

SolPEG Blendgutachten

Solarthermie-Anlage Schwäbisch Hall

**Analyse der potenziellen Blendwirkung einer geplanten Solarthermie-Anlage
in Schwäbisch Hall in Baden-Württemberg**

SolPEG GmbH
Solar Power Expert Group
Normannenweg 17-21
D-20537 Hamburg

☎ +49 40 79 69 59 36

📞 +49 40 79 69 59 38

✉ info@solpeg.com

🌐 www.solpeg.com

Inhalt

1	Auftrag	3
1.1	Beauftragung.....	3
1.2	Hintergrund und Auftragsumfang.....	3
2	Systembeschreibung.....	4
2.1	Standort Übersicht	4
2.2	Umliegende Gebäude.....	6
3	Ermittlung der potenziellen Blendwirkung	7
3.1	Rechtliche Hinweise	7
3.2	Blendwirkung von Solarthermie Kollektoren / Sonnenkollektoren	7
3.3	Berechnung der Blendwirkung	8
3.4	Technische Parameter der Solarthermie-Anlage	9
3.5	Standorte für die Analyse	10
3.6	Hinweise zum Simulationsverfahren	12
4	Ergebnisse	17
4.1	Ergebnisse am Messpunkt P1 und P2, Bahnstrecke	18
4.2	Ergebnisse am Messpunkt P3, Gebäude westlich / Raiffeisenstraße	18
4.3	Ergebnisse am Messpunkt P4, Gebäude östlich	19
4.4	Ergebnisse am Messpunkt P5, Verkehrslandeplatz Schwäbisch Hall (Tower).....	20
4.5	Verkehrslandeplatz Schwäbisch Hall	21
5	Zusammenfassung der Ergebnisse	23
6	Schlussbemerkung	23
7	Anhang	24 - 33

SolPEG Blendgutachten

Analyse der Blendwirkung der geplanten Solarthermie-Anlage Schwäbisch Hall

1 Auftrag

1.1 Beauftragung

Die SolPEG GmbH verfügt über umfangreiche Erfahrung im Bereich Photovoltaik (PV) und bietet eine breite Palette von Dienstleistungen an. Mit über 800 erstellten Blendgutachten haben wir auch auf diesem Gebiet eine weitreichende Expertise. Vor diesem Hintergrund wurden wir beauftragt, die potenzielle Blendwirkung der Solarthermie-Anlage „Schwäbisch Hall“ auf die Bahnstrecke Crailsheim–Heilbronn zu analysieren und die Ergebnisse zu dokumentieren. Zusätzlich wird eine mögliche Blendwirkung für den Adolf Würth Airport untersucht.

1.2 Hintergrund und Auftragsumfang

Lt. aktueller Gesetzgebung (§2 EEG) liegt die Nutzung Erneuerbarer Energien im überragenden öffentlichen Interesse und dient der öffentlichen Sicherheit. Der priorisierte Ausbau der erneuerbaren Energien als wesentlicher Teil des Klimaschutzgebotes soll im Rahmen einer Schutzgüterabwägung nur in Ausnahmefällen überwunden werden. Andererseits soll der Ausbau der erneuerbaren Energien auch die bestehenden Regelungen für den Immissionsschutz berücksichtigen. Dies gilt auch für Lichtimmissionen durch Solarthermie-Anlagen.

Grundlage für die Berechnung und Beurteilung von Lichtimmissionen ist die sog. Lichtleitlinie¹, die 1993 durch die Bund/Länder - Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) verfasst und 2012 um einen Abschnitt zu Solarthermie-Anlagen erweitert wurde. Nach überwiegender Meinung von Experten enthält die Lichtleitlinie nicht unerhebliche Defizite bzw. Unklarheiten und ist als Instrument für die sachgerechte Beurteilung von Reflexionen durch Solarthermie-Anlagen nur bedingt anwendbar. Weitere Ausführungen hierzu finden sich im Abschnitt 4.

Die vorliegende Untersuchung soll klären ob bzw. in wie weit von der Solarthermie-Anlage "Solarthermie Hochweg" eine Blendwirkung für schutzbedürftige Zonen im Sinne der Licht-Leitlinie ausgehen könnte. Dies gilt für die Bahnstrecke Crailsheim–Heilbronn, ggf. Anwohner der umliegenden Gebäude sowie den Flugverkehr des Adolf Würth Airport (westlich der Anlage).

Die zur Anwendung kommenden Berechnungs- und Beurteilungsgrundsätze resultieren im Wesentlichen aus den Empfehlungen in Anhang 2 der Licht-Leitlinie in der aktuellen Fassung vom 08.10.2012. Die Berechnung der Blendwirkung erfolgt auf Basis von vorliegenden Planungsunterlagen der Solarthermie-Anlage, eine Analyse der Blendwirkung vor Ort ist nicht Bestandteil des Auftrags.

Da aktuell kein angemessenes Regelwerk verfügbar ist, sind die gutachterlichen Ausführungen zu den rechnerisch ermittelten Simulationsergebnissen zu beachten.

Einzelne Aspekte der Licht-Leitlinie werden an entsprechender Stelle wiedergegeben, eine weiterführende Beschreibung von theoretischen Hintergründen u.a. zu Berechnungsformeln kann im Rahmen dieses Dokumentes nicht erfolgen.

¹ Die Lichtleitlinie ist u.a. hier abrufbar: http://www.solpeg.de/LAI_Lichtleitlinie_2012.pdf

2 Systembeschreibung

2.1 Standort Übersicht

Die Fläche des Solarparks befindet sich in einem landwirtschaftlichen Gebiet ca. 5 km östlich von Schwäbisch Hall in Baden-Württemberg. Südlich der Fläche verläuft Bahnstrecke Crailsheim–Heilbronn. Die folgenden Informationen und Bilder geben einen Überblick über den Standort.

Tabelle 1: Informationen über den Standort

Allgemeine Beschreibung des Standortes	Ackerfläche ca. 5 km östlich von Schwäbisch Hall in Baden-Württemberg. Die Fläche ist überwiegend eben.
Koordinaten (Mitte)	49.114°N, 9.808 °O 388 m ü.N.N.
Abstand zur Bahntrasse	ca. 120 m
Entfernung zu umliegenden Gebäuden	ca. 700 m (kleinste Entfernung, relevante Blickrichtung)

Übersicht² über den Standort und die Solarthermie-Anlage (schematisch)

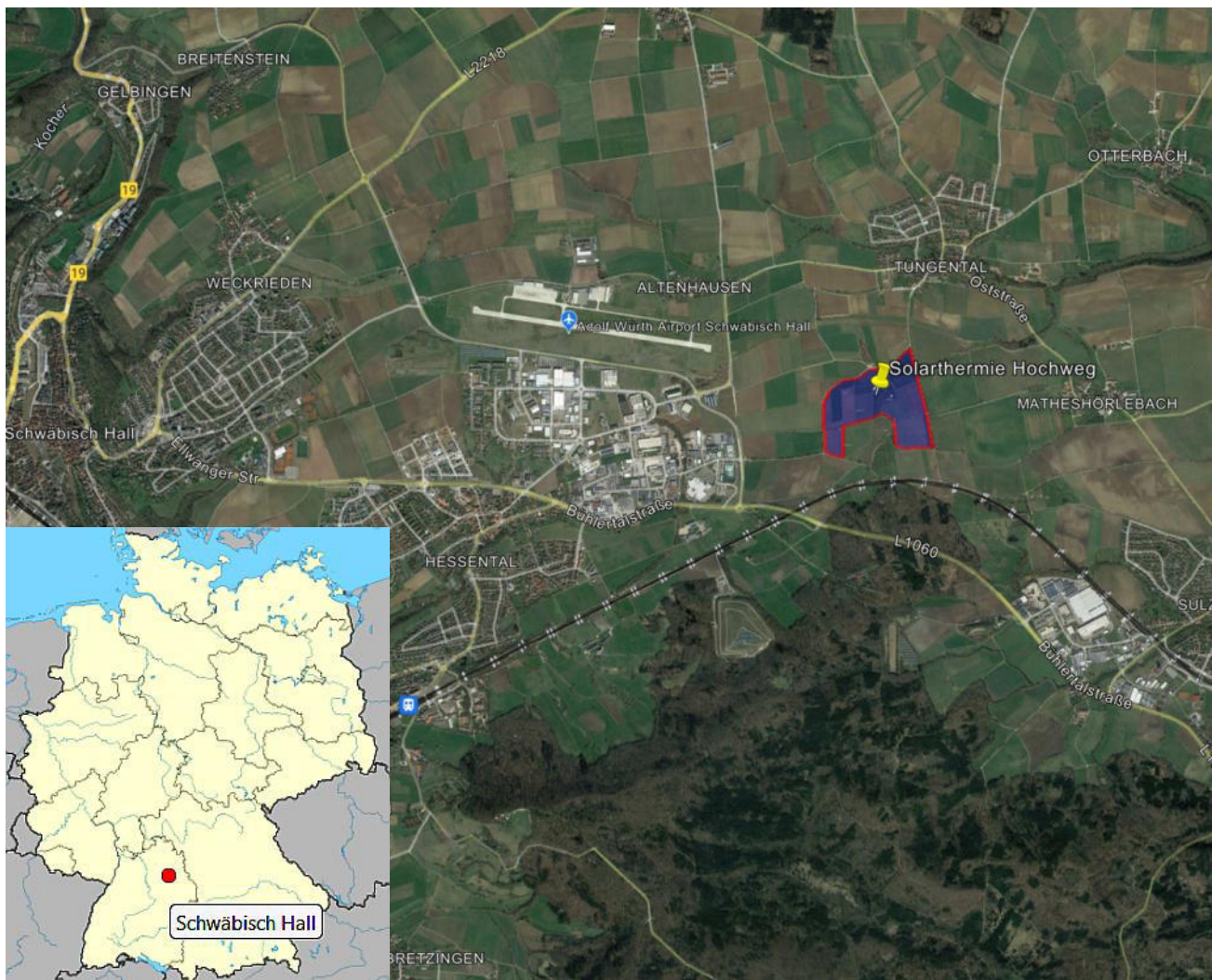


Bild 2.1.1: Luftbild mit Schema der Solarthermie-Anlage (Quelle: Google Earth/SolPEG)

² Das verwendete Kartenmaterial u.a. von Google Earth (und Partnern) erfolgt im Rahmen der geltenden Lizenzvereinbarungen

Übersicht über die Solarthermie-Anlage und Umgebung.



Bild 2.1.2: Detailansicht der PV-Flächen (Quelle: Google Earth/SolPEG)

Detailansicht. Die markierte Fläche zeigt den maximalen Ausbau, aktuell sind Teilbereiche geplant.



Bild 2.1.3: Detailansicht der PV-Flächen (Quelle: Google Earth/SolPEG)

2.2 Umliegende Gebäude

Nicht alle wahrnehmbaren Reflexionen haben eine Blendwirkung zur Folge. In der Licht-Leitlinie (Seite 23) wird zur Bestimmung einer Blendwirkung folgendes ausgeführt:

Ob es an einem Immissionsort im Jahresverlauf überhaupt zur Blendung kommt, hängt von der Lage des Immissionsorts relativ zur Photovoltaikanlage ab. Dadurch lassen sich viele Immissionsorte ohne genauere Prüfung schon im Vorfeld ausklammern: Immissionsorte

- die sich weiter als ca. 100 m von einer Photovoltaikanlage entfernt befinden erfahren erfahrungsgemäß nur kurzzeitige Blendwirkungen
- die vornehmlich nördlich von einer Photovoltaikanlage gelegen sind, sind meist ebenfalls unproblematisch.
- die vorwiegend südlich von einer Photovoltaikanlage gelegen sind, brauchen nur bei Photovoltaik-Fassaden (senkrecht angeordnete Photovoltaikmodule) berücksichtigt zu werden.

Hinsichtlich einer möglichen Blendung kritisch sind Immissionsorte, die vorwiegend westlich oder östlich einer Photovoltaikanlage liegen und nicht weiter als ca. 100 m von dieser entfernt.

Die folgende Skizze zeigt die Solarthermie-Anlage und umliegende Gebäude. Aufgrund des Strahlenverlaufs gemäß Reflexionsgesetz könnten die Gebäude theoretisch von potenziellen Reflexionen durch die Solarthermie-Anlage erreicht werden, aber aufgrund der Entfernung von über 540 m bzw. 900 m sind allerdings Beeinträchtigungen durch potenzielle Reflexionen nicht gegeben.

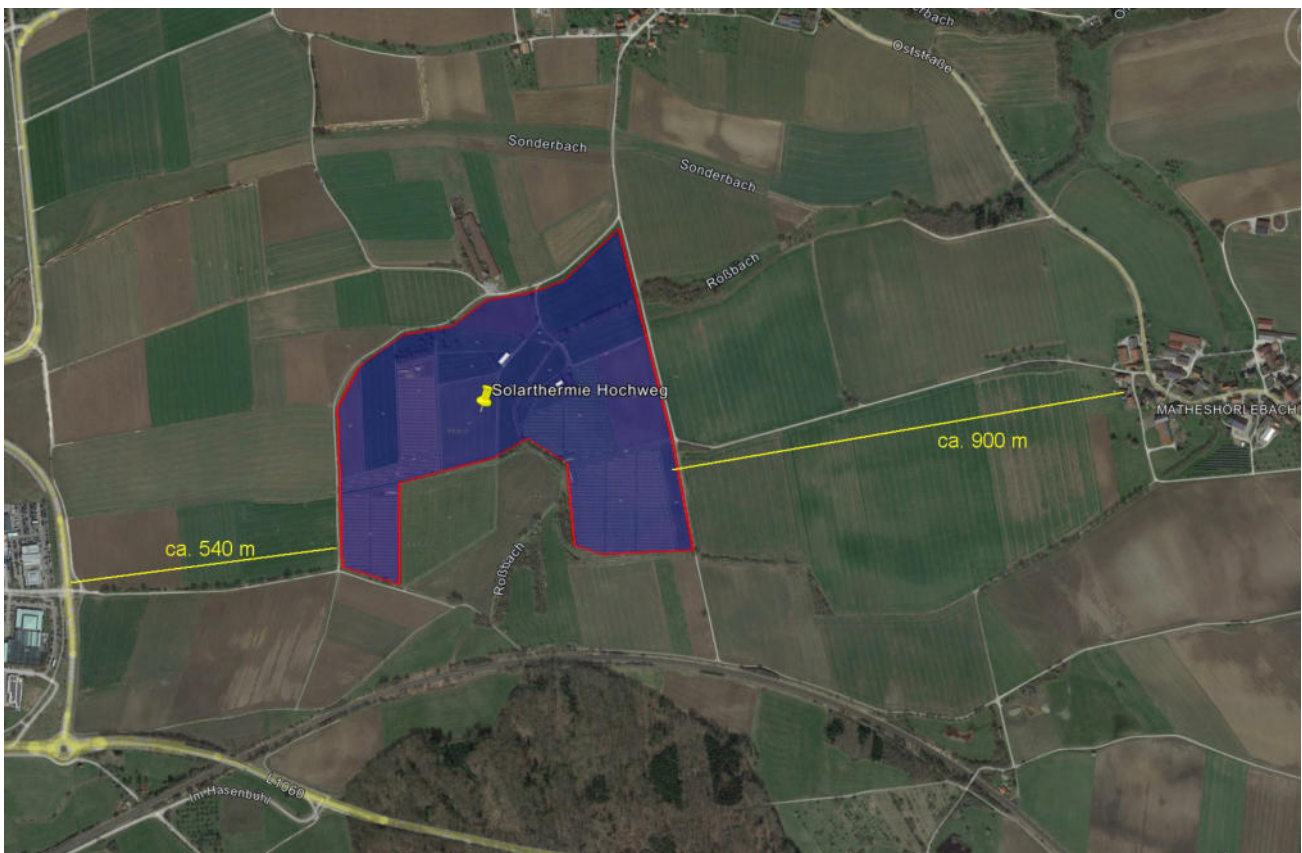


Bild 2.2.1: Gebäude östlich und westlich der Solarthermie-Anlage (Quelle: Google Earth/SolPEG)

3 Ermittlung der potenziellen Blendwirkung

3.1 Rechtliche Hinweise

Rechtliche Hinweise u.a. zur Licht-Leitlinie sind nicht Bestandteil dieses Dokumentes. Es sei lediglich darauf hingewiesen, dass nach aktueller Gesetzgebung der Ausbau der Erneuerbaren Energien im über-ragenden öffentlichen Interesse liegt und der öffentlichen Sicherheit dient und somit höher wiegt als Einzelinteressen.

3.2 Blendwirkung von Solarthermie Kollektoren / Sonnenkollektoren

Vereinfacht ausgedrückt wird mittels Flachkollektoren oder Röhrenkollektoren das Sonnenlicht direkt zur Erzeugung von Wärme genutzt. In der hier betrachteten Anlage werden Röhrenkollektoren verwendet, die unabhängig von ihrer internen Funktionsweise (Durchfluss oder als sog. heatpipe) aus röhren-förmigen Glaszylindern bestehen. Das folgende Foto zeigt den Aufbau der geplanten Solarthermie Anlage.



Bild 3.2.2 Solarthermie Röhrenkollektoren (Quelle: Viessmann Werke)

Je nach Produktionsart reflektieren die Oberflächen von Solarthermie-Flachkollektoren oder Photovol-taik-Modulen das Sonnenlicht mehr oder weniger diffus. Die Glasoberfläche von Röhrenkollektoren ist zwar glatt aber aufgrund der Krümmung werden Sonnenstrahlen immer nur punktuell und nicht flächig reflektiert. Die folgenden Bilder verdeutlichen die Reflexion von Photovoltaik Modulen mit unterschied-lichen Oberflächen sowie die Reflexion auf Röhrenkollektoren.



Bild 3.2.3: Reflexion von Moduloberflächen und Röhrenkollektoren (Quelle: Sandia Labs / Agens-Teterow)

3.3 Berechnung der Blendwirkung

Die Berechnung der Reflexionen von elektromagnetischen Wellen (auch sichtbares Licht) erfolgt nach anerkannten physikalischen Erkenntnissen und den entsprechend abgeleiteten Gesetzen (u.a. Reflexionsgesetz, Lambert'sches Gesetz) sowie den entsprechenden Berechnungsformeln.

Darüber hinaus kommen die in Anhang 2 der Licht-Leitlinie beschriebenen Empfehlungen (Seite 21ff) zur Anwendung, es werden jedoch aufgrund fehlender Angaben u.a. für Fahrzeuglenker zusätzliche Quellen herangezogen, u.a. die Richtlinien der FAA³ zur Beurteilung der Blendwirkung für den Flugverkehr. Eine umfassende Darstellung der verwendeten Formeln und theoretischen Hintergründe der Berechnungen ist im Rahmen dieser Stellungnahme nicht möglich.

Der grundlegende Ansatz zur Berechnung der Reflexion ist wie folgt. Wenn die Position der Sonne und die Ausrichtung des PV-Moduls (Neigung: γ_P , Azimut α_P) bekannt ist, kann der Winkel der Reflexion (θ_P) mit der folgenden Formel berechnet werden:

$$\cos(\theta_P) = -\cos(\gamma_S) \cdot \sin(\gamma_P) \cdot \cos(\alpha_S + 180^\circ - \alpha_P) + \sin(\gamma_S) \cdot \cos(\gamma_P)$$

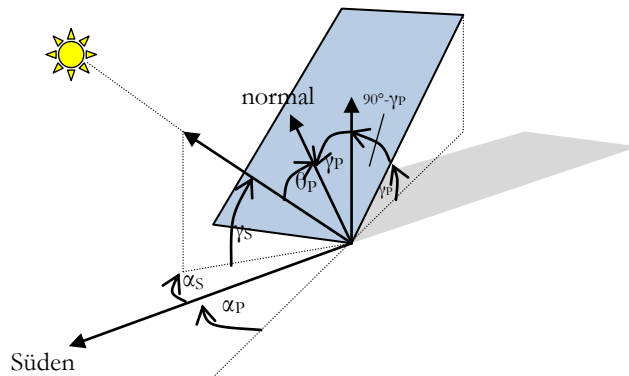


Bild 3.3.1: Schematische Darstellung der Reflexionen auf einer geneigten Fläche

Die unter 3.2 aufgeführten Eigenschaften von Röhrenkollektoren (Glasoberfläche, Krümmung) haben Einfluss auf den Reflexionsfaktor der Berechnung bzw. entsprechenden Berechnungsmodelle. Aufgrund der Krümmung von Röhrenkollektoren wird allerdings nur ca. 3% - 6% des einfallenden Sonnenlichtes in die entsprechende Richtung reflektiert.

Die Simulation von Reflexionen geht zu jedem Zeitpunkt von einem klaren Himmel und direkter Sonneneinstrahlung aus, daher wird im Ergebnis immer die höchst mögliche Blendwirkung angegeben. Dies entspricht nur selten den realen Umgebungsbedingungen und auch Informationen über möglichen Sichtschutz durch Bäume, Gebäude oder andere Objekte können nicht ausreichend verarbeitet werden. Auch Wettereinflüsse wie z.B. Frühnebel/Dunst oder lokale Besonderheiten der Wetterbedingungen können nicht berechnet werden. Die Entfernung zur Blendquelle fließt in die Berechnung ein, jedoch sind sich die Experten uneinig ab welcher Entfernung eine Blendwirkung durch Solarthermie-Anlagen zu vernachlässigen ist. In der Licht-Leitlinie⁴ wird in Bezug auf PV-Anlagen eine Entfernung von 100 m genannt.

Die durchgeführten Berechnungen wurden u.a. mit Simulationen und Modellen des Sandia National Laboratories⁵, New Mexico überprüft.

³ US Federal Aviation Administration (FAA) guidelines for analyzing flight paths: <https://www.gpo.gov/fdsys/pkg/FR-2013-10-23/pdf/2013-24729.pdf>

⁴ Licht-Leitlinie Seite 22: Immissionsorte, die sich weiter als ca. 100 m von einer Photovoltaikanlage entfernt befinden erfahren erfahrungsgemäß nur kurzzeitige Blendwirkungen.

⁵ Webseite der Sandia National Laboratories: <http://www.sandia.gov>

3.4 Technische Parameter der Solarthermie-Anlage

Die optischen Eigenschaften und die Installation der Module, insbesondere die Ausrichtung und Neigung der Module sind wesentliche Faktoren für die Berechnung der Reflexionen. Lt. Planungsunterlagen werden PV-Module mit Anti-Reflex Schicht verwendet, sodass deutlich weniger Sonnenlicht reflektiert wird als bei Standard Modulen. Dennoch sind Reflexionen nicht ausgeschlossen, insbesondere wenn das Sonnenlicht abends und morgens in einem flachen Winkel auf die Moduloberfläche trifft.

Die folgende Skizze verdeutlicht die Konstruktion der Modulinstallation.

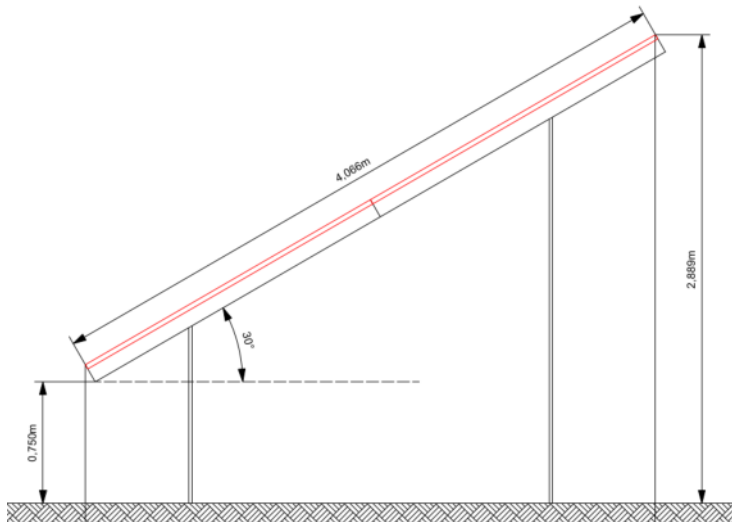


Bild 3.4.1: Skizze der Modulkonstruktion (Quelle: Systemplanung)

Die für die Untersuchung der Reflexion wesentlichen Parameter der Solarthermie-Anlage sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 2: Berechnungsparameter

Solarthermie-Modul	Viessmann Röhrenkollektor (oder vergleichbar)
Oberfläche	Borsilikatglas (spiegelnd)
Installation	Modultische, fest aufgeständert
Ausrichtung (Azimut)	180° (Süden)
Neigung	30°
Höhe der sichtbaren Fläche	ca. 0,70 m - max. 2,90 m
Höhe Messpunkte über GOK	Zugführer 2,5 m, Fahrzeugführer 2,0 m (gemittelt ⁶)
Azimut bzw. relevanter Sichtwinkel	Fahrtrichtung +/- 20°, 100 m Sichtweite

Es existieren keine verbindlichen Vorgaben zum „relevanten Sichtwinkel“ aber in Fachkreisen wird überwiegend angenommen, dass Reflexionen in einem Winkel von 20° und mehr zur Blickrichtung keine Beeinträchtigung⁷ darstellen. In einem Winkel zwischen 10° - 20° können Reflexionen mit einer bestimmten Leuchtdichte eine moderate Blendwirkung erzeugen und unter 10° werden sie überwiegend als Beeinträchtigung empfunden. Unter Berücksichtigung dieser Aspekte wird der für Reflexionen relevante Sichtwinkel (Sektor) als der Bereich innerhalb einer Spanne von +/- 20° um die Fahrtrichtung definiert. Die Sichtweite beträgt dabei 100 m.

⁶ Eine Höhe von 2 m ist ein konservativer Ansatz, die mittlere Sitzhöhe der Mehrzahl der Verkehrsteilnehmer (PKW) beträgt nur ca. 1,30 m

⁷ Ein Aspekt ist die Anordnung und Anzahl der relevanten Schellen (Zapfen und Stäbchen) im menschlichen Auge

3.5 Standorte für die Analyse

Bei der Analyse von potenziellen Blendwirkungen wird das Auftreffen von Reflexionen, die Dauer und die Intensität an einem festgelegten Messpunkt (Immissionsort) untersucht, es geht nicht um die Sichtbarkeit oder die optische Bewertung der Solarthermie-Anlage. Das Auftreffen von Reflexionen an einem Messpunkt wird zunächst rechnerisch ermittelt, unabhängig von der Ausrichtung der Fahrbahn/Bahnstrecke bzw. der Fahrtrichtung (RiFa) und unabhängig davon ob Reflexionen überhaupt wahrnehmbar sein können. Bei der anschließenden Analyse und Bewertung einer potenziellen Blendwirkung durch diese Reflexionen werden allerdings zusätzliche Aspekte einbezogen, u.a. die relevante Blickrichtung, die Entfernung zur Immissionsquelle sowie die örtlichen Gegebenheiten.

Die Analyse kann aus technischen Gründen nicht für beliebig viele Messpunkte durchgeführt werden. Je nach Größe und Beschaffenheit der Solarthermie-Anlage werden in der Regel 4 - 5 Messpunkte exemplarisch gewählt und die jeweils im Jahresverlauf auftretenden Reflexionen ermittelt. Die Messpunkte (Position und Höhe) werden anhand von Erfahrungswerten sowie den Ausführungen der Lichtleitlinie zu schutzwürdigen Zonen festgelegt. U.a. können Objekte im Süden von Solarthermie-Anlagen aufgrund des Strahlenverlaufs gemäß Reflexionsgesetz nicht von potenziellen Reflexionen erreicht werden und werden daher nur in besonderen Fällen untersucht.

Für die Analyse einer potenziellen Blendwirkung der Solarthermie-Anlage Schwäbisch Hall wurden insgesamt 4 Messpunkte festgelegt. 2 Messpunkte im Verlauf der Bahnstrecke sowie 2 Messpunkte im Bereich von umliegenden Straßen und Gebäuden. Darüber hinaus wurde die potenzielle Blendwirkung auf der Landebahn untersucht.

Weitere Standorte an Gebäuden wurden nicht weiter untersucht, da aufgrund von Entfernung und/oder Winkel zur Immissionsquelle keine Beeinträchtigungen durch potenzielle Reflexionen zu erwarten sind.

Die folgende Übersicht zeigt die Solarthermie-Anlage und die gewählten Messpunkte:



Bild 3.5.1: Übersicht über die Solarthermie-Anlage und Messpunkte (Quelle: Google Earth/SolPEG)

In SolPEG Blendgutachten werden üblicherweise Flugplätze und andere besondere Zonen im Umkreis von 10 km um die Solarthermie-Anlage untersucht. Im vorliegenden Fall wird eine mögliche Blendwirkung für den Verkehrslandeplatz Schwäbisch Hall / Adolf Würth Airport (ICAO-Code EDTY) untersucht, dessen Landebahn sich ca. 1,2 km nordwestlich der Solarthermie-Anlage befindet.

Die folgende Skizze gibt einen ungefähren Überblick über die Entfernungen.



Bild 3.5.2: Übersicht über die Solarthermie-Anlage und Flugplatz Schwäbisch Hall (Quelle: Google Earth/SolPEG)

Die folgende Skizze zeigt die Start-/Landebahn (10/28) im Detail.



Bild 3.5.3: Start- / Landebahn Flugplatz Schwäbisch Hall , 1540 m Länge, 30 m Breite (Quelle: Google Earth/SolPEG)

3.6 Hinweise zum Simulationsverfahren

Licht-Leitlinie

Grundlage für die Berechnung und Beurteilung von Lichtimmissionen ist in Deutschland die sog. Licht-Leitlinie, die erstmals 1993 durch die Bund/Länder - Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) verfasst wurde. Die Licht-Leitlinie ist weder eine Norm noch ein Gesetz sondern lt. LAI Vorbemerkung "**... ein System zur Beurteilung der Wirkungen von Lichtimmissionen auf den Menschen**" welches ursprünglich für die Bemessung von Lichtimmissionen durch Flutlicht- oder Beleuchtungsanlagen von Sportstätten konzipiert wurde. Anlagen zur Beleuchtung des öffentlichen Straßenraumes, Blendwirkung durch PKW Scheinwerfer usw. werden nicht behandelt.

Im Jahr 2000 wurden Hinweise zu schädlichen Einwirkungen von Beleuchtungsanlagen auf Tiere - insbesondere auf Vögel und Insekten - und Vorschläge zu deren Minderung ergänzt. Ende 2012 wurde ein 4-seitiger Anhang zum Thema Reflexionen durch Photovoltaik (PV) Anlagen hinzugefügt.

Lichtimmissionen gehören nach dem BImSchG zu den schädlichen Umwelteinwirkungen, wenn sie nach Art, Ausmaß oder Dauer geeignet sind, **erhebliche Nachteile** oder **erhebliche Belästigungen** für die Allgemeinheit oder für die Nachbarschaft **herbeizuführen**. Bedauerlicherweise hat der Gesetzgeber die immissionsschutzrechtliche **Erheblichkeit** für Lichtimmissionen bisher nicht definiert und eine Definition auch nicht in Aussicht gestellt.

Für Reflexionen durch PV-Anlagen ist in der Licht-Leitlinie ein Immissionsrichtwert von maximal 30 Minuten pro Tag und maximal 30 Stunden pro Jahr angegeben. Diese Werte wurden nicht durch wissenschaftliche Untersuchungen mit entsprechenden Probanden in Bezug auf Reflexionen durch PV-Anlagen ermittelt, sondern stammen aus einer Untersuchung zur Belästigung durch periodischen Schattenwurf und Lichtreflexe ("Disco-Effekt") von Windenergieanlagen (WEA).

Auch in diesem Bereich hat der Gesetzgeber bisher keine rechtsverbindlichen Richtwerte für die Belästigung durch Lichtblitze und bewegten, periodischen Schattenwurf durch Rotorblätter einer WEA erlassen oder in Aussicht gestellt. Die Übertragung der Ergebnisse aus Untersuchungen zum Schattenwurf von WEA Rotoren auf unbewegliche Installationen wie PV oder Solarthermie-Anlagen ist unter Experten äußerst umstritten und vor diesem Hintergrund hat eine individuelle Bewertung von Reflexionen durch Solarthermie-Anlagen Vorrang vor den rechnerisch ermittelten Werten.

Allgemeiner Konsens ist die Notwendigkeit von weiterführenden Forschung und Konkretisierung der vorhandenen Regelungen. U.a.

Christoph Schierz, TU Ilmenau, FG Lichttechnik, 2012:

Welches die zulässige Dauer einer Blendwirkung sein soll, ist eigentlich keine wissenschaftliche Fragestellung, sondern eine der gesellschaftlichen Vereinbarung: Wie viele Prozent stark belastigter Personen in der exponierten Bevölkerung will man zulassen? Die Wissenschaft müsste aber eine Aussage darüber liefern können, welche Expositionsdauer zu welchem Anteil stark Belastigter führt. Wie bereits erwähnt, stehen Untersuchungen dazu noch aus. .. Es existieren noch keine rechtlichen oder normativen Methoden zur Bewertung von Lichtimmissionen durch von Solaranlagen gespiegeltes Sonnenlicht.

Michaela Fischbach, Wolfgang Rosenthal, Solarpraxis AG:

Während die Berechnungen möglicher Reflexionsrichtungen klar aus geometrischen Verhältnissen folgen, besteht hinsichtlich der Risikobewertung reflektierten Sonnenlichts noch erheblicher Klärungsbedarf...

Im Zusammenhang mit der Übernahme zeitlicher Grenzwerte der Schattenwurfrichtlinie besteht noch Forschungsbedarf hinsichtlich der belastigenden Wirkung statischer Sonnenlichtreflexionen. Da in der Licht-Richtlinie klar unterschieden wird zwischen konstantem und Wechsellicht und es sich beim periodischen Schattenwurf von Windenergieanlagen um das generell stärker belastigende Wechsellicht handelt, liegt die Vermutung nahe, dass zeitliche Grenzwerte für konstante Sonnenlichtreflexionen deutlich über denen der Schattenwurfrichtlinie anzusetzen wären.

Schutzwürdige Räume

In der Licht-Leitlinie sind einige "schutzwürdige Räume" - also ortsfeste Standorte - aufgeführt, für die zu bestimmten Tageszeiten störende oder belästigende Einflüsse durch Lichtimmissionen zu vermeiden sind. Es fehlt⁸ allerdings eine Definition oder Empfehlung zum Umgang mit Verkehrswegen und auch zu Schienen- und Kraftfahrzeugen als "beweglichen" Räumen. Eine Blendwirkung an beweglichen Standorten ist in Bezug zur Geschwindigkeit zu sehen, d.h. eine Reflexion kann an einem festen Standort über mehrere Minuten auftreten, ist jedoch bei der Vorbeifahrt mit 100 km/h ggf. nur für Sekundenbruchteile wahrnehmbar. Aber trotz einer physiologisch unkritischen Leuchtdichte kann die Blendwirkung durch frequente Reflexionen subjektiv als störend empfunden werden (psychologische Blendwirkung). Vor diesem Hintergrund kann die Empfehlung der Licht-Leitlinie in Bezug auf die maximale Dauer von Reflexionen in "schutzwürdigen Räumen" nicht ohne weiteres auf Fahrzeuge übertragen werden. Die reinen Zahlen der Simulationsergebnisse sind immer auch im Kontext zu verstehen.

Einfallswinkel der Reflexion

Die Fachliteratur enthält ebenfalls keine einheitlichen Aussagen zur Berechnung und Beurteilung der Blendwirkung von Fahrzeugführern durch reflektiertes Sonnenlicht und auch unter den Experten gibt es bislang keine einheitliche Meinung, ab welchem Winkel eine Reflexion bei Tageslicht als objektiv störend empfunden wird. Dies hängt u.a. mit den Abbildungseigenschaften des Auges zusammen wonach die Dichte der Helligkeitsrezeptoren (Zapfen) außerhalb des zentralen Schärfepunktes (Fovea Centralis) abnimmt.

Überwiegend wird angenommen, dass Reflexionen in einem Winkel ab 20° zur Blickrichtung keine Beeinträchtigung darstellen. In einem Winkel zwischen 10° - 20° können Reflexionen eine moderate Blendwirkung erzeugen und unter 10° werden sie überwiegend als Beeinträchtigung empfunden. Vor diesem Hintergrund ist in dieser Untersuchung der für Reflexionen relevante Blickwinkel als Fahrtrichtung +/- 20° definiert.

Entfernung zur Immissionsquelle

Lt. Licht-Leitlinie "erfahren Immissionsorte, die sich weiter als ca. 100 m von einer Photovoltaikanlage entfernt befinden, erfahrungsgemäß nur kurzzeitige Blendwirkungen. Lediglich bei ausgedehnten Photovoltaikparks **könnten** auch weiter entfernte Immissionsorte noch relevant sein."

Die von der SolPEG seit 2015 in über 800 Blendgutachten überwiegend verwendete Simulationssoftware ForgeSolar⁹ basiert auf einer Entwicklung der US Sandia National Laboratories¹⁰. Die Software wird mittlerweile auch von anderen Gutachtern verwendet und könnte als Stand der Technik bezeichnet werden obwohl (uns) Limitationen bekannt sind. Eine versierte Bedienung der Software ist unerlässlich für korrekte Ergebnisse.

Bei der Simulation werden alle Reflexionen berücksichtigt, die aufgrund des Strahlenverlaufs gemäß Reflexionsgesetz physikalisch auftreten können. Daher sind die reinen Ergebniswerte als konservativ/extrem anzusehen und werden ggf. relativiert bewertet. Insbesondere werden mögliche Reflexionen geringer gewichtet wenn die Immissionsquelle mehr als 100 m entfernt ist.

⁸ Licht-Leitlinie "2. Anwendungsbereich", Seite 2 ff., bzw. Anhang 2 ab Seite 22

⁹ <https://forgesolar.com> is based on the licensed software from Sandia National Laboratories.

¹⁰ Solar Glare Hazard Analysis Tool ("SGHAT") der Sandia National Laboratories: <https://www.sandia.gov/glare-tools>

Sonstige Einflüsse

Aufgrund von technischen Limitierungen geht die Simulationssoftware zu jedem Zeitpunkt von sog. clear-sky Bedingungen aus, d.h. einem wolkenlosen Himmel und entsprechender Sonneneinstrahlung. Daher stellt das Simulationsergebnis immer die höchst mögliche Blendwirkung dar.

Dies entspricht nicht den realen Wetterbedingungen insbesondere in den Morgen- oder Abendstunden, in denen die Reflexionen auftreten können. Einflüsse wie z.B. Frühnebel, Dunst oder besondere, lokale Wetterbedingungen können nicht berechnet werden.

In der Lichtleitlinie gibt es keine Hinweise wie mit meteorologischen Informationen zu verfahren ist obwohl zahlreiche Datenquellen und Klima-Modelle (z.B. TMY¹¹) vorhanden sind. Der Deutsche Wetterdienst DWD hat für Deutschland für das Jahr 2023 eine mittlere Wolkenbedeckung¹² von ca. 68,8 % ermittelt. Der Durchschnittswert für den Zeitraum 1991-2020 liegt bei 62,5 % - 75 %.

Aber auch der Geländeverlauf und Informationen über möglichen Sichtschutz durch Hügel, Bäume oder andere Objekte können nicht ausreichend verarbeitet werden.

Es handelt sich dabei allerdings um Limitierungen der Software und nicht um Vorgaben für die Berechnung von Reflexionen. Eine realitätsnahe Simulation ist mit der aktuell verfügbaren Simulationssoftware nur begrenzt möglich.

Kategorien von Reflexionen

Fachleute sind überwiegend der Meinung, dass die sog. Absolutblendung, die eine Störung der Sehfähigkeit bewirkt, ab einer Leuchtdichte von ca. 100.000 cd/m² beginnt. Störungen sind z.B. Nachbilder in Form von hellen Punkten nachdem in die Sonne geschaut wurde. Auch in der LAI Licht-Leitlinie ist dieser Wert angegeben (S. 21, der Wert ist bezogen auf die Tagesadaptation des Auges).

Aber nicht alle Reflexionen führen zwangsläufig zu einer Blendwirkung, da es sich neben den messbaren Effekten auch in einem hohen Maß um eine subjektiv empfundene Erscheinung/Irritation handelt (Psychologische Blendwirkung). Das Forschungsinstitut Sandia National Laboratories (USA) hat verschiedene Untersuchungen auf diesem Gebiet analysiert und eine Skala entwickelt, die die Wahrscheinlichkeit für Störungen/Nachbilder durch Lichtimmissionen in Bezug zu ihrer Intensität kategorisiert. Diese Kategorisierung entspricht dem Bezug zwischen Leuchtdichte (W/cm²) und Ausdehnung (Raumwinkel, mrad). Die folgende Skizze zeigt die Bewertungsskala in der Übersicht und auch das hier verwendete Simulationsprogramm stellt die jeweiligen Messergebnisse in ähnlicher Weise dar.

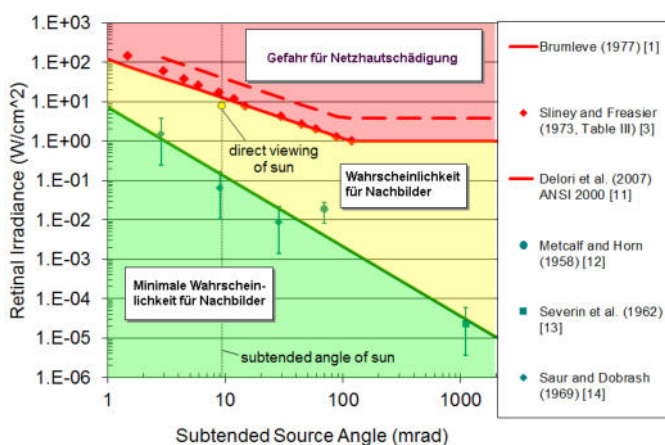


Bild 3.6.1 Kategorisierung von Reflexionen (Quelle: Sandia National Laboratories, siehe auch Diagramme im Anhang)

¹¹ Handbuch: <https://www.nrel.gov/docs/fy08osti/43156.pdf>

¹² DWD Service: https://www.dwd.de/DE/leistungen/rcccm/int/rcccm_int_cfc.html

Mittelwert 2023: https://www.dwd.de/DWD/klima/rcccm/int/rcc_eude_cen_cfc_mean_2023_17.png

Langjähriges Mittel 1991-2020: https://www.dwd.de/DWD/klima/rcccm/int/zeitreihen/rcc_eude_cen_cfc_refc9120_17.png

Sonderfall Zugführer

Das Simulationsprogramm ermittelt alle Lichtstrahlen/Reflexionen die einen Immissionsort erreichen können (360°). Das Verfahren ist rechnerisch korrekt aber es kann die Realität von bestimmten Umgebungen nicht ausreichend abbilden.

Der Arbeitsplatz des Zugführers hat ein eingeschränktes Sichtfeld u.a. um während der Fahrt Störungen aus dem seitlichen Sichtbereich zu verhindern. Die folgenden Bilder zeigen den Frontbereich von gängigen Loks bzw. Triebwagentypen.



Bild 3.6.2: Fensterfront gängiger Loktypen (Quelle: Wikipedia, CC0 1.0 Lizenz, Ausschnitt bearbeitet)

Konstruktionsbedingt verfügen auch aktuelle Lokomotiven bzw. Triebwagen nur über einen eingeschränkten Sichtbereich und daher können potenzielle Reflexionen den Zugführer kaum erreichen. Die o.g. Aspekte unterstützen die gängige Einschätzung, dass der Sichtbereich für Zug- und Fahrzeugführer auf $\pm 20^\circ$ zur Fahrtrichtung als relevant festgelegt ist. Die in der Simulation berechneten Ergebnisse beziehen sich auf einen Ort im freien Raum (360° Rundumblick) und sind daher nur mit Einschränkungen verwendbar. Die folgenden Bilder zeigen beispielhaft den Führerstand gängiger Loktypen und den Sichtbereich der Zugführer.

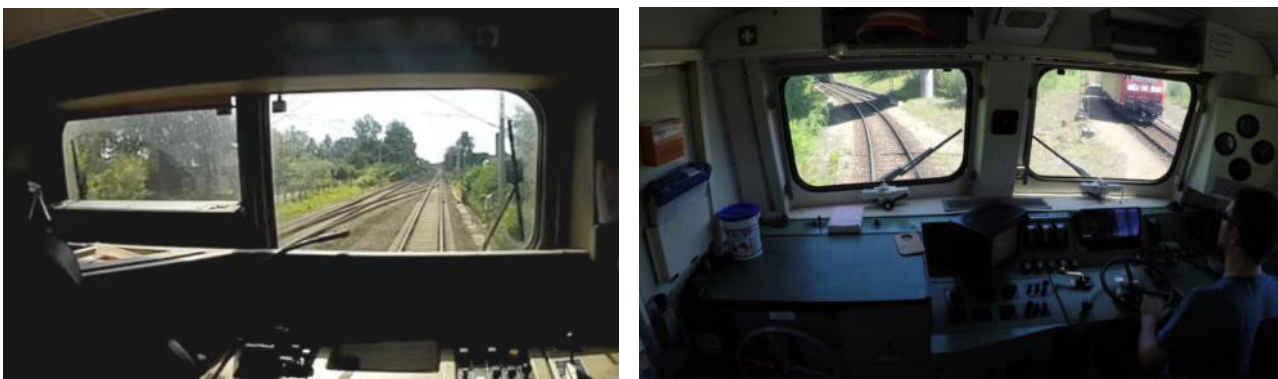


Bild 3.6.3: Blick aus dem Führerstand. Links Baureihe 143, rechts 155 (Quelle: Wikipedia, CC0 1.0 Lizenz, Ausschnitt)

Es ist im Rahmen dieser Untersuchung nicht möglich alle aktuellen bzw. auch älteren Baureihen der zum Einsatz kommenden Loktypen mit den jeweiligen Fenstergrößen, dem Sichtwinkel von Sitzplatz zu Fensteraußenkante sowie Sitzhöhe des Zugführers zu simulieren. Beispielsweise sollte die Baureihe 143 / 243 (RB) u.a. aufgrund der gestiegenen Sicherheitsanforderungen (Crash-Optimierung) bis 2021 gegen neuere Baureihen oder Triebwagen ersetzt. Aber auch bei neueren Triebwagen ist die Fensterfront im Randbereich nur unwesentlich verändert und daher sind die entsprechenden Aspekte der Simulation weiterhin anwendbar.

Flugverkehr

Neben ortsfesten Standorten werden auch potenzielle Beeinträchtigungen für den Flugverkehr untersucht sofern dies erforderlich ist. Das hierbei genutzte Verfahren entspricht den Vorgaben der Amerikanischen Luftfahrtbehörde FAA¹³ zur Analyse von Blendwirkungen bei Flughäfen. Üblicherweise wird dabei der Landeanflug näher betrachtet.

Piloten sind darauf trainiert mit Sonnenlicht aus wechselnden Richtungen und auch mit Reflexionen z. B. von Wasserüberflächen, Parkplätzen und Glasflächen umzugehen. Darüber hinaus kann sich der Pilot auf mehrere Navigationsinstrumente verlassen, wenn die Sicht aus dem Cockpitfenster gestört ist. Die Sicht aus dem Cockpit ist in der Regel durch die Konstruktion und die Instrumentierung eingeschränkt. Beim Starten und Landen ist der Blick des Piloten hauptsächlich geradeaus und auf die Instrumente gerichtet. Das kritische Sichtfeld, in dem Reflexionen stören könnte, beträgt lt. Definition der US Flugsicherheitsbehörden (FAA) $\pm 30^\circ$ zur Blickrichtung. Reflexionen außerhalb von 30° von der geraden Blickrichtung werden in der Regel als unkritisch angesehen. Der vertikale Blickwinkel nach unten beträgt aufgrund der Konstruktion und Ausstattung des Cockpits in der Regel weniger als 10° .

Es gibt bereits Solarthermie-Anlagen an zahlreichen internationalen Flughäfen, z.B. in München, Stuttgart, Zürich, San Francisco, Oakland, Denver, Boston und Changi. Die U.S. Federal Aviation Administration (FAA) stellt in ihrem technischen Leitfaden zur Bewertung ausgewählter Solartechnologien auf Flughäfen fest:

"Solaranlagen sind derzeit auf einer Reihe von Flughäfen in Betrieb, darunter Solaranlagen im Megawattbereich, die sich über mehrere Hektar erstrecken. Projektleiter von sechs Flughäfen, auf denen Solaranlagen seit ein bis drei Jahren in Betrieb sind, wurden zu Beschwerden über Blendwirkung befragt. Von drei dieser Flughäfen wurden Fluglotsen kontaktiert und gebeten, sich zu den Auswirkungen der Blendung auf ihren täglichen Betrieb zu äußern. Bislang gab es keine ernsthaften Beschwerden von Piloten oder Fluglotsen über Blendwirkungen von bestehenden Solaranlagen auf Flughäfen."¹⁴

Der Verkehrslandeplatz Schwäbisch Hall (ICAO-Code EDTY) entspricht nicht den Kriterien für internationale Flughäfen und daher sind die Vorgaben der FAA sowie der EASA zur Analyse von potenzielle Reflexionen nicht oder nur bedingt anwendbar. Aus formellen Gründen wurden die Landeanflüge auf den Flugplatz dennoch untersucht.

¹³ US Federal Aviation Administration (FAA) guidelines for analyzing flight paths:
<https://www.gpo.gov/fdsys/pkg/FR-2013-10-23/pdf/2013-24729.pdf>

¹⁴ Dokument https://www.faa.gov/airports/environmental/policy_guidance/media/airport-solar-guide-print.pdf, Seite 41

4 Ergebnisse

Die Berechnung der potenziellen Blendwirkung der Solarthermie-Anlage Schwäbisch Hall wird für 5 exemplarisch gewählte Messpunkte (Immissionsorte) durchgeführt. Das Ergebnis ist die Anzahl von Minuten pro Jahr, in denen eine Blendwirkung der Kategorien „Minimal“ und „Gering“ auftreten kann. Die Kategorien entsprechen den Wertebereichen der Berechnungsergebnisse in Bezug auf Leuchtdichte und -dauer. Die Wertebereiche sind im Diagramm 3.6.1 auch als farbige Flächen dargestellt:

- Minimale Wahrscheinlichkeit für temporäre Nachbilder
- Geringe Wahrscheinlichkeit für temporäre Nachbilder

Die unbereinigten Ergebnisse (Rohdaten) beinhalten alle rechnerisch ermittelten Reflexionen, auch solche, die lt. Ausführungen der Richtlinie zu schutzwürdigen Zonen zu vernachlässigen sind. U.a. sind Reflexionen mit einem Differenzwinkel zwischen Sonne und Immissionsquelle von weniger als 10° zu vernachlässigen, da in solchen Konstellationen die Sonne selbst die Ursache für eine mögliche Blendwirkung darstellt. Auch Reflexionen, die zwischen 22 Uhr abends und 06 Uhr morgens auftreten (sofern möglich), sind relativiert zu bewerten bzw. zu vernachlässigen. Nach Bereinigung der Rohdaten sind die Ergebnisse üblicherweise um ca. 20 - 50% geringer und es sind nur noch Werte der Kategorie „Gelb“ vorhanden. D.h. es besteht eine geringe Wahrscheinlichkeit für temporäre Nachbilder.

In einer weiteren Betrachtung werden die örtlichen Gegebenheiten und die Einfallswinkel der Reflexionen analysiert, da dieser entscheidend für die Wahrnehmung von Reflexionen ist. Prinzipiell könnte immer eine Blendwirkung auftreten wenn direkt in die Sonne geblickt wird und daher wird dies vermieden. Aber selbst wenn es z. B. aus Unachtsamkeit zu derartigen Konstellationen kommt, verhindern natürliche Reflexe wie Augen schließen, Änderung der Blickrichtung usw. eine Beeinträchtigung durch starke Lichtquellen. Dies gilt gleichermaßen auch für Reflexionen auf PV-Modulen bzw. eher weniger, da es sich um eher diffuse Reflexionen handelt und nicht um direktes Sonnenlicht. In folgenden Abschnitt werden die rechnerisch ermittelten Ergebnisse an den jeweiligen Immissionsorten kommentiert.

Die folgende Tabelle 3 zeigt die Ergebniswerte nach Bereinigung der Rohdaten und Anmerkungen zu weiteren Einschränkungen. Die Zahlen dienen der Übersicht aus formellen Gründen und sind nur im Kontext und mit den genannten Einschränkungen zu verwenden. Diese werden im weiteren Verlauf von Abschnitt 4 für die jeweiligen Messpunkte gesondert beschrieben.

Tabelle 3: Potenzielle Blendwirkung an den jeweiligen Messpunkten [Kategorie ■, Minuten pro Jahr]

Messpunkt	PV-Feld
P1 Bahnstrecke südöstlich	-
P2 Bahnstrecke südlich	-
P3 Gebäude westlich / Raiffeisenstraße	713 ^{GWE}
P4 Gebäude östlich / Matheshörlebach	-
P5 Adolf Würth Airport Schwäbisch Hall, Tower	-
Landeanflug auf Landebahn 10	-
Landeanflug auf Landebahn 28	möglich ^D

^W Aufgrund des Einfallswinkels zu vernachlässigen

^E Aufgrund der Entfernung zur Immissionsquelle zu vernachlässigen

^G Aufgrund der Geländestruktur oder Hindernissen/Sichtschutz zu vernachlässigen

^D Aufgrund der geringen zeitlichen Dauer zu vernachlässigen

4.1 Ergebnisse am Messpunkt P1 und P2, Bahnstrecke

Am Messpunkt P1 und P2 auf der Bahnstrecke südlich sind keine Reflexionen durch die Solarthermie-Anlage nachweisbar. Eine Beeinträchtigung von Zugführern durch die Solarthermie-Anlage oder gar eine Blendwirkung kann ausgeschlossen werden. Die Sichtbarkeit von DB Signalanlagen ist nicht beeinträchtigt.

4.2 Ergebnisse am Messpunkt P3, Gebäude westlich / Raiffeisenstraße

Am Messpunkt P3 im Bereich der Kreuzung Raiffeisenstraße könnten rein rechnerisch Reflexionen an insgesamt 713 Minuten pro Jahr durch die Solarthermie-Anlage auftreten. Aufgrund der örtlichen Gegebenheiten und insbesondere aufgrund der sehr großen Entfernung von ca. 560 m - 1220 zur Immissionsquelle sind potenzielle Reflexionen allerdings nicht relevant. Eine Beeinträchtigung von Fahrzeugführern durch die Solarthermie-Anlage oder gar eine Blendwirkung kann ausgeschlossen werden. Dies gilt auch für den weiteren Verlauf der Straße und auch für die angrenzenden Gebäude.

Die folgende Skizze zeigt den Geländeverlauf zwischen Messpunkt P3 und der Fläche der Solarthermie-Anlage und verdeutlicht, dass die Solarthermie-Anlage nicht einsehbar ist.

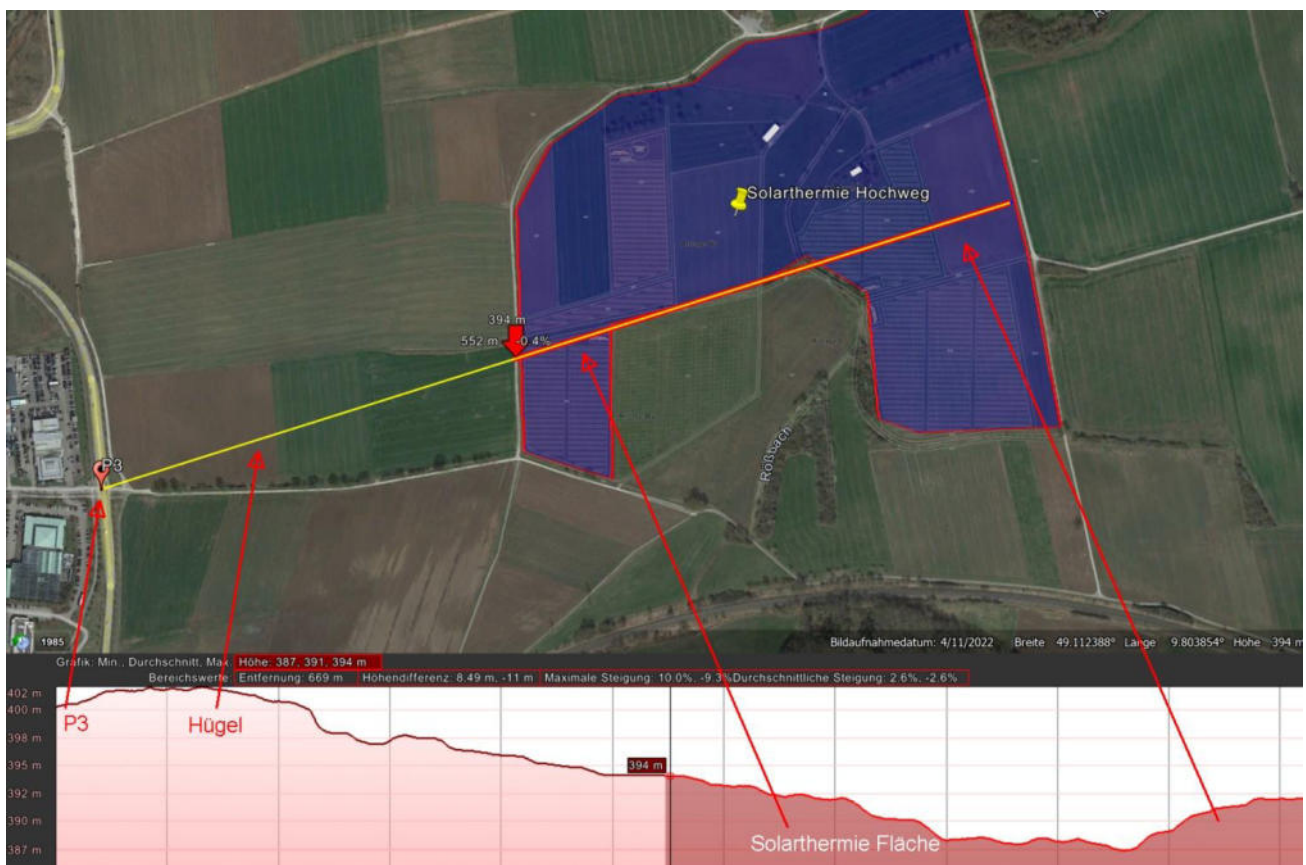


Bild 4.2.1: Geländeverlauf zwischen Messpunkt P3 und der Solarthermie-Anlage (Quelle: Google Earth / SolPEG)

Aufgrund der Bündelauflösung der diffus reflektierten Lichtstrahlen verringert sich mit zunehmender Entfernung die Leuchtdichte der Moduloberfläche. Die Solarthermie-Anlage wäre nur als dunkle Fläche wahrnehmbar - sofern überhaupt sichtbar.

Das folgende Weitwinkelfoto zeigt die Situation am Messpunkt P3 auf der Raiffeisenstraße / Einmündung aus leicht erhöhter Position (ca. 2,1 m). Rechts im Bild, nicht einsehbar in ca. 560 m Entfernung, liegt die Fläche der Solarthermie-Anlage. Eine Beeinträchtigung durch potenzielle Reflexionen kann ausgeschlossen werden.



Bild 4.2.2: Foto am Messpunkt P3 (Quelle: Google StreetView, Oktober 2022, Ausschnitt)

4.3 Ergebnisse am Messpunkt P4, Gebäude östlich

Messpunkt P4 im Bereich der Gebäude ca. 900 m östlich der Solarthermie-Anlage an der Adresse Matheshörlebach 62 wurde zu Kontrollzwecken untersucht da aufgrund des Strahlenverlaufs gemäß Reflexionsgesetz nicht mit Reflexionen durch die Solarthermie-Anlage zu rechnen ist. Erwartungsgemäß zeigt die Simulation am Messpunkt P4 keine Ergebnisse und dementsprechend kann eine Beeinträchtigung von Anwohnern und Mitarbeitern durch die Solarthermie-Anlage bzw. eine „erhebliche Belästigung“ im Sinne der LAI Lichtleitlinie ausgeschlossen werden. Dies gilt gleichermaßen auch für die Nachbargebäude.

Aber auch aufgrund der sehr großen Entfernung von über 900 m zur Immissionsquelle sind potenzielle Reflexionen im Bereich von Messpunkt P4 nicht relevant – sofern diese überhaupt sichtbar sind.

4.4 Ergebnisse am Messpunkt P5, Verkehrslandeplatz Schwäbisch Hall (Tower)

Am Messpunkt P5 im Bereich des Schwäbisch Hall Airport Tower sind keine Reflexionen durch die Solarthermie-Anlage nachweisbar. Eine Beeinträchtigung von Flugleitern und auch Fluglotsen durch die Solarthermie-Anlage kann ausgeschlossen werden.

Die folgende Skizze zeigt den Geländeverlauf zwischen Messpunkt P5 und der Fläche der Solarthermie-Anlage und verdeutlicht, dass kein direkter Sichtkontakt zur Fläche der Solarthermie-Anlage besteht.

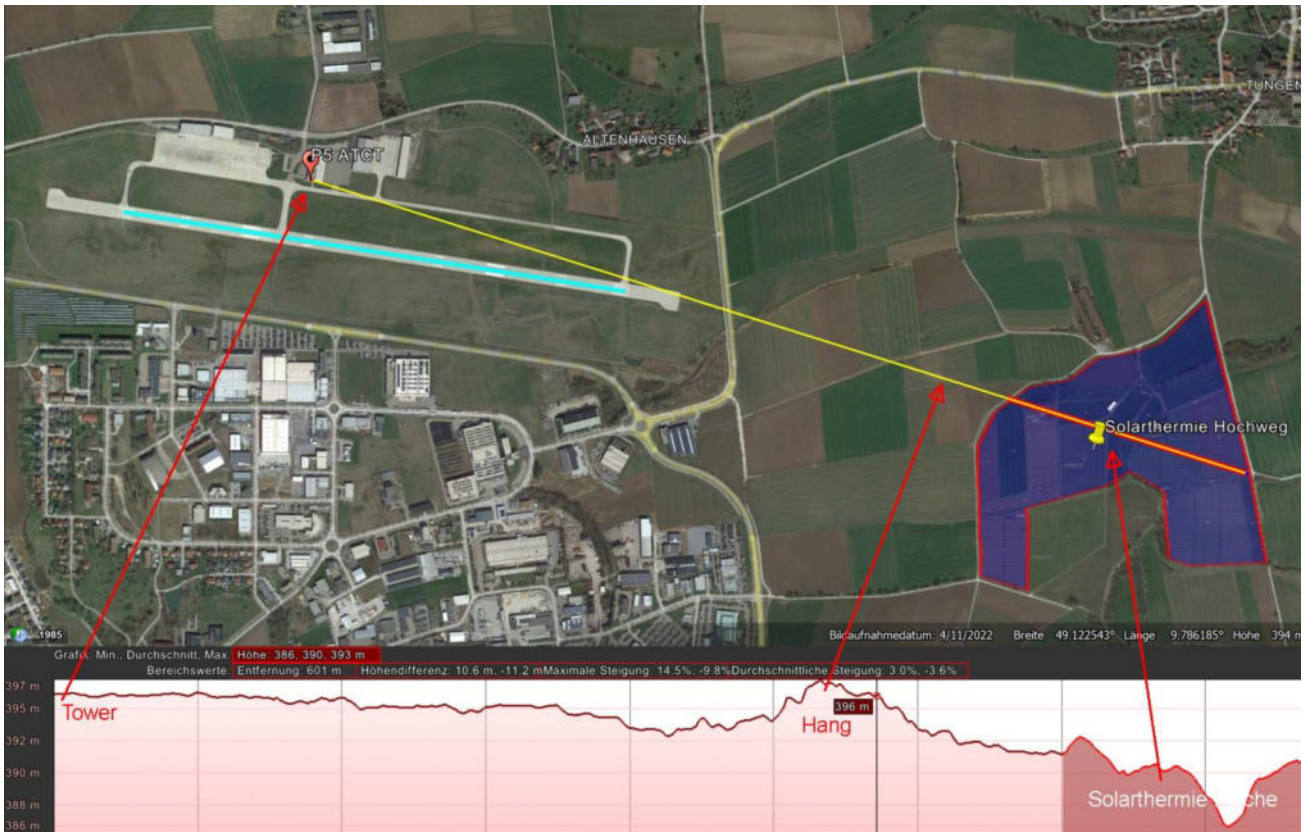


Bild 4.4.1: Geländeverlauf zwischen Messpunkt P5 und der Solarthermie-Anlage (Quelle: Google Earth/SolPEG)

Aufgrund der sehr großen Entfernung von über 1,7 km zur Immissionsquelle sind potenzielle Reflexionen nicht relevant. Aufgrund der Geländestruktur ist eine direkte Sichtverbindung allerdings ohnehin nicht vorhanden.

4.5 Verkehrslandeplatz Schwäbisch Hall

Neben ortsfesten Standorten werden auch potenzielle Beeinträchtigungen für den Flugverkehr untersucht sofern dies erforderlich ist. Der Verkehrslandeplatz Schwäbisch Hall (ICAO-Code EDTY) ist ein Sonderlandeplatz, der für Luftfahrzeuge bis 14t Höchstabfluggewicht (MTOM) zugelassen ist. Die Start/Landebahn (SLB) verläuft in Richtung Ost-West (10/28).

Bei der Berechnung einer potenziellen Blendwirkung wird gemäß Vorgaben der Amerikanischen Luftfahrtbehörde FAA¹⁵ eine Flugbahn von ca. 3,2 km Länge zwischen "2 mile point" (ca. 190 m Höhe über Boden) bis "threshold" (15 m Höhe) mit einem Winkel von 3° analysiert. Die Flugrichtung entspricht dabei der Ausrichtung der jeweiligen SLB. Der untersuchte Blickwinkel des Piloten wird auf 30° vertikal und 120° Azimut (im Verlauf der Flugrichtung) beschränkt. Es handelt sich hier um offizielle Vorgaben der FAA die bei einem Sonderlandeplatz leicht eingeschränkt zur Anwendung kommen.

Die folgende Skizze zeigt den Verlauf der SLB (blau) und den jeweiligen 2-mile Start- und Landeflug (rot).



Bild 4.5.1: Flugplatz Verkehrslandeplatz Schwäbisch Hall und Umgebung (Quelle: Google Earth / SolPEG)

Die Skizze zeigt, dass im Umfeld des Flugplatzes diverse PV-Anlagen mit unterschiedlichen Neigungen und Ausrichtungen vorhanden sind. Relevante Beeinträchtigungen durch bestehende PV-Anlagen sind nicht bekannt bzw. nicht dokumentiert. Es ist davon auszugehen, dass auch durch die hier betrachtete Solarthermie-Anlage keine Beeinträchtigung für den Flugverkehr darstellt.

Lt. Simulationsergebnis sind beim Landeanflug aus Westen keine Reflexionen durch die Solarthermie-Anlage nachweisbar. Bei einem Landeanflug aus Osten auf die Landebahn 28 können in bestimmten Konstellationen abends in geringem Umfang Reflexionen aus westlicher Richtung (Sonnenuntergang) auftreten. Generell vermeiden Piloten aus Sicherheitsgründen Starts und Landeanflüge gegen die Sonne durchzuführen und daher sind Landeanflüge aus Osten sind in den betreffenden Zeiten - auch ohne eine vorhandene PV-Anlage - eher unwahrscheinlich bzw. aufgrund von Wetterbedingungen unkritisch.

¹⁵ US Federal Aviation Administration (FAA) guidelines for analyzing flight paths:
<https://www.gpo.gov/fdsys/pkg/FR-2013-10-23/pdf/2013-24729.pdf>

Die Folgenden Fotos zeigen beispielhaft den Landeanflug aus Osten auf die Landebahn 28 und verdeutlichen den Umstand, dass die Solarthermie-Anlage teilweise im Gelände sichtbar ist aber gefährdende Reflexionen können – insbesondere in der letzte Phase des Landeanfluges – mit hinreichender Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden.

Blick aus dem Cockpit einer Cessna Richtung Westen, ca. 1,2 Meilen vor der Landung.



Bild 4.5.2: Landeanflug auf Landebahn 28, ca. 1,2 Meilen vor der Landung (Quelle: Youtube Video, Ausschnitt, bearbeitet)

Blick aus dem Cockpit einer Cessna Richtung Westen, ca. 1 Meile vor der Landung. Auf der letzten Meile ist die Solarthermie-Anlage nicht mehr sichtbar „unter“ dem Flugzeug.



Bild 4.5.3: Landeanflug auf Landebahn 28, ca. 1 Meile vor der Landung (Quelle: Youtube Video, Ausschnitt, bearbeitet)

5 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die potenzielle Blendwirkung der hier betrachteten Solarthermie-Anlage Schwäbisch Hall kann als „geringfügig“ klassifiziert¹⁶ werden. Im Vergleich zur Blendwirkung durch direktes Sonnenlicht oder durch Spiegelungen von Windschutzscheiben, Wasserflächen, Gewächshäusern o.ä. ist diese „vernachlässigbar“. Unter Berücksichtigung von weiteren Einflussfaktoren wie z.B. Geländestruktur, lokalen Wetterbedingungen (Frühnebel, etc.) kann die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Reflexion durch die Solarthermie-Anlage als gering eingestuft werden.

Die hier betrachtete Anlage wird mit Röhrenkollektoren realisiert, die zwar eine spiegelnde Glasoberfläche besitzen aber aufgrund der Krümmung wird nur ein Bruchteil der Sonnenstrahlen punktuell reflektiert. Das Simulationsprogramm kann diese Bauart nur unzureichend simulieren, daher wurden einzelne Parameter entsprechen angepasst.

Aufgrund der Neigung und Ausrichtung der Solarkollektoren sind auf der Bahnstrecke Crailsheim–Heilbronn Richtung keine Reflexionen durch die Solarthermie-Anlage nachweisbar. Eine Beeinträchtigung von Zugführern durch die Solarthermie-Anlage oder gar eine Blendwirkung kann ausgeschlossen werden. Die Sichtbarkeit von ggf. vorhandenen DB Signalanlagen ist nicht beeinträchtigt.

Für Fahrzeugführer auf der westlich verlaufenden Raiffeisenstraße besteht aufgrund der Geländestruktur kein direkter Sichtkontakt zur Solarthermie-Anlage und daher kann eine Beeinträchtigung von Fahrzeugführern durch die Solarthermie-Anlage oder gar eine Blendwirkung ausgeschlossen werden. Auch im Bereich der Gebäude der östlich gelegenen Ortschaft Matheshörlebach sind keine Reflexionen durch die Solarthermie-Anlage nachweisbar. Eine Beeinträchtigung von Anwohnern durch die Solarthermie-Anlage bzw. eine „erhebliche Belästigung“ im Sinne der LAI Lichtleitlinie kann ausgeschlossen werden. Die Analyse der potenziellen Blendwirkung für den Flugverkehr im Bereich des Verkehrslandeplatzes Schwäbisch Hall / Adolf Würth Airport wurde gemäß Vorgaben der Amerikanischen Luftfahrtbehörde FAA durchgeführt. Lt. Simulationsergebnis sind im Bereich des Towers und bei den Landeanflügen aus Westen keine Reflexionen durch die Solarthermie-Anlage nachweisbar. Bei Landeanflügen aus Osten auf die Landebahn 28 können in bestimmten Konstellationen in geringen Umfang Reflexionen auftreten. Aufgrund der Einfallswinkel sind diese insbesondere auf der letzten Meile nicht relevant, die Solarthermie-Anlage befindet sich nicht sichtbar „unter“ dem Flugzeug.

Eine Beeinträchtigung oder Gefährdung des Flugverkehrs durch die Solarthermie-Anlage kann mit hinreichender Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden.

Details zu den Ergebnissen an den jeweiligen Messpunkten finden sich in Abschnitt 4. Generell ist davon auszugehen, dass die theoretisch berechneten Reflexionen in der Praxis keine relevante Blendwirkung entwickeln werden.

Aus Immissionsschutzrechtlicher Sicht bestehen keine Einwände gegen das Bauvorhaben.

6 Schlussbemerkung

Die hier dargestellten Untersuchungen, Sachverhalte und Einschätzungen wurden nach bestem Wissen und Gewissen und anhand von vorgelegten Informationen, eigenen Untersuchungen und weiterführenden Recherchen angefertigt. Eine Haftung für etwaige Schäden, die aus diesen Ausführungen bzw. weiteren Maßnahmen erfolgen, kann nicht übernommen werden.

Hamburg, den 13.06.2024


Dieko Jacobi / SolPEG GmbH

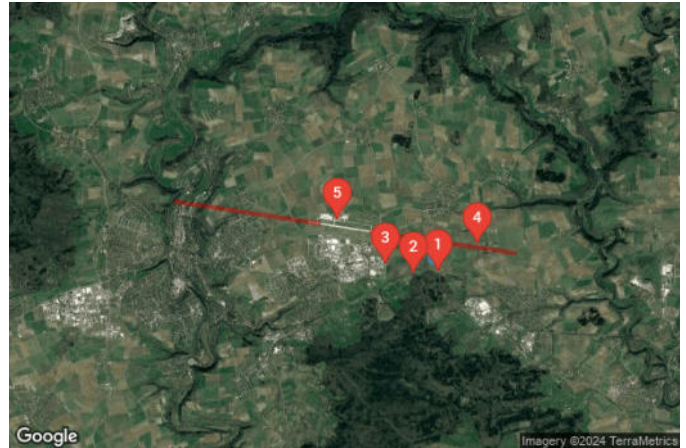
¹⁶Die Klassifizierung entspricht den Wertebereichen der Simulationsergebnisse

Schwaebisch Hall

Solarthermie Hochweg

Created Jun 13, 2024
Updated Jun 13, 2024
Time-step 1 minute
Timezone offset UTC2
Minimum sun altitude 8.0 deg
Site ID 121644.19874

Project type Advanced
Project status: active
Category 1 MW to 5 MW



Misc. Analysis Settings

DNI: varies (1,000.0 W/m² peak)
 Ocular transmission coefficient: **0.5**
 Pupil diameter: **0.002 m**
 Eye focal length: **0.017 m**
 Sun subtended angle: **9.3 mrad**

PV Analysis Methodology: **Version 2**
 Enhanced subtended angle calculation: **On**

Summary of Results Glare with potential for temporary after-image predicted

PV Name	Tilt	Orientation	"Green" Glare	"Yellow" Glare	Energy Produced
	deg	deg	min	min	kWh
Solarthermie Hochweg	30.0	180.0	31,063	3,320	-

Component Data

PV Array(s)

Total PV footprint area: 247,371 m²

Name: Solarthermie Hochweg
Footprint area: 247,371 m²
Axis tracking: Fixed (no rotation)
Tilt: 30.0 deg
Orientation: 180.0 deg
Rated power: -
Panel material: Light textured glass with AR coating
Vary reflectivity with sun position? Yes
Correlate slope error with surface type? Yes
Slope error: 9.16 mrad



Vertex	Latitude deg	Longitude deg	Ground elevation m	Height above ground m	Total elevation m
1	49.111265	9.804074	393.14	2.00	395.14
2	49.114130	9.803945	395.73	2.00	397.73
3	49.114861	9.804417	393.22	2.00	395.22
4	49.115436	9.805769	390.51	2.00	392.51
5	49.115535	9.807099	389.58	2.00	391.58
6	49.116040	9.807936	389.86	2.00	391.86
7	49.116251	9.809824	389.70	2.00	391.70
8	49.117220	9.811369	389.15	2.00	391.15
9	49.113344	9.812936	390.87	2.00	392.87
10	49.111630	9.813343	388.74	2.00	390.74
11	49.111490	9.810811	387.33	2.00	389.33
12	49.111729	9.810275	387.62	2.00	389.62
13	49.113203	9.810060	388.92	2.00	390.92
14	49.113667	9.808945	387.13	2.00	389.13
15	49.113302	9.808236	388.51	2.00	390.51
16	49.112908	9.805576	391.56	2.00	393.56
17	49.110998	9.805554	391.02	2.00	393.02

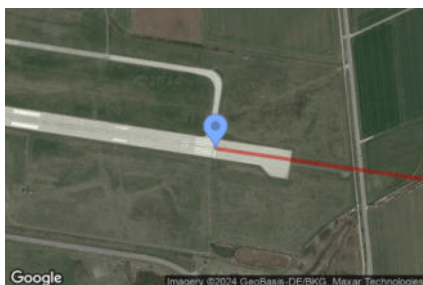
2-Mile Flight Path Receptor(s)

Name: LB 10
Description:
Threshold height : 15 m
Direction: 98.6 deg
Glide slope: 3.0 deg
Pilot view restricted? Yes
Vertical view restriction: 30.0 deg
Azimuthal view restriction: 50.0 deg



Point	Latitude deg	Longitude deg	Ground elevation m	Height above ground m	Total elevation m
Threshold	49.119220	9.776054	398.65	15.24	413.89
2-mile point	49.123563	9.732328	321.84	260.74	582.57

Name: LB 28
Description:
Threshold height : 15 m
Direction: 278.4 deg
Glide slope: 3.0 deg
Pilot view restricted? Yes
Vertical view restriction: 30.0 deg
Azimuthal view restriction: 50.0 deg



Point	Latitude deg	Longitude deg	Ground elevation m	Height above ground m	Total elevation m
Threshold	49.117484	9.792340	395.36	15.24	410.60
2-mile point	49.113265	9.836093	393.39	185.90	579.28

Discrete Observation Receptors

Number	Latitude	Longitude	Ground elevation	Height above ground	Total Elevation
	deg	deg	m	m	m
OP 1	49.109639	9.812968	392.78	2.50	395.28
OP 2	49.109134	9.805340	395.15	2.50	397.65
OP 3	49.110883	9.796622	400.28	2.00	402.28
OP 4	49.115049	9.824978	387.45	2.00	389.45
OP 5	49.119913	9.781847	396.13	8.00	404.13

Summary of PV Glare Analysis

PV configuration and total predicted glare

PV Name	Tilt	Orientation	"Green" Glare	"Yellow" Glare	Energy Produced	Data File
	deg	deg	min	min	kWh	
Solarthermie Hochweg	30.0	180.0	31,063	3,320	-	

Distinct glare per month

Excludes overlapping glare from PV array for multiple receptors at matching time(s)

PV	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
solarthermie (green)	0	686	2661	3491	5125	4849	5059	4299	2884	1251	21	0
solarthermie (yellow)	0	0	77	1263	186	216	210	947	403	18	0	0

PV & Receptor Analysis Results

Results for each PV array and receptor

Solarthermie Hochweg potential temporary after-image

Component	Green glare (min)	Yellow glare (min)
FP: LB 10	0	0
FP: LB 28	26984	2607
OP: OP 1	1867	0
OP: OP 2	378	0
OP: OP 3	1345	713
OP: OP 4	489	0
OP: OP 5	0	0

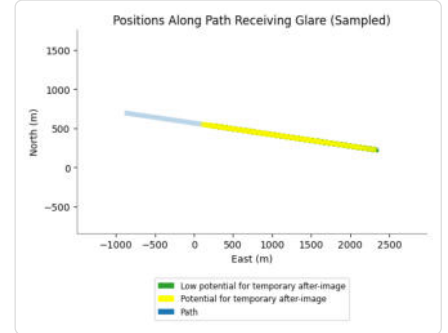
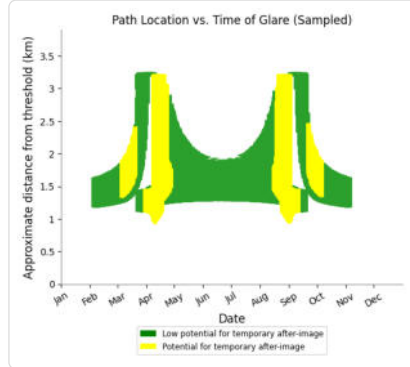
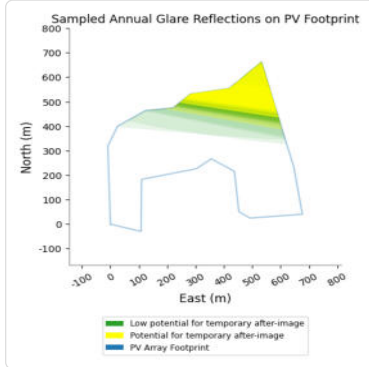
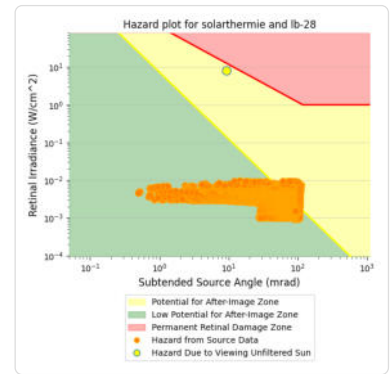
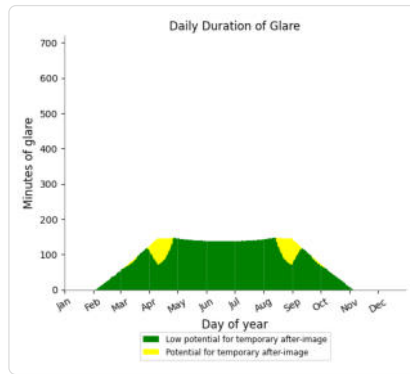
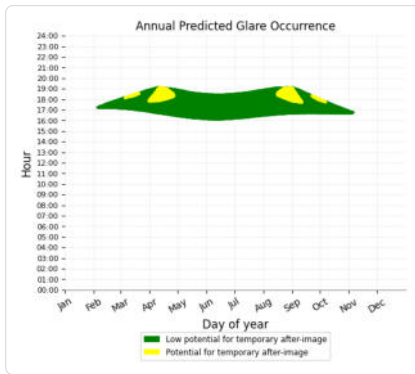
Solarthermie Hochweg: LB 10

No glare found

Solarthermie Hochweg: LB 28

PV array is expected to produce the following glare for this receptor:

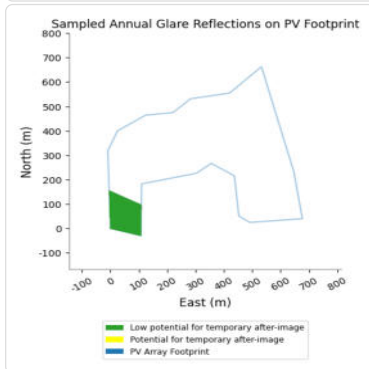
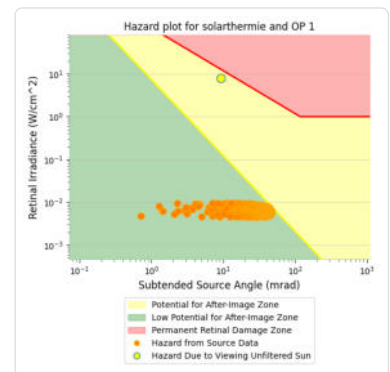
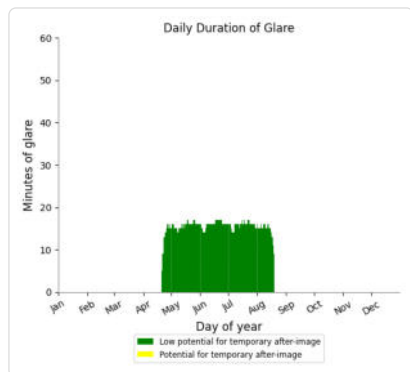
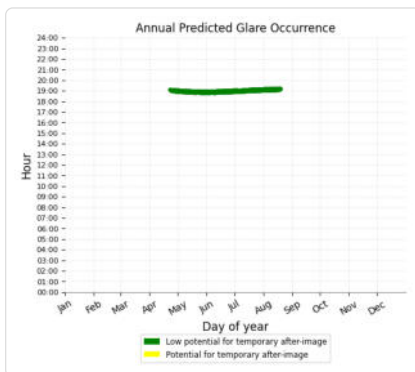
- 26,984 minutes of "green" glare with low potential to cause temporary after-image.
- 2,607 minutes of "yellow" glare with potential to cause temporary after-image.



Solarthermie Hochweg: OP 1

PV array is expected to produce the following glare for this receptor:

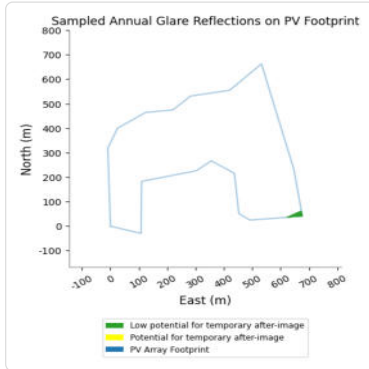
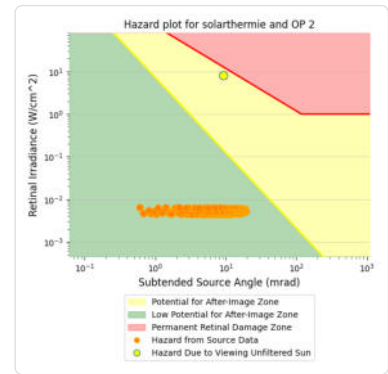
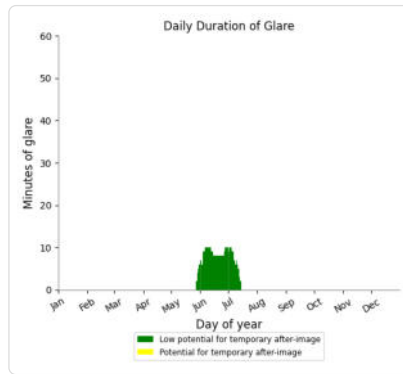
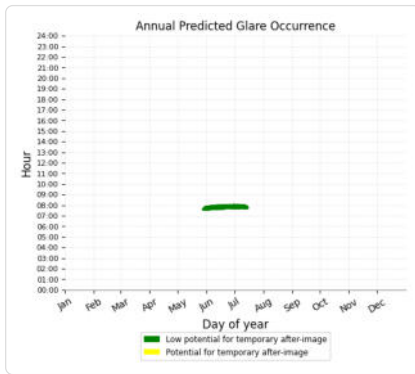
- 1,867 minutes of "green" glare with low potential to cause temporary after-image.
- 0 minutes of "yellow" glare with potential to cause temporary after-image.



Solarthermie Hochweg: OP 2

PV array is expected to produce the following glare for this receptor:

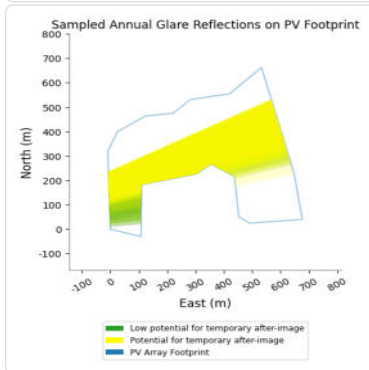
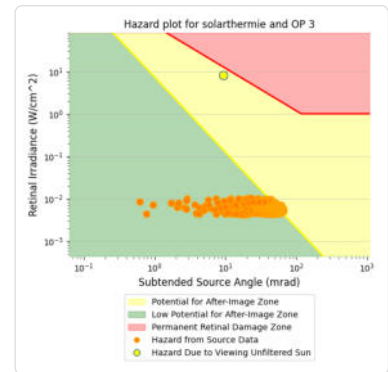
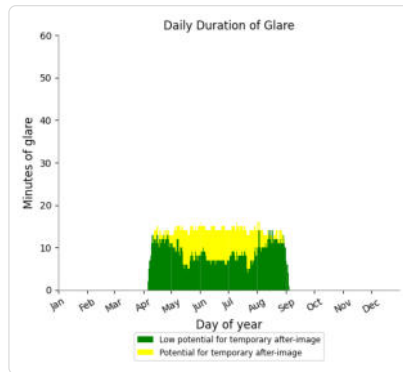
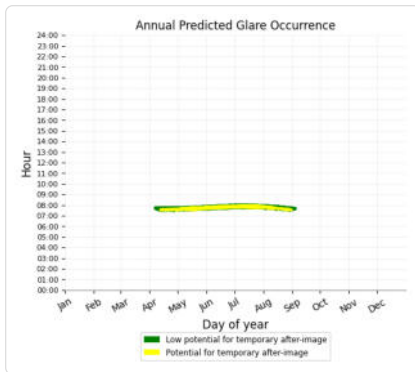
- 378 minutes of "green" glare with low potential to cause temporary after-image.
- 0 minutes of "yellow" glare with potential to cause temporary after-image.



Solarthermie Hochweg: OP 3

PV array is expected to produce the following glare for this receptor:

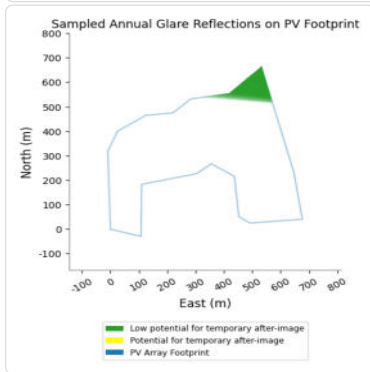
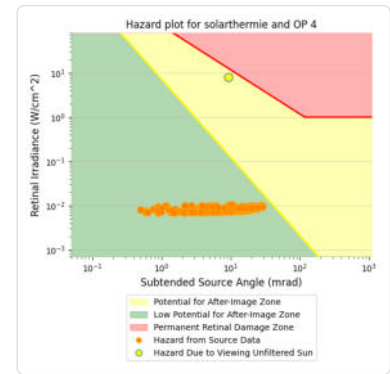
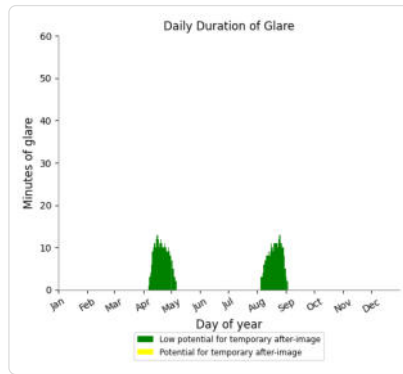
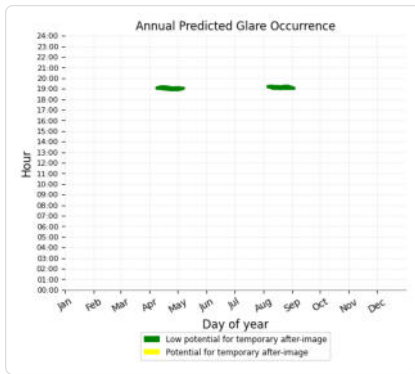
- 1,345 minutes of "green" glare with low potential to cause temporary after-image.
- 713 minutes of "yellow" glare with potential to cause temporary after-image.



Solarthermie Hochweg: OP 4

PV array is expected to produce the following glare for this receptor:

- 489 minutes of "green" glare with low potential to cause temporary after-image.
- 0 minutes of "yellow" glare with potential to cause temporary after-image.



Solarthermie Hochweg: OP 5

No glare found

Assumptions

- Times associated with glare are denoted in Standard time. For Daylight Savings, add one hour.
- Glare analyses do not automatically account for physical obstructions between reflectors and receptors. This includes buildings, tree cover and geographic obstructions.
- Detailed system geometry is not rigorously simulated.
- The glare hazard determination relies on several approximations including observer eye characteristics, angle of view, and typical blink response time. Actual values and results may vary.
- The system output calculation is a DNI-based approximation that assumes clear, sunny skies year-round. It should not be used in place of more rigorous modeling methods.
- Several V1 calculations utilize the PV array centroid, rather than the actual glare spot location, due to algorithm limitations. This may affect results for large PV footprints. Additional analyses of array sub-sections can provide additional information on expected glare.
- The subtended source angle (glare spot size) is constrained by the PV array footprint size. Partitioning large arrays into smaller sections will reduce the maximum potential subtended angle, potentially impacting results if actual glare spots are larger than the sub-array size. Additional analyses of the combined area of adjacent sub-arrays can provide more information on potential glare hazards. (See previous point on related limitations.)
- Hazard zone boundaries shown in the Glare Hazard plot are an approximation and visual aid. Actual ocular impact outcomes encompass a continuous, not discrete, spectrum.
- Glare locations displayed on receptor plots are approximate. Actual glare-spot locations may differ.
- Refer to the **Help page** for detailed assumptions and limitations not listed here.

	Cornel Irradiance	DNI (W/m²)	Ocular Hazard #	Reflectivity	Retinal Irradiance	Subtended Glare Angle	Sun Altitude	Sun Azimuth	Sun Position	Sun Position	Sun Position	Reflected Sun Vector	Reflected Sun Vector	Reflected Sun Vector	Anzahl Tag	Minuten	Anfang	Ende	Zeitraum Start	Zeitraum Ende	pro Tag	Minuten im Zeitraum	Erste Zeit	Letzte Zeit	Messpunkt lb-28
2024-02-04 17:16:00	0,002118	698,7879	1	0,045103	0,001535	0,093016	8,1	232,6	-0,787	-0,601	0,14	0,787	0,179	0,59	4. Mrz.	1	18:10	18:10	10. März	17. März	6	43	18:17	18:33	
2024-02-05 17:16:00	0,002099	703,1607	1	0,044447	0,001522	0,092953	8,3	232,8	-0,788	-0,598	0,144	0,788	0,174	0,59	5. Mrz.	2	18:11	18:12	31. März	25. April	75	1233	17:52	19:09	
2024-02-05 17:17:00	0,002131	700,6169	1	0,045365	0,001548	0,092848	8,2	233	-0,791	-0,596	0,142	0,791	0,175	0,587	6. Mrz.	2	18:13	18:14	15. August	10. September	74	1237	17:44	19:08	
2024-02-05 17:18:00	0,002164	698,0641	1	0,046303	0,001574	0,092742	8	233,2	-0,793	-0,593	0,14	0,793	0,175	0,584	7. Mrz.	3	18:14	18:16	24. September	01. Oktober	6	43	17:54	18:15	
2024-02-06 17:15:00	0,002046	709,9152	1	0,042903	0,001483	0,092991	8,7	232,8	-0,787	-0,598	0,151	0,787	0,168	0,594	8. Mrz.	3	18:16	18:18							
2024-02-06 17:16:00	0,002078	707,4133	1	0,043791	0,001508	0,092887	8,5	233	-0,789	-0,596	0,149	0,789	0,169	0,59	9. Mrz.	4	18:16	18:19							
2024-02-06 17:17:00	0,002111	704,9025	1	0,044698	0,001534	0,092782	8,4	233,2	-0,792	-0,593	0,146	0,792	0,17	0,587	10. Mrz.	5	18:17	18:21							
2024-02-06 17:18:00	0,002144	702,3828	1	0,045625	0,001556	0,092675	8,3	233,4	-0,794	-0,59	0,144	0,794	0,17	0,583	11. Mrz.	5	18:19	18:23							
2024-02-06 17:19:00	0,002177	699,8543	1	0,046573	0,001587	0,092568	8,2	233,6	-0,796	-0,588	0,142	0,796	0,171	0,58	12. Mrz.	6	18:19	18:24							
2024-02-06 17:20:00	0,002211	697,317	1	0,047542	0,001614	0,092459	8	233,8	-0,799	-0,585	0,14	0,799	0,172	0,577	13. Mrz.	6	18:21	18:26							
2024-02-07 17:15:00	0,00202	712,0973	1	0,04226	0,001465	0,09292	8,9	232,9	-0,788	-0,596	0,155	0,788	0,163	0,593	14. Mrz.	6	18:23	18:28							
2024-02-07 17:16:00	0,002052	709,612	1	0,043137	0,00149	0,092816	8,8	233,1	-0,791	-0,593	0,153	0,791	0,164	0,59	15. Mrz.	5	18:26	18:30							
2024-02-07 17:17:00	0,002084	707,1178	1	0,044033	0,001516	0,092711	8,7	233,3	-0,793	-0,59	0,151	0,793	0,165	0,587	16. Mrz.	5	18:27	18:31							
2024-02-07 17:18:00	0,002117	704,6148	1	0,044949	0,001542	0,092605	8,5	233,5	-0,795	-0,588	0,148	0,795	0,165	0,583	17. Mrz.	5	18:29	18:33							
2024-02-07 17:19:00	0,00215	702,1031	1	0,045885	0,001569	0,092497	8,4	233,7	-0,798	-0,585	0,146	0,798	0,166	0,58	18. Mrz.	4	18:32	18:35							
2024-02-07 17:20:00	0,002184	699,5825	1	0,046842	0,001596	0,092388	8,3	233,9	-0,8	-0,583	0,144	0,8	0,167	0,576	19. Mrz.	3	18:34	18:36							
2024-02-07 17:21:00	0,002218	697,0532	1	0,04782	0,001623	0,092278	8,1	234,1	-0,802	-0,58	0,142	0,802	0,167	0,573	30. Mrz.	3	17:52	17:54							
2024-02-07 17:22:00	0,002252	694,5153	1	0,04882	0,001651	0,092166	8	234,3	-0,805	-0,577	0,139	0,805	0,168	0,57	31. Mrz.	9	17:53	18:01							
2024-02-08 17:15:00	0,001998	716,1265	1	0,041619	0,001451	0,092846	9,2	233,1	-0,789	-0,593	0,16	0,789	0,158	0,593	1. Apr.	16	17:52	18:07							
2024-02-08 17:16:00	0,00203	713,6731	1	0,042484	0,001476	0,092742	9	233,3	-0,792	-0,59	0,157	0,792	0,159	0,59	2. Apr.	23	17:52	18:14							
2024-02-08 17:17:00	0,002062	711,2108	1	0,04337	0,001502	0,092637	8,9	233,5	-0,794	-0,588	0,155	0,794	0,16	0,586	3. Apr.	29	17:53	18:21							
2024-02-08 17:18:00	0,002095	708,7399	1	0,044274	0,001528	0,09253	8,8	233,7	-0,796	-0,585	0,153	0,796	0,16	0,583	4. Apr.	36	17:52	18:27							
2024-02-08 17:19:00	0,002128	706,2602	1	0,045199	0,001554	0,092422	8,7	233,9	-0,799	-0,582	0,15	0,799	0,161	0,58	5. Apr.	42	17:53	18:34							
2024-02-08 17:20:00	0,002164	703,7718	1	0,046144	0,001581	0,092313	8,5	234,1	-0,801	-0,58	0,148	0,801	0,162	0,576	6. Apr.	49	17:53	18:41							
2024-02-08 17:21:00	0,002196	701,2748	1	0,04711	0,001609	0,092203	8,4	234,3	-0,803	-0,577	0,146	0,803	0,162	0,573	7. Apr.	55	17:53	18:47							
2024-02-08 17:22:00	0,00223	698,7691	1	0,048098	0,001636	0,092091	8,3	234,5	-0,806	-0,574	0,144	0,806	0,163	0,569	8. Apr.	63	17:53	18:55							
2024-02-08 17:23:00	0,002266	696,2548	1	0,049108	0,001665	0,091978	8,1	234,7	-0,808	-0,572	0,141	0,808	0,164	0,566	9. Apr.	69	17:54	19:02							
2024-02-09 17:15:00	0,001971	718,1815	1	0,04098	0,001433	0,092767	9,4	233,3	-0,79	-0,59	0,164	0,79	0,153	0,593	10. Apr.	75	17:55	19:09							
2024-02-09 17:16:00	0,002003	715,7441	1	0,041835	0,001458	0,092663	9,3	233,5	-0,793	-0,588	0,162	0,793	0,154	0,59	11. Apr.	73	17:56	19:07							
2024-02-09 17:17:00	0,002035	713,2979	1	0,042709	0,001483	0,092558	9,2	233,7	-0,795	-0,585	0,159	0,795	0,154	0,586	12. Apr.	71	17:57	19:08							
2024-02-09 17:18:00	0,002067	710,8429	1	0,043602	0,001509	0,092451	9	233,9	-0,798	-0,582	0,157	0,798	0,155	0,583	13. Apr.	69	17:59	19:07							
2024-02-09 17:19:00	0,0021	708,3793	1	0,044515	0,001535	0,092343	8,9	234,1	-0,8	-0,58	0,155	0,8	0,156	0,579	14. Apr.	67	18:00	19:06							
2024-02-09 17:20:00	0,002133	705,9071	1	0,045449	0,001562	0,092234	8,8	234,3	-0,802	-0,577	0,153	0,802	0,156	0,576	15. Apr.	64	18:01	19:04							
2024-02-09 17:21:00	0,002167	703,4262	1	0,046403	0,001589	0,092123	8,6	234,5	-0,805	-0,574	0,15	0,805	0,157	0,573	16. Apr.	61	18:03	19:03							
2024-02-09 17:22:00	0,002201	700,9367	1	0,047378	0,001617	0,092011	8,5	234,7	-0,807	-0,572	0,148	0,807	0,158	0,569	17. Apr.	59	18:04	19:02							
2024-02-09 17:23:00	0,002236	698,4386	1	0,048376	0,001645	0,091898	8,4	234,9	-0,809	-0,569	0,146	0,809	0,158	0,566	18. Apr.	56	18:06	19:01							
2024-02-09 17:24:00	0,002272	695,932	1	0,049395	0,001674	0,091783	8,2	235,1	-0,812	-0,566	0,143	0,812	0,159	0,562	19. Apr.	53	18:06	18:58							
2024-02-09 17:25:00	0,002308	693,4169	1	0,050437	0,001703	0,091667	8,1	235,3	-0,814	-0,564	0,141	0,814	0,16	0,559	20. Apr.	47	18:08	18:54							
2024-02-10 17:15:00	0,001949	722,0291	1	0,040344	0,001418	0,092684	9,7	233,4	-0,792	-0,587	0,168	0,792	0,148	0,593	21. Apr.	41	18:10	18:50							
2024-02-10 17:16:00	0,00198	719,6225	1	0,041188	0,001443	0,09258	9,6	233,6	-0,794	-0,585	0,166	0,794	0,148	0,589	22. Apr.	35	18:12	18:46							
2024-02-10 17:17:00	0,002012	717,2072	1	0,042051	0,001468	0,092474	9,4	233,8	-0,796	-0,582	0,164	0,796	0,149	0,586	23. Apr.	30	18:13	18:42							
2024-02-10 17:18:00	0,002044	714,7832	1	0,042933	0,001494	0,092367	9,3	234	-0,799	-0,579	0,162	0,799	0,15	0,583	24. Apr.	24	18:15	18:38							
2024-02-10 17:19:00	0,002077	712,3506	1	0,043834	0,00152	0,092259	9,2	234,2	-0,801	-0,577	0,159	0,801	0,15	0,579	25. Apr.	17	18:17	18:33							
2024-02-10 17:20:00	0,00211	709,9094	1	0,044756	0,001547	0,092149	9	234,4	-0,804	-0,574	0,157	0,804	0,151	0,576	26. Apr.	4	18:22	18:25							
2024-02-10 17:21:00	0,002144	707,4597	1	0,045699	0,001574	0,092039	8,9	234,7	-0,806	-0,572	0,155	0,806	0,152	0,572	15. Aug.	12	18:26	18:37							
2024-02-10 17:22:00	0,002178	705,0014	1	0,046662	0,001602	0,091927	8,8	234,9	-0,808	-0,569	0,152	0,808	0,152	0,569	16. Aug.	20	18:23	18:42							
2024-02-10 17:23:00	0,002213	702,5347	1	0,047647	0,00163	0,091813	8,6	235,1	-0,81	-0,566	0,15	0,81	0,153	0,565	17. Aug.	27	18:21	18:47							
2024-02-10 17:24:00	0,002248	700,0594	1	0,048653	0,001658	0,091698	8,5	235,3	-0,813	-0,564	0,148	0,813	0,154	0,562	18. Aug.	33	18:18	18:50							
2024-02-10 17:25:00	0,002284	697,5758	1	0,049682	0,001687	0,091582	8,4	235,5	-0,815	-0,561	0,145	0,815	0,154	0,558	19. Aug.	38	18:16	18:53							

Potentielle Reflexionen am Messpunkt lb-28:
2556 Minuten pro Jahr (Summe gesamt)
1275 Minuten im Juni-September mit Sichtschutz durch Blattwerk
1281 Minuten im Oktober-Mai ohne Sichtschutz durch Blattwerk
75 Minuten pro Tag (Max)

Parameter für Daten Bereinigung (Datensatz mit 29592 Einträgen /-26984):
1.: Zeitraum ab 05:40 Uhr bis Sonnenuntergang
2.: Sonnenstand über Horizont ist min. 8° (Standard: min. 10°)
3.: Dauer der Reflexion ist min. 5 Minuten pro Tag (Standard: min. 5 Minuten)

