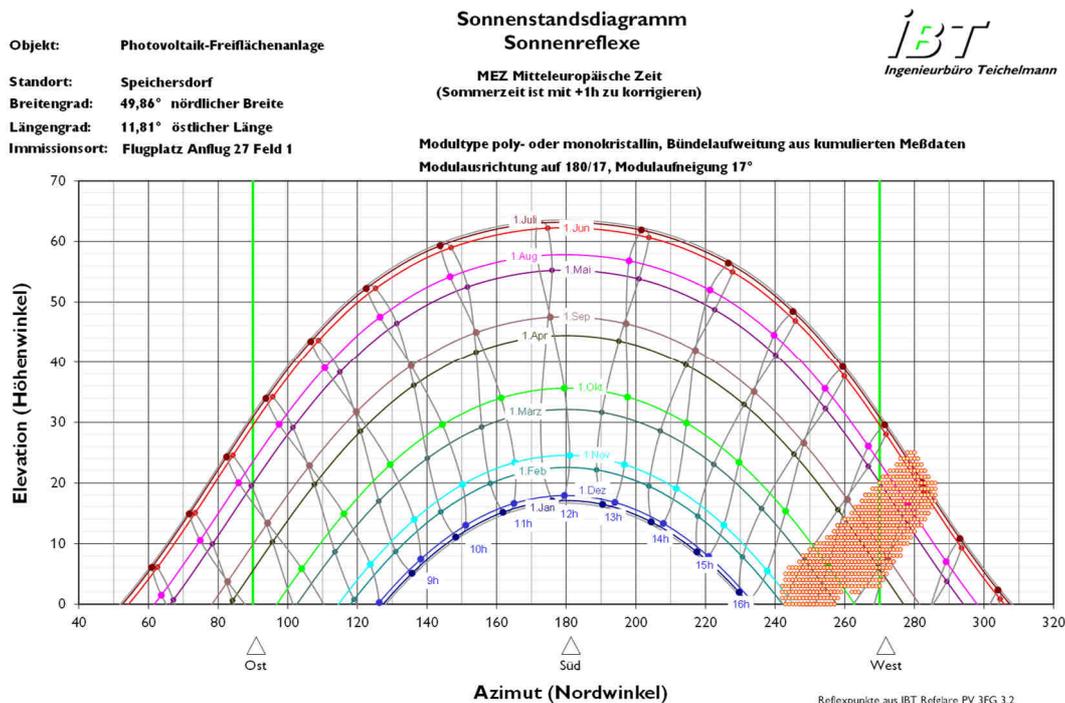
Licht-Immissionsgutachten
Photovoltaikanlage Speichersdorf

Die Module des östlich liegenden Modulfeldes 1 können beim Landeanflug 27 innerhalb des angesetzten relevanten Sichtfeldes der Piloten unter Beobachter-Azimutwinkeln zwischen ca. 54° Nordost und 126° Südost bei Beobachter-Elevationswinkeln zwischen ca. +2,0° und +8,9° zu sehen sein.

Die flachen Beobachter-Elevationswinkeln treten dabei nur in Richtung der entfernten und tiefen Beobachter auf.

In diese Blickrichtungen können an den Moduloberflächen von Anlagenbereich 1 bei entsprechenden Sonnenständen und Witterungsbedingungen am Nachmittag bzw. am frühen Abend Blendreflexionen vor allem in Richtung der hohen Beobachter auftreten, die bei Auftreten in den entfernten Bereichen länger und näher an der Hauptblickrichtung, bei Auftreten in den näheren Bereichen kürzer und weiter abweichend von der Hauptblickrichtung zu sehen sind.

Insbesondere in den Bereichen nahe der Anlage wandert die Anlage und damit auch ein möglicher Reflex nach unten aus dem Sichtfeld der Piloten heraus.



Die Sonne steht bei Auftreten dieser Reflexionen an beiden Anlagenbereichen relativ tief und bei Azimutwinkeln zwischen ca. 240° Westsüdwest und 285° Westnordwest und somit unmittelbar in Flugrichtung und ebenfalls im Sichtfeld der Piloten. Daher ist in dieser Situation davon auszugehen, daß diese bei klarem Himmel eine Sonnenbrille oder ein Sonnenschutzvisier nutzen, durch das die im Vergleich mit der Direktblendung der Sonne um den Faktor ca. 45 ... 50 geringere Leuchtdichte des auftretenden Reflexes ebenfalls deutlich gemindert wird.

Aus diesen Gründen wird die bei Landeanflug 27 mögliche Störwirkung der ermittelten Blendreflexionen aus technischer Sicht als vergleichsweise gering eingeschätzt.

Insbesondere in Anbetracht der Tatsache, daß sich östlich der Start- und Landebahn des Flugplatzes Rosenthal Field Plössen bereits seit längerer Zeit eine weitere PV-Anlage befindet, bei der mit den hier ermittelten Reflexionen vergleichbare Blendreflexionen in wesentlich

Licht-Immissionsgutachten
Photovoltaikanlage Speichersdorf

stärkeren Ausmaß zu erwarten sind und die offensichtlich nicht als problematisch angesehen wird, wird hier davon ausgegangen, daß auch die hier ermittelten Sonnenlichtreflexionen an den Moduloberflächen der beiden betrachteten Modulfelder keine wesentliche Störung des Luftverkehrs darstellen.

Somit sind bei Ausführung der Photovoltaikanlage nach der vorliegenden Planung und bei Realisierung der vorgesehenen optimierten Ausrichtung der Modulreihen keine störenden oder unzumutbaren, von der geplanten Photovoltaikanlage ausgehenden Blendwirkungen durch Sonnenlichtreflexionen in Richtung der Bahnstrecke, der Kreisstraße BT18 oder der umliegenden Wohnbebauung zu erwarten.

Die Störwirkung der in Richtung der Landeanflugbereiche des Flugplatzes Rosenthal Field Plössen wird wegen mindernder Faktoren und in Relation zu den anderen umliegenden PV-Anlagen als vergleichsweise gering eingeschätzt, so daß auch hier von keiner unzumutbaren Störung des Luftverkehrs durch Sonnenlichtreflexionen an den Oberflächen der betrachteten PV-Module ausgegangen wird.

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 Speichersdorf sind bei Ausführung der Anlage gemäß des vorliegenden, im Vorfeld hinsichtlich der Blendwirkung optimierten Konzeptes und unter Realisierung der vorgesehenen optimierten Ausrichtung der Modulreihen keine Störungen auf der Bahnstrecke, der Kreisstraße BT18 oder der umliegenden Wohnbebauung durch von den Moduloberflächen ausgehende Blendreflexionen zu erwarten.

In Richtung der Anflugbereiche des Flugplatzes Rosenthal Field Plössen wurden bei entsprechenden Sonnenständen und Witterungsbedingungen mögliche Blendreflexionen ermittelt, deren Wirkung durch diverse Faktoren gemindert wird. Durch diese Minderung und in Relation mit anderen umliegenden PV-Anlagen wird eine mögliche Störwirkung dieser Sonnenlichtreflexionen als vergleichsweise gering eingeschätzt.

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

22.07.2021
Jens Teichelmann
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.