

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



GA-Nummer: Te-180126-M-1

Im Auftrag von
Rudolf Babel
Burk

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

Fürth, 29.01.2018

Te180126M1 Photovoltaikanlage Meierndorf Gutachten über Lichtimmission durch Sonnenreflexion.docx

IBT 4Light GmbH
Boenerstr. 34
90765 Fürth

Amtsgericht Fürth
HRB 14663
Geschäftsführer: Jens Teichelmann
Ust-ID DE296384486

Tel. 0911-979155-91
Fax: 0911-979155-93

IBT@4Light.de

Bankverbindung:
Sparkasse Fürth
Kto.-Nr.: 40602559
BLZ: 762 500 00

IBAN DE72 762 500 00 00 40 60 25 59
BIC BYLADEM1SFU

Licht-Immissionsgutachten
Photovoltaikanlage Meierndorf



Auftraggeber:

Rudolf Babel

Beyerberger Str. 2
91596 Burk

Auftragnehmer:

Dipl.-Ing. Jens Teichelmann

IBT 4Light GmbH

Ingenieur- und Sachverständigenbüro
für Licht- und Beleuchtungstechnik

Boenerstraße 34
90765 Fürth

Te180126M1 Photovoltaikanlage Meierndorf Gutachten über Lichtimmission durch Sonnenreflexion.docx

IBT 4Light GmbH
Boenerstr. 34
90765 Fürth

Amtsgericht Fürth
HRB 14663
Geschäftsführer: Jens Teichelmann
Ust-ID DE296384486

Tel. 0911-979155-91
Fax: 0911-979155-93

IBT@4Light.de

Bankverbindung:
Sparkasse Fürth
Kto.-Nr.: 40602559
BLZ: 762 500 00

IBAN DE72 762 500 00 00 40 60 25 59
BIC BYLADEM1SFU

Inhaltsverzeichnis

1 Extrakt	4
2 Allgemeines	6
2.1 Aufgabenstellung, Zweck des Gutachtens	6
2.2 Tatsachenfeststellung, Beschreibung der Situation	7
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	15
4.3 Ermittlung der Störungen durch Direktreflexion und durch Streulicht durch Bündelaufweitung	17
5 Schutzgut Fauna: Auswirkungen der Lichtimmissionen durch Sonnenreflexion auf Tiere	25
6 Zusammenfassung und Erörterung der Ergebnisse	26

1 Extrakt

Im Auftrag des H. Rudolf Babel in Burk wurde die geplante Photovoltaik-Freiflächenanlage Meierndorf nördlich der Ortschaft Meierndorf und östlich der Meierndorfer Hauptstraße hinsichtlich der auf der Straße und in der Wohnbebauung von Meierndorf 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 keine störenden oder unzumutbaren Blendwirkungen durch Sonnenlichtreflexionen auf der Meierndorfer Hauptstraße oder in der Wohnbebauung von Meierndorf zu erwarten.

Möglicherweise auftretende Reflexionen liegen an den untersuchten Immissionsorten auf der vorbeiführenden Straße außerhalb des relevanten Sichtfeldes und sind somit für die Sicherheit des Verkehrs auf der Autobahn von untergeordneter Bedeutung.

In Richtung der Wohnbebauung Meierndorf können in den frühen Morgenstunden Reflexionen unter kleinen Blickwinkeldifferenzen zur Sonne auftreten, die durch die natürliche Direktblendung der Sonne überlagert werden und nicht als eigenständige Blendquelle wahrgenommen werden.

Bei der ebenfalls untersuchten alternativen Anlagenvariante mit Einsatz von PV-Modulen mit prismatisch verformtem Frontglas Saint Gobain Albarino P und Ausrichtung der PV-Module nach Süden wurden ebenfalls keine störenden oder unzumutbaren Blendwirkungen ermittelt. Somit sind aus Sicht der Minderung einer möglichen Blendwirkung beide Varianten für eine Realisierung geeignet.

Te180126M1 Photovoltaikanlage Meierndorf Gutachten über Lichtimmission durch Sonnenreflexion.docx

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 des H. Rudolf Babel in Burk war die geplante Photovoltaik-Freiflächenanlage Meierndorf nördlich der Ortslage Meierndorf und östlich der nach Bruck führenden Meierndorfer Hauptstraße auf folgende Punkte hin zu prüfen:

- Prüfung der geplanten Anlagen-Ausführung auf mögliche Störwirkungen durch direkte Sonnenreflexion an den möglichen Immissionsorten auf der Meierndorfer Hauptstraße und in der Wohnbebauung von Meierndorf bei statischer Ausführung der Anlage
- Prüfung der geplanten Anlagen-Ausführung auf mögliche Störwirkungen durch Streuwirkung der Sonnenreflexion auf der Glasoberfläche oder des Rahmens der Module an den festgelegten möglichen Immissionsorten

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

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

2.2 Tatsachenfeststellung, Beschreibung der Situation

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

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

Die Module sollen auf entsprechenden Unterkonstruktionen mit einer Ausrichtung auf 159° Südsüdost bei einer Aufneigung auf 23° montiert werden.

Es sollen polykristalline Photovoltaikmodule 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. 2,80 m mit entsprechenden Toleranzen zum Geländeausgleich betragen.

Es soll hier eine statische Anlage betrachtet werden.

Te180126M1 Photovoltaikanlage Meierndorf Gutachten über Lichtimmission durch Sonnenreflexion.docx

IBT 4Light GmbH
Boenerstr. 34
90765 Fürth

Amtsgericht Fürth
HRB 14663
Geschäftsführer: Jens Teichelmann
Ust-ID DE296384486

Tel. 0911-979155-91
Fax: 0911-979155-93

IBT@4Light.de

Bankverbindung:
Sparkasse Fürth
Kto.-Nr.: 40602559
BLZ: 762 500 00

IBAN DE72 762 500 00 00 40 60 25 59
BIC BYLADEM1SFU

Licht-Immissionsgutachten
Photovoltaikanlage Meierndorf

Das Gelände hat seinen höchsten Punkt am mittleren bzw. westlichen Teil der nördlichen Geländekante und fällt von dort aus leicht um wenige Meter nach Osten, Süden und Westen hin ab. Ansonsten hat das Gelände in sich keine nennenswerten Unebenheiten. Es ist davon auszugehen, daß bei Montage der Modulreihen Querneigungen zwischen ca. +1,0 ... 1,5° auftreten werden, die die resultierende Ausrichtung der Einzelmodule beeinflussen und die bei den weiteren Betrachtungen berücksichtigt werden müssen.

Westlich angrenzend an das Gelände verläuft von Süden kommend und dann nach Nordnordost abbiegend die Meierndorfer Hauptstraße, die von Meierndorf nach Bruck führt.

Südlich bzw. südwestlich des Geländes befindet sich die Bebauung der Ortschaft Meierndorf mit Wohn- und Nutzgebäuden.

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.

2.3 Zur Verfügung stehende Unterlagen

Die Begutachtung wurde anhand folgender vorliegender Unterlagen durchgeführt:

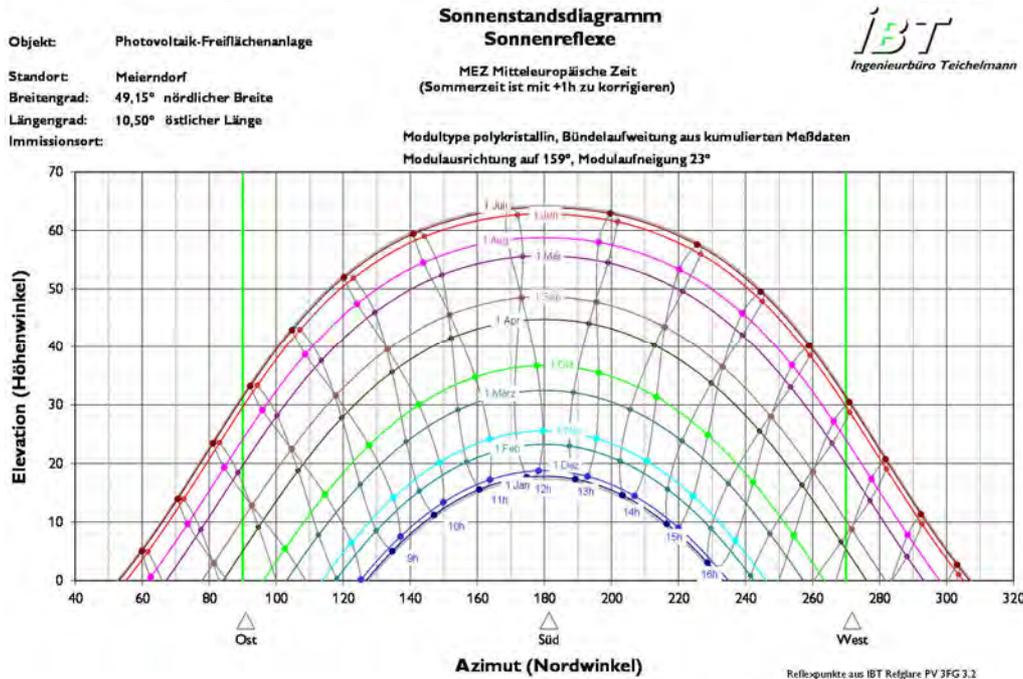
- Modulbelegungspläne:
 - o VEP_Entwurf.pdf
- Luftbild des Geländes, vom AG bereitgestellt
- Fotos von der Ortsbegehung am 18.11.17

Licht-Immissionsgutachten
Photovoltaikanlage Meierndorf

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 Immissionschutz (LAI), Beschluß der LAI vom 13.9.2012 /1/

Te180126M1 Photovoltaikanlage Meierndorf Gutachten über Lichtimmission durch Sonnenreflexion.docx

IBT 4Light GmbH
Boenerstr. 34
90765 Fürth

Amtsgericht Fürth
HRB 14663
Geschäftsführer: Jens Teichmann
Ust-ID DE296384486

Tel. 0911-979155-91
Fax: 0911-979155-93

IBT@4Light.de

Bankverbindung:
Sparkasse Fürth
Kto.-Nr.: 40602559
BLZ: 762 500 00

IBAN DE72 762 500 00 00 40 60 25 59
BIC BYLADEM1SFU

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/m^2 , am Horizont noch ca. 6 Mio cd/m^2 .

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

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

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

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

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

Te180126M1 Photovoltaikanlage Meierndorf Gutachten über Lichtimmission durch Sonnenreflexion.docx

Licht-Immissionsgutachten
Photovoltaikanlage Meierndorf

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 18.11.17 durch H. Babel, Auftraggeber dieses Gutachtens, und H. Teichelmann, IBT 4Light GmbH, durchgeführt.

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.



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

Licht-Immissionsgutachten
Photovoltaikanlage Meierndorf

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.

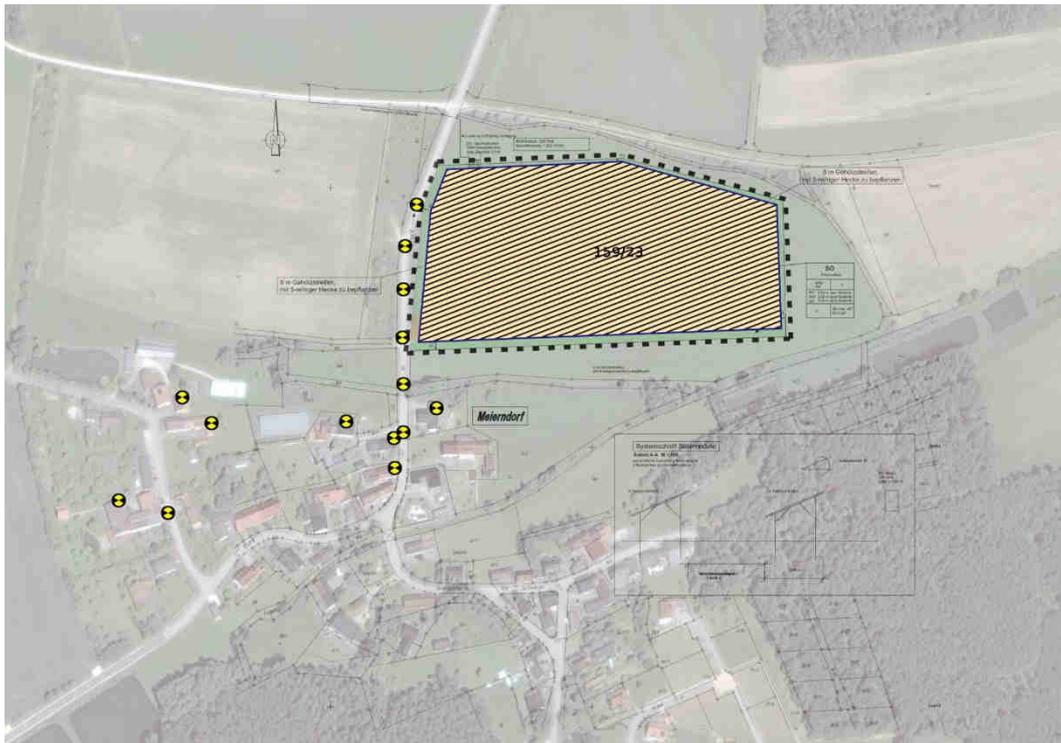
Die Rahmen bestanden bei den Testmodulen meist aus gebürstetem Aluminium, das in den Messungen eine in Hauptreflexionsrichtung leicht gerichtete und ansonsten sehr gleichmäßige, fast lambertartige Reflexionsindikator mit einem geringen Reflexionsgrad von ca. 2 ... 5% aufwies.

Parallel zu der oben beschriebenen Betrachtung der bei Verwendung von polykristallinen PV-Modulen mit Standard-Solarglas verursachten Blendwirkungen soll hier auch eine zweite Variante mit PV-Modulen mit einem speziellen Glas mit einer stark prismatisch strukturierten Oberfläche geprüft werden.

4.2 Ermittlung der möglicherweise relevanten Immissionsorte

Auftragsgemäß waren die möglicherweise relevanten Immissionsorte in der Wohnbebauung von Meierndorf und auf der nach Norden aus Meierndorf herausführenden Straße zu untersuchen.

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



Bei der Festlegung dieser Punkte wurden bereits entsprechende Unterbrechungen der Sichtachsen durch davorliegende Verbauung berücksichtigt.

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

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

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

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

Licht-Immissionsgutachten
Photovoltaikanlage Meierndorf

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.

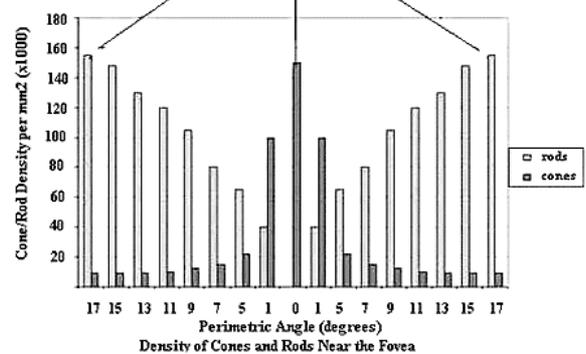
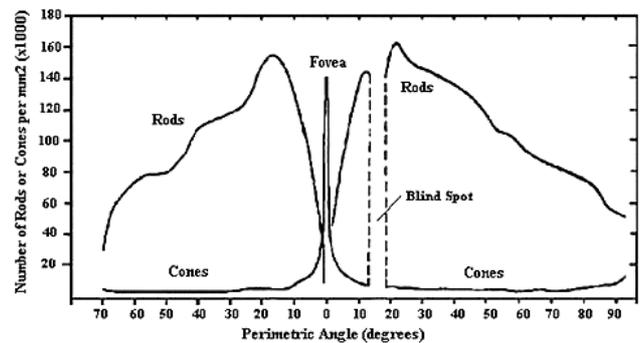
Bei der für einen Fahrer in dieser Situation typischen Blickrichtung wird der Reflex in einem Bereich zwischen 10° ... 20° abweichend von der Fovea Centralis, dem Ort der scharfen Abbildung sowie der höchsten Konzentration an Zapfen im Auge, abgebildet.

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

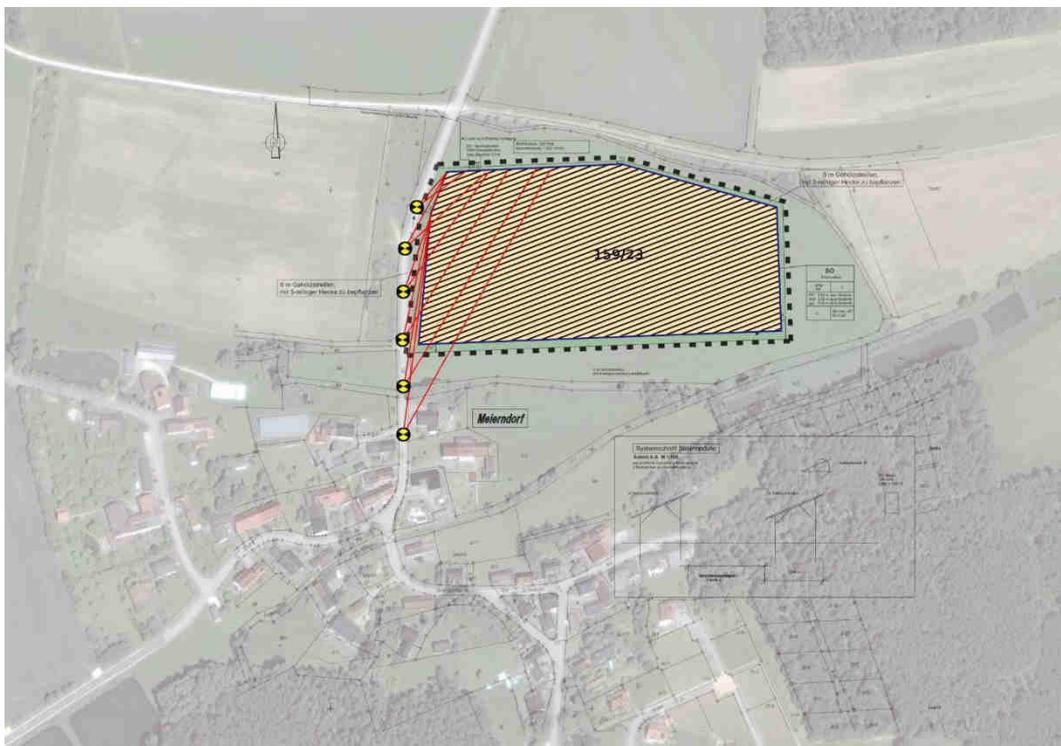
(From Osterberg, G. "Topography of the Layer of Rods and Cones in the Human Retina", Acta Ophthalmologica, Supplement, Vol. 6, 1-103, 1935)

Figure 2

4.3 Ermittlung der Störungen durch Direktreflexion und durch Streulicht durch Bündelaufweitung

Meierndorfer Hauptstraße

Für die möglichen Immissionsorte auf der Meierndorfer Hauptstraße in Fahrtrichtung Nord können im relevanten Sichtfeld der Fahrer bis maximal 30° Abweichung von der Hauptblickrichtung Sichtverbindungen zur geplanten Photovoltaikanlage mit Beobachter-Azimutwinkeln zwischen ca. 189° Süd und 234° Südwest bei Beobachter-Elevationswinkeln zwischen ca. -0,8° und +1,8° vorliegen.



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

Reflexionen mit höheren Leuchtdichten treten in dieser Fahrtrichtung nur bei sehr tiefen Sonnenständen und erst bei Blickrichtungen auf, die mehr als 30° von der Hauptblickrichtung der Fahrer abweichen. Solche Reflexionen werden zwar im peripheren Sichtfeld wahrgenommen, sie sind für die Sicherheit des Verkehrs auf der Straße jedoch von untergeordneter Bedeutung.

Durch das ausschließliche Auftreten dieser Reflexionen bei sehr tiefen Sonnenständen werden diese aus Sicht der Beobachter unter sehr kleinen Blickwinkeldifferenzen <10° zur Sonne gesehen. In dieser Situation werden die Reflexionen durch die unvermeidbare Direktblendung

Licht-Immissionsgutachten
Photovoltaikanlage Meierndorf

der Sonnenscheibe überlagert und nach dem zu Grunde liegenden Bewertungsverfahren /1/ nicht als Blendung eingestuft.

Hier sind also keine störenden Blendwirkungen zu erwarten.

In der entgegengesetzten Fahrtrichtung auf dieser Straße nach Süden können sind die Modulkonstruktionen im relevanten Sichtfeld der Fahrer nur von hinten zu sehen, so daß hier keine von den Moduloberflächen ausgehenden Blendwirkungen auftreten können.

Wohnbebauung Meierndorf

In der südlich und südwestlich der Anlage liegenden Wohnbebauung der Ortslage Meierndorf können von einigen Gebäuden aus Sichtverbindungen zu den Moduloberflächen vorliegen, die hinsichtlich einer möglichen Blendung relevant sein können.

Stellvertretend wird hier der komplette Winkelbereich der Gebäude berechnet, von denen aus direkt oder durch die davor liegende Bebauung hindurch ein Blick zu den PV-Modulen möglich ist. Im zweiten Schritt wird dann bewertet, welche Blickwinkel und damit welche der Gebäude betroffen sein können.

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

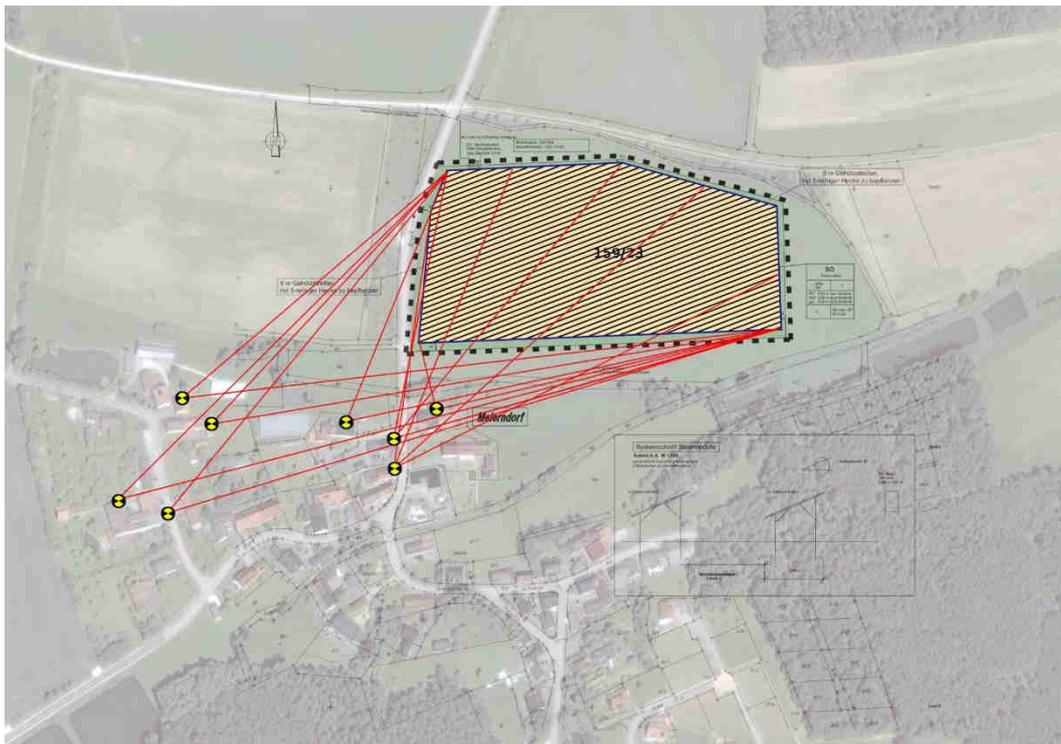
Teilweise sind die Sichtverbindungen zu den Reflexionsflächen der Anlage durch Verbauung oder Bewuchs unterbrochen. Hier wurde jeweils der worst case berechnet, in dem der Bewuchs, dessen abschattende Wirkung im Jahresverlauf sowie auch über die Laufzeit der Photovoltaikanlage betrachtet keine konstante 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/Tag angesetzt.

Die übrigen Punkte können aus diesen Ergebnissen interpoliert werden.

Licht-Immissionsgutachten
 Photovoltaikanlage Meierndorf

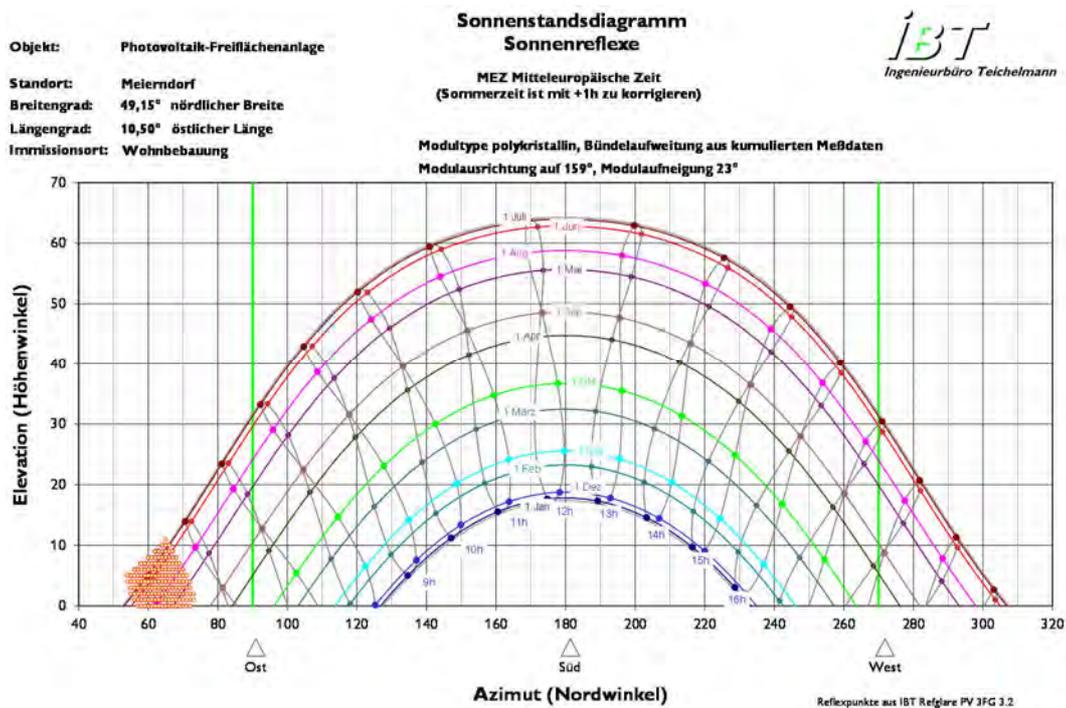
Generell können beim Blick von der Wohnbebauung von Meierndorf aus zu den Moduloberflächen Beobachter-Azimutwinkel zwischen ca. 166° Südsüdost und 263° West bei Beobachter-Elevationswinkeln zwischen ca. -1,1° und +1,7° bezogen auf die Einzelflächen auftreten.



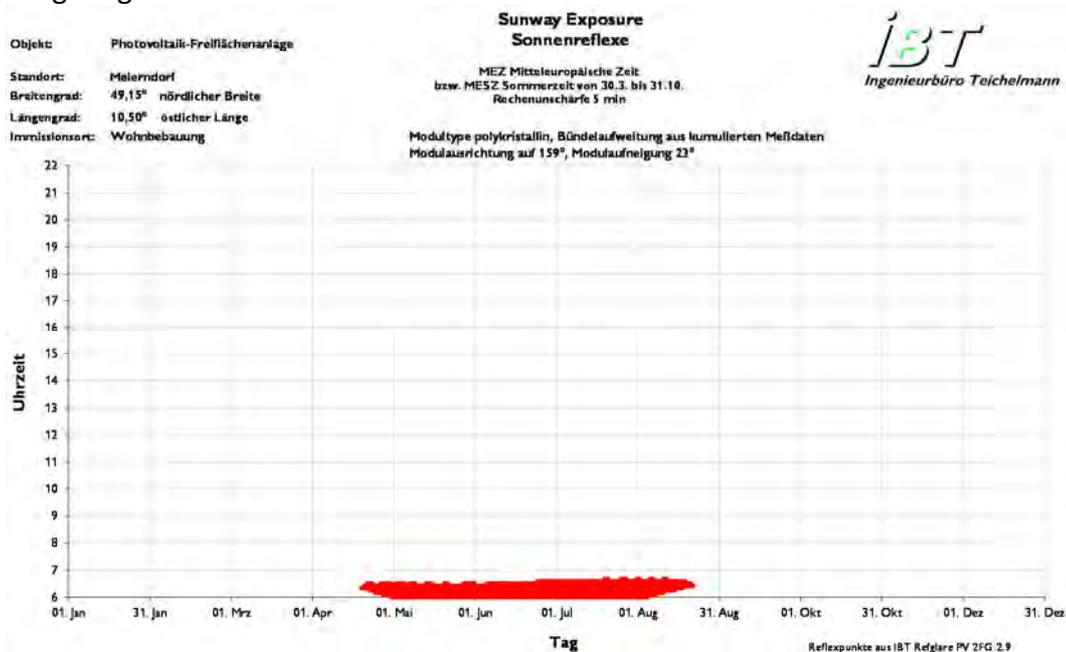
Die Blickwinkel werden teilweise durch dazwischen liegende Bebauung oder Bewuchs sowie durch die Position und die Ausdehnung der Anlage begrenzt.

Durch die Ausrichtung der Module auf 159° Südsüdost bei 23° Aufneigung treten in dieser Situation in Richtung der vermerkten Beobachter nur Reflexionen bei sehr tief stehender Sonne und unter Beobachter-Azimutwinkeln zwischen ca. 238° Westsüdwest und 245° Westsüdwest auf, die aus Sicht der Beobachter unter kleinen Blickwinkeldifferenzen <10° zur Sonnenscheibe gesehen werden.

Licht-Immissionsgutachten Photovoltaikanlage Meierndorf



Die Sonnenstände des Auftretens dieser Reflexionen werden im Sonnenbahndiagramm (oben) sowie im Expositionszeitdiagramm (unten) für diesen Standort dargestellt, so dass eine zeitliche Zuordnung möglich ist.



Te180126M1 Photovoltaikanlage Meierndorf Gutachten über Lichtimmission durch Sonnenreflexion.docx

IBT 4Light GmbH
Boenerstr. 34
90765 Fürth

Amtsgericht Fürth
HRB 14663
Geschäftsführer: Jens Teichelmann
Ust-ID DE296384486

Tel. 0911-979155-91
Fax: 0911-979155-93

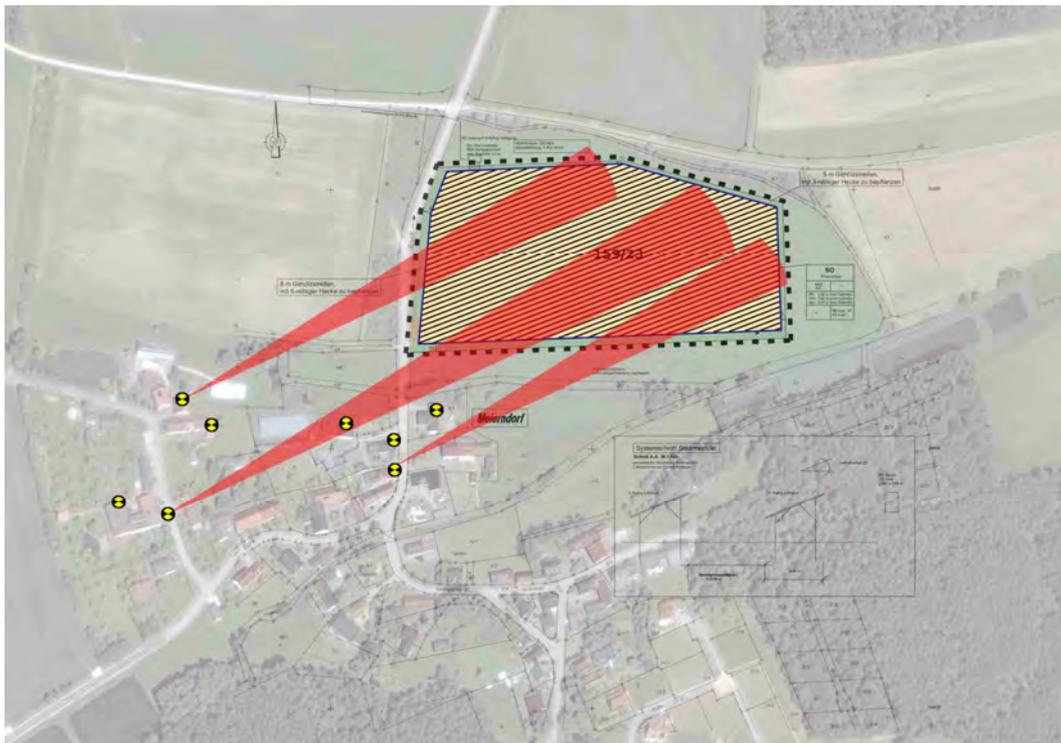
IBT@4Light.de

Bankverbindung:
Sparkasse Fürth
Kto.-Nr.: 40602559
BLZ: 762 500 00

IBAN DE72 762 500 00 00 40 60 25 59
BIC BYLADEM1SFU

Licht-Immissionsgutachten
 Photovoltaikanlage Meierndorf

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 ... 9 Mio cd/m² in Richtung der unten beispielhaft für 3 Gebäude rot markierten Winkelbereiche entstehen, die unter sehr kleinen Blickwinkeldifferenzen bis maximal 10° zur Sonnenscheibe gesehen werden.



Die Winkelbereiche, über die die Bereiche der Fläche identifiziert werden können, von der die gegenständlichen Reflexionen ausgehen, können gleichartig auf die anderen markierten Punkte mit Sichtverbindungen zur PV-Anlage übertragen werden. Der besseren Übersichtlichkeit halber wurde dies hier nicht für alle Immissionsorte eingezeichnet.

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.

Licht-Immissionsgutachten
Photovoltaikanlage Meierndorf

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

Durch das ausschließliche Auftreten dieser Reflexionen in den frühen Morgenstunden zwischen ca. 5:30 Uhr ... 6:40 Uhr wird eine Störwirkung weiter gemindert.

Darüber hinaus werden die kritischsten Sonnenstände durch die hohe Bewaldung nördlich und östlich des Modulfeldes abgeschattet.

Hier ist also von einer Einhaltung der Richtwerte auszugehen.

Somit sind bei Ausführung der Photovoltaikanlage nach der vorliegenden Planung und bei Verwendung von mono- oder polykristallinen PV-Modulen mit Standard-Solarglas sowohl in Richtung der Wohnbebauung von Meierndorf als auch in Richtung der Meierndorfer Hauptstraße keine störenden oder unzumutbaren von der geplanten Photovoltaikanlage ausgehenden Blendwirkungen durch Sonnenlichtreflexionen zu erwarten.

Alternative Optimierungsvariante: Verwendung von PV-Modulen mit prismatisch strukturiertem Frontglas Saint Gobain Albarino P, Ausrichtung der Module nach Süden

Als Alternative Maßnahme zur Minderung einer möglichen Blendwirkung soll hier noch der Einsatz von PV-Modulen mit dem tiefstrukturierten Frontglas Saint Gobain Albarino P in Südausrichtung geprüft werden.

Die Modulreihennormale soll dabei bei einer Aufneigung auf 23° auf 180° Süd ausgerichtet werden.

Diese PV-Module mit dem prismatisch strukturierten Glas Saint Gobain Albarino P 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 verschiedener Testmodule mit diesem Frontglas, die in mehreren partiellen Messungen der Reflexionsdaten im Rahmen anderer, vergleichbarer Projekte ermittelt wurden, herangezogen.

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 energierzeugenden Siliziumelemente aufgebracht sind.

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

Durch die grobe 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

Te180126M1 Photovoltaikanlage Meierndorf Gutachten über Lichtimmission durch Sonnenreflexion.docx

Licht-Immissionsgutachten
Photovoltaikanlage Meierndorf

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 Beobachterrichtungen 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. $6,5^\circ$ zur Moduloberfläche Reflexleuchtdichten über 100.000 cd/m^2 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.

Sonnentests zeigen bei steilen Blickwinkeln auf die Oberfläche eine mit ca. 20.000 cd/m^2 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/m^2

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

Licht-Immissionsgutachten
Photovoltaikanlage Meierndorf



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

Bei sonnigem oder schwach bewölktem Himmel kann durch die Moduloberfläche eine Leuchtdichte erzeugt werden, deren Intensität nur bei sehr flachen Einblickswinkeln noch im Grenzbereich der Absolutblendung des menschlichen Auges liegen kann.

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 andere PV-Module mit diesem Frontglas auszugehen.

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

Bei der hier gegebenen geometrischen Situation treten die beschriebenen sehr flachen Einblickswinkel auf die Moduloberflächen nur punktuell an wenigen Punkten auf. Die in diese Richtungen 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. Die hier relevanten tiefen Sonnenstände werden durch die relativ hohe Bewaldung östlich der Fläche teilweise abgeschattet, was die möglichen Reflexionen weiter mindert.

Die bei flachen Einblickswinkel 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.

Te180126M1 Photovoltaikanlage Meierndorf Gutachten über Lichtimmission durch Sonnenreflexion.docx

IBT 4Light GmbH
Boenerstr. 34
90765 Fürth

Amtsgericht Fürth
HRB 14663
Geschäftsführer: Jens Teichelmann
Ust-ID DE296384486

Tel. 0911-979155-91
Fax: 0911-979155-93

IBT@4Light.de

Bankverbindung:
Sparkasse Fürth
Kto.-Nr.: 40602559
BLZ: 762 500 00

IBAN DE72 762 500 00 00 40 60 25 59
BIC BYLADEM1SFU

24/26

Licht-Immissionsgutachten
Photovoltaikanlage Meierndorf

Bei Einsatz von PV-Modulen mit dem Frontglas Saint Gobain Albarino P ist bei der vorgesehenen Anlagengeometrie mit Ausrichtung der Modulreihennormalen auf 180° Süd bei 23° Aufneigung also von einer Einhaltung der Richtwerte auszugehen.

Somit wären auch bei Ausführung der Photovoltaikanlage nach der optimierten Planung und bei Einsatz der vorgesehenen PV-Module mit Frontglas Saint Gobain Albarino P 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 Meierndorf sind bei Ausführung der Anlage gemäß des vorliegenden, im Vorfeld hinsichtlich der Blendwirkung optimierten Konzeptes keine Störungen auf der Meierndorfer Hauptstraße oder der Wohnbebauung von Meierndorf durch von den Moduloberflächen ausgehende Blendreflexionen zu erwarten.

In Richtung der Meierndorfer Straße wurden bei Untersuchung der geplanten Anlagengeometrie lediglich Reflexionen in Richtung der festgelegten Beobachter ermittelt, die außerhalb des für die Fahrer relevanten Sichtfeldes liegen und somit keine Störung des Verkehrs darstellen.

In Richtung der südlich und südwestlich der PV-Anlage liegenden Wohnbebauung von Meierndorf können bei entsprechenden Sonnenständen in den frühen Morgenstunden zwischen April und August Sonnenlichtreflexionen auftreten, die unter kleinen Blickwinkeldifferenzen $<10^\circ$ zur Sonne gesehen werden. Solche Reflexionen werden durch die Direktblendung der Sonne überlagert und nach dem zu Grunde liegenden Bewertungsverfahren /1/ nicht als Blendung qualifiziert.

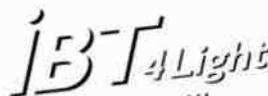
Darüber hinaus wurden keine Sonnenstände ermittelt, die an diesem geografischen Standort und bei der untersuchten Anlage Blendreflexionen in die relevanten Richtungen erzeugen können.

Bei der alternativ geprüften Anlagenvariante mit Einsatz von PV-Modulen mit prismatisch verformtem Frontglas Saint Gobain Albarino P und Ausrichtung der Modulreihennormalen nach Süden wurden ebenfalls keine störenden oder unzumutbaren Blendwirkungen in Richtung der untersuchten Immissionsorte ermittelt.

Die beiden hier betrachteten Varianten können also realisiert werden, ohne daß störende Blendwirkungen zu erwarten sind.



29.01.2018
Jens Teichelmann
Dipl.-Ing. Lichttechnik



IBT 4Light GmbH
Boenerstraße 34
90765 Fürth

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

Urheberschutz:

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

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

Te180126M1 Photovoltaikanlage Meierndorf Gutachten über Lichtimmission durch Sonnenreflexion.docx

IBT 4Light GmbH
Boenerstr. 34
90765 Fürth

Amtsgericht Fürth
HRB 14663
Geschäftsführer: Jens Teichelmann
Ust-ID DE296384486

Tel. 0911-979155-91
Fax: 0911-979155-93

IBT@4Light.de

Bankverbindung:
Sparkasse Fürth
Kto.-Nr.: 40602559
BLZ: 762 500 00

IBAN DE72 762 500 00 00 40 60 25 59
BIC BYLADEM1SFU

26/26