

Blendanalyse

Photovoltaikanlagen Neubau Helimaintenance Rega Kägiswil

**Projektverfasser:**

Plan-E AG
Nathanael Zweifel
Luzernerstrasse 131
6014 Luzern

Telefon 041 521 10 28
Mail nathanael.zweifel@plan-e.ch
Web www.plan-e.ch

Dokumentverfasser:

Nathanael Zweifel
Datum: 07.11.2025
Rev.: 10.07.2026

Inhaltsverzeichnis

1	Zweck und Gegenstand des Gutachtens	3
1.1	Umfang	3
1.2	Berechnungsverfahren	5
1.3	Situation Reflexion	6
1.4	Situation Beobachtung	7
2	Resultate	9
2.1	Vertiefte Analyse	10
3	Interpretation der Resultate	15
3.1	Empfehlung	16
4	Anhang.....	18
4.1	Abbildungsverzeichnis	18
4.2	Dokumente.....	18
5	Anhang.....	19
5.1	„Leitfaden zum Melde- und Bewilligungsverfahren für Solaranlagen“ und blendtool.ch	19
5.2	Entstehung von Reflektionen bei Photovoltaikanlagen	19
5.3	Beurteilungskriterien	21

1 Zweck und Gegenstand des Gutachtens

1.1 Umfang

Der Neubau des Maintenance-Zentrums für die Helikopter der REGA, bestehend aus einem Hangar und einem Verwaltungsgebäude, soll mit PV-Anlagen ausgestattet werden. Diese Reflexionsanalyse dient der Untersuchung von potenzieller Blendwirkung der geplanten PV-Anlagen auf den Flugverkehr. Im vorliegenden Dokument werden keine Blendungen von umliegenden Gebäuden oder Strassen untersucht.

Gegenstand der Untersuchung ist die geplante Photovoltaik Dachanlage (PV- Anlage) auf dem Hangar und der Flachdachanlage auf dem Verwaltungsgebäude des Gebäudestandortes:

Adresse	Matte, 6060 Sarnen
Grundstücksnummer	444
WGS84-Koord. Grad	46.907306N, 8.25217 E

Die Analyse erfolgt auf Grundlage von Plänen, der Flugroute sowie Daten aus dem Geoinformationssystem vom Kanton Obwalden. Analysiert wurden die Anflugrouten, welche der Haupttalrichtung folgen. Der direkte Anflug auf den FATO erfolgt aus nordöstlicher Richtung. Anflüge aus Süden erfordern eine 180°-Umkehrkurve, während Anflüge aus Norden über eine S-Kurve auf die Anflugachse geführt werden. (Bächtold & Moor AG, Bern, 08.04.2026, REGA Kägiswil SIL 20260331.

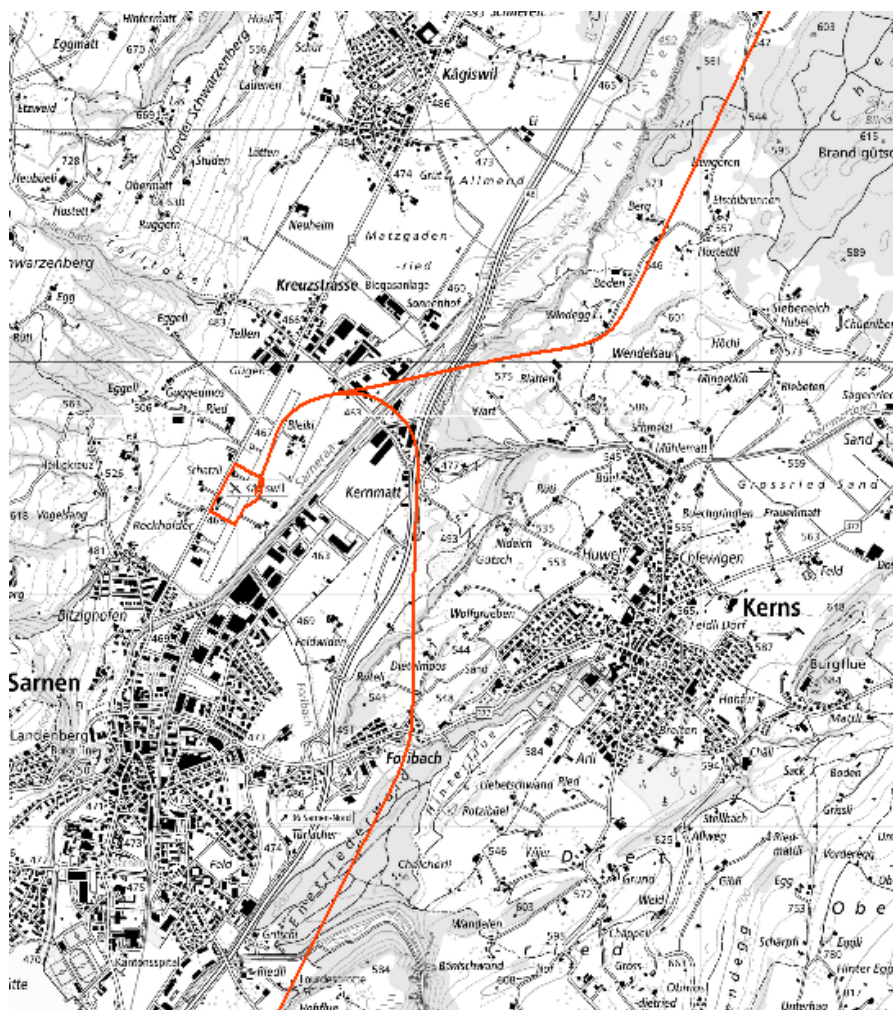


Abbildung 1: Kartenausschnitt Flugplatzperimeter und Flugroute der Helikopter ohne Notausflug (rot)

1.2 Berechnungsverfahren

Die Reflexion wird in einem ersten Schritt mit dem vom Kanton Bern entwickelten Onlinewerkzeug <https://blend-tool.ch/> in der Version v1.2.0. untersucht. Die direkte Reflektion wird im Tool gemäss dem geometrischen Ansatz Eintrittswinkel = Austrittswinkel berechnet mit einer einfachen Simulation der geometrischen Bündelaufweitung ohne Berücksichtigung expliziter Materialeigenschaften. Zudem muss der Einfluss vom Horizont separat untersucht werden, da dieser in der Berechnung nicht berücksichtigt wird. Mit der Simulation kann nur eine Aussage über die Dauer der Blendung gemacht werden, eine Beurteilung der Blendintensität ist nicht möglich.

Als Basis der zu beurteilenden Kriterien wird die Vollzugshilfe zur Vermeidung von Lichtemissionen des BAFU, sowie der Leitfaden zum Melde- und Bewilligungsverfahren für Solaranlagen von Energie Schweiz und Swissolar verwendet, welche jedoch nicht den Flugverkehr definiert wurden.

PV-Module nach dem aktuellen Stand der Technik sind mit einer reflexionsarmen Glasoberfläche ausgestattet. Die reflexionsarme Glasoberfläche reduziert die reflektierte Lichtmenge gegenüber gewöhnlichen Glasoberflächen und verursacht eine Streuung des reflektierten Lichts. Die Intensität von Reflexionen wird dadurch verringert, die Reflexionsdauer wird dafür verlängert. In den Berechnungen wurde dies mittels einer Bündelaufweitung von 5° näherungsweise berücksichtigt.

Weiter wurde die Blendintensität anhand des Glare Hazard Plots beurteilt, wofür die für PV-Anlagen in Flughafennähe entwickelte Software von ForgeSolar verwendet wurde. Die Reflexionseigenschaften des Glases werden so definiert, dass diese einem Standardmodul ohne Einsatz weiterer Massnahmen entspricht. Für das Dach auf dem Hangar wurde zusätzlich untersucht, wie sich der Einsatz von Modulen mit satinierten Glasoberflächen auf die Immissionsereignisse auswirkt.

Die Resultate basieren grundsätzlich auf einem «Clear-Sky-Modell» und berücksichtigen keine witterungsbedingten Einflüsse, welche die Blendung reduzieren. Pauschal kann davon ausgegangen werden, dass die tatsächlichen Reflexionsereignisse um 30-50% tiefer liegen.

1.3 Situation Reflexion

Die auf Reflexion untersuchten PV-Anlagenteile wurden wie unten beschrieben angenommen.

Objekt mit PV- Anlage	Neubau Rega Helimaintenance; Hangar und Verwaltungsgebäude
Adresse	Matte, 606, Sarnen
Grundstücksnummer	444
WGS84-Koord. Grad	46.907306N, 8.25217 E
Modulgrösse	Standardmodulgrössen, ca. 1'800 mm x 1'1150 mm
Modulfeld Dach Hangar (B x H)	Dachparallele PV-Module Modulfläche ca. 1'100 m ² Modulneigung: 5° Ausrichtung: 117.4° (Ost) Höhe über Terrain: 14 m
Modulfeld Flachdach Verwaltungsgebäude	Aufgeständertes Gründachsystem Modulfläche ca. 700 m ² Modulneigung: 15° Ausrichtung: 117.4° (Ost), 297.4° (West) Höhe über Terrain: 23 m
Bündelaufweitung	5°

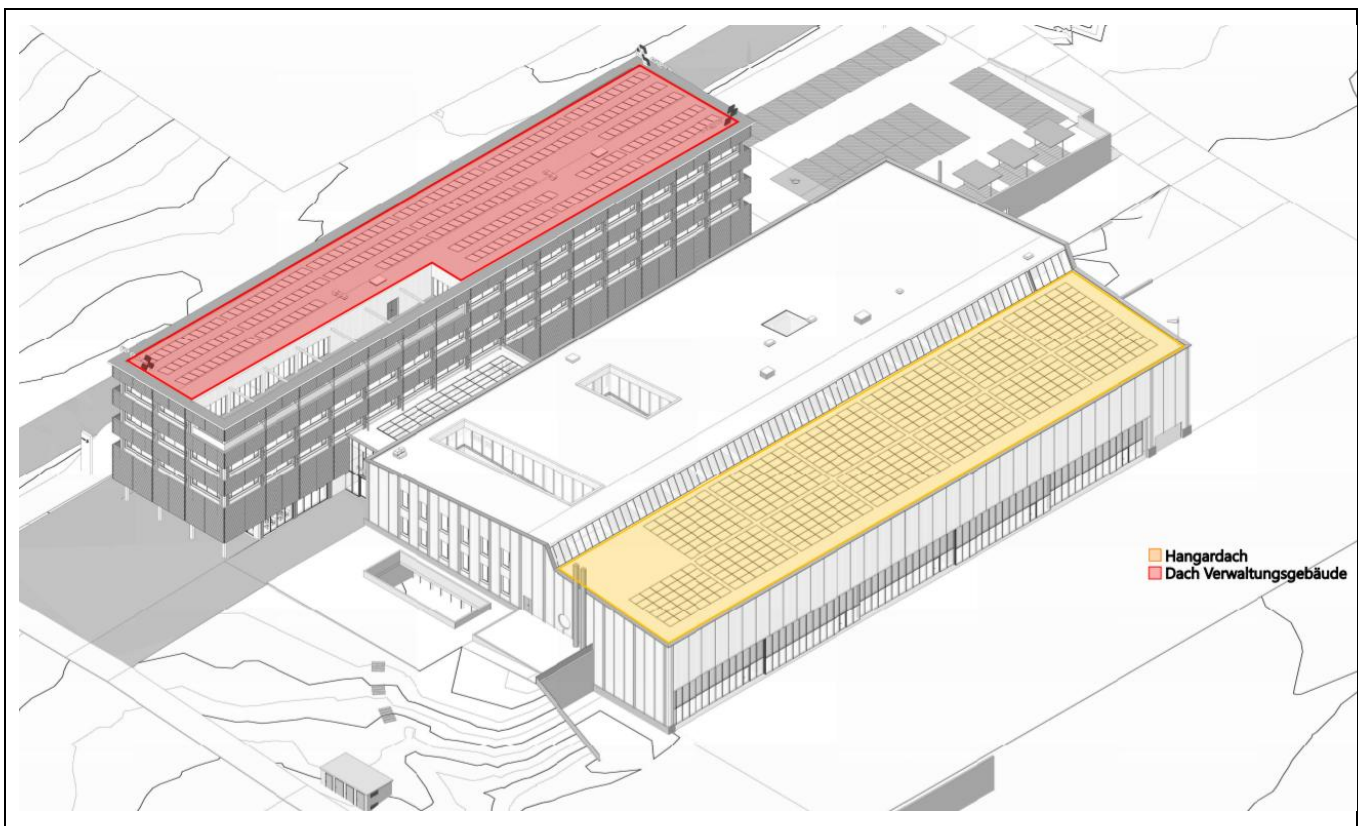


Abbildung 2: Übersicht Gebäude und PV-Anlagen

1.4 Situation Beobachtung

Die Abflug- und Anflugrouten folgen der gleichen Spur. Analysiert wurden die Anflugrouten, da die Pilotensicht bei Abflug der PVA abgewandt ist. Die Anflugroute (Abbildung 1) wird mit einem Winkel von -12° angenommen, bevor die letzten 5 m mit 45° zum Landepunkt sinken. (Bächtold & Moor AG, Neubau Helimaintenance, Bericht Fluglärmberechnung SIL, Index C, 16.09.2025). Es wird der Betrachtungspunkt mit 2m Cockpithöhe angenommen.

Auf der Anflugroute wurden Immissionspunkte innerhalb einer nautischen Meile (1.852 km) definiert, welche bez. Reflexion ausgewertet werden. Definiert wurden folgende Beobachtungspunkte:

Beobachtungspunkt	Beschreibung	Höhe Terrain	Höhe über Terrain
P1	Landeposition, 5m über Bodenkontakt	463.9 m.ü.M.	7 m
P2	Landing Decision Point	463.1 m.ü.M.	61 m
P3	Treffpunkt der Routen Nord/Süd	468.2 m.ü.M.	134 m
P4	Abdrehpunkt aus Norden kommend	534.3 m.ü.M.	259 m
P5	Abdrehpunkt aus Süden kommend	539.0 m.ü.M.	355 m
P6	Randpunkt Hauptrichtung Norden	546.3 m.ü.M.	449 m
P7	Randpunkt Hauptrichtung Süden	529.1 m.ü.M.	615 m

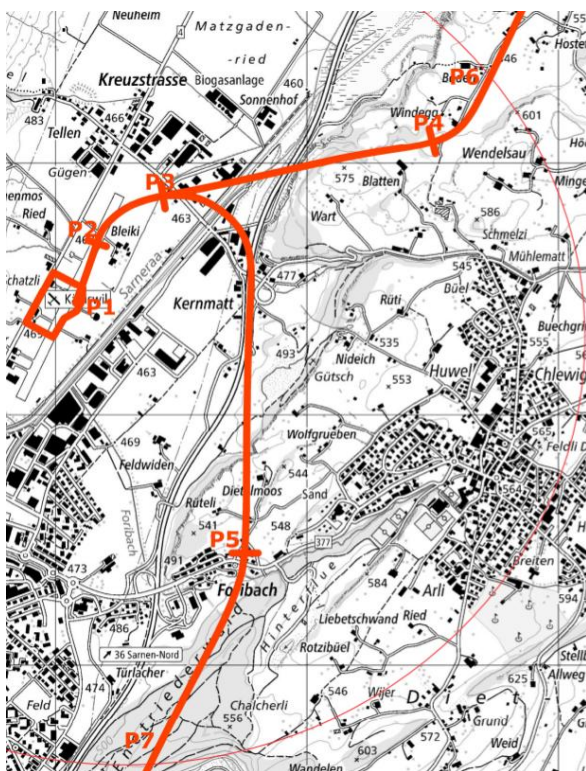


Abbildung 3: Situationsplan mit Flugrouten und den ausgewählten Immissionspunkten

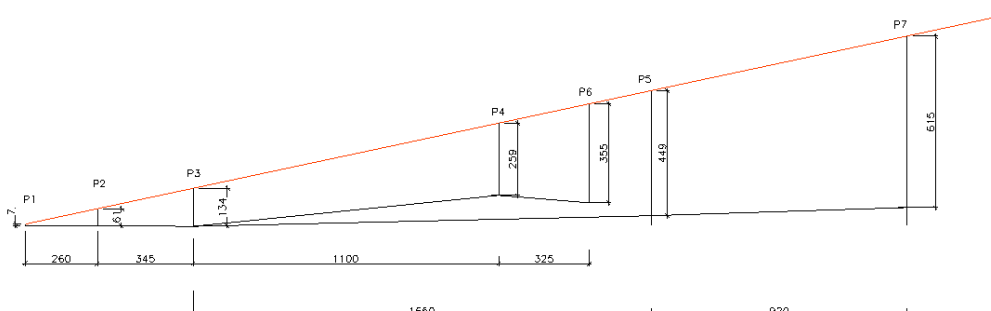


Abbildung 4: Anflugroute (-12°) mit Position der Immissionspunkten über Terrain

2 Resultate

Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht, welche Immissionspunkte von Blendung betroffen sind, und von welchem Anlagenteil aus die Blendung stattfinden kann. Vom Blendtool wird die Blendung über eine Bewertung unkritisch (keine Blendung), wenig kritisch (Blenddauer kurz) und kritisch (weitere Untersuchung) gesehen. Die folgende Darstellung zeigt lediglich, ob Blendung oder Doppelblendung stattfindet. Die von Blendung betroffenen Anlagenteile werden folgend weiter analysiert

Punkt	Hangar Dach	Verwaltung Dach Ost	Verwaltung Dach West
P1	Blendung und Doppelblendung 19.30 h/a	Blendung und Doppelblendung 28.35 h/a	Keine Blendung
P2	Keine Blendung	Blendung 21.15 h/a	Keine Blendung
P3	Blendung 22.08 h/a	Blendung 14.83 h/a	Keine Blendung
P4	Blendung 10.03 h/a	Blendung 9.55 h/a	Keine Blendung
P5	Keine Blendung	Keine Blendung	Keine Blendung
P6	Blendung 9.12 h/a	Blendung 8.43 h/a	Keine Blendung
P7	Keine Blendung	Keine Blendung	Keine Blendung

Nicht von Blendung betroffen ist die Anflugroute aus Süden, bevor die Route auf die direkte Anflugroute von Norden her abdreht, von keiner Anlage am Neubau. Ausserdem führen aus geometrischen Gründen die der Flugroute abgewandten Anlagenteile (Westaufständiger Flachdach Verwaltungsgebäude) nicht zu Blendung.

Die angegebene Dauer pro Jahr findet an Ereignissen ausschliesslich < 30min/ Tag statt, allerdings beziehen sich die Daten nur auf den einen Immissionspunkt und nicht auf einen beweglichen Betrachter auf der Flugroute.

2.1 Vertiefte Analyse

Auf der Anflugroute zwischen den Punkten P6 (unkritisch) bis P3 (unkritisch) wird die Blendung gegen den Punkt P2 hin kritisch. Erst zum Punkt P1 hin wird die Blendung weniger kritisch. Grund dafür ist, dass durch den Sinkflug und die nähere Position des Hubschraubers der Reflexionspunkt und die Sonne sich innerhalb von $< 20^\circ$ befinden, also Doppelblendung entsteht. Da sich der Hubschrauber genau in die Richtung der PV-Anlagen bewegt, sind die Blendeffekte durch die Geschwindigkeit des Hubschraubers nicht zeitlich begrenzt.

Ob die auftretende Blendung für die Navigation des Hubschraubers kritisch ist, wird folgend über die Beurteilung der Intensität abgeschätzt:

Der Glare Hazard Plot ermöglicht eine Beurteilung der Blendung in Bezug auf ihre Auswirkung auf die Augenbelastung. Die Auswirkungen der Blendungsereignisse auf das Auge werden in drei Kategorien eingeteilt:

- Grün – geringes Potenzial, Nachbilder (Blendungsblindheit) zu verursachen
- Gelb – Potenzial, vorübergehende Nachbilder zu verursachen
- Rot – Potenzial, Netzhautverbrennungen (dauerhafte Augenschäden) zu verursachen

Damit eine PV-Anlage nicht als kritisch beurteilt werden muss, müssen die Blendereignisse der Betrachtungspunkte im Flugobjekt im grünen Bereich liegen.

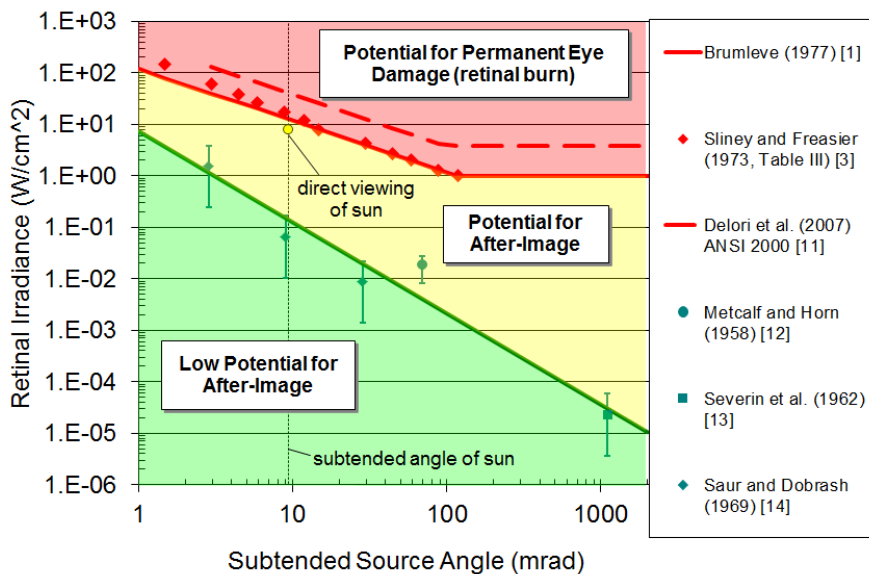


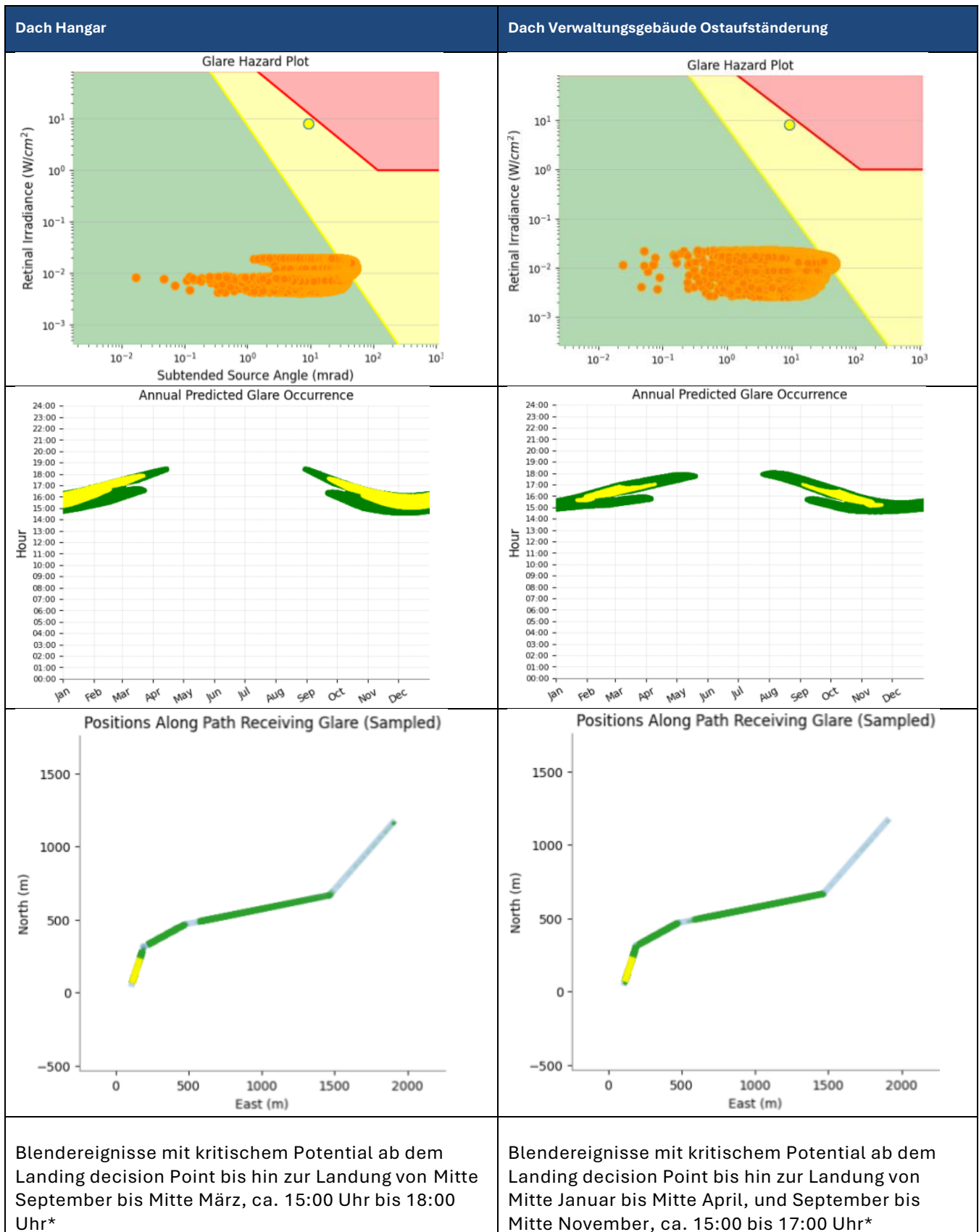
Abbildung 5: Glare Hazard Plot, <https://www.forgesolar.com>

Die Reflexionseigenschaften sind mit «Smooth glass with ARC» berechnet, was einem Standardmodul entspricht:

- Reflectivity: 10 %
- slope error: 8.43 mrad.

Analysiert wurde die Anflugroute von Norden mit den Anlageteilen:

- Dach Hangar
- Ostaufständerung Flachdach Verwaltung



* Die Zeiträume der Auswertung sind in UTC +1 angegeben und müssen für die Sommermonate korrigiert werden auf UTC+2

Einfluss des Horizonts auf Immissionsdauer

Die eingesetzten Tools berücksichtigen bei der Evaluation der Reflexionen keinen Horizont. Entsprechend muss der mögliche Einfluss vom Horizont separat über die Zeitpunkte der Blendungen analysiert werden.

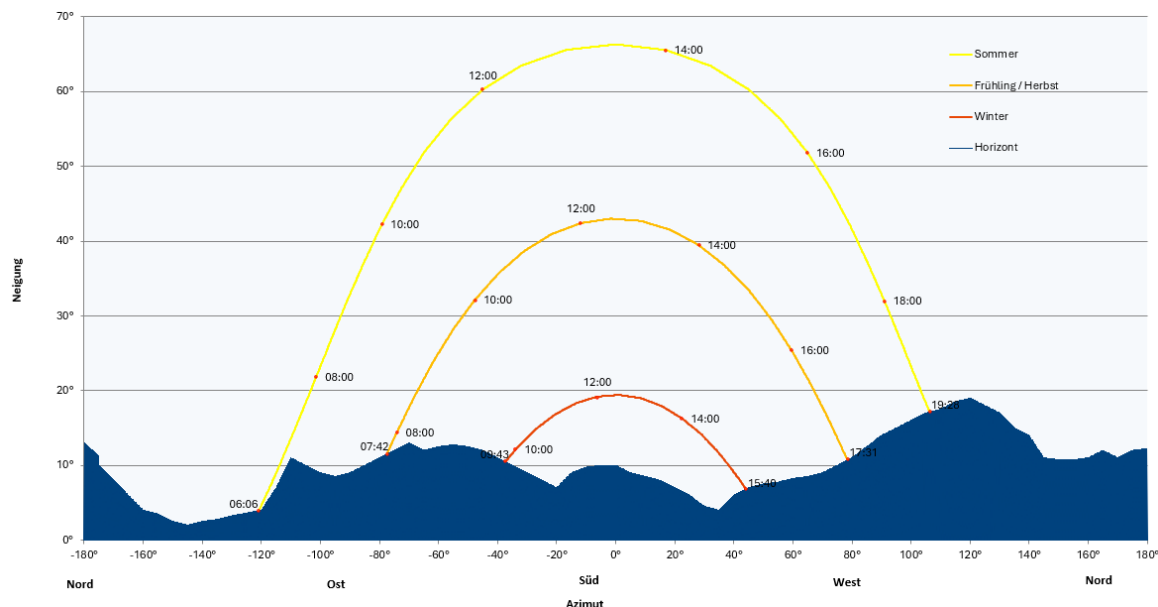


Abbildung 18: Sonnenverlauf und Horizont am Anlagestandort

Reflexions-objekt	Datum	Sonnenauf-/untergang	Kritischer Immissionszeitraum	Bemerkung
Dach Hangar	21.03.	07:42 / 17:31	UTC+1: 17:00 - 18:00	Teilweise verkürzte kritische Immissionszeiten wegen Sonnenuntergang
	21.09.		UTC+2: 18:00 - 19:00	
	21.06.	06:06 / 19:28	-	-
	21.12.	09:43 / 15:40	UTC+1: 15:00 - 16:30 UTC+2: 16:00 - 17:30	Teilweise verkürzte kritische Immissionszeiten wegen Sonnenuntergang
Dach Verwaltung	21.03.	07:42 / 17:31	UTC+1: 15:30 - 17:00	Keine Verkürzung durch Sonnenuntergang
	21.09.		UTC+2: 16:30 - 18:00	
	21.06.	06:06 / 19:28	-	-
	21.12.	09:43 / 15:40	UTC+1: 15:30 - 16:00 UTC+2: 16:30 - 17:00	Teilweise verkürzte kritische Immissionszeiten wegen Sonnenuntergang

Die Immissionen der Dachanlagen treten am Nachmittag bei tiefem Sonnenstand auf. Doppelblendung entsteht aufgrund der Höhe des Immissionspunkts kaum auf. Teilweise verdeckt der Horizont die tiefstehende Sonne und verkürzt die Immissionsdauer.

3 Interpretation der Resultate

Auf allen Beobachtungspunkten auf der Anflugroute von Nordosten aus werden gemäss den Berechnungen mit dem blendtool Blendung festgestellt. Es wird festgehalten, dass rund um den geplanten Neubau bereits z.T. grossflächige PV-Anlagen vorhanden sind, welche nicht beurteilt wurden. Die Blendereignisse des untersuchten Neubaus konzentrieren sich auf den direkten Anflug zum Landepunkt, während direkt auf die Reflektion zu navigiert werden muss. Diese Art von Störung durch Blendung kann von den umliegenden PV-Anlagen nicht ausgehen, weshalb die gesonderte Betrachtung sinnvoll ist.

Die Analyse des Glare Hazard Plots hat ergeben, dass die Reflexionsereignisse auf der Anflugstrecke ab dem «Landing-Decision-Point» (P2) sowohl aufgrund der Reflexion an der PV-Anlage auf dem Dach des Hangars als auch an der Ostaufgeständerten Anlage des Flachdachs auf dem Verwaltungsgebäude für den Flugverkehr als kritisch eingestuft werden. Betroffen von kritischen Reflexionsereignissen ist die direkte Anflugroute, wobei der Helikopter direkt auf das neue Gebäude zusteuert, die Entscheidung über Landung oder Notausflug treffen muss, sowie die Landung einleiten muss. Die kritischen Reflexionsereignisse finden nachmittags bis abends statt. Aufgrund der hohen Flugfrequenz wird davon ausgegangen, dass der Flugbetrieb bis in die Abendstunden aufrechterhalten werden muss. Die nach Süd-Osten ausgerichteten PV-Module sowohl auf dem Verwaltungsgebäude als auch auf dem Hangar werden deshalb als kritisch eingestuft.

3.1 Empfehlung

Es wird empfohlen, alternative Ausrichtungen der PV-Module vorzusehen, oder die Verwendung von satinierten Modulen vorzusehen:

Hangardach:

Um die Reflexionsereignisse mit Potential, Nachbilder zu produzieren zu reduzieren, können PV-Module mit geeigneter Oberflächenbehandlung der Glasoberfläche verwendet werden. Die satinierte Oberfläche wird dabei als blendfrei eingestuft (Kapitel 5.2)

Für die Analyse der Immissionen mit dem Einsatz satinierter PV-Modulen wurde eine weitere Berechnung durchgeführt. Dafür wurden spezifische Moduleigenschaften angenommen, welche dem entsprechend vorgeschlagenen Modul (Solitek Solid bifacial anti-glare) entsprechen:

Moduleigenschaften satiniertes Modul:

- Reflectivity: 3.5 %
- slope error: 20 mrad.

Diese Werte werden vom Hersteller nicht angegeben. Angegeben wird die anti-Glare Entspiegelung mit einer Leuchtdichte von $\approx 3600\text{--}4000\text{cd/m}^2$. Die oben beschriebenen Werte entsprechen einer technischen Kalibrierung auf Basis dieser bekannten Werte und der ForgeSolar-Modelle.

Die Ergebnisse der simulierten Reflexion zeigen höhere Häufigkeit von Reflexion in die Sommermonate hinein und geringfügig in die Nachmittagsstunden. Allerdings sind die Ereignisse ausschliesslich unkritisch bez. dem Potential, Nachbilder zu produzieren. Dies erscheint plausibel, da aufgrund der höheren Streuung der Reflexionsstrahlungen die Intensität abnimmt, diese jedoch breiter gestreut und darum häufiger auftreten kann.

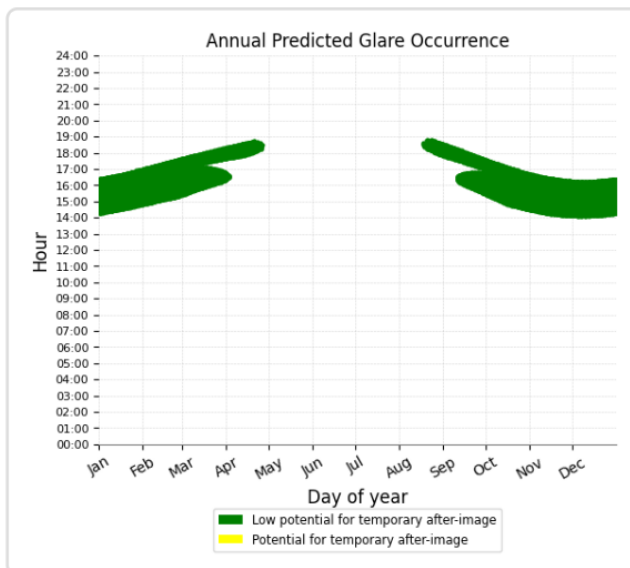


Abbildung 6: Glare Hazard Plot des Dachs Hangar mit angepasster Oberflächenstruktur⁹

Verwaltungsgebäude:

Auf dem Flachdach ist die Ausrichtung der Module freier wählbar, da keine Dachneigung vorhanden ist. Es wird empfohlen, die Module ausschliesslich nach Nord-Westen auszurichten. In den Berechnungen des blindtool konnte gezeigt werden, dass diese Ausrichtung keine Blendereignisse zur Folge haben.

Alternativ könnte auch eine Ausrichtung nach Süd-Westen orientiert ausgeführt werden, oder die Verwendung von satinierten Modulen entsprechend der Empfehlung für den Bereich Hangar. Diese wird jedoch als weniger effizient beurteilt, da Blendereignisse in der Intensität reduziert, jedoch nicht verhindert werden.

4 Anhang

4.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Kartenausschnitt Flugplatzperimeter und Flugroute der Helikopter ohne Notausflug (rot).....	4
Abbildung 2: Übersicht Gebäude und PV-Anlagen.....	6
Abbildung 3: Situationsplan mit Flugruten und den ausgewählten Immissionspunkten	7
Abbildung 4: Anflugroute (-12°) mit Position der Immissionspunkten über Terrain.....	8
Abbildung 5: Glare Hazard Plot, https://www.forgesolar.com	10
Abbildung 6: Glare Hazard Plot des Dachs Hangar mit angepasster Oberflächenstruktur°	16
Abbildung 8: Reflexion am PV-Modul und „Reflektionsfreier“ Raum.....	19
Abbildung 9: Beispiele von links: Standard PV Modul, mitte: satiniertes PV- Module, rechts: Eternitplatte.....	20
Abbildung 10: links: Standard PV- Modul (rot) rechts: satiniertes PV- Module (blau) vs. Faserzementplatte (grau).....	20
Abbildung 11: Darstellung der Bündelaufweitung von der Reflexion an Solarmodulen	21
Abbildung 12: Darstellung der Leuchtdichte der untersuchten Solarmoduloberfläche von der Berner Fachhochschule	21
Abbildung 13: Photovoltaikanlagen, Faktor Verlag, Christof Bucher	22
Abbildung 14: Parameter zur Beurteilung von Blendungen aus dem „Leitfaden zum Melde- und Bewilligungsverfahren für Solaranlagen“	22
Abbildung 15: Bei einem Sichtwinkel unter 6.5° ist in der Regel mit vernachlässigbaren Blendzeiten zu rechnen	23
Abbildung 16: Fig.1: Bild einer Bildprojektion auf die Netzhaut. Fig2: Potential der Auswirkungen auf die Netzhaut	24

4.2 Dokumente

- Blendtool Helimaintenance Kägiswil Dach Hangar
- Blendtool Helimaintenance Kägiswil Dach Verwaltung Ost
- Blendtool Helimaintenance Kägiswil Dach Verwaltung West
- Berichte von ForgeSolar Glare Analysis Neubau Rega Helimaintenance

5 Anhang

5.1 „Leitfaden zum Melde- und Bewilligungsverfahren für Solaranlagen“ und [blendtool.ch](#)

Juni 2023 wurde der „Leitfaden zum Melde- und Bewilligungsverfahren für Solaranlagen“ von energie-schweiz und swissolar überarbeitet. Darin sind Kriterien für die Beurteilung von Blendungen von Solaranlagen für die Schweiz festgehalten.

2022 hat Meteotest im Auftrag vom Kanton Bern in Zusammenarbeit mit dem BAFU, energieschweiz EnDK und Swissolar ein Online-Simulationswerkzeug zur Beurteilung von Blendungen programmiert. Das Online-Simulationswerkzeug [blendtool.ch](#) (v1.2.0) wurde auf Basis vom „Leitfaden zum Melde- und Bewilligungsverfahren für Solaranlagen“ erstellt. Für die folgende Reflektionsanalyse wird dieses Werkzeug für die Simulationen verwendet.

Es wird explizit darauf hingewiesen, dass mit dem Simulationswerkzeug nur die Blendrichtung ermittelt werden kann. Eine Aussage über die Intensität der Blendung und die subjektive Wahrnehmung dazu kann nur bei einer situativen Beurteilung der gebauten Anlage vor Ort vorgenommen werden.

5.2 Entstehung von Reflektionen bei Photovoltaikanlagen

Mögliche Reflexionen

Komponenten, an denen ggf. relevante Reflektionen entstehen können, sind jegliche reflektierende Oberfläche, wie die Deckgläser der PV-Module. Unterhalb der durch die Moduloberfläche festgelegten geometrischen Ebene ergibt sich ein Raum, in den mit Sicherheit nie Strahlung von der Oberfläche reflektiert werden kann, wie Abbildung 2 verdeutlicht.

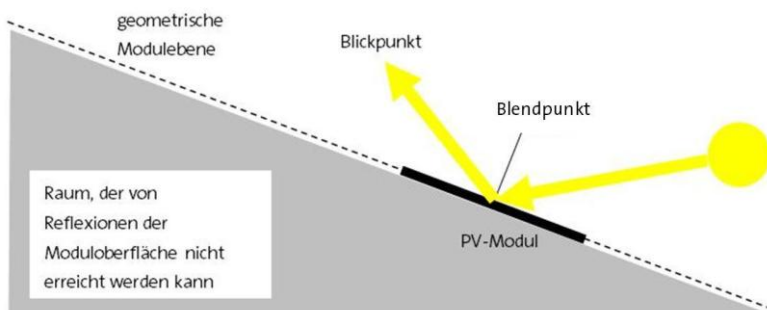


Abbildung 7: Reflexion am PV-Modul und „Reflektionsfreier“ Raum

Potenziell blendende Lichtreflexionen an den Gläsern der PV-Module können nur zu Zeiten direkter Sonneneinstrahlung auftreten. Bei diffusem Licht mit ungerichteter Strahlung kann keine gerichtete Reflexion auftreten.

Reflexionsverhalten Solarglas

Deckgläser, die für PV-Module verwendet werden, bestehen im Allgemeinen aus leicht strukturiertem und eisenarmen Weißglas. Es wird ein spezielles Glas verwendet, um die Transmission zu erhöhen, also den Lichteinfall des gesamten Strahlungsspektrums auf die solar aktive Fläche der PV-Module zu maximieren. So werden ein hoher energetischer Wirkungsgrad, ein hoher Ertrag und eine geringe Reflexion gesichert.

Insbesondere bei der Anwendung in der Fassade oder an kritischen Standorten bezüglich Blendung, wird die Glasoberfläche verändert (z.B. durch spezielle Glasoberflächen, Beschichtungen oder chemische Aufrauung (satinert)), so dass der Reflexionsstrahl an der Oberfläche in alle Richtungen abgelenkt und dadurch in der Intensität stark reduziert wird.



Abbildung 8: Beispiele von links: Standard PV Modul, mitte: satiniertes PV- Module, rechts: Eternitplatte

Bei einem Standard Solarmodul erfolgt die Reflexion weiterhin mehrheitlich gerichtet, die Bündelaufweitung beträgt rund 5°. Diese wird im blendtool.ch berücksichtigt.

Bei einem satinierten Modul ist die Reflexion praktisch Richtungsunabhängig und stark reduziert, Blendungen können ausgeschlossen werden. Dies zeigen Messungen mit einem Goniophotometer von der Hochschule Luzern.

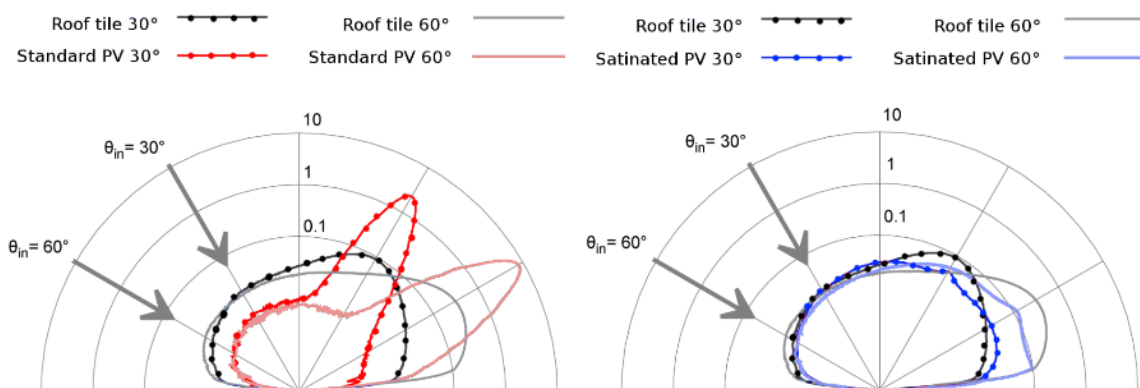


Abbildung 9: links: Standard PV- Modul (rot) rechts: satiniertes PV- Module (blau) vs. Faserzementplatte (grau)¹



¹ Luzern 2018, Spatio-Temporal Visualisation of Reflections from Building Integrated Photovoltaics, Roland Schregle, Christian Renken and Stephen Wittkopf

Abbildung 10: Darstellung der Bündelaufweitung von der Reflexion an Solarmodulen

Zusätzlich zu den Reflexionseigenschaften, welche durch die Hochschule Luzern ermittelt wurden, hat die Berner Fachhochschule in einem Bericht zum Megasol Zero Reflect Solarmodul („Reflexionsmessungen an Solargläser“), die Messungen von einem Megasolmodul mit Zero Reflect Oberfläche mit einem Vorschlag für die Definition von blendfreien Materialien verglichen. Erfüllt ein Material die Winkelabhängigen Grenzwerte muss die Blendung nicht weiter beurteilt werden, da die Materialeigenschaften eine Blendung verhindern, weil die Leuchtdichte (Intensität) der Reflexion stark reduziert wird.

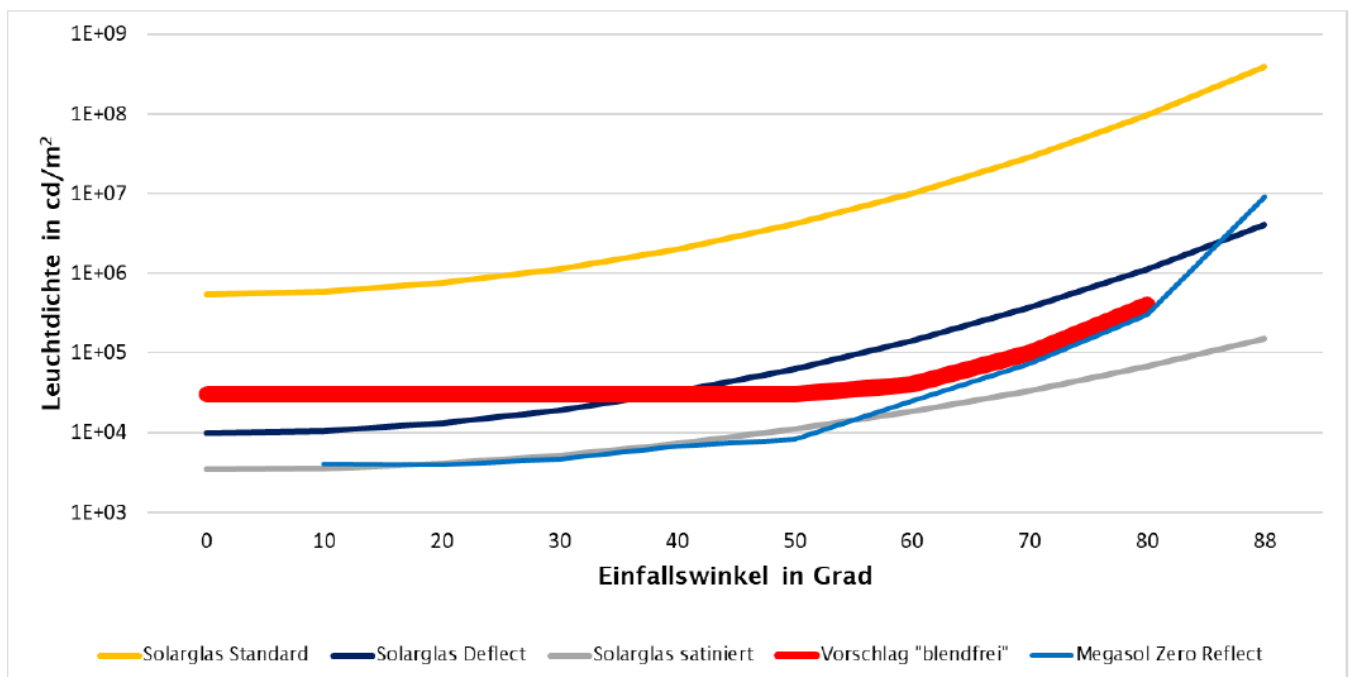


Abbildung 11: Darstellung der Leuchtdichte der untersuchten Solarmoduloberfläche von der Berner Fachhochschule²

5.3 Beurteilungskriterien

Der Leitfaden zum Melde- und Bewilligungsverfahren für Solaranlagen bietet eine Hilfestellung zur Beurteilung von Blendwirkungen. Die Beurteilungskriterien für diese Untersuchung wurden angelehnt an die darin definierten Grenzwerte definiert.

Grenzwerte

Reflexionen sollen dabei erst ab einer Direktnormalstrahlung von $> 120 \text{ W/m}^2$ beurteilt werden. Der Leitfaden schlägt zudem folgende Grenzwerte zur Beurteilung einer Blendwirkung vor. Diese können jedoch aktuell nicht ohne objekt-spezifische Messung im Voraus beurteilt werden:

- Leistungsdichte des Reflexionsstrahls $> 30 \text{ W/m}^2$
- Leuchtdichte der reflektierenden Fläche $> 50'000 \text{ cd/m}^2$

Es wird darauf hingewiesen, dass diese Werte aufgrund der Untersuchungen der Berner Fachhochschule allenfalls nach unten korrigiert und eine Winkelabhängigkeit definiert wird.

² Burgdorf 2023, Reflexionsmessungen an Solargläsern – Outdoor Messungen, Lia Maibach, Christof Bucher

Dr. Christof Bucher der Berner Fachhochschule hat dazu in seiner überarbeiteten Auflage (2025) vom Fachbuch Photovoltaikanlagen vom Faktor Verlag folgende Grenzwerte vorgeschlagen:

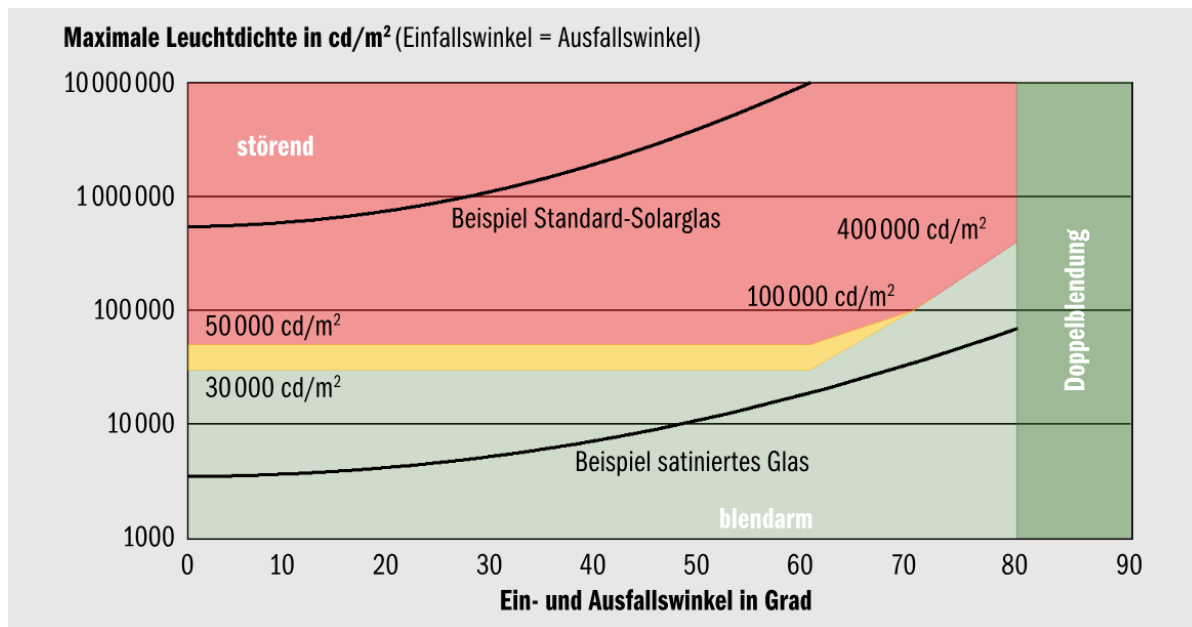


Abbildung 12: Photovoltaikanlagen, Faktor Verlag, Christof Bucher

Zudem werden folgende Parameter festgelegt, bei welchen eine Blendung generell relevant ist und näher untersucht werden muss.

Parameter	Richtwert Empfehlung Swissolar	Bemerkung	
Winkel zwischen Sonnenstrahl und Blendstrahl	>20°	Der Reflexionsstrahl ist nur dann störend, wenn er nicht aus der gleichen Richtung wie der Sonnenstrahl kommt.	
Einfallswinkel des Blendstrahls auf ein Fenster	>20°	Ein Reflexionsstrahl ist nur dann relevant, wenn er steiler als mit 20° auf ein Fenster oder eine Fassade einfällt. Ansonsten ist seine Eindringtiefe in den Raum in der Regel unbedeutend.	

Abbildung 13: Parameter zur Beurteilung von Blendungen aus dem „Leitfaden zum Melde- und Bewilligungsverfahren für Solaranlagen“

Je nach Zone und Nutzung der entsprechenden Flächen bzw. Bauten macht der Leitfaden eine generelle Einstufung der Relevanz einer allfälligen Blendung. Dieser kann sich je nach Nutzung auch auf gewisse Jahreszeiten beschränken.

- Für Wohnräume, Schulen, Spitäler kann die Blendung jederzeit relevant sein
- Für Balkon und Gartensitzplatz ist die Blendung nur im Sommerhalbjahr relevant

Beurteilung der Blendung

Ist eine relevante Blendung möglich, wird im Leitfaden zwischen unkritischen und kritischen Blendungen unterschieden.

Wenn eine der folgenden Bedingungen zutrifft, ist eine Blendung in der Regel unkritisch zu beurteilen:

- Der Beobachter kann die Solarmodule gar nicht sehen
- Eine Blendung ist geometrisch gar nicht möglich
- Die Anlage ist sehr klein (Wohnzone: Fläche $<10 \text{ m}^2$, Gewerbezone: Fläche $<100 \text{ m}^2$)
- Die möglichen Beobachter sind sehr weit entfernt (Wohnzone: Abstand $>100 \text{ m}$, Gewerbezone $>50 \text{ m}$)
- Das Verhältnis der maximalen Ausdehnung der Solaranlage zur Distanz zwischen Anlage und Beobachter ist kleiner als $1/9$.
- Der maximale Sichtwinkel der Anlage vom Beobachter aus gesehen ist kleiner als 6.5° .

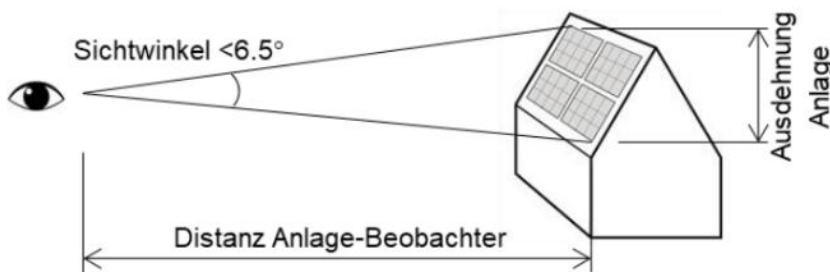


Abbildung 14: Bei einem Sichtwinkel unter 6.5° ist in der Regel mit vernachlässigbaren Blendzeiten zu rechnen

Kann eine Blendung weder ausgeschlossen noch als unkritisch beurteilt werden, sind nähere Untersuchungen notwendig. Es sind zurzeit keine wissenschaftlich oder gesetzlich hinreichenden Grundlagen bekannt, um verbindliche Grenzwerte festlegen zu können. Ohne Berücksichtigung der Wolken werden für Wohnzonen folgende Resultate als tolerierbare Werte vom Leitfaden vorgeschlagen:

- 1) maximal 30 Minuten Blenddauer an beliebig vielen Tagen im Jahr
- 2) maximal 60 Minuten Blenddauer an maximal 60 Tagen im Jahr;
- 3) maximal 120 Minuten Blenddauer an maximal 20 Tagen im Jahr;
- 4) maximal 60 Stunden Blendung im Jahr.

Falls in den Berechnungen die durchschnittliche Wolkenbedeckung berücksichtigt wird, reduziert sich die mögliche, jährliche Blenddauer im Vergleich um rund die Hälfte, weil an einem typischen Standort im Schweizer Mittelland die Sonne im Jahresdurchschnitt zu rund 50 % von Wolken verdeckt ist.

Beurteilung der Bestrahlungsintensität

Zur Beurteilung potenzieller Blendungen werden Modelle beigezogen, welche die Bestrahlungsintensität anhand von augensicherheitsrelevanten Metriken bewertet. Dafür wird die Software von Forgesolar verwendet.

Die Bewertung der Auswirkungen auf das Auge wird über die Variablen der Netzhautbestrahlungsstärke sowie dem einnehmenden Winkel der Blendquelle vorgenommen.

- Die Netzhautbestrahlungsstärke kann aus der Gesamtleistung der reflektierten Strahlung, die in die Pupille eintritt, sowie der Netzhautbildfläche berechnet werden, wobei durchschnittliche Masse eines Auges angewendet werden.
- Der einnehmende Winkel ist abhängig von der Grösse des reflektierenden Objekts, der Neigung, mit welcher das Auge auf das reflektierende Objekt schaut, sowie der Distanz zum Objekt.

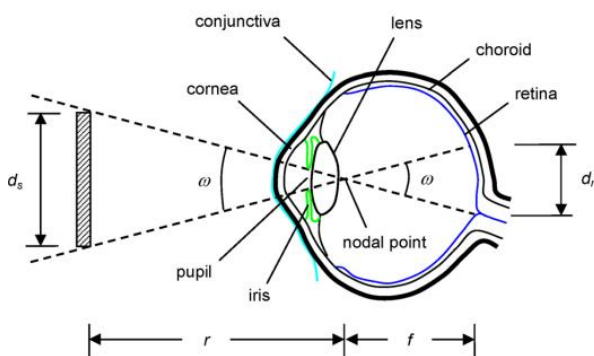


Fig. 1 Image projected onto the retina of the eye

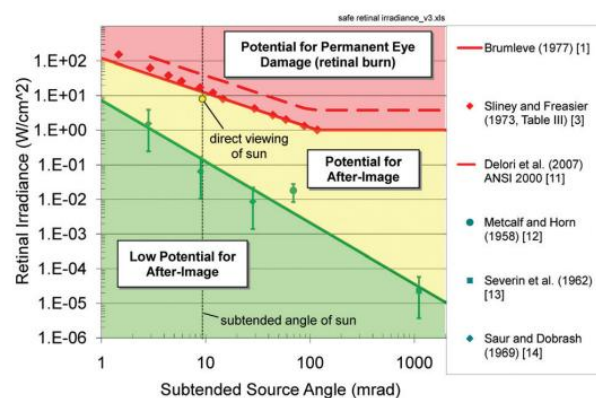


Fig. 2 Potential impacts of retinal irradiance as a function of subtended source angle. Data for irreversible eye damage are from Refs. [1,10,11] for 0.15 s exposure (typical blink response time). Data for temporary after-image are from Refs. [12–14].

Abbildung 15: Fig.1: Bild einer Bildprojektion auf die Netzhaut. Fig2: Potential der Auswirkungen auf die Netzhaut

Die berechneten Strahlungsintensitäten und Schwellenwerte, die zur Bestimmung der Auswirkungen auf das Auge herangezogen werden, basieren auf einer standardmässigen solaren Spektralverteilung, bei der der Grossteil der Energie und der Auswirkungen einer kurzzeitigen Exposition auf Strahlung innerhalb des sichtbaren Spektrums (380 bis 800 nm) zurückzuführen ist. Fig 2 der Abbildung 15 fasst die potenziellen Auswirkungen verschiedener Netzhautbestrahlungsstärken als Funktion des subtendierten Quellenwinkels für kurzfristige Expositionen zusammen. Es werden drei Bereiche dargestellt:

- (rot) Potenzial für dauerhafte Augenschäden (Netzhautverbrennungen)
- (gelb) Potenzial für vorübergehende Nachbilder (Blendungsblindheit)
- (grün) geringes Risiko für vorübergehende Nachbilder.

Wenn die Netzhautbestrahlungsstärke für einen bestimmten Winkel zu gross ist, kann es zu dauerhaften Augenschäden durch Netzhautverbrennungen kommen. Mit zunehmendem Winkel sinkt der sichere Schwellenwert für die Netzhautbestrahlungsstärke. Bei einer gegebenen Netzhautbestrahlungsstärke führt ein größerer einnehmender Quellenwinkel zu einem größeren Netzhautbildbereich und liefert eine größere Leistung an die Netzhaut.

In der Nähe von Flugbetrieb müssen die Blendereignisse mit geringem Potential für vorübergehende Nachbilder (grün) eingestuft werden, um als unkritisch beurteilt zu werden.

Quelle: Ho, C. K., Ghanbari, C. M., and Diver, R. B., 2011, "Methodology to Assess Potential Glint and Glare Hazards From Concentrating Solar Power Plants: Analytical Models and Experimental Validation", *ASME J. Sol. Energy Eng.*, 133. www.forgesolar.com/static/docs/2011_Glare_J.SolarEnergyEngr_Vol133.pdf