

Analyse der Blendwirkung der Photovoltaikanlage Bad Langensalza

Im Auftrag von

Brunnenbau Conrad GmbH
z.H. Hr. Winfried Knäbe
Brunnenbau-Conrad-Straße 1
99947 Bad Langensalza

**Gutachten ZE22025-BC
März 2022**



INHALT

1	Situationsbeschreibung.....	4
1.1	PROBLEMBESCHREIBUNG	4
1.2	ORTSBEZEICHNUNG UND LAGE DER PV-ANLAGE	4
1.3	UNTERSUCHTER RAUM	6
1.4	ABSCHATTUNGEN & VERDECKUNGEN	7
1.4.1	<i>Geländeprofil</i>	7
1.4.2	<i>Horizont</i>	7
1.4.3	<i>Bewuchs</i>	8
1.4.4	<i>Künstliche Abschattungen</i>	8
2	Blendberechnung.....	8
2.1	BEDINGUNGEN FÜR DIE BERECHNUNG.....	8
2.2	REFLEXIONSBERECHNUNG	8
2.3	ERKLÄRUNG DER ERGEBNISSE	10
2.4	SICHTBEZUG.....	11
2.5	BLENDWIRKUNG	12
2.5.1	<i>Größenverhältnisse</i>	12
2.5.2	<i>Blendstärke</i>	12
2.5.3	<i>Richtung der Blendung</i>	13
2.5.4	<i>Blenddauer</i>	14
2.5.5	<i>Flugverkehr</i>	14
3	Beurteilung & Empfehlungen.....	15
3.1	BLENDREDUZIERENDE MAßNAHMEN	15
3.2	EVALUIERUNG MIT BLENDREDUZIERENDEN MAßNAHMEN.....	18
	ANHANG 1 Definitionen.....	19
	ANHANG 2 Richtlinien, Vorschriften und Gesetze.....	20
	ANHANG 3 Platzrunden	23
	ANHANG 4 Methodik der Berechnung	24
	ANHANG 5 Vermessung der Umgebung.....	25
	ANHANG 6 Detail-Ergebnisse der Berechnungen.....	26
	ANHANG 6.1 ERGEBNISSE MIT BLENDREDUZIERENDEN MAßNAHMEN	45

Zusammenfassung

Im Bauverfahren eines Solarparks nahe des Flugplatzes Bad Langensalza ist zu prüfen, ob eine Gefährdung durch Blendwirkung für den Flugverkehr besteht.

Es wird zu kurzen Blendungen im Anflugsektor des Runway 09 kommen, welche mit den vorgeschlagenen blendreduzierenden Maßnahmen noch deutlich reduziert werden können, so dass dann keine gefährliche Blendwirkung mehr besteht.

Versionsverlauf

Version	Datum	Beschreibung
1.0	4.3.2022	ursprüngliche Fassung

Haftungsausschluss

Die Simulationsmodelle werden mit aller notwendigen Sorgfalt erstellt. Auf Grund unvermeidbarer Abweichungen zwischen Simulationsmodell und tatsächlicher Situierung der reflektierenden Oberflächen kann es aber insbesondere bei der Bestimmung der Zeitpunkte von Blendungen, aber auch bei der Bestimmung von Blenddauern und Winkeln der Lichtstrahlen zu geringen, messbaren Abweichungen kommen.

Copyright

Dieses Gutachten ist das geistige Eigentum der Zehndorfer Engineering GmbH. Seine Verwendung ist nur dem Auftraggeber und den von diesem Beauftragten für die Zwecke gemäß Kapitel 1 gestattet. Es bezieht sich auf einen konkreten Standort und eine ganz bestimmte Anlage. Jede andere Verwendung wird untersagt.

Abbildung 3 und Abbildung 4 zeigen die Ausrichtung des PV-Feldes im Raum¹. Die PV-Flächen wurden für die Berechnung in mehreren Vierecken modelliert.

Die PV-Module sind auf vierreihigen Modultischen, querkant, mit der Oberkante bei ca. 2 m angeordnet. Für die Streuung an den PV-Modulen wurde ein üblicher Streuwinkel von +/- 4° angenommen.

Für Abweichungen des Geländes bzw. der Aufständigung von den angegebenen Winkeln wurde zusätzlich ein Unsicherheitswinkel von +/- 2° angenommen (welcher die Blenddauer der Streuungen rechnerisch verlängert).

Die tatsächliche Neigung der PV-Module resultiert aus den Winkeln der Modultische und des Untergrunds. Sie wurde mit entsprechenden Drehmatrizen berechnet und ist in Anhang 5 zu sehen.

1.3 Untersucher Raum

Die Immissionspunkte (IP) sind jene Punkte, für die die Blendberechnung durchgeführt wird. Die zu untersuchenden Punkte liegen

- am Tower der Flugsicherung
- Im Anflugsektor auf Landebahn 9
- Im Anflugsektor auf Landebahn 27
- An einzelnen Punkten der Platzrunden (siehe Anhang 3)

Abbildung 5 Immissionpunkte



¹ Der Seitenwinkel (Azimut) wird dabei mit Süd = 0, Ost negativ und West positiv angegeben. Der Höhenwinkel (Elevation) wird als Differenz der Reflexionsebene und der Horizontalen angegeben.

Abbildung 5 zeigt die Lage der Immissionspunkte (IP) und der PV-Felder. Die Immissionspunkte wurden unter dem Kriterium ausgewählt, dass eine Sichtverbindung zur Vorderseite der PV-Module gegeben sein muss.

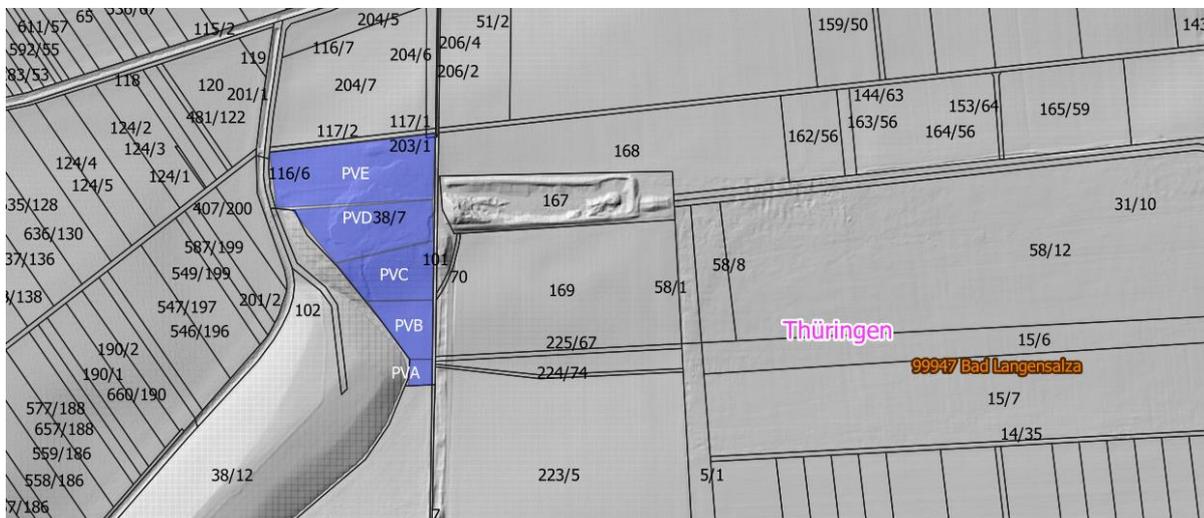
Die Anflugsektoren werden mit jeweils 5 Immissionspunkten in einem Abstand von insgesamt zwei nautischen Meilen bis zur Touch-Down Zone abgedeckt. Anhang 3 zeigt zudem die Platzrunden auf denen auch einige Punkte berechnet wurden.

Die detaillierte Vermessung der relevanten Umgebung ist in Anhang 5 zu finden.

1.4 Abschattungen & Verdeckungen

1.4.1 Geländeprofil

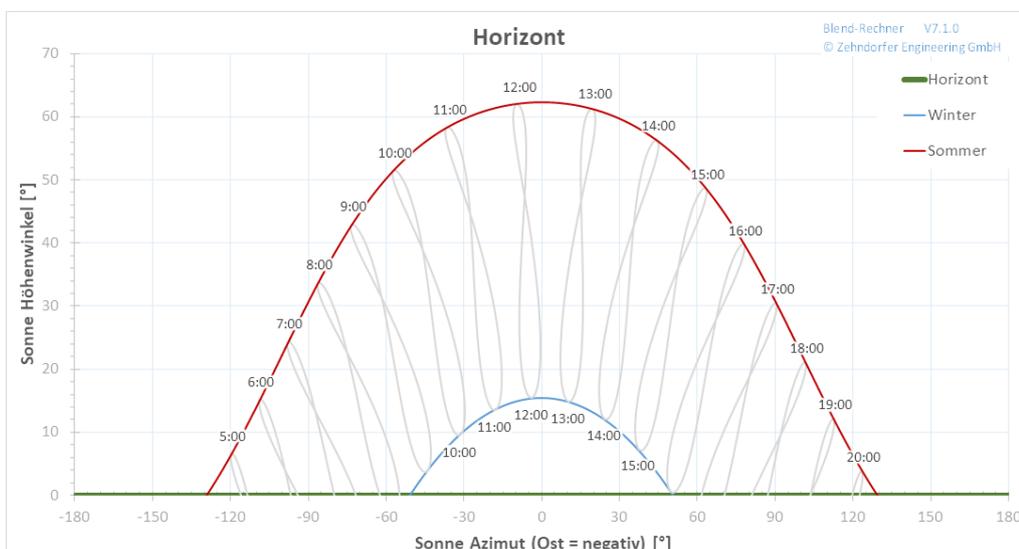
Das umliegende Geländeprofil ist relativ eben. Es gibt keine Geländekanten, die den Blick die PV-Anlagen verhindern würden.



1.4.2 Horizont

Der Horizont ist flach. Die Sonnenstunden werden dadurch nicht reduziert.

Abbildung 6 Horizont



1.4.3 Bewuchs

Zwischen der Reflexionsfläche und den IP gibt es keinen Bewuchs, der die Sichtverbindung unterbrechen könnte.

1.4.4 Künstliche Abschattungen

Zwischen den IP und den Solaranlagen gibt es keinerlei Gebäude oder andere Abschattungen, die die Sichtbeziehung zur PV-Anlage unterbrechen würden.

2 Blendberechnung

2.1 Bedingungen für die Berechnung

Als Eingabe für die Blendberechnung wurden die Rahmenbedingungen der LAI-2012 Richtlinie (siehe Anhang 2) herangezogen. Diese sind insbesondere:

- Die Sonne ist als punktförmiger Strahler anzunehmen
- Das Modul ist ideal verspiegelt (keine Streublendung)
- Die Sonne scheint von Aufgang bis Untergang (keine Ausnahme von Schlechtwetter)
- Blickwinkel zwischen Sonne und Modul mindestens 10°
- Erhebliche Blendung ab 30 Minuten am Tag oder 30 Stunden pro Kalenderjahr

Zur umfassenden Information und aus Gründen der Realitätsnähe, wird zusätzlich auch die Streublendung berechnet.

Für die Evaluierung gemäß der European Aerodrome Design Guidelines, werden die Werte der reflektierten Leuchtdichte berechnet und mit den dort genannten Grenzwerten verglichen.

2.2 Reflexionsberechnung

Die Reflexionsberechnung basiert auf der Methode Raytracing (siehe Anhang 2). Die Reflexionen werden für jeden Immissionspunkt einzeln berechnet.

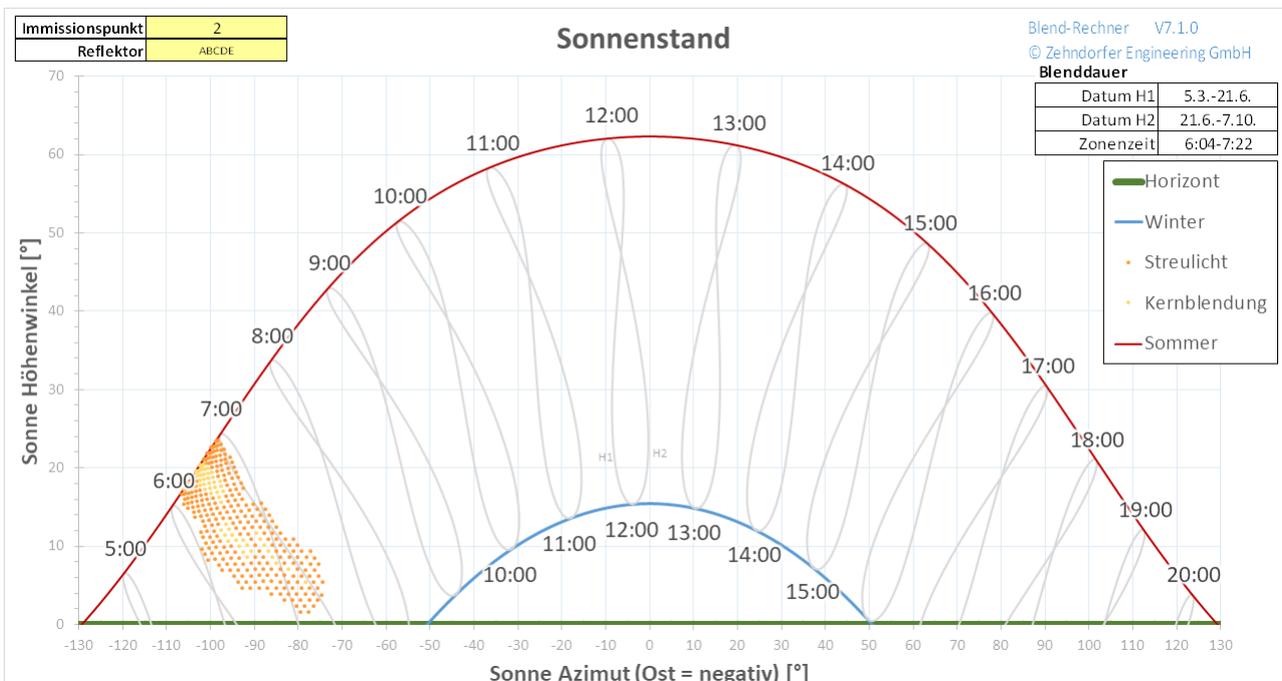
Abbildung 7 Reflexion der Solar Anlage zum IP2



Abbildung 7 stellt die Immissionspunkte und den Strahlengang von eventuellen Reflexionen dar.

Abbildung 8 zeigt zu welchem Zeitpunkt (Jahres- und Uhrzeit) Reflexionen auftreten. An den Achsen sind jene Sonnenhöhenwinkel und der Sonnenseitenwinkel ablesbar, bei welchen Blendung am Immissionspunkt auftreten.

Abbildung 8 Sonnenwinkel bei Blendung am IP 2



Am IP 2 ist also früh morgens von März bis Oktober mit Reflexionen zu rechnen. Die Resultate der Berechnung sind in folgender Tabelle zusammengefasst. Alle weiteren Ergebnisse sind in Anhang 6 zu finden.

Reflektor		ABCDE
Immissionspunkt		2
Distanz	m	329
Höhenwinkel	°	-8
Raumwinkel	msr	31
Datum H1		5.3.-21.6.
Datum H2		21.6.-7.10.
Zeit		6:04-7:22
Kernblendung	min / Tag	15
Kernblendung	h / Jahr	15
Streulicht	min / Tag	55
Streulicht	h / Jahr	96
Sonnen Höhenwinkel (Mittel)		° 13
Sonnen Azimut (Mittel)		° -91
Sonne-Reflektor Winkel (max)		° 38
Blendung - Blickwinkel (min)		° 4
Leuchtdichte (max) [k cd/m ²]		3 920
Retinale Einstrahlung (max) [mW/cm ²]		29
Beleuchtungsstärke (max) [lx]		8 769

2.3 Erklärung der Ergebnisse

Distanz	Ist die Distanz zwischen Mittelpunkt des Reflektors und Immissionspunkt in Meter.
Höhenwinkel	Der Höhenwinkel des Reflektors über dem Immissionspunkt. 0° bedeutet, dass sich der Reflektor am Horizont befindet.
Raumwinkel	Der Raumwinkel, gemessen in Milliradian. Der Raumwinkel ist ein Maß für die sichtbare Größe eines Objektes. Er wird berechnet indem man die sichtbare Fläche eines Objektes durch das Quadrat dessen Abstandes dividiert.
Datum H1/H2	Gibt genau jene Zeitspanne an, an welcher Blendung über den Reflektor erfolgt
Zeit	Jene maximale Zeitspanne, bei welcher Blendung über den Reflektor erfolgt
Kernblendung	Die Dauer der Blendung durch direkte Spiegelung der Sonne am Reflektor in Minuten pro Tag bzw. Stunden pro Jahr
Streulicht	Die Dauer der Blendung durch gestreutes Licht der Sonne an der unebenen Oberfläche des Reflektors in Minuten pro Tag bzw. Stunden pro Jahr, für den Fall, dass das Streulicht (nach Vorgabe) unberücksichtigt bleibt, steht hier derselbe Wert wie bei der Kernblendung
Dauer	Die Anzahl jener Tage im Jahr (Frühjahr und Herbst), an denen zu irgendeiner Uhrzeit eine Blendung auftreten kann. Außerhalb dieser Tage steht die Sonne zu hoch oder zu flach um am Immissionspunkt zu blenden, oder es findet eine Verschattung durch den Horizont oder künstliche Hindernisse statt.
Sonnen Höhenwinkel	Durchschnittlicher Sonnenhöhenwinkel zum Zeitpunkt der Blendung
Sonnen Azimut	Durchschnittlicher Sonnenseitenwinkel zum Zeitpunkt der Blendung

- Sonne-Reflektor Winkel** Der bei Blendung vom Immissionspunkt aus, sichtbare Winkel zwischen Reflektor und Sonnenstand. Ist dieser Winkel klein (also z.B. <math>< 10^\circ</math>), so spielt die Blendung, neben der, in gleicher Richtung stehenden und typischer Weise viel stärkeren Sonne, eine untergeordnete Rolle.
- Blendung-Blickwinkel** Der minimale Winkel zwischen der Blickrichtung (also z.B. Fahrtrichtung) und jener Stelle des Reflektors von welcher aus Reflexionen stattfinden können. Ist der Winkel groß (also außerhalb des eines Kegels von - Leuchtdichte** Das Maximum der errechneten Leuchtdichte der Reflexion in - Retinale Einstrahlung** Die maximale Leistungsdichte der reflektierten Strahlen auf der Netzhaut in - Beleuchtungsstärke** Die maximale, zusätzliche Beleuchtungsstärke der reflektierenden Strahlen am IP in lux.

2.4 Sichtbezug

Um den Sichtbezug zu den reflektierenden Flächen, sowie zur Reflexion und zum Sonnenstand deutlich zu machen, wurde die Darstellung dieser Punkte mit Blick in Fahrtrichtung (bzw. von Nachbargebäuden in Richtung der reflektierenden Flächen) gewählt. Die Winkel der Darstellung sind realistisch, d.h. ein durchschnittlicher Beobachter wird das hier berechnete Gesichtsfeld vor Augen haben.

Abbildung 9 Blickfeld am IP 2

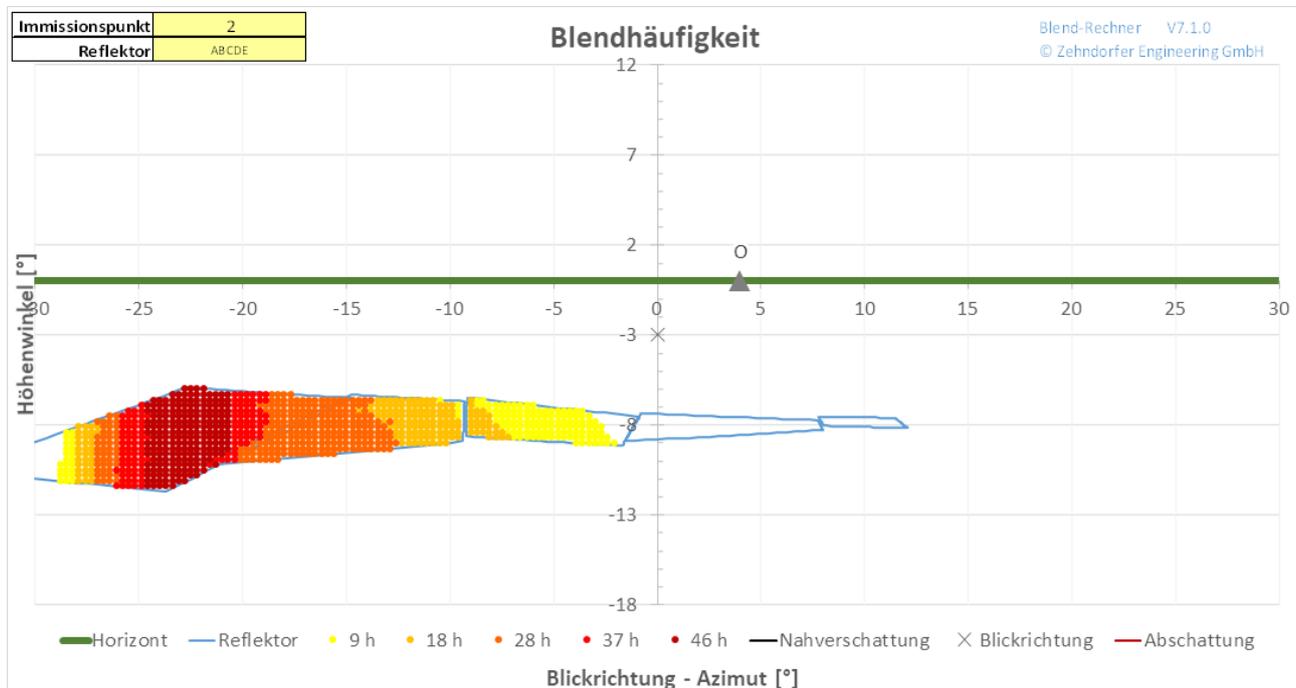


Abbildung 9 zeigt jene Flächen, von denen Reflexionen zu erwarten sind. Es ist die Dauer der Reflexionen in Stunden pro Jahr (inklusive Streublendung) farblich dargestellt

2.5 Blendwirkung

Die Auswirkung der Blendung auf den Menschen ist von mehreren Parametern abhängig. Folgende Parameter haben einen Einfluss auf die Blend-wirkung beim Menschen:

- Größe der projizierenden Reflexions-Fläche
- Reflexionsfaktor der verwendeten Materialien
- Entfernung zwischen IP und Reflektor
- Winkel zwischen Sonne und Reflexionsfläche
- Häufigkeit und Dauer der Reflexion
- Jahreszeit und Uhrzeit der Reflexion
- Tätigkeit des Menschen bei der die Reflexion wahrgenommen wird
- Möglichkeiten sich vor Blendung zu schützen

2.5.1 Größenverhältnisse

Die hier dargestellten Größenverhältnisse sollen bei der subjektiven Einordnung der Reflexionsfläche helfen. Da das Auge keine Größen, sondern nur optische Winkel wahrnimmt (also das Verhältnis von Größe zur Entfernung²) sind hier alle Größen im Maß des Raumwinkels (Milisteradian) umgerechnet.

Sichtbeziehung	Raumwinkel
Gesichtsfeld	2.200 msr
Sonnenscheibe am Himmel	0,068 msr
Ausgestreckter Daumen	1,55 msr

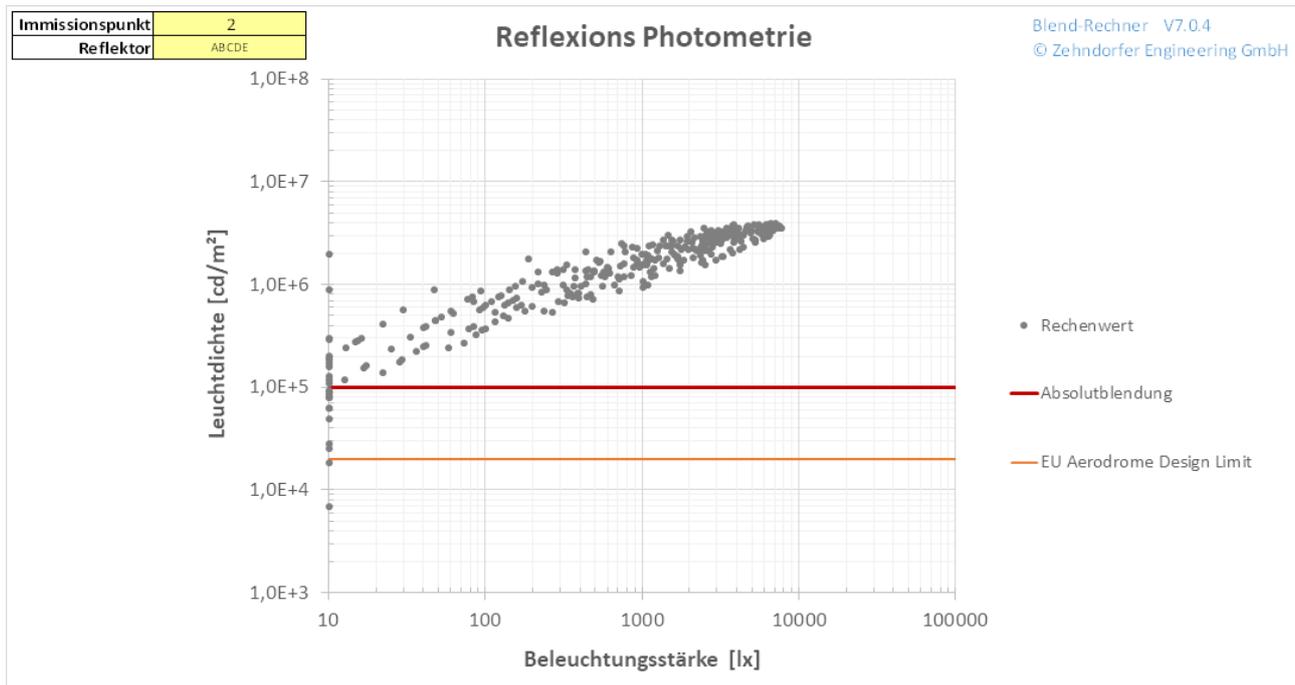
Die maximal sichtbare Größe der Solar-Anlagen vom IP 2 (31msr) ist als mittelgroß zu bezeichnen.

2.5.2 Blendstärke

Die Solar-Module haben bei rechtwinkelig auf die Oberfläche eintreffendem Licht relativ kleine Reflexionsfaktoren, weshalb dabei nur ein Teil des Sonnenlichts reflektiert wird. Bei flacher einfallenden Lichtstrahlen steigt der Anteil des reflektierten Lichtes (der Reflexionsfaktor wird größer). Auch die Stärke des Sonnenlichtes ist vom Sonnenstand abhängig (die Sonne erreicht Leuchtdichten bis zu $1,6 \times 10^9 \text{ cd/m}^2$ und hat bei niedrig-stehender Sonne noch eine Leuchtdichte von $6 \times 10^6 \text{ cd/m}^2$. Im Rechenmodell wurden diese Faktoren berücksichtigt. In den meisten Fällen wird bei Reflexionen Absolutblendung erreicht (eine reflektierte Leuchtdichte von über 100.000 cd/m^2). Die Stärke der Reflexionen ist kein Kriterium gemäß LAI-2012. Gemäß der Richtlinie ist nur bei einer Dauer von über 30 Minuten pro Tag bzw. 30 Stunden pro Jahr die Grenzen der Zumutbarkeit überschritten.

² Der Mond oder die Sonne sind also z.B. mit dem ausgestreckten Daumen vollständig verdeckbar.

Abbildung 10 Stärke der Reflexionen



Die Berechnung der Leuchtdichte in Abbildung 10 zeigt, dass bei einigen Sonnenständen Absolutblendung erreicht wird.

2.5.3 Richtung der Blendung

Die Richtung, von der Blendung ausgeht, kann eine entscheidende Rolle für die Blendwirkung spielen. Während Blendungen von oben (z.B. Sonne) als normal anzusehen sind und Menschen diesbezüglich nicht sehr empfindlich sind, können waagrecht einfallende Lichtstrahlen Menschen stören. Auch solche Blendungen die von weiter links oder rechts der Sehachse kommen werden weniger störend empfunden als jene, die im Zentrum des Gesichtsfeldes auftreten.

Die Richtlinie für die "Beleuchtung von Arbeitsstätten" DIN EN 12464, zum Beispiel, reduziert seitlich auftretende Blendungen mit dem Guth-Positionsindex³.

Daher werden in diesem Gutachten nur solche Blendungen als relevant für den Verkehr betrachtet, die innerhalb eines Winkels von +/- 15° zur Sehachse (= Fahrtrichtung) liegen.

³ In diesem Zusammenhang wird auch auf eine Studie von Natasja van der Leden, Johan Alferdinck, Alexander Toet mit dem Titel „Verhinderung von Sonnenreflexionen in Lärmschutzwällen – ein Laborexperiment“ verwiesen, die zu dem Schluss kommt, dass: „die Fahrleistung bei kleinen Blendungswinkeln von 5 Grad besonders abnimmt.“

2.5.4 Blenddauer

Abbildung 11 Blenddauer am IP 2

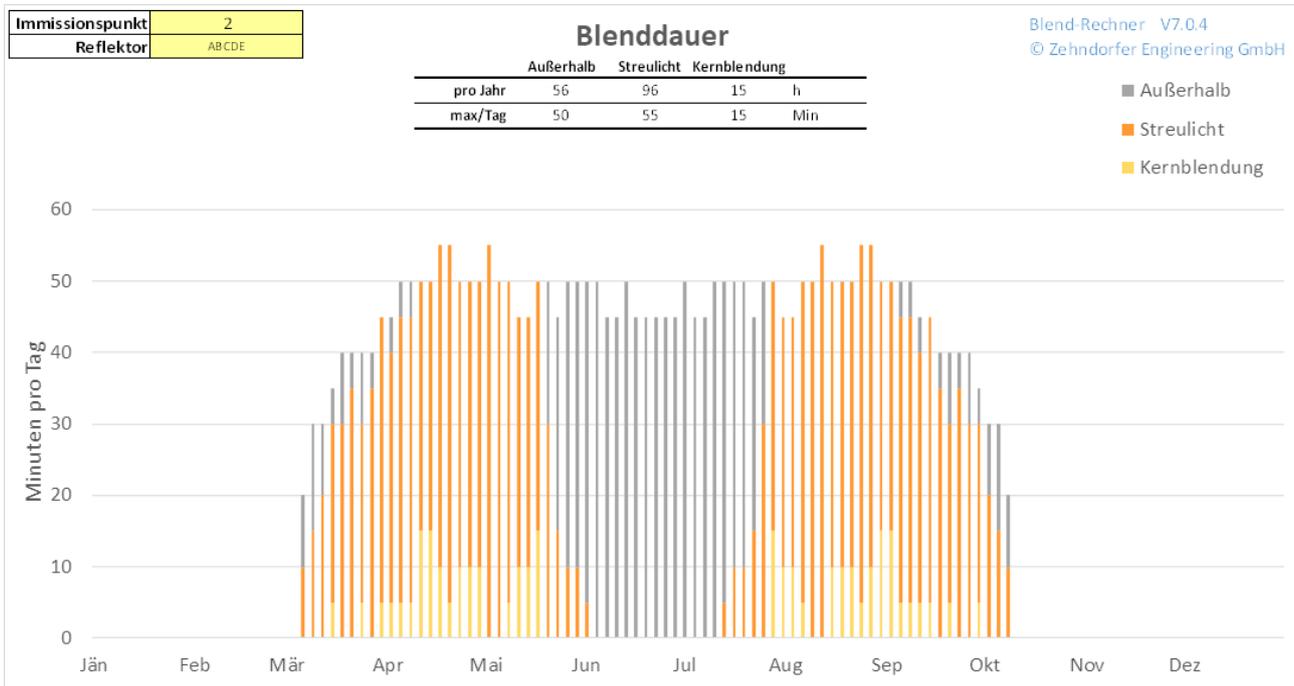


Abbildung 11 zeigt die Verteilung der Blenddauer pro Tag über das ganze Jahr.

Eventuell grau unterlegte Bereiche sind jene Zeiten zu denen zwar Reflexionen stattfinden, diese werden jedoch auf Grund der 10°-Regel gemäß LAI-2012 (Blickwinkel zwischen Sonne und Modul mindestens 10°) beziehungsweise des inneren Gesichtsfeldes (+/-15° von der Blickrichtung) nicht in der Summe der Blenddauer berücksichtigt.

Bei der Berechnung der Zeiten für Kernblendung (Reflexion ohne Streuung) wurden weder die verlängernde Wirkung der Streuung des Lichtes an den Modulen, noch die reduzierende Wirkung von Schlechtwetter (Regen, Schnee, Nebel, Hochnebel, Bewölkung) berücksichtigt.

2.5.5 Flugverkehr

Für den Flugverkehr ist insbesondere der Landeanflug kritisch, da sich der Pilot dabei auf die Piste konzentrieren muss. Air-Traffic Controller im Tower müssen für Ihre Arbeit die Anflugsektoren, die Piste, sowie die Rollwege ungestört einsehen können. Ist der Sichtkontakt gestört, so müssen sie sich auf diverse Instrumente verlassen und können in diesem Fall Flugzeugabstände und Zeitfenster nicht im selben Ausmaß optimieren.

Für die Fluglotsen am Tower ist es für die Verrichtung Ihrer Aufgabe wesentlich, dass sie Blickkontakt zu ankommendem, landendem und rollendem Verkehr auf der Piste und den Rollwegen haben. Der direkte Blickkontakt erlaubt den Fluglotsen Wege und Abstände der Luftfahrzeuge zu optimieren. Wenn der Blickkontakt gestört ist, so kann diese Optimierung nicht stattfinden - ein Zustand der soweit wie möglich zu vermeiden ist.

Gemäß der European Aerodrome Design Guidelines (siehe Anhang 2), sind Blendungen im Gesichtsfeld von Piloten mit einer Leuchtdichte von über 20.000 cd/m² zu vermeiden.

3 Beurteilung & Empfehlungen

IP1 bis 5 (Anflug Runway 09)

Es wird zu Reflexionen in Richtung des Anflugsektors kommen. Im Falle des IP 2 liegen diese zentral und großflächig im Gesichtsfeld der landenden Piloten. Für den Fall, dass während dieser Zeiten (5:59-7:29 UTC+1) regelmäßig Landungen aus Westen stattfinden, **sind blendreduzierende Maßnahmen zu empfehlen.**

IP6 bis 10 (Anflug Runway 27)

Es wird zu Reflexionen in Richtung des Anflugsektors kommen. Diese haben die folgenden Eigenschaften:

- Sie bestehen ausschließlich aus Streuungen
- Sie dauern nur kurz an
- Sie finden zu einem Zeitpunkt statt wo die Sonne in einer ähnlichen Richtung steht (max. 17° Abweichung) und die Reflexionen daher Großteils überstrahlt
- Der Raumwinkel (also der Größeneindruck der PV-Anlage) ist von diesen IP aus relativ klein (1msr)
- Die Distanz zur Anlage ist relativ groß (> 1km)

Mit diesen Eigenschaften stellen die Reflexionen keine Gefahr für den Flugverkehr dar.

IP11 (Tower)

Es wird zu kurzen Reflexionen kommen, die nur aus Streulicht bestehen und auf Grund ihrer kurzen Dauer keine erhebliche Blendwirkung im Sinne der Richtlinie darstellen.

IP12 bis 17 (Platzrunden)

Es wird zu Reflexionen in Richtung einzelner Punkte auf den Platzrunden kommen. Diese liegen jedoch überall vollständig außerhalb des inneren Gesichtsfeldes der Piloten und stellen daher keine Gefahr für den Flugverkehr dar.

3.1 Blendreduziernde Maßnahmen

Als mögliche blendreduzierende Maßnahme wird die Änderung der Ausrichtung der PV-Anlage empfohlen.

Die Modultische sind dazu mit einem Azimut von -20° (also etwa in Richtung SSO) auszurichten und 25° zu neigen (statt 15°). Tabelle 1, Abbildung 12 und Abbildung 13 zeigen die Änderungen an den PV-Flächen.

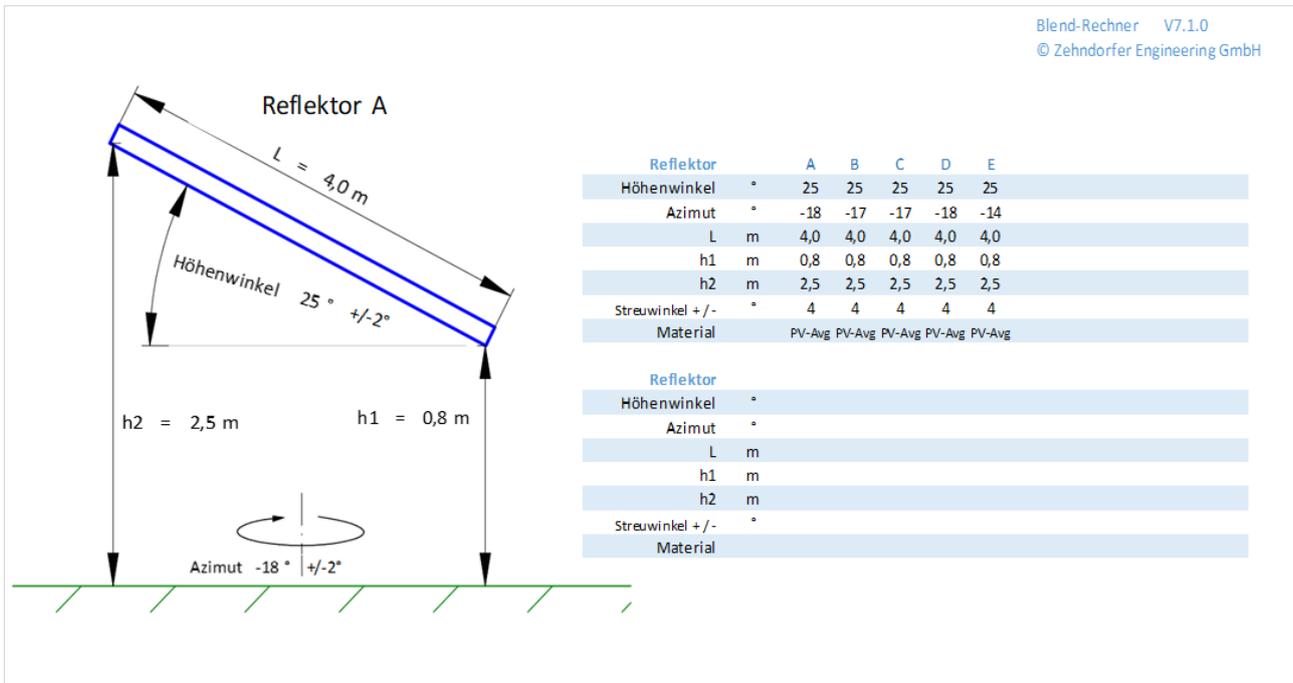
Tabelle 1 Geänderte Ausrichtung

	Montagesystem		Untergrund		Resultierende	
	Höhenwinkel	Seitenwinkel	Höhenwinkel	Seitenwinkel	Höhenwinkel	Seitenwinkel
A	25	-20	2	130	25	-18
B	25	-20	2	32	25	-17
C	25	-20	6	-4	25	-17
D	25	-20	3	142	25	-18
E	25	-20	3	87	25	-14

Abbildung 12 Verdrehung der PV-Module



Abbildung 13 Ausrichtung (Details)



Durch die geänderte Ausrichtung können die Reflexionen in Richtung des IP2 deutlich verringert werden (vergleiche Abbildung 14 und Abbildung 15).

Abbildung 14 Blenddauer (ursprüngliche Konfiguration)

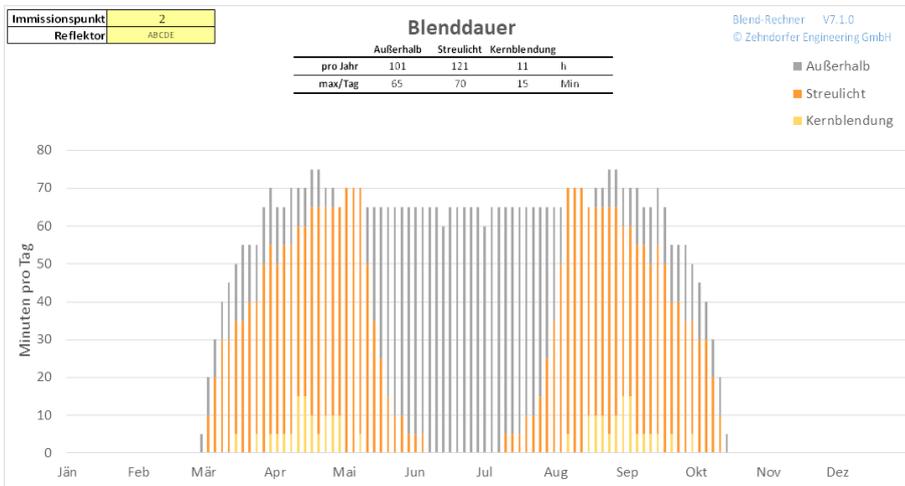
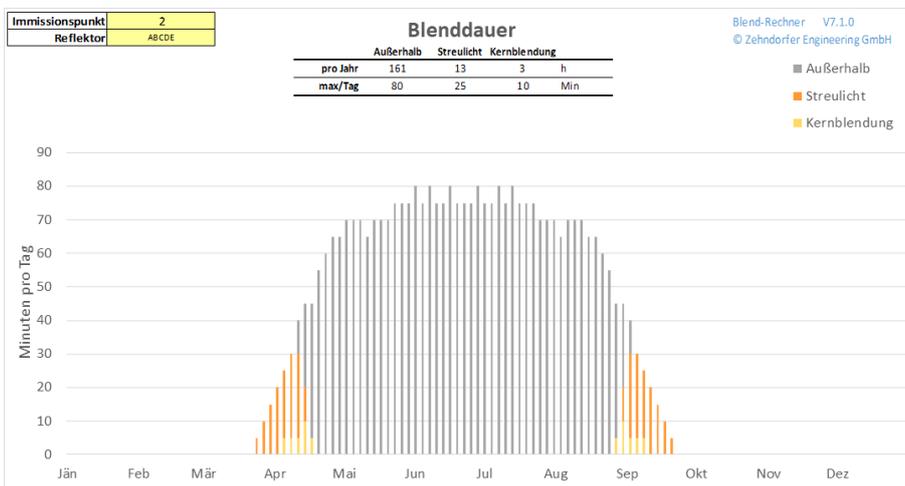


Abbildung 15 Blenddauer (geänderte Ausrichtung)



Die Ergebnisse der Blendberechnung mit geänderter Ausrichtung sind in Anhang 6.1 zu sehen.

3.2 Evaluierung mit blendreduzierenden Maßnahmen

IP1 bis 5 (Anflug Runway 09)

Es wird zu Reflexionen in Richtung des Anflugsektors kommen. Im Falle des IP 2 liegen diese mindestens 6° außerhalb der Sichtachse und sind in ihrer Dauer kurz und so weit wie möglich reduziert. Die Durchflugzeit für den Bereich direkter Kernbeladung beträgt (bei 150km/h) in etwa 3 Sekunden. Es ist in diesem Fall nicht von einer erheblichen Gefahr für den Flugverkehr auszugehen.

IP6 bis 10 (Anflug Runway 27)

Es wird zu Reflexionen in Richtung des Anflugsektors kommen. Diese haben die folgenden Eigenschaften:

- Sie bestehen ausschließlich aus Streuungen
- Sie dauern nur kurz an
- Sie finden zu einem Zeitpunkt (abends) statt wo die Sonne in einer ähnlichen Richtung steht (max. 33° Abweichung) und die Reflexionen daher Großteils überstrahlt
- Der Raumwinkel (also der Größeneindruck der PV-Anlage) ist von diesen IP aus relativ klein (1msr)

Mit diesen Eigenschaften stellen die Reflexionen keine Gefahr für den Flugverkehr dar.

IP11 (Tower)

Es wird zu kurzen Reflexionen kommen die nur nahezu ausschließlich aus Streulicht bestehen und auf Grund ihrer kurzen Dauer keine erhebliche Blendwirkung im Sinne der Richtlinie darstellen.

IP12 bis 17 (Platzrunden)

Es wird zu Reflexionen in Richtung einzelner Punkte auf den Platzrunden kommen. Diese liegen jedoch überall vollständig außerhalb des inneren Gesichtsfeldes der Piloten und stellen daher keine Gefahr für den Flugverkehr dar.

Es wird zu kurzen Blendungen im Anflugsektor des Runway 09 kommen, welche mit den vorgeschlagenen blendreduzierenden Maßnahmen noch deutlich reduziert werden können, so dass dann keine gefährliche Blendwirkung mehr besteht.

Datum: 4.3.2022

Gutachter:

**Zehndorfer
Engineering**
+43 (680) 244 3310 Zehndorfer Engineering GmbH
office@zehndorfer.at Stift-Viktring-Straße 21/6
www.zehndorfer.at 9073 Klagenfurt
FN 515736k Austria
UID-ATU74524829

Jakob Zehndorfer
Zehndorfer Engineering GmbH

ANHANG 1 DEFINITIONEN

Blendung (allgemein)	eine Störung der visuellen <i>Wahrnehmung</i> , verursacht durch eine helle Lichtquelle im Gesichtsfeld
Psychologische Blendung	eine Form von Blendung, welche als <i>unangenehm oder ablenkend</i> empfunden wird. Sie stört häufig nur unbewusst die Aufnahme von visueller Information, ohne die Wahrnehmung von Details wirklich zu verhindern.
Physiologische Blendung	eine Form von Blendung, welche die Wahrnehmung von visueller Information <i>technisch messbar</i> reduziert. Sie wird durch Streulicht innerhalb des Auges verursacht, welches die wahrnehmbaren Kontraste durch seine Schleierleuchtdichte reduziert.
Blendwirkung	Die Auswirkung der Blendung auf ein Individuum.
tolerierbare Grenze	In den genannten Vorschriften und Gesetzestexten wird die „tolerierbare Grenze“ für die Blendung nicht näher definiert.
Reflexion (Physik)	Das Zurückwerfen von Wellen an einer Grenzfläche
Gerichtete Reflexion	Für (nahezu) glatte Oberflächen gilt das <i>Reflexionsgesetz</i>
Immissionspunkt	Punkt, auf den Strahlung (durch Reflexion) einwirkt
Emissionspunkt	Punkt, von dem Strahlung (durch Reflexion) ausgesendet wird
Leuchtdichte	Ein Maß für den <i>Helligkeitseindruck</i> . Gibt die Lichtstärke pro Fläche in Candela pro Quadratmeter an [cd/m^2] bzw. den Lichtstrom pro sichtbarer Flächeneinheit des Reflektors und Raumwinkel (des entfernt stehenden Auges) [$\text{lm}/\text{m}^2\text{sr}$].
LOV	Line of Vision – die übliche Blickrichtung des Beobachters
IP	Die Immissionspunkte auch „Points of interest“ sind jene Punkte, für die die Blend-berechnung durchgeführt wird
PV	Photovoltaikanlage
Azimut	Winkel (am Boden) zwischen Objekt und Südrichtung
Elevation	zu Deutsch <i>Höhenwinkel</i> , gemessen von der Horizontalen zum Objekt
Koordinatensystem	Das verwendete Koordinatensystem verläuft in x/y-Ebene parallel zur Erdoberfläche, der z-Vektor zeigt senkrecht in die Höhe. In der Berechnung finden verschiedene andere Koordinatensysteme Anwendung, was für das Endergebnis aber irrelevant ist.
Prismierung	PV Glas hat neben seiner besonderen chemischen Zusammensetzung und einer eventuellen anti-reflex Beschichtung in vielen Fällen auch noch die Eigenschaft einer „rauen“ Oberfläche – kleine Prismen, die die Reflexion verringern und die Transmission des Lichts in das Glas verstärken sollen. An diesen kleinen, unterschiedlich geneigten Flächen entsteht Streulicht.

ANHANG 2 RICHTLINIEN, VORSCHRIFTEN UND GESETZE

Bundes-Immissionsschutzgesetz Deutschland (2016)

§ 5 (1) Genehmigungsbedürftige Anlagen sind so zu errichten und zu betreiben, dass zur Gewährleistung eines hohen Schutzniveaus für die Umwelt insgesamt 1. schädliche Umwelteinwirkungen und sonstige Gefahren, erhebliche Nachteile und erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit und die Nachbarschaft nicht hervorgerufen werden können; ...

§ 22 (1) Nicht genehmigungsbedürftige Anlagen sind so zu errichten und zu betreiben, dass 1. schädliche Umwelteinwirkungen verhindert werden, die nach dem Stand der Technik vermeidbar sind, ...

Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI-2012), 13.09.2012 -Deutschland

3. Maßgebliche Immissionsorte und –Situationen

Maßgebliche Immissionsorte sind a) schutzwürdige Räume, die als Wohnräume, Schlafräume, einschließlich Übernachtungsräume in Beherbergungsstätten und Bettenräume in Krankenhäusern und Sanatorien, Unterrichtsräume in Schulen, Hochschulen und ähnlichen Einrichtungen, Büroräume, Praxisräume, Arbeitsräume, Schulungsräume und ähnliche Arbeitsräume genutzt werden. An Gebäuden anschließende Außenflächen (z. B. Terrassen und Balkone) sind schutzwürdigen Räumen tagsüber zwischen 6:00 – 22:00 Uhr gleichgestellt. b) unbebaute Flächen in einer Bezugshöhe von 2 m über Grund an dem am stärksten betroffenen Rand der Flächen, auf denen nach Bau- oder Planungsrecht Gebäude mit schutzwürdigen Räumen zugelassen sind.

Zur Ermittlung der Immissionen (Blendzeiträume) wird von idealisierten Annahmen ausgegangen

- Die Sonne ist punktförmig
- Das Modul ist ideal verspiegelt, d.h. es kann das Reflexionsgesetz „Einfallswinkel gleich Ausfallswinkel“ angewendet werden.
- Die Sonne scheint von Aufgang bis Untergang d.h. die Berechnung liefert die astronomisch maximal möglichen Immissionszeiträume.

In den Immissionszeiten sollten nur solche Konstellationen berücksichtigt werden, in denen sich die Blickrichtungen zur Sonne und auf das Modul um mindestens 10° unterscheiden.

Eine erhebliche Belästigung im Sinne des BImSchG durch die maximal mögliche astronomische Blenddauer unter Berücksichtigung aller umliegenden Photovoltaikanlagen kann vorliegen, wenn diese mindestens 30 Minuten am Tag oder 30 Stunden pro Kalenderjahr beträgt.

is narrower and enables the perception of an object; it opens up to 60°; (iii) conspicuity field, which enables the recognition, it opens up to 30°; (iv) working conspicuity field, which is further tightly centred on the eye direction (1 to 2°); it enables the identification and is the working area of the vision. It is reminded that the retina is composed in its centre by cone cells (that see colours and details) and at the periphery by rod cells (that perceive movements and change of state).

(i) A safety assessment is conducted in order to identify situations where the risk of dazzling becomes unacceptable. Thus, it is noted that dazzle represents such a risk in the following situations:

- (1) during approach, especially after the aircraft has descended below the decision height: the pilot should not lose any visual cue;
- (2) at touchdown the pilot should not be surprised by a flash;
- (3) during rolling (landing or take-off), the pilot should be able to perceive his environment and detect any deviation from the centre line: the pilot should not lose any visual cue.
- (4) Thus: (i) prejudicial dazzle due to veiling luminance should not occur during approach (slightly before the decision height) and rolling; and (ii) surprise effect should not occur at touchdown.

(j) Regarding air traffic controllers, it has been considered that dazzle induced by veiling effect should not reduce the visual perception of aircraft operations on, and close to the runway.

(k) The elements here above can be applied to solar panels. The following assumptions can be made:

- (1) solar panels are inclined so as to efficiently capture the sunlight, conducting to a range of cross section surfaces;
- (2) the maximum acceptable luminance value has been fixed to 20 000 cd/m²; and
- (3) the surfaces varied from 100 m² to several hectares.

(l) It is assumed that the aircraft maintains precisely its trajectory whereas in reality the approach is conducted into a conical envelop around the expected trajectory.

ANHANG 3 PLATZRUNDEN

Die Überlagerung von Sichtflugkarte und Orthofoto zeigt die relative Lage des Solarparks.



ANHANG 4 METHODIK DER BERECHNUNG

Die Berechnung wird mittels *Raytracing* durchgeführt. Dabei wird der errechnete Sonnenstand für ein ganzes Jahr in der Auflösung von 1 bis 5 Minuten, in einen Einfallswinkel auf der Reflexionsfläche umgerechnet und mathematisch gespiegelt. Streublendungen werden als Strahlaufweitung an der Reflexionsoberfläche modelliert. Alle Zeitpunkte bei denen Reflexionen zu den Immissionspunkten auftreten werden notiert und grafisch im Blendverlauf dargestellt. Die Blenddauer wird als tägliche und jährliche Akkumulation der Blendzeitpunkte errechnet. Alle Berechnungen werden unter Zuhilfenahme von vorteilhaften Koordinatensystemen mittels entsprechender Drehmatrizen durchgeführt.

Für die Berechnung der Photometrischen Daten (Leuchtdichte und Beleuchtungsstärke) wird die vom Sonnenstand abhängige Einstrahlung mit dem winkelabhängigen Reflexionsfaktor multipliziert. Auch die Strahlaufweitung an der reflektierenden Oberfläche wird berücksichtigt. Die Beleuchtungsstärke wird mit der zu jedem Zeitpunkt reflektierende Oberfläche berechnet.

