

Prüfbericht

Berichtsart:	Blendgutachten
Projekt:	Sontheim
Auftraggeber:	HEG Energie GmbH & Co. KG
Zweck:	Erstellung eines Gutachtens über den Einfluss der Solaranlage auf die Umgebung durch Reflexionen im Rahmen des allgemeinen Genehmigungsprozesses und für die öffentliche Auslegung und Beteiligung der Träger öffentlicher Belange nach § 3 und §4 BauGB
Standort, Land:	<u>91471 Illesheim (49.463°N; 10.434°E), Deutschland</u>
Prüfberichtsnummer:	21K3226-PV-BG-Sontheim-R00-JBS_LBE-2022
Prüfdatum:	08.04.2022
Verantwortlicher Prüfer:	Dipl.-Ing. (FH) Jörg Behrschmidt 8.2 Obst & Hamm GmbH Brandstwiete 4 20457 Hamburg Tel: +49 (0)40 / 18 12 604-22 E-Mail: joerg.behrschmidt@8p2.de

Inhaltsverzeichnis

Bildverzeichnis	3
Tabellenverzeichnis.....	3
Abkürzungen und Begriffe.....	6
A. Allgemeine Daten.....	7
A.1. Auftrag	7
A.2. Prüfungsumfang	8
A.3. Prüfungsgrundlagen	8
A.4. Identifikation der Anlage	8
B. Prüfergebnis.....	9
C. Grundlage	10
C.1. Blend- und Störwirkung von reflektiertem Sonnenlicht.....	10
C.2. Wirkung auf den Menschen	11
C.3. Blickwinkel von Fahrzeugführern.....	12
C.4. Reflexionen an Solarmodulen.....	12
C.5. Mögliche Auswirkung der Netzhautirritation.....	13
D. Analyse	15
D.1. Grundlage und Vorgehensweise	15
D.2. Geometrische Betrachtung	16
E. Bewertung.....	25

Bildverzeichnis

Abbildung 1: Öffnungswinkel Sehfeld in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit.....	12
Abbildung 2: Reflexionsverhalten in Abhängigkeit vom Einfallswinkel	13
Abbildung 3: Auf die Netzhaut des Auges projiziertes Bild.....	14
Abbildung 4: potenzielle Auswirkung auf die Netzhaut bei kurzzeitiger Betrachtung von Strahlungsquellen	14
Abbildung 5: Google Earth ©2022 Lageplan der Planfläche	15
Abbildung 6: Geometrische Betrachtung der Reflexion am geneigten Modul.....	16
Abbildung 7: Horizontdarstellung des Sonnenlaufs.....	17
Abbildung 8: Reflexionszeiten und Dauer am Vormittag zu Punkt A1 500 m	19
Abbildung 9: Reflexionszeiten und Dauer am Nachmittag zu Punkt A1 1000 m.....	19
Abbildung 10: Reflexionszeiten und Dauer am Vormittag zu Punkt A2 500 m	20
Abbildung 11: Reflexionszeiten und Dauer am Nachmittag zu Punkt A2 1000 m.....	20
Abbildung 12: Reflexionszeiten und Dauer am Nachmittag zu Punkt A3 1000 m.....	21
Abbildung 13: Reflexionszeiten und Dauer am Nachmittag zu Punkt A4 1000 m.....	21
Abbildung 14: Reflexionszeiten und Dauer am Nachmittag zu Punkt A5 1000 m.....	22
Abbildung 15: Einstrahlungsdaten für den Standort Sontheim	23
Abbildung 16: Auswirkung auf die Netzhaut ausgehen von der Solaranlage Sontheim.....	24

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Revisionsübersicht.....	4
Tabelle 2: Datums- und Zeitbereiche der Reflexionen an den Betrachtungspunkten	18

Tabelle 1: Revisionsübersicht

Version	Modifikationen
21K3226-PV-BG-Sontheim-R00-JBS_LBE-2022	Ursprungsversion 01.11.2022

I. Inhalt und Nutzung des Berichts

8.2 Obst & Hamm GmbH (im Folgenden: 8.2 Obst & Hamm) wurde vom Auftraggeber beauftragt, diesen Bericht zu erstellen. Der Bericht fasst die Erkenntnisse aus Vor-Ort-Termin(en) und/oder der Prüfung projektspezifischer Unterlagen, welche durch den Auftraggeber bereitgestellt wurden, zusammen.

Der Bericht wurde zur Nutzung durch den Auftraggeber zum oben genannten Zweck erstellt. Solange der Bericht nicht zum Zweck eines öffentlichen Antrag- bzw. Bauverfahrens mit oder ohne öffentliche Auslegung bestimmt ist,

- darf dieser ausschließlich vom Auftraggeber und dessen Beratern, die zur Vertraulichkeit verpflichtet sind, für den vorgesehenen Zweck verwendet werden;
- dient der Bericht weder zur Information, noch zum Schutz anderer Personen als dem Auftraggeber und darf weder von anderen Personen noch zu anderen Zwecken genutzt werden;
- ist der Auftraggeber nicht berechtigt, die im Bericht enthaltenen vertraulichen Informationen offen zu legen, zu veröffentlichen, zu vervielfältigen oder anderweitig an Dritte weiter zu geben, ohne das vorherige schriftliche Einverständnis von 8.2 Obst & Hamm.

II. Ergänzende Informationen zu Haftungsausschlüssen

Der vorliegende Bericht basiert ausschließlich auf eigenen Erkenntnissen aus Vor-Ort-Termin(en), sowie den gewonnenen Informationen aus Dokumenten, die bis zum Abgabedatum des Berichts vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt wurden. Es wird ferner auf die folgenden Umstände hingewiesen:

1.) Die Genauigkeit der bereitgestellten Informationen kann die Genauigkeit des Berichts beeinflussen. 8.2 Obst & Hamm geht davon aus, dass die vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Informationen wahr, vollständig, akkurat, nicht irreführend und aktuell sind. In der Regel werden Informationen lediglich in Kopie zur Verfügung gestellt. 8.2 Obst & Hamm betrachtet diese bereitgestellten Kopien als wahre und vollständige Reproduktionen der jeweiligen Originale. Weder die Echtheit der enthaltenen Informationen noch die Befugnis der Unterzeichner wurde geprüft. 8.2 Obst & Hamm geht davon aus, dass der Informationsgehalt gültig und bindend für die beteiligten Parteien ist.

2.) Im Hinblick auf Zusammenfassungen, Tabellen und Auszüge aus Dokumenten, die 8.2 Obst & Hamm zur Verfügung gestellt wurden, ist 8.2 Obst & Hamm nicht in der Lage zu beurteilen, ob diese Zusammenfassungen, Tabellen und Auszüge vollständig fehlerfrei sind und alle Informationen enthalten, die für eine endgültige Einschätzung der Tatsachen, auf die sie sich beziehen, wichtig sind.

3.) Der Bericht basiert im Wesentlichen auf den Informationen und Dokumenten, die 8.2 Obst & Hamm vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt wurden. Es ist nicht auszuschließen, dass neben den zur Verfügung gestellten Informationen und Dokumenten weitere Informationen und/oder Dokumente für die Erstellung dieses Berichts wichtig gewesen wären, die nicht an 8.2 Obst & Hamm weitergegeben wurden.

4.) Der Bericht wurde als Zusammenfassung der wichtigsten Fragen und Bedenken, die sich aus den bereitgestellten Informationen ergeben, erstellt.

5.) Jegliche rechtliche, kommerzielle, finanzielle, versicherungstechnische, steuerliche oder buchhalterische Stellungnahmen werden in diesem Bericht explizit ausgeschlossen.

6.) Unter der Voraussetzung, dass der Bericht sich auf Notizen, Berichte, Aussagen, Meinungen oder Ratschläge vom Auftraggeber und/oder von Dritten (die im Bericht angegeben werden) bezieht oder darauf beruht, bleiben diese Personen allein für die Inhalte verantwortlich. 8.2 Obst & Hamm macht sich die vom Auftraggeber und von den vorgenannten Dritten getätigten Notizen, Berichte, Aussagen, Meinungen oder Ratschläge ausdrücklich nicht zu Eigen.

7.) Bestimmte Informationen, die vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt wurden, können vertraulich sein. 8.2 Obst & Hamm geht daher davon aus, dass alle Informationen vom Auftraggeber rechtmäßig zur Verfügung gestellt wurden, dass 8.2 Obst & Hamm zur Nutzung der Informationen für den Bericht berechtigt ist und dass 8.2 Obst & Hamm berechtigt ist, den Bericht und/oder dessen Inhalte anderen Projektteilnehmern in Übereinstimmung mit projektbezogenen Geheimhaltungsvereinbarungen weitergeben zu dürfen. Jegliche Haftung für nicht-projektbezogene Geheimhaltungsvereinbarungen wird ausgeschlossen.

8.) Soweit Informationen und Dokumente vom Auftraggeber in anderen Sprachen als Deutsch oder Englisch zur Verfügung gestellt wurden, beschränkte sich die Prüfung von 8.2 Obst & Hamm auf eine Plausibilitätskontrolle ohne Detailanalyse und Detailbewertung dieser Informationen und Dokumente.

Abkürzungen und Begriffe

Absolutblendung	Keine Anpassung des Auges möglich
Adaptionsblendung	Anpassung des Auges möglich.
Azimutwinkel	Winkel auf der horizontalen Ebene, der die Lage eines Objektes im Raum bezüglich einer Ausgangsrichtung, z.B. Nordrichtung, beschreibt.
Blendung	Im üblichen Sinne beschreibt dies, eine vorübergehende Funktionsstörung des Auges
Differenzwinkel	Winkel zwischen der Sichtlinie vom Immissionsort zum Reflexionsort (Solarmodul) und der Sichtlinie vom Immissionsort zur Sonne
Direkte Blendung	Direkte Einwirkung einer Lichtquelle
Emissionspunkt	Punkt von dem aus Licht ausgestrahlt wird
Feldverteiler /Verteiler	Sammelt Modulstränge und leitet den Strom weiter zum Hauptverteiler (HV)
Höhenwinkel	Beschreibt die Höhe der Sonne über dem Horizont
Immissionspunkt	Punkt an dem Licht von einer externen Quelle auftrifft
Indirekte Blendung	Ausgelöst durch Reflexionen einer Lichtquelle
Physiologische Blendung	Beeinträchtigung der Sehleistung
Psychologische Blendung	Subjektiv empfundene Blendung ohne messbare Beeinträchtigung der Sehleistung
PV-Modul / Modul	Einzelnes Solarmodul, kleinste elektrische Leistungseinheit innerhalb der Solaranlage
Solargenerator	Gesamtes Modulfeld
Sonnenbahn	Der Verlauf der Sonne im Jahresverlauf definiert durch Azimut und Höhenwinkel
Strang / Modulstrang	Besteht aus einer bestimmten Anzahl in Reihe geschalteter PV-Module.
Vektor OM	Vektor von Betrachtungspunkt (Ortspunkt) O zum Modul in der Photovoltaikfläche
Vektor OS	Vektor von Ortspunkt O zur Sonne

A. Allgemeine Daten

A.1. Auftrag

Aufgabenstellung:	Untersuchung über den Einfluss der Modulreflexionen auf die Umgebung der Solaranlage. Es wird untersucht, wann Reflexionen an verschiedenen Punkten des Hub-schrauberlandeplatz Illesheim zu erwarten sind und welche Auswirkungen diese haben.
Auftraggeber:	HEG Energie GmbH & Co. KG Lauterbach 10 91608 Geslau
Auftragsdatum:	26.09.2022
Auftragnehmer:	8.2 Obst & Hamm GmbH Brandstwiete 4 20457 Hamburg
Prüfer:	Dipl.-Ing. (FH) Jörg Behrschmidt Lennart Behn, B.Sc.
Nummer des Prüfberichts:	21K3226-PV-BG-Sontheim-R00-JBS_LBE-2022

A.2. Prüfungsumfang

Der Prüfungsauftrag umfasst die Bestimmung der einfallenden Modulreflexionen auf den Hub-schrauberlandeplatz Illesheim. Weiterhin erfolgt eine Bewertung der Auswirkungen der Modul-reflexionen unter Berücksichtigung lokaler Gegebenheiten, die einen Einfluss auf die Strah-lungsleistung der Emissionen nehmen.

A.3. Prüfungsgrundlagen

- Zur Verfügung gestellte Unterlagen
 - o Schriftliche Angaben zur Modulausrichtung und dem Tischaufbau der Planflä-
che
 - o Vorentwurf: Vorhabenbezogener Bebauungsplan für das Sondergebiet "Solar-
park Sontheim" mit integriertem Grünordnungsplan und Umweltbericht inklu-
sive Begründung
- Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen der
Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI), (Stand: 08.10.2012)
- Reflexionsverhalten von Modulen (soweit bekannt)
- Daten aus Google Earth¹
- Daten der Online-Plattform „BayernAtlas“²

Hinweise:

- Alle Winkelangaben mit Bezugspunkt $N=0^\circ$ beziehen sich auf die Anordnung im Uhrzei-
gersinn
- Zeitangaben erfolgen mit mitteleuropäischer Zeit (UTC+1)

A.4. Identifikation der Anlage

Die geplante Photovoltaikanlage Sontheim soll östlich des Ortsteil Sontheim zugehörig zur
Gemeinde Illesheim installiert werden.

Die Module werden nach Süden mit einem Azimut von 180° ($N=0^\circ$) und einem Neigungswinkel
von 15° ausgerichtet. Die minimale Höhe der Gestellreihen über dem Boden wird mit 0,8 m,
einem in Deutschland üblichen Planungswert, angenommen.

¹ ©2019 Google LLC.

² Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung, Alexandrastraße 4, 80538 München
<https://geoportal.bayern.de/bayernatlas/?topic=ba&lang=de&bgLayer=atkis&catalogNodes=11,122>

B. Prüfergebnis

Zusammenfassung der Ergebnisse der nachfolgenden Kapitel.

Für die Photovoltaikanlage Sontheim wurde eine Untersuchung über die Reflexionen der Sonne an den Modulen und deren Auswirkungen auf den Helikopterlandeplatz Illesheim durchgeführt.

Die Untersuchung zeigt, dass über dem Helikopterlandeplatz ab einer Höhe von 500 m kurzzeitige Lichtimmissionen in den Morgenstunden zu erwarten sind. Je nach Höhe und Position auf oder über dem Flugfeld treten diese in unterschiedlichen Monaten auf. Die maximale Dauer beträgt rund 14 Minuten.

Die Analyse der Strahlungsleistung der Sonne, die die Netzhaut erreicht, in Bezug auf die Entfernung zur Photovoltaikanlage zeigt, dass Irritationen durch die Reflexionen erst zu erwarten sind, wenn die Entfernung zur Photovoltaikanlage kleiner 100 m ist. In diesem Fall würde es zu Irritation durch Nachbilder kommen. Der Flughafen ist rund 3000 m entfernt. Daher sind keine Störungen durch Lichtimmissionen zu erwarten. Eine Gefährdung des Flugverkehrs durch die Solaranlage Sontheim ist nicht erkennbar.

Hamburg, 1. November 2022

Handwritten signature in blue ink, starting with 'i.A.' followed by a stylized signature.

Dipl.-Ing. (FH) Jörg Behrschmidt

Handwritten signature in blue ink, starting with 'i.A.' followed by a stylized signature.

Lennart Behn, B.Sc.

Dieser Bericht besteht aus 25 Seiten und ist bis Ende 2032 in der 8.2 Obst & Hamm GmbH hinterlegt (Dokumentationsfrist).

C. Grundlage

Im Zuge des Genehmigungsverfahrens sind die Lichtemissionen in Form von Reflexionen an den Modulen zu untersuchen und deren Auswirkungen auf den Hubschrauberlandeplatz Illesheim zu bewerten. Zu berücksichtigen sind hierbei die Störwirkung von Reflexionen, sowie die Wahrnehmung durch den Betrachter, bei Piloten unter Beachtung derer Blickwinkel.

C.1. Blend- und Störwirkung von reflektiertem Sonnenlicht

Blendung beschreibt im üblichen Sinne eine vorübergehende Funktionsstörung des Auges durch ein Überangebot von Licht. Es wird unterschieden zwischen der **physiologischen Blendung** – einer messbaren Beeinträchtigung der Sehleistung, und der **psychologischen Blendung** – einer subjektiv empfunden und ablenkenden Wirkung, ohne dass eine messbare Beeinträchtigung der Sehleistung vorliegt. Ist die eintreffende Lichtmenge so groß, dass das Auge sich an diese nicht mehr adaptieren kann, spricht man von **Absolutblendung**, sonst von **Adaptionsblendung**. Außerdem wird zwischen **direkter Blendung** – direkte Wirkung einer Lichtquelle, und **indirekter Blendung** – durch reflektiertes Licht einer Lichtquelle unterschieden.

Bei Tageslicht geht die häufigste Blendung direkt von der Sonne aus. Befindet sie sich im Sichtfeld, tritt Absolutblendung auf. In dieser Situation werden keine oder kaum noch Kontraste wahrgenommen und der einzige Schutz ist die Verschattung der Sonne im Sichtfeld (Vorhalten der Hand, Wegdrehen des Kopfes, o.ä.). Des Weiteren droht bei Absolutblendung durch die Sonne eine dauerhafte Schädigung des Auges.

Häufig wird das Sonnenlicht auch von glänzenden Oberflächen zum Betrachter reflektiert. Natürliche reflektierende Objekte können z. B. Gewässer sein. Künstliche Objekte sind Fensterfronten von Gebäuden, Gewächshäuser, Lärmschutzwände aus Glas, Scheiben und Lackoberflächen von Fahrzeugen und auch Solarmodule. Die Intensität der reflektierten Sonnenstrahlung ist in der Regel deutlich geringer als die direkte Sonnenstrahlung: Normale Glasflächen reflektieren ca. 5% des Sonnenlichts, Solarglasflächen ca. 2%. Bei sehr flach eintreffender Sonnenstrahlung wird der Reflexionsgrad deutlich höher – zu diesem Zeitpunkt befindet sich die Sonne allerdings bereits in Blickrichtung des Betrachters.

Neben anhaltender Blendung sind **Flimmereffekte** von besonderer Bedeutung. Sie treten insbesondere dann auf, wenn sich der Beobachter selbst schnell bewegt. Periodisch oder unregelmäßig schwankende Lichtintensitäten werden als besonders störend empfunden. Solche Effekte treten typischerweise beim Autofahren in beleuchteten Tunneln oder beim Durchfahren von Baumalleen bei Sonnenschein auf.

Medizinisch gesehen vollzieht sich die störende Wirkung einer Blendung in drei zu unterscheidenden Schritten. Das eigentliche Sehen besteht in der physikalisch-physiologischen Anregung des Auges durch die Lichteinwirkung auf der Netzhaut. Die Wahrnehmung erfolgt durch die Weiterleitung eines Nervensignals an das Gehirn, wodurch ein bewusstes Erlebnis hervorgerufen wird. Im Fall der Blendung ist dies ein deutlicher Leuchtdichteunterschied eines Sichtfeldausschnittes zur Umgebung. Der dritte Schritt ist das Erkennen. Das wahrgenommene Objekt wird vom Gehirn durch Vergleich mit vorher abgespeicherten Vorlagen (Erfahrungen) bewertet und mit einer Bedeutung belegt.

Liegt das Objekt, von dem die Blendwirkung ausgeht, nicht im direkten Fokus des Gesichtsfeldes, so steigt die Attraktivität und die Tendenz den Blick dorthin zu wenden mit der:

- Größe des Objektes
- Helligkeitskontrast zur Umgebung
- Farbkontrast zur Umgebung
- Bewegung des Objektes (Fahrzeuge usw.)
- Grad der Änderung des Objektes
- Qualitative Andersartigkeit gegenüber der Umgebung
- Neuigkeitswert

Ab einem gewissen Maß an Attraktivität kommt es – durchaus auch unbewusst – zu einer Blickzuwendung auf das Objekt. Dies wird gemeinhin als Ablenkung bezeichnet.

C.2. Wirkung auf den Menschen

Die oben beschriebenen Attraktivitätsmerkmale wirken abhängig vom persönlichen Charakter und der Erfahrung eines Menschen immer unterschiedlich. Sie sind nur von jedem Einzelnen subjektiv zu bewerten. Es ist daher nicht möglich, allgemein gültige Kriterien zu benennen, die den Zustand der „Störung“ charakterisieren.

Im vorliegenden Fall soll die Solaranlage auf einer Freifläche errichtet werden, die sich bei Sontheim befindet. Es ist davon auszugehen, dass bei der Ausdehnung des Solarfeldes in der entsprechenden Blickrichtung eines Betrachters auch andere – im Sinne der obigen Auflistung – „attraktive“ Objekte im Blickfeld auftauchen können.

Da das Solarfeld unbeweglich ist, wird die ablenkende Attraktivität dieses Objektes erfahrungsgemäß sehr schnell nachlassen. Lediglich bei dem Charakteristikum Helligkeitskontrast könnte die reflektierte Sonnenstrahlung Ablenkung oder subjektive Störung verursachen.

Da sich die reflektierte Sonnenstrahlung in gleicher Winkelgeschwindigkeit wie die Sonne selbst bewegt – also sehr langsam – kann hinter Fenstern in Gebäuden eine plötzliche auftretende Störwirkung ausgeschlossen werden. Wie oben angeführt ruft das Gehirn bei jedem neuen optischen Sinneseindruck vorhandene Erfahrungsvorlagen zur Bewertung des neuen Eindrucks auf. Da jeder Mensch in unserem Kulturraum schon Erfahrung mit reflektiertem Sonnenlicht z. B. an Glasfassaden gemacht hat, wird dieser Störcharakter in der Hinsicht „Neuigkeitswert“ kaum eintreten.

Solarmodule reflektieren mit ca. 2 % äußerst wenig von dem eingestrahlteten Sonnenlicht. Des Weiteren handelt es sich bei dem reflektierten Licht immer um Sonnenlicht – also um ein dem Organismus angenehmes und gewohntes Spektrum, mit lediglich natürlicher Intensitätsschwankung – z. B. bei Wolkendurchzug.

C.3. Blickwinkel von Fahrzeugführern

Neben der Intensität der Lichtquelle ist für eine Blendung maßgeblich, dass die Lichtquelle innerhalb des Sichtfelds des Betrachters liegt. Das Sichtfeld wird maßgeblich bestimmt durch den Blickwinkel. Ausführungen hierzu finden sich in der Arbeit von Dipl.-Ing. Romy Reinisch „Wahrnehmung von Verkehrszeichen und Straßenumfeld bei Nachtfahrten im übergeordneten Straßennetz“, 27. Oktober 2009. Aus Bild 4-6 der Arbeit, erstellt in Anlehnung an das „Traffic Engineering Handbook“, leiten sich die Öffnungswinkel des Sehfeldes in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit ab.

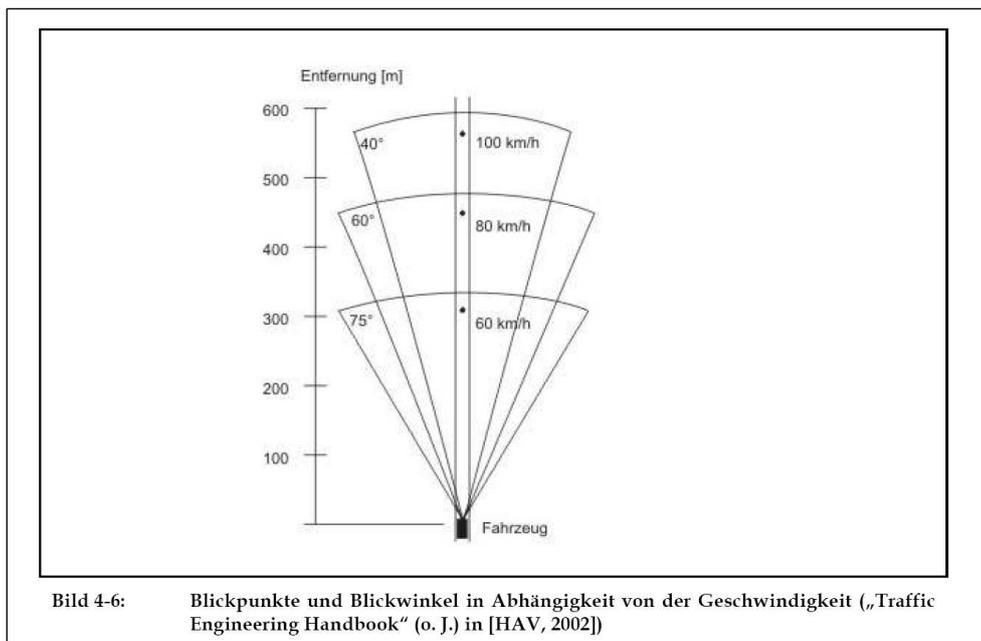


Abbildung 1: Öffnungswinkel Sehfeld in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit³

C.4. Reflexionen an Solarmodulen

Kristalline Solarmodule bestehen im Regelfall aus einer Rückseitenfolie mit darauf liegenden Solarzellen, die in einer EVA-Folie eingebettet und mit Solarglas geschützt werden. Viele der heutigen Module verfügen über eine Antireflexschicht zur Steigerung des Wirkungsgrades und weisen damit eine hohe Absorption auf.

³ „Wahrnehmung von Verkehrszeichen und Straßenumfeld bei Nachtfahrten im übergeordneten Straßennetz“, 27. Oktober 2009, Dipl.-Ing. Romy Reinisch

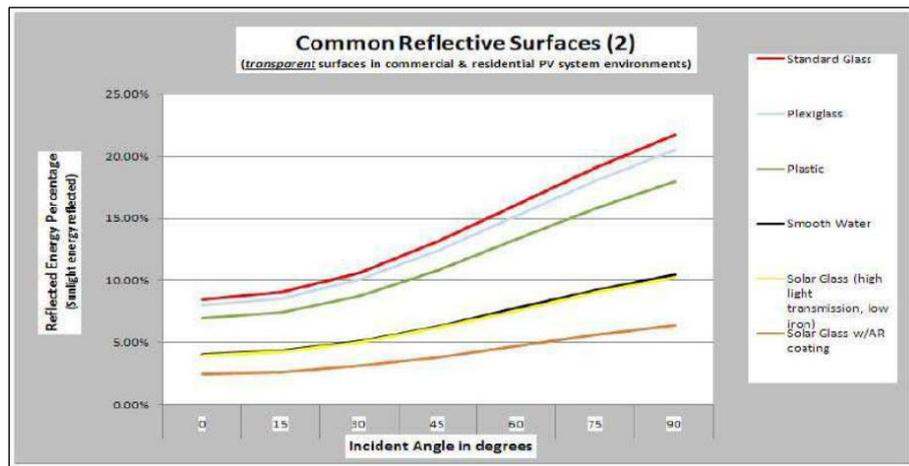


Abbildung 2: Reflexionsverhalten in Abhängigkeit vom Einfallswinkel⁴

Generell gilt, dass die an den Modulen auftretenden Reflexionen stark vom Einfallswinkel abhängen. Die Darstellung in Abbildung 2 zeigt das Reflexionsverhalten unterschiedlicher Oberflächen in Abhängigkeit vom Einfallswinkel. Bei zur Moduloberfläche nahezu parallelem Lichteinfall werden je nach Modultyp zwischen 7 % und 11 % der Solarstrahlung reflektiert. Das heißt in den Morgen- und Abendstunden kann mit einer maximalen Reflektionsrate von ca. 10 % gerechnet werden. Zu diesen Zeiten beträgt die Leuchtdichte der Sonne⁵ rund $6 \cdot 10^6 \text{ cd/m}^2$. Die Leuchtdichte der Reflexion der Sonne am Modul beträgt damit um $0,6 \cdot 10^6 \text{ cd/m}^2$.

C.5. Mögliche Auswirkung der Netzhautirritation

Das menschliche Auge kann sich in Abhängigkeit der Bestrahlungsstärke der Reflexion, der Entfernung und der Größe des Reflektierenden Objektes unterschiedlich gut anpassen. Es wird dabei zwischen unkritischer Blendung, das Auge kann sich ohne Störung an die Helligkeit anpassen, kritischer Blendung, hierbei können vorübergehende Sehbeeinträchtigungen wie Nachbilder entstehen, und gefährlicher Blendung, das heißt dauerhafte Schädigung der Netzhaut, unterschieden. Die Grafik in Abbildung 4, die sich auf Untersuchungen des Sandia National Laboratories in Albuquerque⁶ bezieht, stellt diese Bereiche grafisch dar. Ausgangspunkt der Grafik ist die Frage, wie groß die Einstrahlungsleistung auf die Netzhaut des Auges ist. Die Leistung bemisst sich aus der Einstrahlungsleistung der Sonne und dem Anteil an der Oberfläche der Netzhaut, den das Abbild der Photovoltaikanlage darauf einnimmt. Davon ausgehend, dass der Abstand der Augenlinse zur Netzhaut bei den Menschen nahezu gleich ist, kann als Maß der Winkel zwischen den Vektoren von der Mitte der Augenlinse zu den Außenkanten des Abbildes auf der Netzhaut ω herangezogen werden, siehe Abbildung 3. Der Winkel in Radiant definiert sich durch $\omega = \frac{d_s}{r}$. Dabei ist d_s der Durchmesser des reflektierenden Objektes (Solar Park) und r ist der Abstand des Betrachters.

⁴ Deutsche Flugsicherung (DFS): Aeronautical Information Publication – Luftfahrthandbuch AIP VFR.

⁵ - Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI), (Stand: 08.10.2012)

⁶ C. Ho, C. Ghanbari and R. Diver, 2011, Methodology to Assess Potential Glint and Glare Hazards From Concentrating Solar Power Plants.

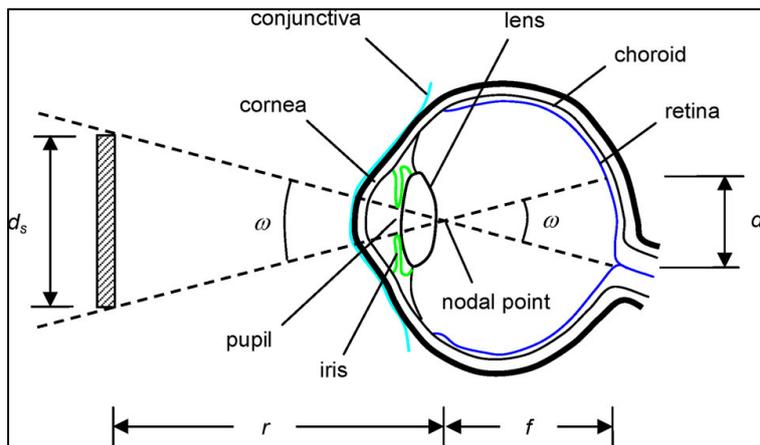


Abbildung 3: Auf die Netzhaut des Auges projiziertes Bild

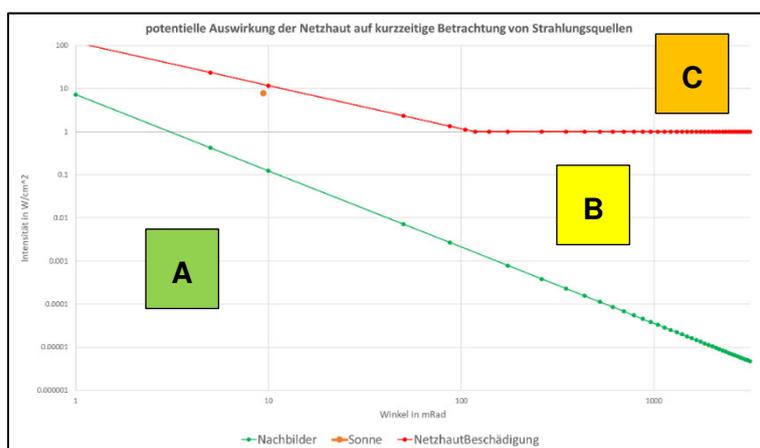


Abbildung 4: potenzielle Auswirkung auf die Netzhaut bei kurzzeitiger Betrachtung von Strahlungsquellen

Im Diagramm in Abbildung 4 ist die Einstrahlungsstärke in $\frac{W}{cm^2}$ im Verhältnis zum Winkel ω aufgeführt. Die Linien geben die Grenzen wieder, die die Bereiche unkritische Reflexion (A), Nachbilder (B) und Blendung (C) unterscheiden. Bei der Darstellung wird von einem kurzen direkten Blick auf das reflektierende Objekt oder die Sonne ausgegangen.

D. Analyse

D.1. Grundlage und Vorgehensweise

D.1.1. Beschreibung Örtlichkeiten und PV-Feld

Die folgenden Angaben zur Anlage beruhen auf den vom Auftraggeber bereitgestellten Informationen. Hinzu kommen Informationen und Ansichten aus Google Earth⁸ sowie der Online-Plattform „BayernAtlas“⁹.

Die Planfläche selbst liegt östlich des Ortsteils Sontheim. Das Höhengniveau des Hubschrauberlandeplatz Illesheim über Normalhöhennull (NHN) beträgt im Untersuchungsbereich 327 m. Das Höhengniveau der Planfläche variiert zwischen 338 m im Westen und 343 m im Osten, siehe Abbildung 5.



Abbildung 5: Google Earth ©2022 Lageplan der Planfläche

Die Module werden nach Süden mit einem Azimut von 180° ($N=0^\circ$) und einem Neigungswinkel von 15° ausgerichtet. Die minimale Höhe der Gestellreihen über dem Boden wird mit 0,8 m, einem in Deutschland üblichen Planungswert, angenommen.

⁸ ©2020 Google, ©2020 GeoBasis-DE/BKG

⁹ Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung, Alexandrastraße 4, 80538 München
<https://geoportal.bayern.de/bayernatlas/?topic=ba&lang=de&bgLayer=atkis&catalogNodes=11,122>

D.1.2. Vorgehensweise

Für die nachfolgend beschriebene geometrische Betrachtung werden auf der Landebahn repräsentative Punkte festgelegt. Über die Planfläche wird ein Netz mit einer Gitterweite von 7 m gelegt. Die Gitterpunkte dienen als Referenzpunkte. Für die einzelnen Punktepaare werden, wie später beschrieben, Reflexionsbetrachtungen durchgeführt.

Auf der Landebahn werden die Punkte A1 bis A6 gewählt, für die untersucht wird, ob an diesen Stellen Lichtimmissionen durch Reflexionen zu erwarten sind, und wie diese sich auswirken, siehe Abbildung 5.

Nach Abschluss der Bestimmung möglicher sichtbarer Reflexionen erfolgt eine Bewertung, inwieweit die Reflexionen von Piloten wahrgenommen werden können bzw. inwieweit die Reflexionen eine Belastung darstellen.

D.2. Geometrische Betrachtung

D.2.1. Grundlage

Die geometrische Betrachtung wird für die Unterkante der Module mit 0,8 m durchgeführt. Erfahrungsgemäß stellt dies den ungünstigsten Fall dar.

Die Augenposition der Piloten wird mit 100 m, 500 m und 1000 m über der Flugschneise angesetzt.

Die Bewertung der Lichtemissionen des Solarparks erfolgt in zwei Schritten. In Schritt 1 wird für die Punkte auf der Flugschneise zu den Punkten auf der Photovoltaikfläche der Ort einer Lichtquelle (Emissionsort) ermittelt, der zu Lichtimmissionen führt. Der Emissionsort wird definiert durch Azimut α und Höhenwinkel h° . Im zweiten Schritt werden die Koordinaten der berechneten Emissionsorte mit dem Sonnenstand im Jahresverlauf verglichen.

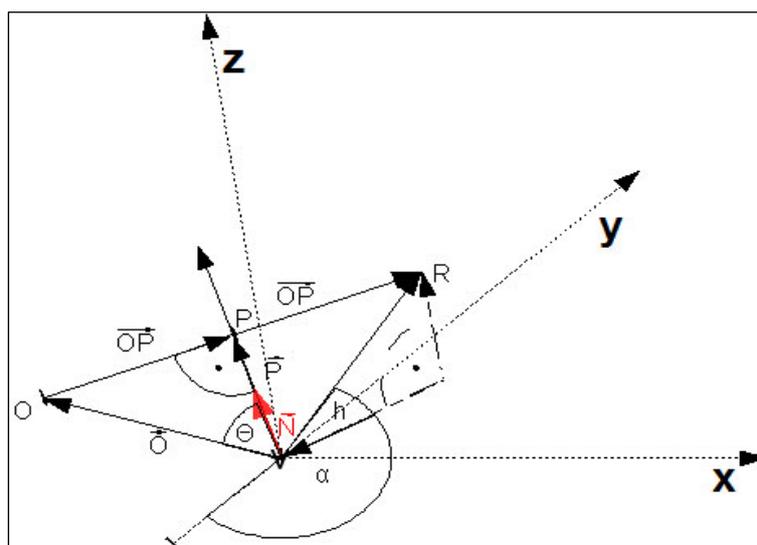


Abbildung 6: Geometrische Betrachtung der Reflexion am geneigten Modul

8.2

Die Bestimmung der Emissionsorte erfolgt anhand der Darstellung in Abbildung 6. Der Nullpunkt des Koordinatensystems befindet sich in der Modulebene. Punkt O steht für den Ort außerhalb der Photovoltaikanlage, der auf Lichtimmissionen untersucht wird. Punkt R bezeichnet den Ort der zugehörigen Lichtemission. Punkt P ist der Schnittpunkt des Verbindungsvektors zwischen O und R mit dem Lot auf die Modulfläche („Flächennormale“). Für die unterschiedlichen Ortsbeziehungen („Ort außerhalb der Photovoltaikfläche“ zu „Ort in der Fläche“) ergeben sich unterschiedliche Emissionsorte, die in der Sonnenbahn, siehe Abbildung 7, oder außerhalb dieser liegen können. Außerhalb der im Diagramm dargestellten blauen Linien befindet sich die Sonne „hinter“ den Modulen, so dass keine Reflexion erfolgen kann. Der relevante Sonnenverlauf reicht somit im Azimut von -120° bis $+120^\circ$ und für den Höhenwinkel h von 0° bis 64° .

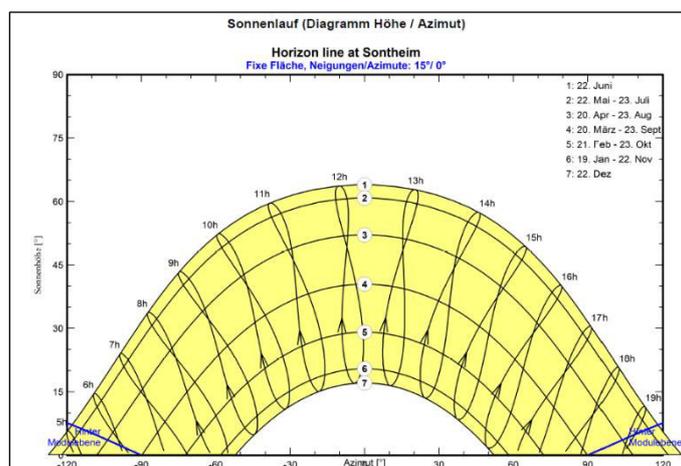


Abbildung 7: Horizontdarstellung des Sonnenlaufs

D.2.2. Ergebnisse der geometrischen Betrachtung

Die nachfolgenden Ergebnisse der geometrischen Betrachtung für die Planfläche gehen von freien Blickbeziehungen aus („worst case“). Abschattungen durch Bäume, Böschungen etc. sind nicht berücksichtigt.

Die Analyse zeigt für die Punkte A1 bis A6, dass bei einer Höhe von 100 m über dem Boden keine Lichtimmissionen im Untersuchungsbereich zu erwarten sind. Die Tabelle zeigt auch, dass direkt über dem Flughafen bis mindestens auf eine Höhe von 500 m keine Lichtimmissionen auftreten. Hingegen sind Lichtimmissionen in den Punkten A1 und A2 bei einer Höhe von 500 m über dem Boden zu erwarten. Die Lichtimmissionen erfolgen bei einer Höhe von 500 m morgens in den Punkten A1 und A2 von Ende März bis Anfang April und in der ersten Hälfte des Monats September. Die Reflexionen treten morgens im Zeitraum zwischen 06:25 bis 06:43 Uhr auf. Die Dauer der Lichtimmissionen beträgt im Maximum rund 4 Minuten am Tag und 0.6 Stunden im Jahr. Bei einer Höhe von 1000 m über dem Boden sind Lichtimmissionen in den Punkten A1 bis A5 zu erwarten. Die Lichtimmissionen erfolgen in den Punkten A1 bis A4 von Mitte Februar bis Mitte April bzw. von Ende August bis Ende Oktober. Im Punkt A5 treten die Reflexionen von Mitte November bis Ende Januar auf. Die Reflexionen treten morgens im Zeitraum zwischen 06:42 bis 08:31 Uhr auf. Die Dauer der Lichtimmissionen beträgt im Maximum rund 14 Minuten am Tag und 9.1 Stunden im Jahr.

Tabelle 2: Datums- und Zeitbereiche der Reflexionen an den Betrachtungspunkten

Datumsbereich		Zeitbereich	Max Minuten pro Tag [min]	Max Stunden pro Jahr [h]
Neigungswinkel 15° Azimut 180° (N=0°)				
Höhe 100m				
A1		Keine Reflexionen		
A2		Keine Reflexionen		
A3		Keine Reflexionen		
A4		Keine Reflexionen		
A5		Keine Reflexionen		
A6		Keine Reflexionen		
Höhe 500m				
A1	von 02. Apr bis 07. Apr	06:28 - 06:33	4	0.6
	von 05. Sep bis 10. Sep	06:25 - 06:28		
A2	von 25. Mrz bis 26. Mrz	06:41 - 06:43	3	0.2
	von 16. Sep bis 17. Sep	06:31 - 06:33		
A3		Keine Reflexionen		
A4		Keine Reflexionen		
A5		Keine Reflexionen		
A6		Keine Reflexionen		
Höhe 1000m				
A1	von 05. Apr bis 12. Apr	06:43 - 06:49	5	0.8
	von 31. Aug bis 06. Sep	06:42 - 06:45		
A2	von 25. Mrz bis 31. Mrz	06:58 - 07:05	5	1.0
	von 11. Sep bis 17. Sep	06:50 - 06:54		
A3	von 07. Mrz bis 14. Mrz	07:23 - 07:33	7	1.5
	von 28. Sep bis 05. Okt	07:04 - 07:10		
A4	von 14. Feb bis 25. Feb	07:51 - 08:02	10	2.6
	von 17. Okt bis 28. Okt	07:22 - 07:32		
A5	von 17. Nov bis 25. Jan	07:52 - 08:31	14	9.1
A6		Keine Reflexionen		

Die Tage und die Zeiten, zu denen Reflexionen wahrnehmbar sind, sind in den nachfolgenden Diagrammen Abbildung 8 bis Abbildung 14 dargestellt. Laut Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) kommt es erst ab einem Differenzwinkel (Winkel zwischen Sichtlinie zur Sonne und der Sichtlinie zum Modul) größer 10° zu einer zusätzlichen Blendung durch die Photovoltaikanlage¹⁰. Aus diesem Grund sind in den Diagrammen nur Zeiten berücksichtigt, die einen Differenzwinkel größer 10° aufweisen.

In den Diagrammen Abbildung 8 bis Abbildung 14 stellen die Werte der linken Ordinate die Uhrzeiten dar, in denen die Blendung am Immissionsort auftritt. Die Werte der rechten Ordinate stellen die Anzahl der Minuten pro Tag dar, in denen eine Blendung am Immissionsort auftritt.

¹⁰ Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI); Beschluss der LAI vom 13.09.2012



Abbildung 8: Reflexionszeiten und Dauer am Vormittag zu Punkt A1 500 m

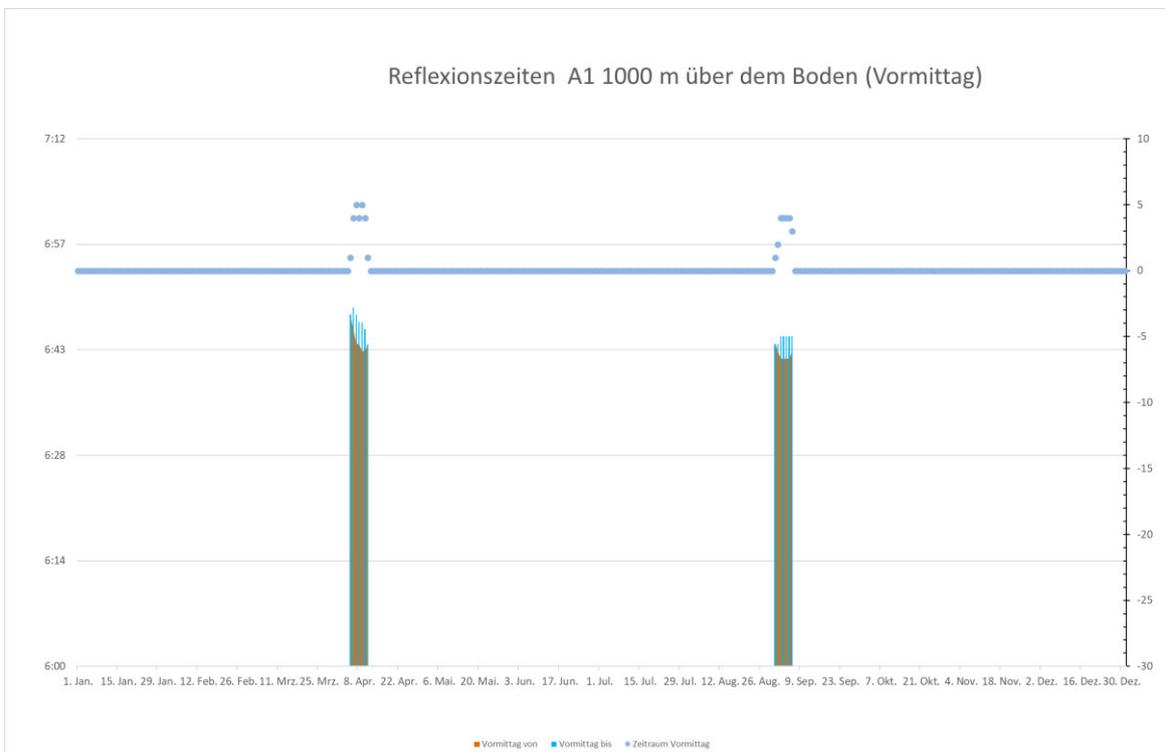


Abbildung 9: Reflexionszeiten und Dauer am Nachmittag zu Punkt A1 1000 m

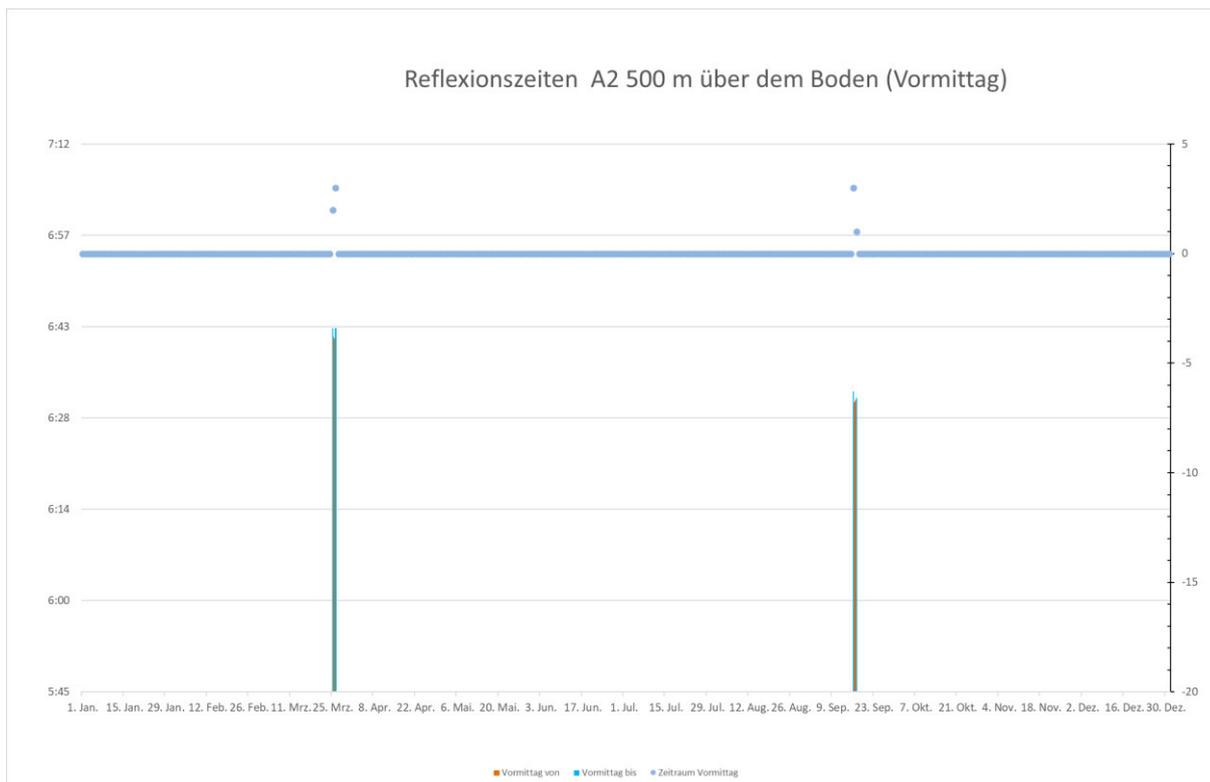


Abbildung 10: Reflexionszeiten und Dauer am Vormittag zu Punkt A2 500 m

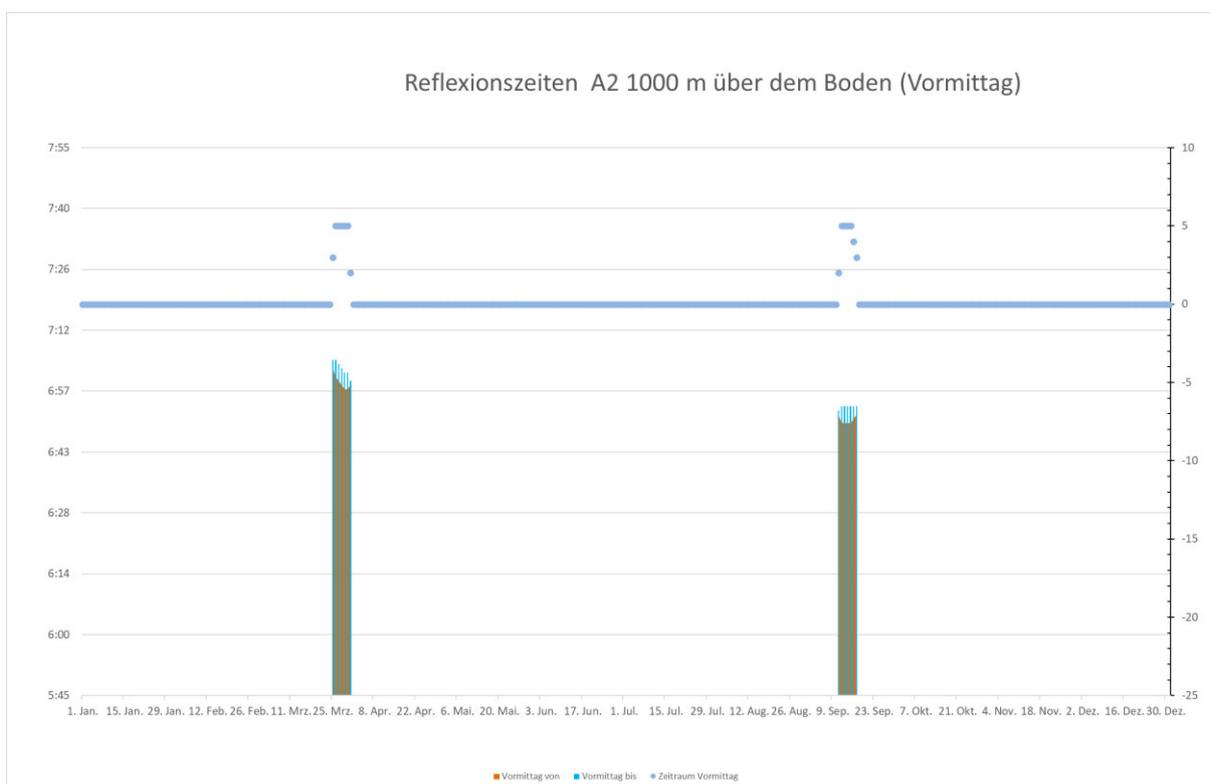


Abbildung 11: Reflexionszeiten und Dauer am Nachmittag zu Punkt A2 1000 m

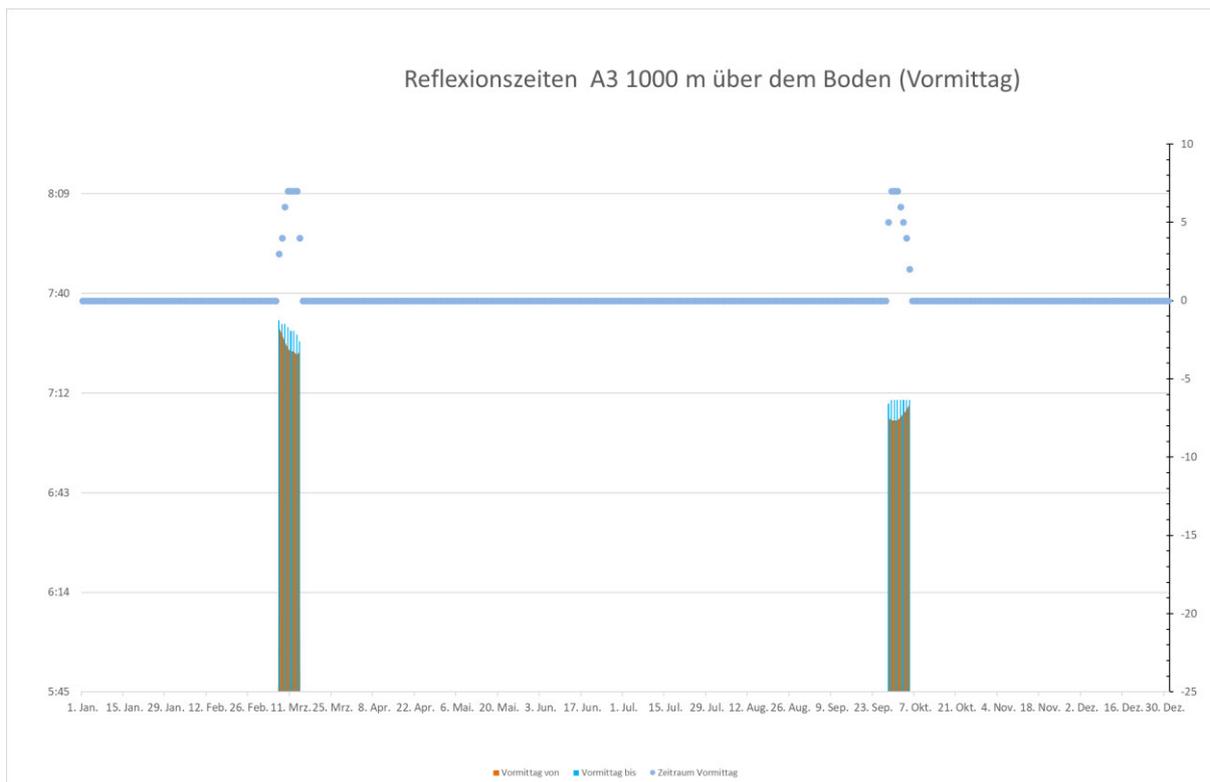


Abbildung 12: Reflexionszeiten und Dauer am Nachmittag zu Punkt A3 1000 m

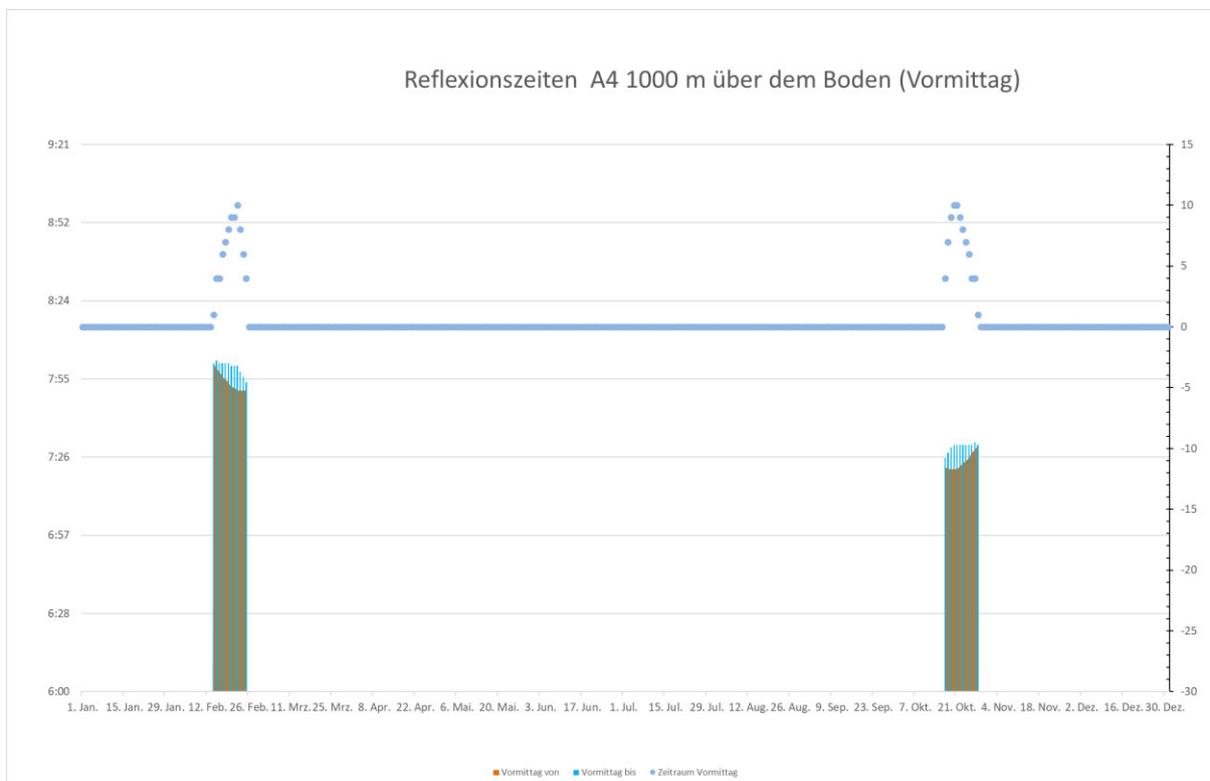
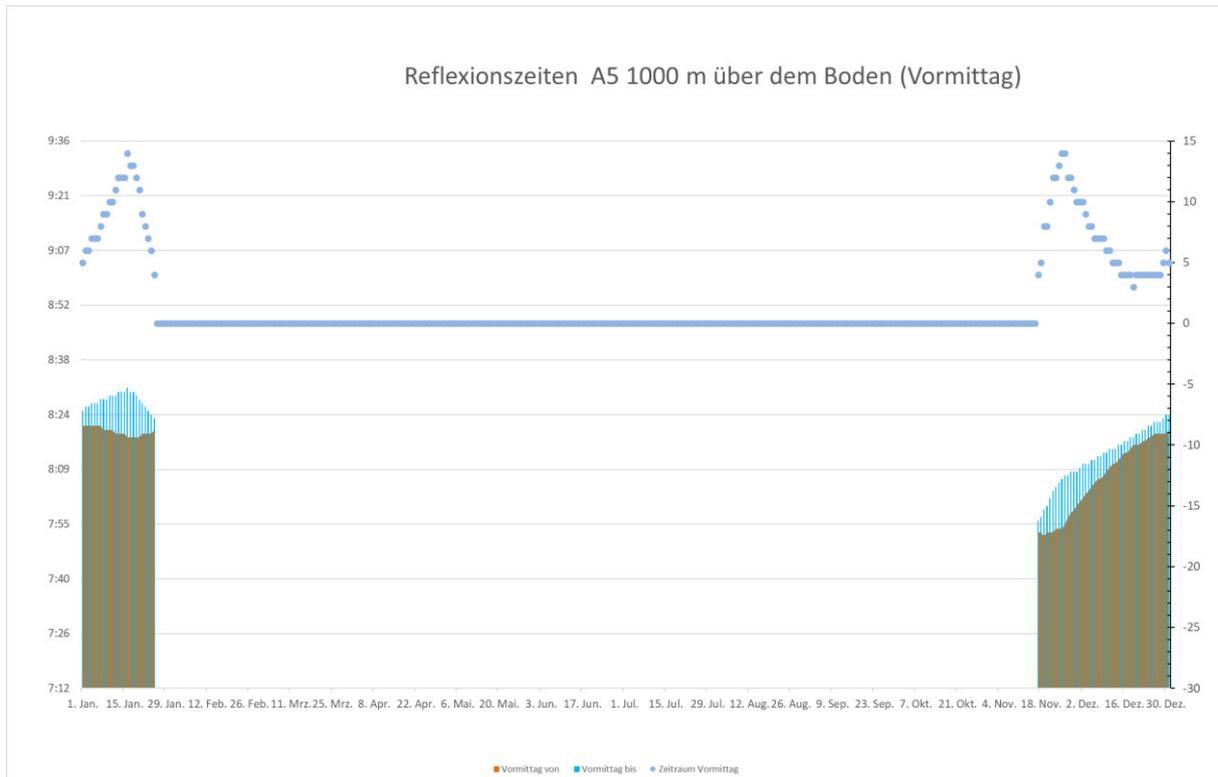


Abbildung 13: Reflexionszeiten und Dauer am Nachmittag zu Punkt A4 1000 m



**Abbildung 14: Reflexionszeiten und Dauer am Nachmittag zu Punkt A5
1000 m**

D.2.3. Sichtbarkeit und Wahrnehmung von Reflexionen

Wie in Kapitel C.5 ausgeführt ist kann sich das Auge je nach Größe des Reflektierenden Objekts, der Entfernung und der Helligkeit unterschiedlich gut anpassen.

In Kapitel C.4 ist in Abbildung 2 aufgeführt, wie viel Prozent des Lichts im Verhältnis zum Einfallswinkel reflektiert werden. In den Morgen- und Abendstunden trifft das Licht meist in einem sehr flachen Winkel auf, wodurch mehr Strahlung reflektiert wird, jedoch ist die Intensität des Lichtes auch geringer. Zur Mittagszeit trifft das Licht deutlich frontaler auf die Module auf, wodurch weniger Licht reflektiert wird, jedoch hat das Licht eine deutlich höhere Intensität. In diesem Kapitel wird die Netzhaut-Irritation am Hubschrauberlandeplatz Illesheim durch die Photovoltaik-Anlage Sontheim überprüft.

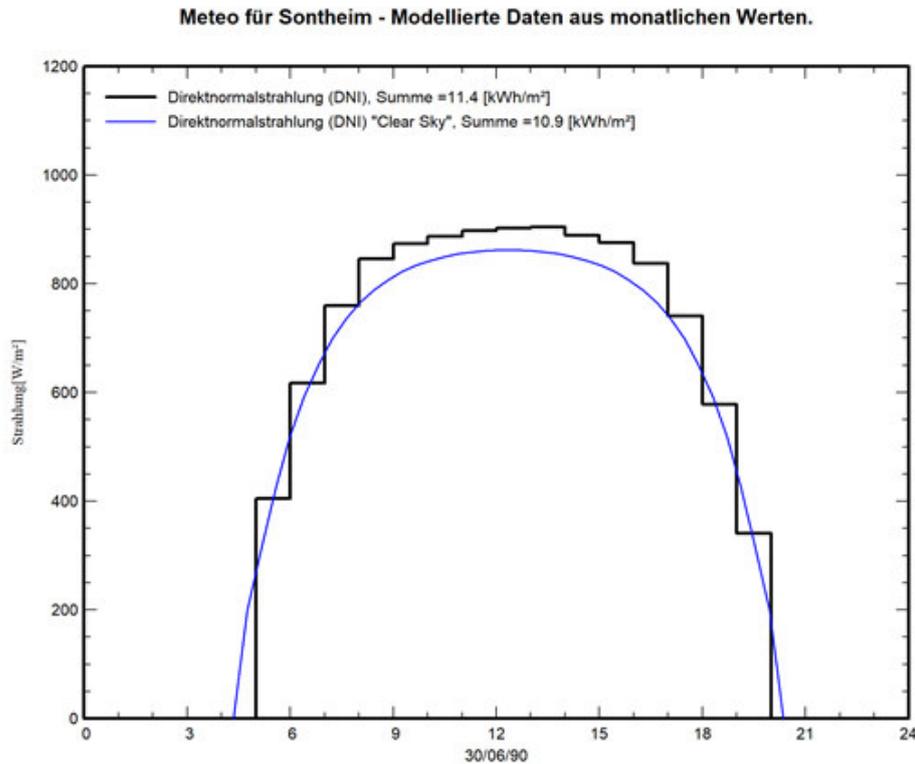


Abbildung 15: Einstrahlungsdaten für den Standort Sontheim

Aus Tabelle 2 lässt sich ablesen, dass bis 8:31 Reflexionen auftreten können, die Intensität der Direktnormalstrahlung (DNI) beträgt um diese Uhrzeit circa $759 \frac{W}{m^2}$, siehe Abbildung 15. Dies stellt den Grenzfall für morgens dar, bei dem circa 11 % der Solarstrahlung reflektiert werden. Der andere Grenzfall ist die Mittagszeit, bei der die Einstrahlung circa $905 \frac{W}{m^2}$ beträgt. Es wird davon ausgegangen, dass maximal 5 % der Solarstrahlung reflektiert werden.

Daraus ergibt sich das Diagramm für die Netzhaut Irritation, siehe Abbildung 16.

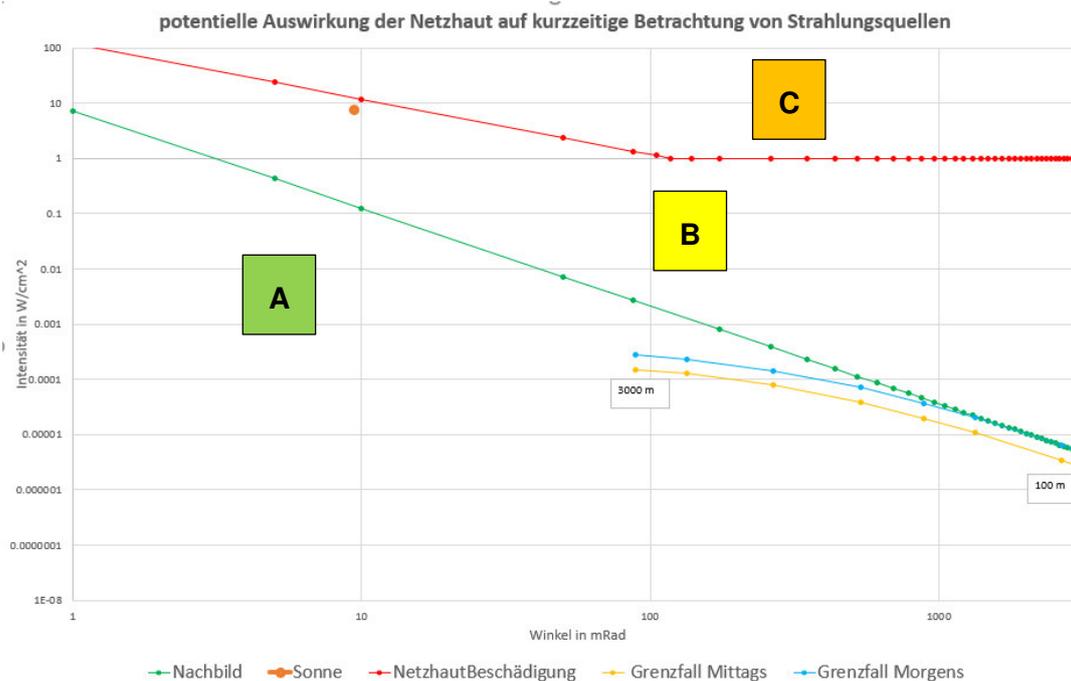


Abbildung 16: Auswirkung auf die Netzhaut ausgehen von der Solaranlage Sontheim

Der hellblau und der gelbe Graph stellen die Funktionen der Netzhaut Irritation in Abhängigkeit von der Distanz für die beiden eben beschriebenen Grenzfälle dar. Es ist zu erkennen, dass beide Graphen unterhalb des Grenzwertes für die Irritation im Bereich (A) liegen. Es ist ebenfalls zu erkennen, dass je näher der Betrachter an dem reflektierenden Objekt ist, man umso näher an die Grenze zur Irritation (Bereich B) kommt. Für Sontheim wurde das Diagramm für eine Distanz zum Objekt von 100 m (rechte Seite des gelben/blauen Graphen) bis 3000 m (linke Seite des gelben/blauen Graphen) berechnet.

E. Bewertung

Aus den Ergebnissen der geometrischen Reflexionsbetrachtung in Kapitel D.2.2 geht hervor, dass auf dem Hubschrauberlandeplatz Illesheim und in Verlängerung der Landebahn, aufgrund von Reflexionen an den Modulen der Photovoltaikanlage Sontheim, Lichtimmissionen in den Morgenstunden zu erwarten sind. Diese Immissionen treten in den Morgenstunden etwa zwischen 06:25 Uhr bis 08:31 ab einer Flughöhe von 100 m auf. Auf dem Flugfeld selbst, sind Lichtimmissionen erst ab einer Flughöhe von 500 m zu erwarten.

In Kapitel D.2.3 wird dargelegt, welche Strahlungsleistungen bei welcher Entfernung ins Auge des Betrachters gelangen. Aus den Ausführungen geht hervor, dass die Leistungen ab einer Entfernung von größer 100 m zur Solaranlage im Bereich (A) liegen, der für das Auge unkritische Bereich. Erst ab einer Entfernung unterhalb von 100 m ist mit Irritation durch Nachbilder zu rechnen.

Somit stellen die Lichtimmissionen in Hinblick auf den Flughafen, der sich in einer Entfernung von rund 3 km zur Photovoltaikanlage befindet, und den dortigen Flugbetrieb keine Störung dar. Aus diesem Grund ist eine Gefährdung durch Lichtemissionen, die durch Sonnenreflexionen an den Modulen der Photovoltaikanlage Sontheim entstehen, für den Flugverkehr nicht zu erkennen.