

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



GA-Nummer: Te-241028-L-1

Im Auftrag von
BEE Development GmbH
Hamburg

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

Fürth, 18.11.2024

Licht-Immissionsgutachten
Photovoltaikanlage Lebrade

Auftraggeber:

BEE Development GmbH

Jungfernstieg 51
20354 Hamburg

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 | 10 |
| 2.4 Verwendete Hilfsmittel | 10 |
| 2.5 Verwendetes Schrifttum und Quellen | 11 |
| 3 Vorgehensweise Berechnung und Bewertung der Sonnenreflexion an den Photovoltaikmodulen | 12 |
| 3.1 Grundlegende Methodik | 12 |
| 3.2 Ortstermin, beteiligte Personen | 13 |
| 4 Schutzgut Mensch: Ergebnisse und Auswertung der an den Immissionsorten erreichten Reflexionswerte | 14 |
| 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 |
| 5 Schutzgut Fauna: Auswirkungen der Lichtimmissionen durch Sonnenreflexion auf Tiere | 27 |
| 6 Zusammenfassung und Erörterung der Ergebnisse | 28 |

1 Extrakt

Im Auftrag der BEE Development GmbH in Hamburg wurde die geplante Photovoltaik-Freiflächenanlage Lebrade nördlich des Lannwegs und zwischen den Ortschaften Lepahn und Lebrade hinsichtlich der auf dem Lannweg und in der westlich bzw. südwestlich liegenden Wohnbebauung 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 bei Realisierung der vorgesehenen Sichtschutzmaßnahme in entsprechend wirksamer Höhe und Ausführung keine störenden oder unzumutbaren Blendwirkungen durch Sonnenlichtreflexionen auf dem Lannweg und in der westlich bzw. südwestlich liegenden Wohnbebauung zu erwarten.

Möglicherweise auftretende Reflexionen in Richtung des Lannweges in Fahrtrichtung Südost und der westlich bzw. südwestlich der gegenständlichen Anlage liegenden Bebauung 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.

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 BEE Development GmbH in Hamburg war die geplante Photovoltaik-Freiflächenanlage Lebrade nördlich des Lannwegs und zwischen den Ortschaften Lepahn und Lebrade auf folgende Punkte hin zu prüfen:

- Prüfung der geplanten Anlagen-Ausführung auf mögliche Störwirkungen durch direkte Sonnenreflexion an den möglichen Immissionsorten auf dem Lannweg und in der westlich bzw. südwestlich liegenden Wohnbebauung 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 des Lannwegs und zwischen den Ortschaften Lepahn und Lebrade 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 der vorbeifahrenden Straße hin optimiert.

Die Modulreihennormalen sollen auf entsprechenden Unterkonstruktionen mit den nachfolgenden Ausrichtungen montiert werden:

- Nördlicher Anlagenteil: Ausrichtung der Modulreihennormalen auf 180° Süd bei einer Aufneigung auf 15°
- Mittlerer Anlagenteil: Ausrichtung der Modulreihennormalen auf 165° Südsüdost bei einer Aufneigung auf 15°
- Südlicher Anlagenteil: Ausrichtung der Modulreihennormalen auf 156° Südsüdost bei einer Aufneigung auf 15°

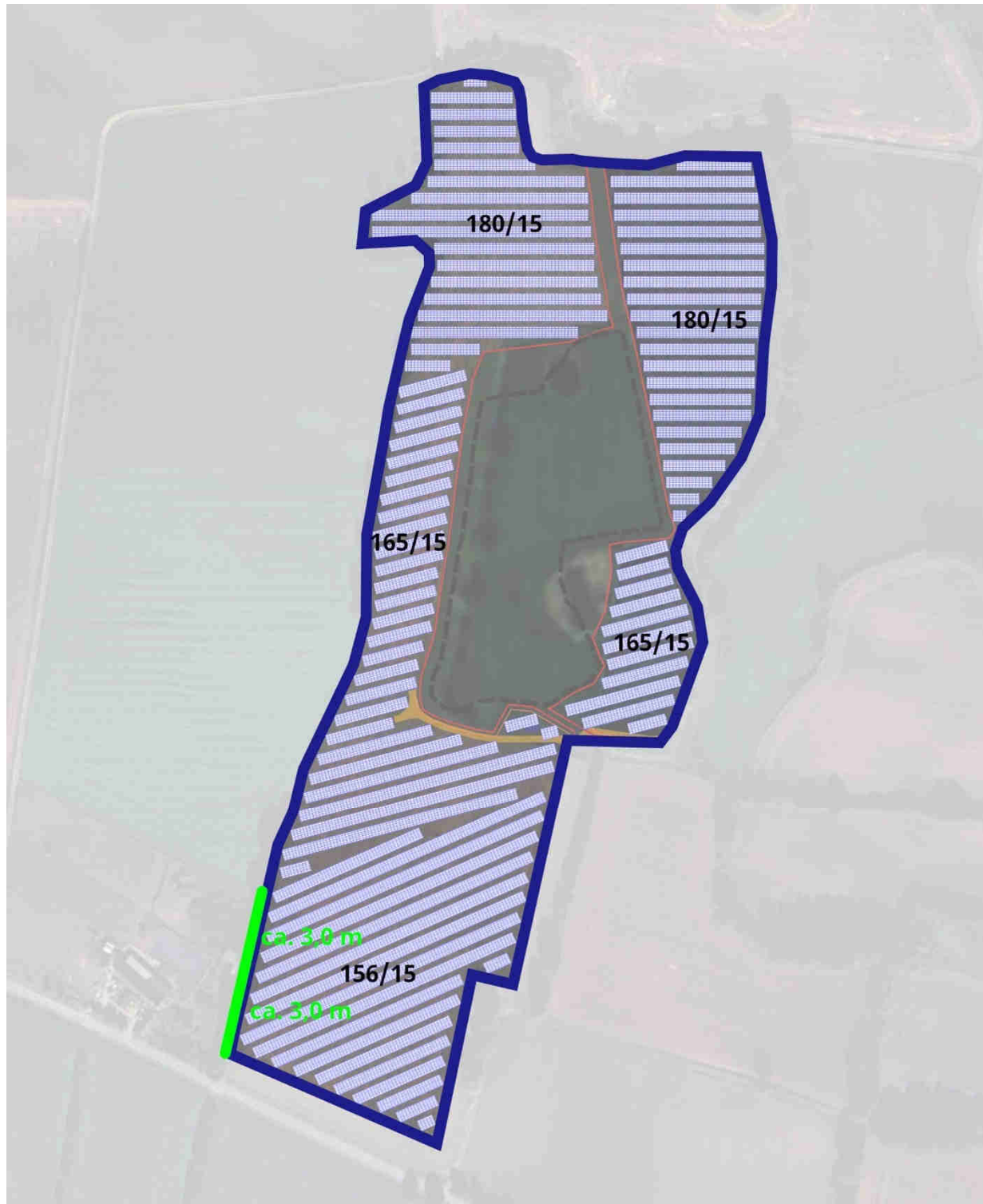


Die symbolisch eingezeichneten Modulkonstruktionen zeigen den Richtungsverlauf Modulreihen, nicht aber deren genaue Art oder Lage innerhalb der Fläche.

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

Licht-Immissionsgutachten Photovoltaikanlage Lebrade

In dem grün markierten Bereich der westlichen Geländekante sind in Richtung der südwestlich der Anlage liegenden Wohnbebauung Sichtschutzmaßnahmen mit einer wirksamen Höhe von ca. 3,0 m vorgesehen.



Licht-Immissionsgutachten Photovoltaikanlage Lebrade

Die maximale Höhe der Module mit den vorgesehenen Unterkonstruktionen soll laut Planung ca. 2,70 m mit entsprechenden Toleranzen zum Geländeausgleich betragen.

Höhere oder niedrigere Bauhöhen sind grundsätzlich ebenfalls möglich.

Bzgl. der Ausführung der Sichtschutzmaßnahme verändert sich die wirksame Höhe des Sichtschutzes bei einer anderen Bauhöhe der Modulkonstruktionen entsprechend. Diese ist ggf. neu zu ermitteln.

Es soll hier eine statische Anlage betrachtet werden.

Das Gelände fällt von Süd nach Nord und von Ost nach West leicht ab und hat in sich diverse leichte Unebenheiten. Es ist davon auszugehen, daß bei Montage der Modulreihen in der vorgesehen Ausrichtung entsprechende Querneigungen zwischen ca. $-4,0^\circ$... $+3,5^\circ$ auftreten werden, die die resultierende Ausrichtung der Einzelmodule beeinflussen und die bei den weiteren Betrachtungen berücksichtigt werden müssen.

Ca. mittig der Fläche befindet sich ein tiefer liegendes Biotopgebiet, das nicht mit PV-Modulen belegt werden soll.

Südlich angrenzend an das Gelände verläuft von Südost nach Nordwest der Lannweg auf etwa gleichem Höhenniveau wie das jeweils angrenzende Gelände.

Die Fahrbahn des Lannwegs steigt von Ost nach West an. Die Böschung der Fahrbahn ist teilweise mit dichtem Bewuchs versehen, der auch bei fehlender Belaubung einen gewissen Sichtschutz darstellt. Dieser Sichtschutz an der Fahrbahnböschung wird in den nachfolgenden Betrachtungen im Sinne einer Worst Case-Bewertung im ersten Schritt nicht berücksichtigt.

Im südwestlichen Bereich der Anlage befindet sich mehrreihiger dichter und hoher Bewuchs, dessen sichtachsenunterbrechende Wirkung nachfolgend mit berücksichtigt wird.

Westlich bzw. südwestlich des Geländes befindet sich Bebauung mit Wohn- und Nutzgebäuden.

Zwischen der südwestlich nahe liegenden Bebauung und der gegenständlichen Anlage befindet sich hoher und dichter Bewuchs sowie Nutzbebauung, durch die mögliche Sichtverbindungen zu den Moduloberflächen der hier betrachteten Anlage weitestgehend unterbrochen werden. Hier sind ggf. die tatsächlich vorliegenden Sichtverbindungen zu den Moduloberflächen dahingehend zu prüfen, ob die in diesem Bereich vorgesehene Sichtschutzmaßnahme tatsächlich erforderlich ist.

Die für die Berechnungen der Blendwirkung erforderlichen Beobachter-Azimet- 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

Licht-Immissionsgutachten
Photovoltaikanlage Lebrade

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.

Im südlichen Bereich der westlichen Geländekante in Richtung der süwestlich der Anlage liegenden Wohnbebauung sind entsprechende Sichtschutzmaßnahmen vorgesehen.

Die erforderlichen Daten zur exakten Festlegung der wirksamen Sichtschutzhöhen lagen zur Erstellung des Gutachtens nicht vor, so daß diese Festlegung im weiteren Verlauf der Planung vorgenommen werden muß.

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 ergab bei der geplanten Bauhöhe der Modulkonstruktionen eine Höhe des Sichtschutzes von ca. 3,0 m.

Dieser Sichtschutz dient dazu, die bei den möglichen Sichtverbindungen relevanten Beobachter-Elevationswinkel in diesem Bereich auf maximal ca. 4,0° zu reduzieren. Über diesen Sichtschutz hinweg sind die entfernteren Teile der gegenständlichen PV-Anlage unter dann flacheren Beobachter-Elevationswinkeln zu sehen. Für diese dann noch möglichen Blickwinkel gelten die nachfolgend durchgeführten Betrachtungen der möglichen Direktreflexionen des Sonnenlichtes.

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.

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

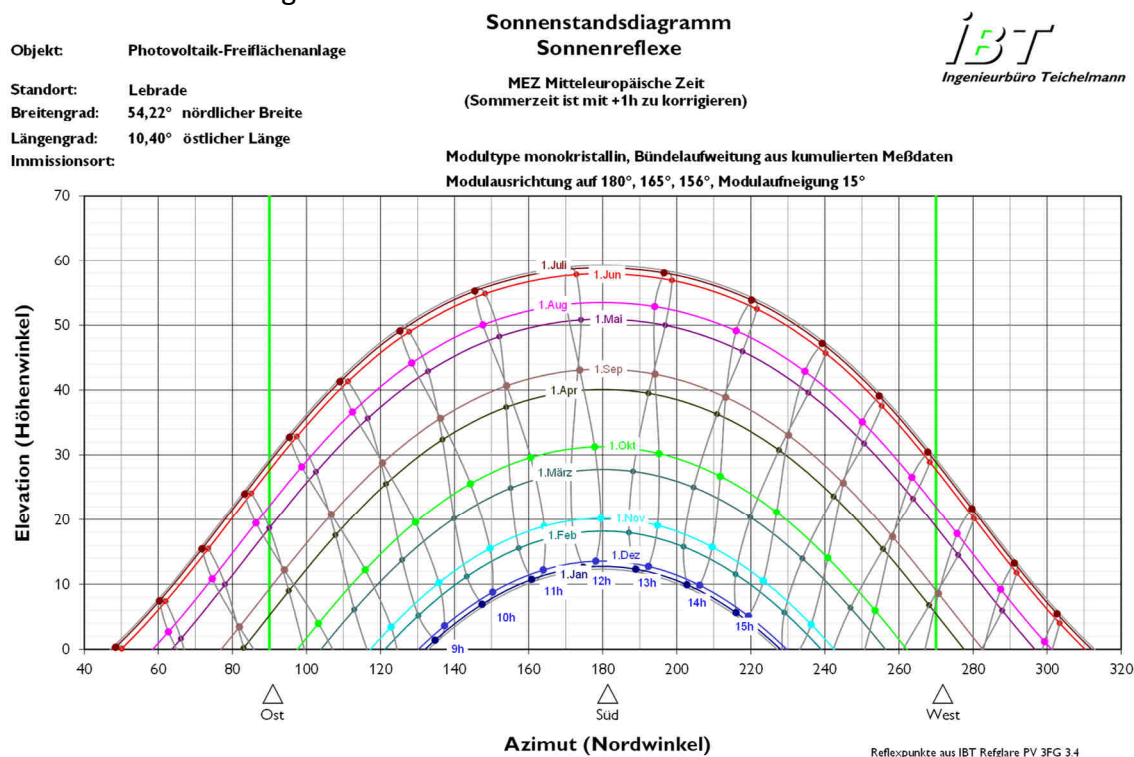
Die Begutachtung wurde anhand folgender vorliegender Unterlagen durchgeführt:

- Modulbelegungspläne/Pläne:
 - o Lebrade_20.09.24_Variante1.2_THK.pdf
- Luftbild des Geländes, vom AG bereitgestellt
- Fotos von der Situation vor Ort aus Google Streetview

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 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 Lebrade

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 der Situation vor Ort 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. <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 Lebrade

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.

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 dem Lannweg und in der westlich bzw. südwestlich liegenden Wohnbebauung zu untersuchen.

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.

Licht-Immissionsgutachten
Photovoltaikanlage Lebrade

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 Vorgaben des Fernstraßen-Bundesamtes, 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.

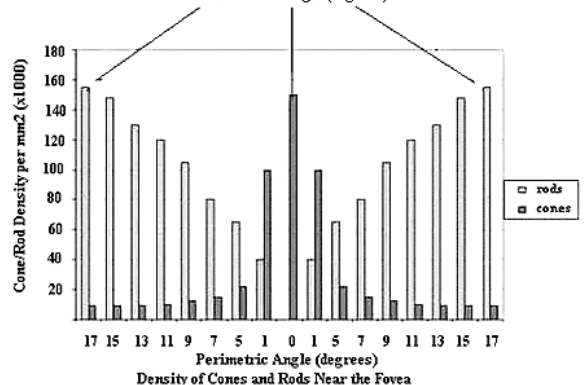
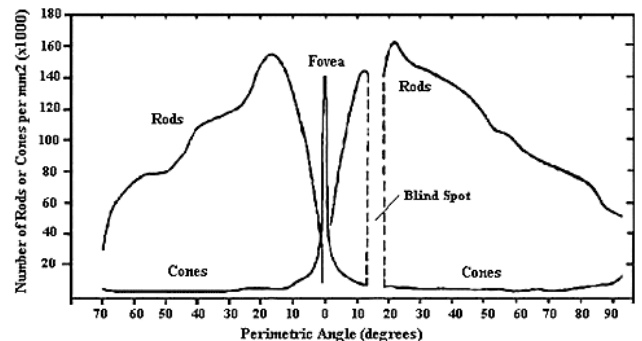
Durch den langjährigen Ansatz dieser Prämisse und die Tatsache, daß mittlerweile viele tausend PV-Anlagen unter Ansatz eines solchen relevanten Sichtfeldes auf den privilegierten Flächen entlang von Autobahnen, Verkehrsstraßen, Bahnstrecken, Flughäfen oder ähnlichem realisiert worden sind, entspricht 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.

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



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 Lebrade

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

Lannweg

Für die möglichen Immissionsorte auf dem südlich der Fläche verlaufenden Lannweg in Fahrtrichtung Südost können im relevanten Sichtfeld der Fahrer bis maximal 30° Abweichung von der Hauptblickrichtung Sichtverbindungen zur geplanten Photovoltaikanlage mit Beobachter-Azimutwinkeln zwischen ca. 242° Westsüdwest und 289° Westnordwest bei Beobachter-Elevationswinkeln zwischen ca. +0,4° und +3,1° vorliegen.

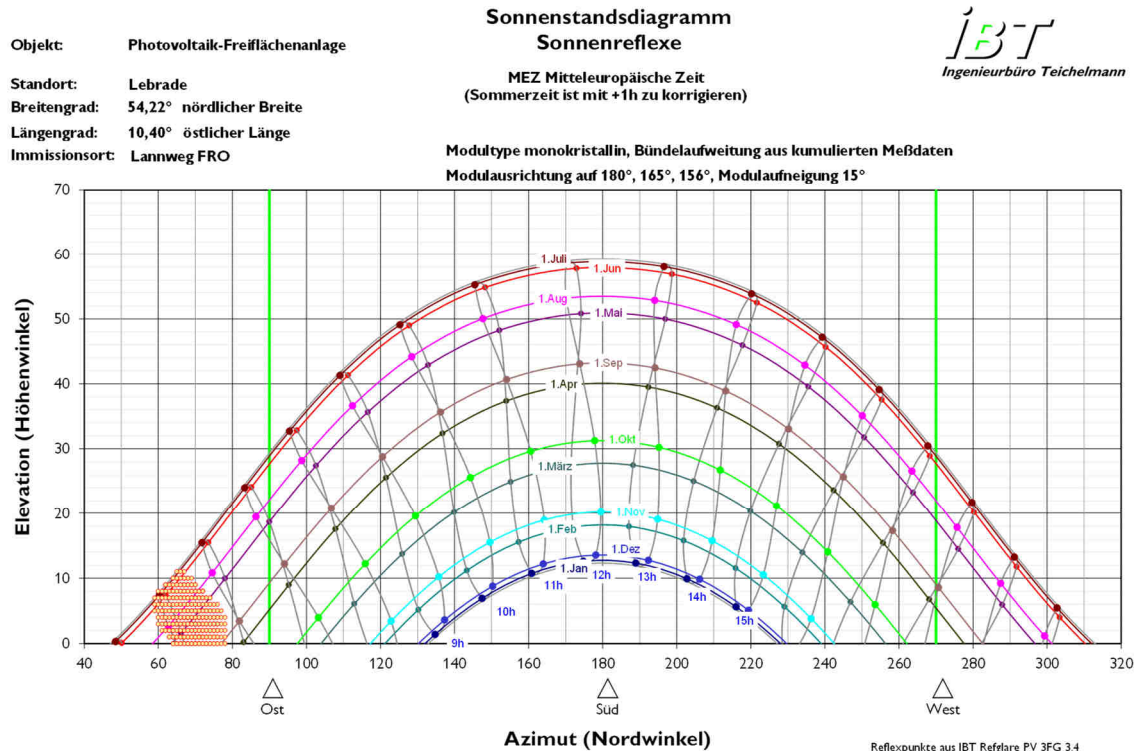


Durch die Ausrichtung der Modulreihen des südlichen Anlagenteils auf 156° Südsüdost bei 15° Aufneigung können hier innerhalb des relevanten Sichtfeldes der Fahrer nur die Rückseiten der Modulkonstruktionen gesehen werden. Hier sind also keine störenden Blendreflexionen innerhalb des relevanten Sichtfeldes der Fahrer zu erwarten.

Von dem weiter westlich liegenden Teil des Lannweges können Sichtverbindungen zu dem mittleren Anlagenteil mit Ausrichtung der Module auf 165° Südsüdost bei 15° Aufneigung vorliegen. In dieser Situation können bei entsprechenden Sonnenständen in Richtung der vermerkten Beobachter nur am äußeren linken Sichtfeldrand Reflexionen bei tief stehender Sonne auftreten.

Licht-Immissionsgutachten
Photovoltaikanlage Lebrade

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 April bis August können in den frühen Morgenstunden bei entsprechenden Sonnenständen also Reflexionen mit Leuchtdichten bis zu ca. 1 ... 5 Mio cd/m² in Richtung dieses Bereiches des Lannweges entstehen, die unter sehr kleinen Blickwinkeldifferenzen bis maximal 10,0° 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.

Darüber hinaus werden die kritischsten Sonnenstände durch die Eigenverschattung der Modulkonstruktionen teilweise abgeschattet.

Die Modulkonstruktionen des nördlichen, auf 180° Süd ausgerichteten Anlagenteils liegen außerhalb des relevanten Sichtfeldes der Fahrer auf dem Lannweg.

Licht-Immissionsgutachten Photovoltaikanlage Lebrade

In der entgegengesetzten Fahrtrichtung nach Süden können im relevanten Sichtfeld der Fahrer Beobachter-Azimutwinkel zwischen ca. 110° Ostsüdost und 161° Südsüdost und Beobachter-Elevationswinkel zwischen ca. $-0,5^\circ$ und $+2,7^\circ$ 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 des vorbeiführenden Lannweges wurden somit keine störenden oder unzumutbaren, den Verkehr beeinträchtigenden Blendwirkungen durch Sonnenlichtreflexionen an den gegenständlichen Moduloberflächen ermittelt.

Licht-Immissionsgutachten
Photovoltaikanlage Lebrade

westlich bzw. südwestlich liegende Wohnbebauung

Sowohl in der südwestlich nahe der Anlage liegenden Wohnbebauung als auch in der entfernter in westlicher Richtung liegenden Wohnbebauung können bei freien Sichtverbindungen von einigen Gebäuden aus Sichtverbindungen zu den Moduloberflächen bestehen, die hinsichtlich einer möglichen Blendung relevant sein können.

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 Lebrade

Stellvertretend für die nahe der Anlage liegende Wohnbebauung im südwestlichen Bereich der Anlage wurden die nachfolgend markierten Punkte berechnet.

Hier können bei freien Sichtverbindungen beim Blick zu den Moduloberflächen des südlichen, auf 156° Südsüdost ausgerichteten Anlagenteils Beobachter-Azimutwinkel zwischen ca. 227° Südwest und 313° Nordwest bei Beobachter-Elevationswinkeln zwischen ca. +0,1° und +4,0° bezogen auf die Einzelflächen auftreten.



Die Blickwinkel werden durch die Position der Anlage begrenzt.

Über den Sichtschutz hinweg sind Teile der gegenständlichen Anlage zu sehen.

Insbesondere die relevanten Beobachter-Elevationswinkel werden durch die vorgesehene Sichtschutzmaßnahme auf maximal ca. 4,0° begrenzt.

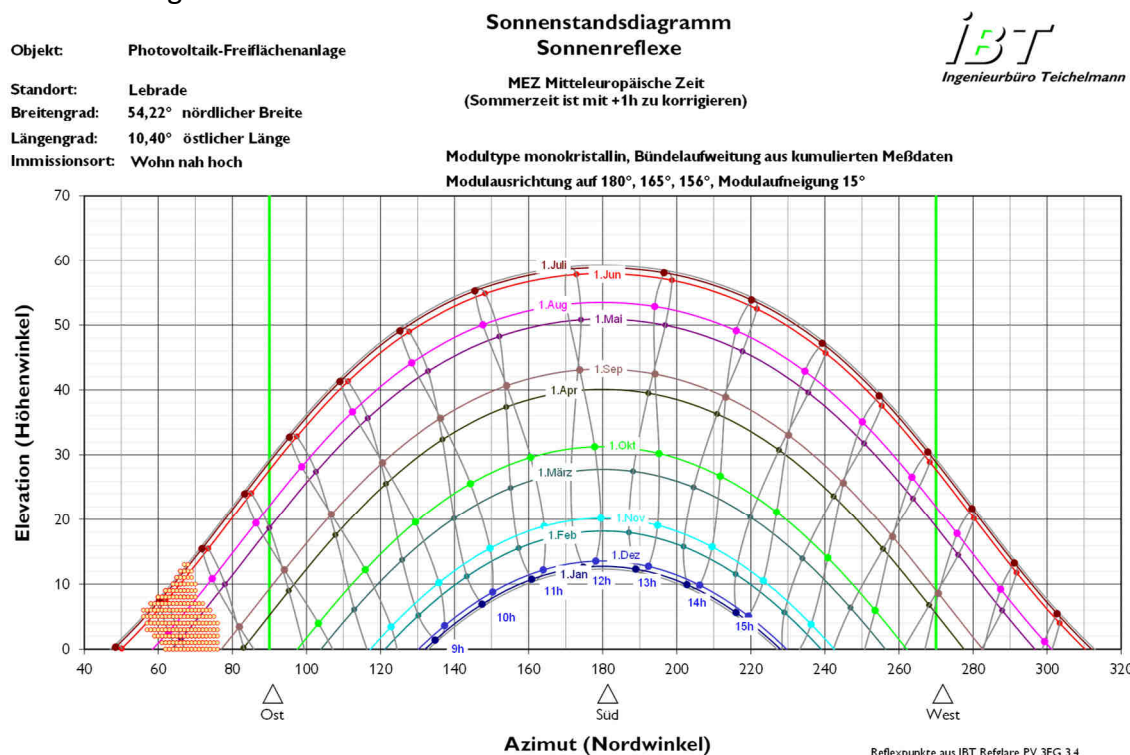
Die Moduloberflächen des mittleren, auf 165° Südsüdost ausgerichteten Anlagenteils können bei freien Sichtachsen unter Beobachter-Azimutwinkeln zwischen ca. 221° Südwest und 242° Westsüdwest und unter Beobachter-Elevationswinkeln zwischen ca. +1,5° und +3,3° gesehen werden.

Sofern zu den Moduloberflächen des nördlichen, nach Süden ausgerichteten Anlagenteils relevante Sichtverbindungen vorliegen, so können hier Beobachter-Azimutwinkel zwischen ca.

Licht-Immissionsgutachten
Photovoltaikanlage Lebrade

194° Südsüdwest und 232° Südwest und Beobachter-Elevationswinkel zwischen ca. +1,8° und +2,5° vorliegen.

Auch in diese Richtungen wurden bei den Reflexionsberechnungen ausschließlich mögliche Sonnenlichtreflexionen in den frühen Morgenstunden der Monate April bis August an den Moduloberflächen des südlichen und des mittleren Modulfeldes ermittelt, die aus Sicht dieser Beobachter bei sehr tiefen Sonnenständen und unter kleinen Blickwinkeldifferenzen zur Sonnenscheibe gesehen werden.



Solche Reflexionen werden nach dem zu Grunde liegenden Bewertungsverfahren /1/ wegen der Überlagerung der Reflexion durch die unvermeidbare und wesentlich intensivere Direktblendung der Sonne nicht als eigenständiges Blendereignis wahrgenommen und daher nicht als störende Blendung eingestuft.

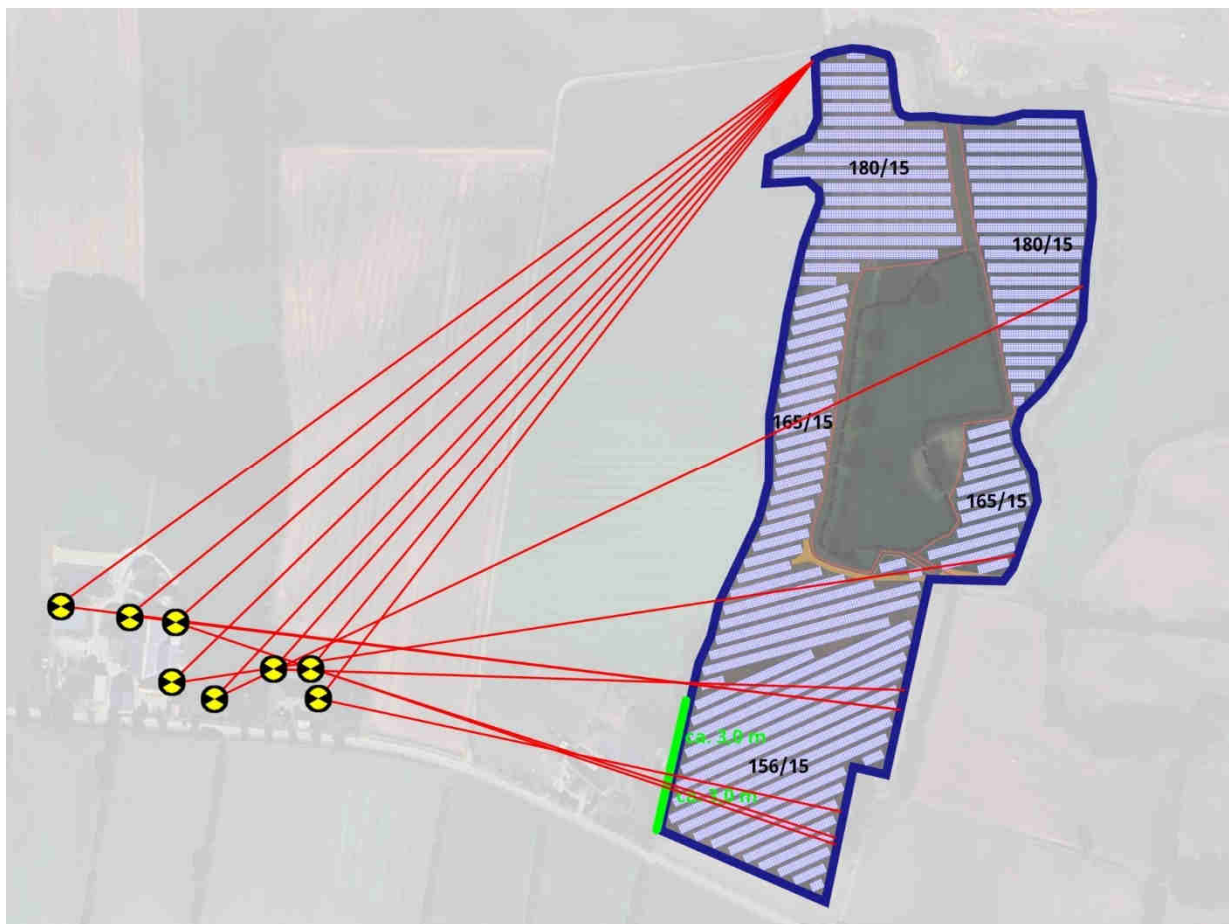
Das ausschließliche Auftreten dieser Reflexionen in den frühen Morgenstunden mindert eine mögliche Wahrnehmung dieser Reflexionen zusätzlich.

Für die Blickwinkel zu den Moduloberflächen des nördlichen Modulfeldes wurden keine Direktreflexionen des Sonnenlichtes ermittelt.

Licht-Immissionsgutachten Photovoltaikanlage Lebrade

Von der weiter westlich liegenden Bebauung aus können die Modulkonstruktionen des südlichen, auf 156° Südsüdost ausgerichteten Anlagenteils nur von hinten gesehen werden. Hier können störende Blendreflexionen an den Moduloberflächen daher bereits wegen der nicht vorhandenen Sichtachsen ausgeschlossen werden.

Die Moduloberflächen des mittleren, auf 165° Südsüdost ausgerichteten Anlagenteils können aus diesen Richtungen unter Beobachter-Azimutwinkeln zwischen ca. 230° Südwest und 272° West und Beobachter-Elevationswinkel zwischen ca. +0,9° und +1,7° gesehen werden. Bezogen auf die Moduloberflächen des nördlichen, auf 180° Süd ausgerichteten Anlagenteils können aus diesen Blickrichtungen Beobachter-Azimutwinkel zwischen ca. 218° Südwest und 258° Westsüdwest und Beobachter-Elevationswinkel zwischen ca. +0,6° und +1,3° vorliegen.



Analog zu den vorhergehenden Erläuterungen wurden auch in diese Richtungen ausschließlich Sonnenlichtreflexionen in den frühen Morgenstunden der Monate März bis September ermittelt, die aus Sicht dieser Beobachterstandorte unter kleinen Blickwinkeldifferenzen $<10^\circ$ zur Sonne gesehen werden.

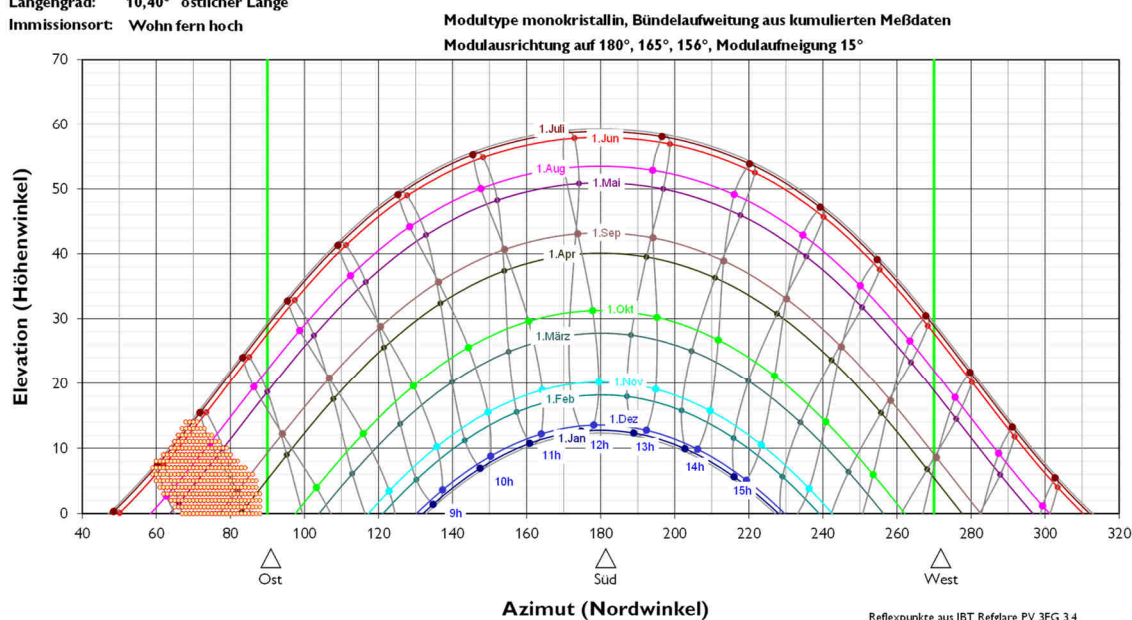
Licht-Immissionsgutachten Photovoltaikanlage Lebrade

Objekt: Photovoltaik-Freiflächenanlage
Standort: Lebrade
Breitengrad: 54,22° nördlicher Breite
Längengrad: 10,40° östlicher Länge
Immissionsort: Wohn fern hoch

Sonnenstandsdiagramm Sonnenreflexe

MEZ Mittlereuropäische Zeit
(Sommerzeit ist mit +1h zu korrigieren)

IBT
Ingenieurbüro Teichmann



Solche Reflexionen werden wegen der Überlagerung des Reflexes durch die unvermeidbare Direktblendung der Sonne nicht als eigenständige, zusätzlich zur bereits vorhandenen, auch ohne die gegenständliche PV-Anlage einwirkenden Blendung eingestuft.

Auch hier wird eine mögliche Wahrnehmung dieser Reflexionen durch das ausschließliche Auftreten dieser Reflexionen in den frühen Morgenstunden zusätzlich gemindert.

Durch diese verschiedenen Minderungsfaktoren werden die ermittelten Direktreflexionen des Sonnenlichtes in Richtung der westlich bzw. südwestlich liegenden Wohnbebauung als unkritisch eingeschätzt.

Störende oder unzumutbare Blendwirkungen werden auch hier nicht erwartet.

Somit sind bei Ausführung der Photovoltaikanlage Lebrade 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 dem Lannweg und in der westlich bzw. südwestlich liegenden Wohnbebauung 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 Lebrade 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 dem Lannweg und in der westlich bzw. südwestlich liegenden Wohnbebauung durch von den Moduloberflächen ausgehende Blendreflexionen zu erwarten.

In Richtung des Lannweges in Fahrtrichtung Südost und der westlich bzw. südwestlich der gegenständlichen Anlage liegenden Bebauung 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.

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

18.11.2024
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.

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.