

Analyse der Blendwirkung für die Solaranlage Bad Abbach West

Im Auftrag von

Hr. Axel Ipfelkofer
Jakob-Klar-Str. 7
80796 München
Deutschland

Gutachten ZE18001a-ST
Januar 2018

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>Gelände-profil</i>	7
1.4.2	<i>Horizont</i>	8
1.4.3	<i>Bewuchs</i>	9
1.4.4	<i>Künstliche Abschattungen</i>	9
2	Blendberechnung.....	9
2.1	BEDINGUNGEN FÜR DIE BERECHNUNG.....	9
2.2	REFLEXIONSBERECHNUNG	9
2.3	ERKLÄRUNG DER ERGEBNISSE	11
2.4	SICHTBEZUG.....	12
2.5	BLEND-WIRKUNG.....	12
2.5.1	<i>Größenverhältnisse</i>	13
2.5.2	<i>Blendstärke</i>	13
2.5.3	<i>Blendedauer</i>	14
2.5.4	<i>Mögliche subjektive Effekte</i>	14
3	Beurteilung & Empfehlungen.....	14
	ANHANG 1 Definitionen.....	17
	ANHANG 2 Richtlinien, Vorschriften und Gesetze.....	19
	ANHANG 3 Methodik der Berechnung	21
	ANHANG 4 Vermessung der Umgebung.....	22
	ANHANG 5 Detail-Ergebnisse der Berechnungen.....	23

Zusammenfassung

Im Bauverfahren einer Freiflächen-Photovoltaikanlage westlich der Autobahn A93 ist zu prüfen, ob der Straßenverkehr geblendet werden könnte. Außerdem ist die Blendwirkung auf die bestehende Wohnverbauung zu untersuchen.

Bestehende Wohnhäuser werden von der PV-Anlage nicht erheblich geblendet.

Es wird empfohlen eine blickdichte Abschirmung zwischen der PV-Anlage und der Autobahnabfahrt 46 Bad Abbach (aus Richtung Regensburg) zu errichten.

1 Situationsbeschreibung

1.1 Problembeschreibung

Menschen, die Fahrzeuge lenken sind auf gute Sicht angewiesen. Blendung kann das „Fahren auf Sicht“ und das Erkennen von Signalen behindern, wodurch es zu Verkehrsbehinderungen und Unfällen kommen kann.

Blendung aus ungewohnten Richtungen können Menschen bei Arbeiten behindern, sowie den Erholungswert im Freien, auf Balkonen oder sogar in den Wohnräumlichkeiten derart verringern, dass von Unzumutbarkeit gesprochen werden kann.

Ziel dieses Gutachtens ist die Prüfung, ob Fahrzeuglenker, die auf der Autobahn A93 an der PV-Anlage vorbeifahren, von dieser geblendet werden könnten, sowie die Beurteilung einer möglichen Blendwirkung auf die Anwohner gemäß der Richtlinie LAI-2012.

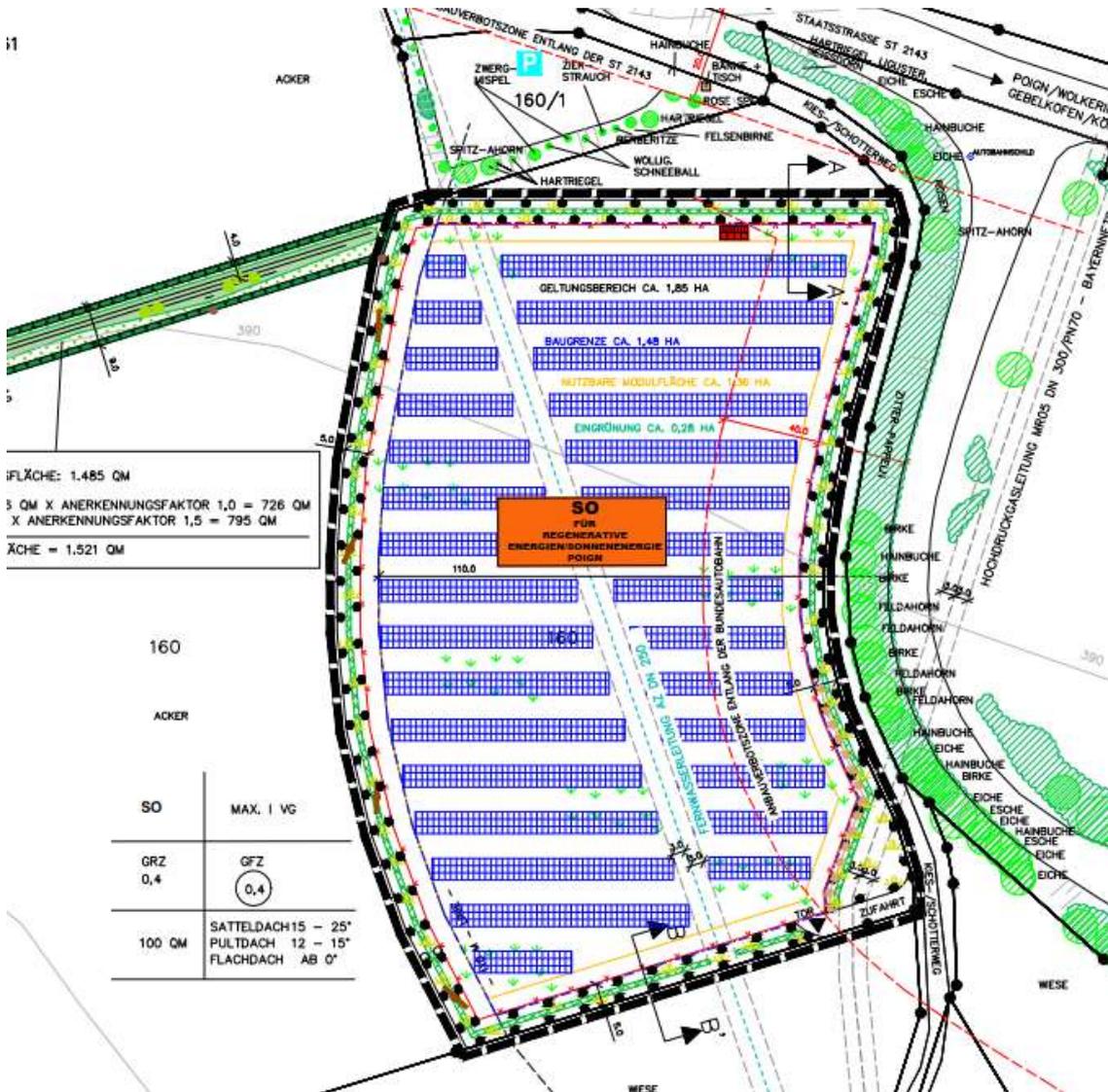
1.2 Ortsbezeichnung und Lage der PV-Anlage

Die geplante Freiflächen-Photovoltaik-Anlage befindet sich in der Gemeinde 93080 Pentling, Landkreis Regensburg, westlich der Autobahn A93 (Gemarkung Poign, GPS Koordinaten: 48°56'1"N, 12°5'13"O).

Abbildung 1 Situation



Abbildung 2 Layout der Solar-Anlage



Die PV-Anlage wurde für die Berechnung in 2 Teilflächen modelliert.

Abbildung 3 Ausrichtung der Anlage



Abbildung 4 Ausrichtung der PV-Module (nicht maßstabsgetreu)

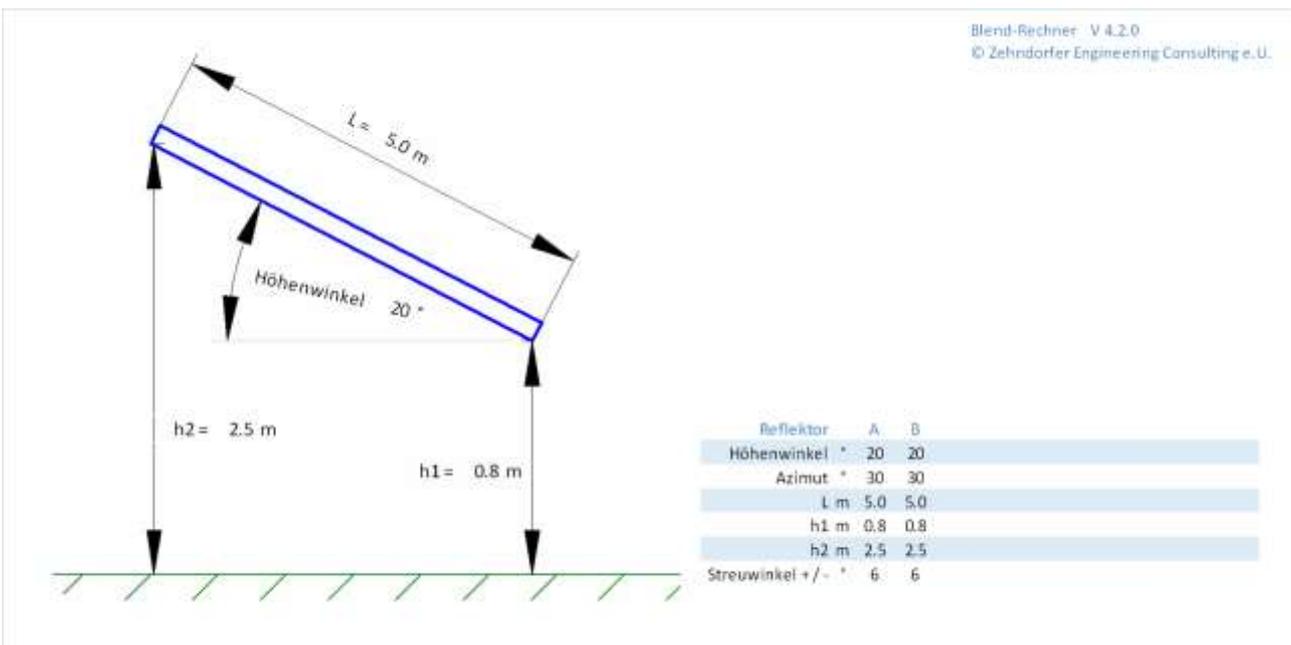


Abbildung 3 und Abbildung 4 zeigen die Ausrichtung des PV-Feldes im Raum. Die Module sind in Richtung Süden (0° Azimut) mit 20° geneigt aufgeständert. Sie sind auf Modultischen in 3 Reihen übereinander, im Hochformat angeordnet. Von der Rückseite der PV-Module sind keine Reflexionen zu erwarten.

1.3 Untersucher Raum

Die Immissionspunkte (IP) sind jene Punkte, für die die Blendberechnung durchgeführt wird. Die zu untersuchenden Punkte liegen auf der Autobahn in beiden Fahrtrichtungen, auf den umliegenden Straßen, sowie bei den Anwohnern.

Abbildung 5 Immissionpunkte



Abbildung 5 zeigt die Lage der Immissionspunkte (IP) und des PV-Feldes. Die Immissionspunkte wurden unter dem Kriterium ausgewählt, dass eine Sichtverbindung zur Vorderseite der PV-Module gegeben sein muss. Ist ein IP mit einem schwarzen Pfeil versehen, so stellt dieser die feste Blickrichtung des Beobachters von diesem Immissionspunkt dar (falls besondere Gegebenheiten wie z.B. die Fahrtrichtung dies vorgegeben).

Für die Wohnverbauung nordwestlich der PV-Anlage sind keine Blendungen durch die PV-Anlage zu erwarten.

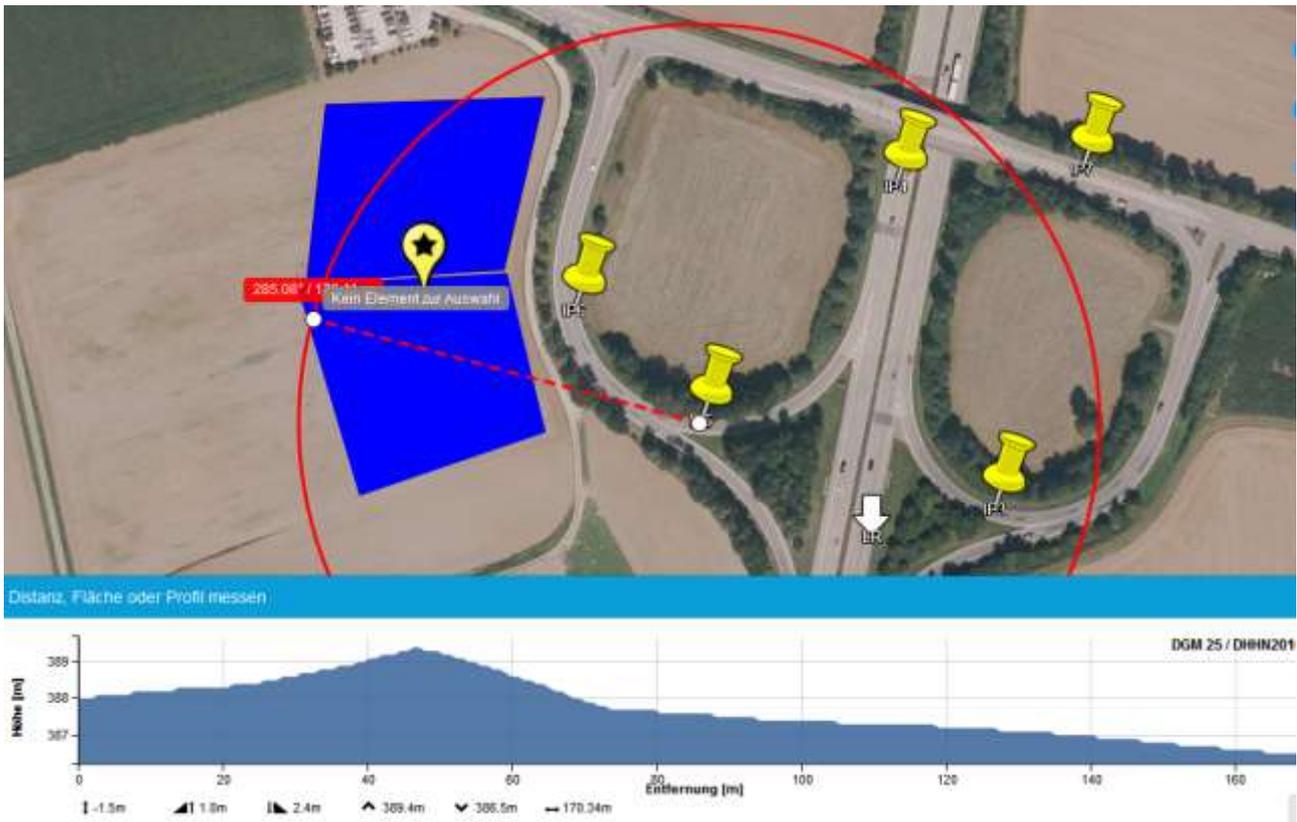
Die Immissionspunkte auf den Straßen wurden 2,5 m über dem Gelände gewählt (maximal anzunehmende Höhe des Fahrers). Die Höhe der Anwohner 2 m über dem Boden. Die detaillierte Vermessung der relevanten Umgebung ist in Anhang 4 zu finden.

1.4 Abschattungen & Verdeckungen

1.4.1 Gelände-profil

Das umliegende Geländeprofil ist beinahe eben. Es gibt einige kleinere Geländekanten, die die Anlage teilweise verdecken werden. Die PV Anlage liegt leicht unterhalb der Autobahnabfahrt, wird von dieser aus aber prinzipiell zu sehen sein (insbesondere von den höher sitzenden LKW-Fahrern).

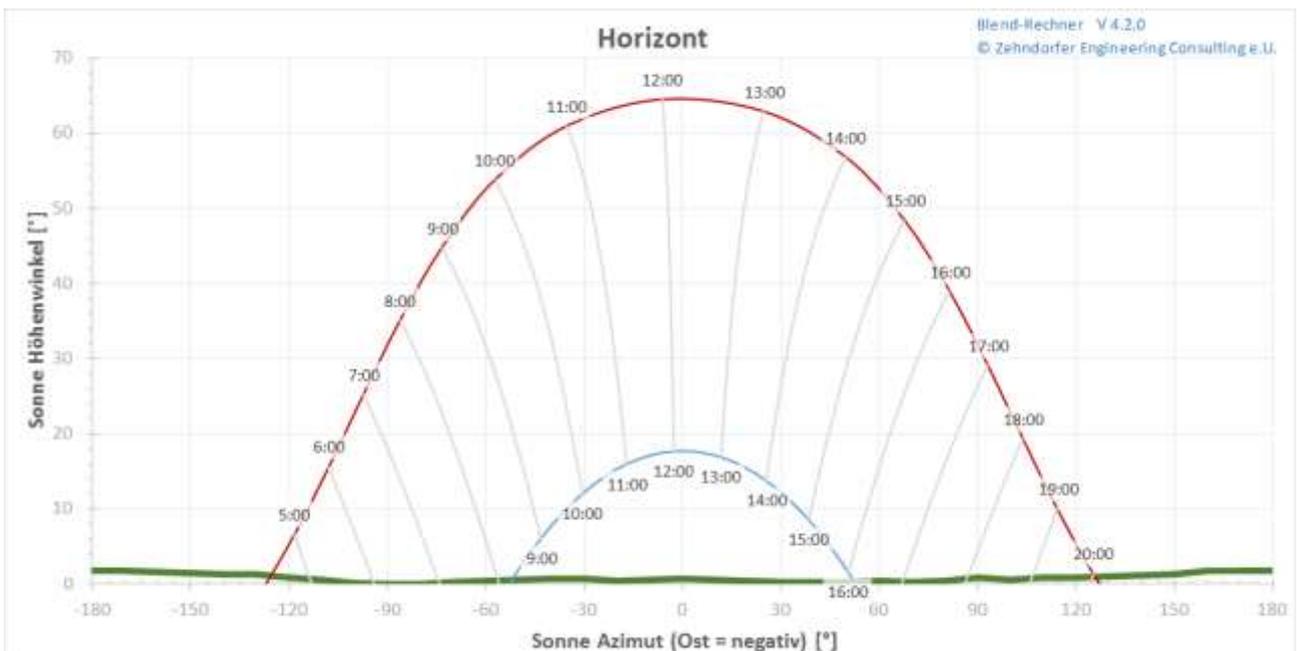
Abbildung 6 Geländeprofil



1.4.2 Horizont

Es gibt in der Nähe flache Hügel. Durch diese findet jedoch keine Fern-Verschattung der Anlage statt (die die Sonnenstunden und damit die Reflexionen reduzieren könnte).

Abbildung 7 Horizont

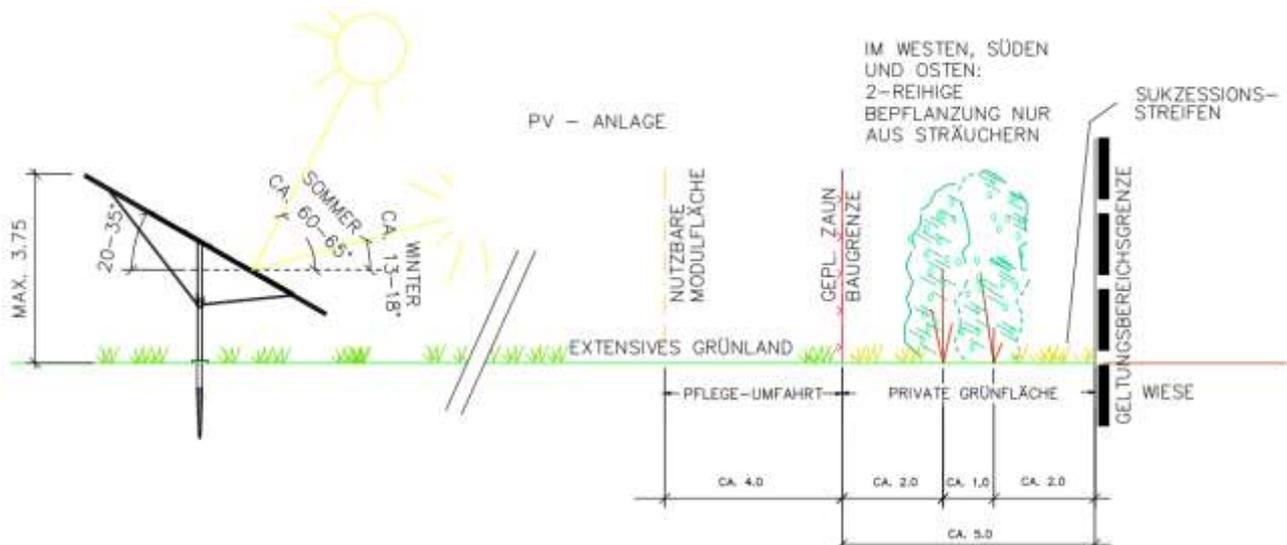


1.4.3 Bewuchs

Zwischen der Reflexionsfläche und den IP gibt einige Bäume und Büsche, jedoch keinen durchgehenden Bewuchs, der die Anlage in Richtung der Autobahn vollständig verdeckt.

Allerdings ist im Westen, Süden und Osten der Anlage eine 2-reihige Hecke aus Sträuchern geplant, die den Blick auf die PV-Anlage aus Richtung der Autobahn deutlich reduzieren kann, wenn sie hoch und dicht genug ist.

Abbildung 8 geplante Bepflanzung



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

2.2 Reflexionsberechnung

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

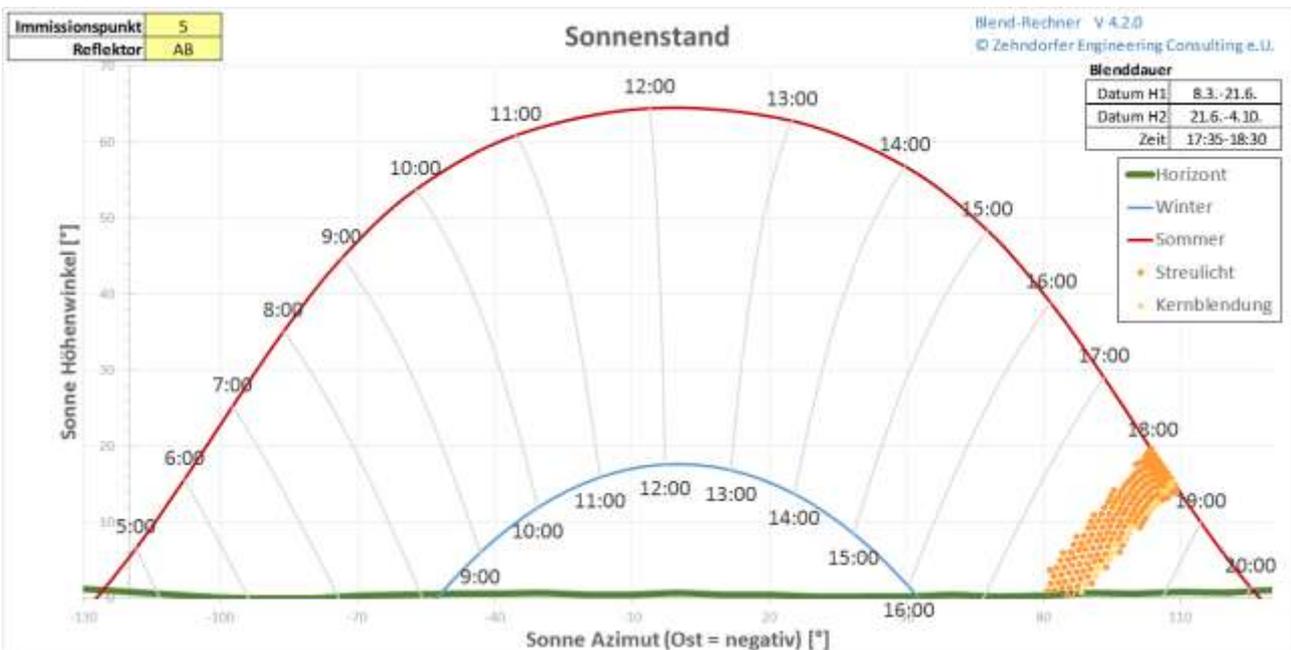
Abbildung 9 Reflexion der Solar Anlage zum IP 5



Abbildung 9 stellt die Immissionspunkte und den Strahlengang von eventuellen Reflexionen dar.

Abbildung 10 zeigt zu welchem Zeitpunkt (Jahres- und Uhrzeit) Reflexionen auftreten. Es ist auch jener Sonnen-höhenwinkel und der Sonnen-azimut dargestellt, bei dem Reflexionen in Richtung des Immissionspunktes ausgestrahlt werden.

Abbildung 10 Sonnenwinkel bei Blendung am IP 5



Am IP 5 ist also von Anfang März bis Anfang Oktober zwischen 17:35 und 18:30 mit Reflexionen zu rechnen. Die Resultate der Berechnung für den IP 5 sind in folgender Tabelle zusammengefasst. Alle weiteren Ergebnisse sind in Anhang 5 zu finden.

Reflektor			AB
Immissionspunkt			5
Distanz	m		121
Höhenwinkel	°		-1
Raumwinkel	msr		17
Datum H1			8.3.-21.6.
Datum H2			21.6.-4.10.
Zeit			17:35-18:30
Kernblendung	min / Tag		5
Kernblendung	h / Jahr		6
Streulicht	min / Tag		35
Streulicht	h / Jahr		90
Sonnen Höhenwinkel (Mittel)	°		10
Sonnen Azimut (Mittel)	°		95
Sonne-Reflektor Winkel (max)	°		28
Blendung - Blickwinkel (min)	°		2

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 dem Blendung über den Reflektor erfolgt
Zeit	Jene maximale Zeitspanne bei der die Blendung über den Reflektor erfolgt
Kernblendung	Die Dauer der Blendung durch direkten 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 Sonnen-höhenwinkel zum Zeitpunkt der Blendung
Sonnen Azimut	Durchschnittlicher Sonnen-Azimut zum Zeitpunkt der Blendung

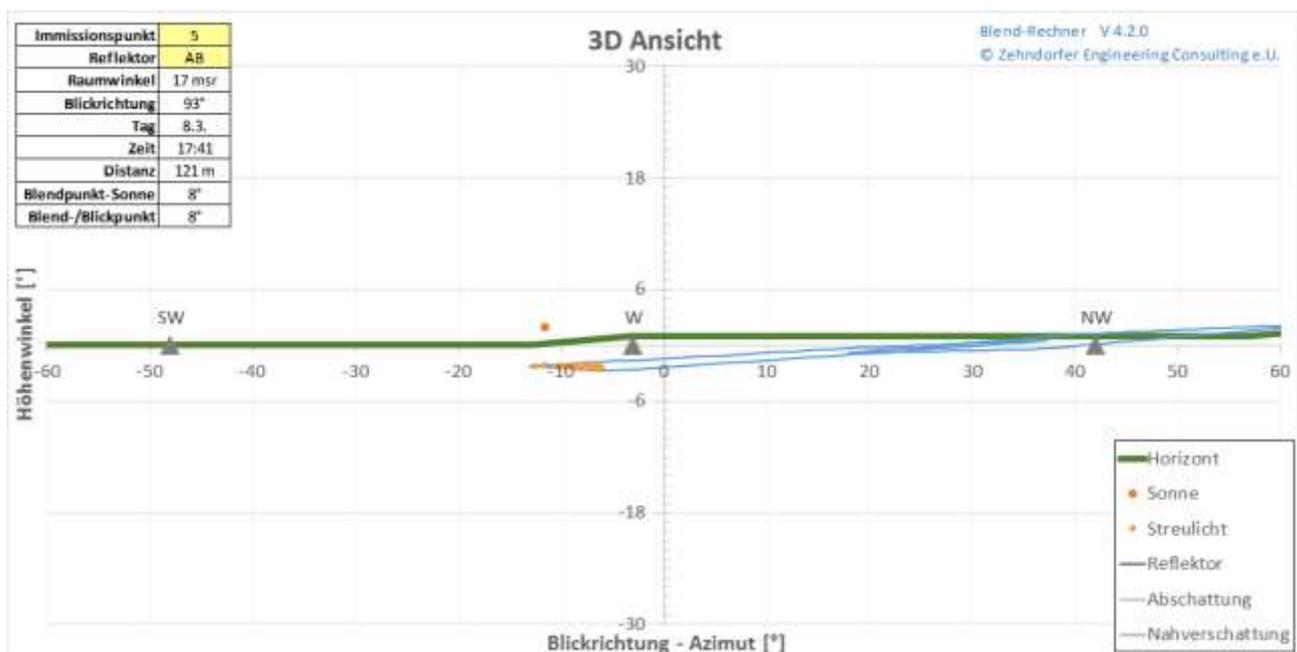
Sonne-Reflektor Winkel Der vom Immissionspunkt aus sichtbare Winkel zwischen Reflektor und Sonnenstand bei Blendung. Ist dieser Winkel klein (also z.B. $< 10^\circ$), so spielt die Blendung neben der in gleicher Richtung stehenden und typischer Weise viel stärkeren Sonne eine untergeordnete Rolle.

Blendung-Blickwinkel Der minimale Winkel zwischen der Blickrichtung (also z.B. Fahrtrichtung) und jener Stelle des Reflektors von welcher aus Reflexionen stattfinden könnten. Ist der Winkel groß (also außerhalb des eines Kegels von 30°), so spielt die Blendung eine untergeordnete Rolle.

2.4 Sichtbezug

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

Abbildung 11 Blickfeld am IP 5 Richtung Osten



2.5 Blend-wirkung

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 Entfernung¹) sind hier alle Größen im Maß des Raumwinkels (milli Steradian) umgerechnet.

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

Die maximal sichtbare Größe der Solar-Anlage vom IP 5 mit 17 msr 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. In diesem konkreten Fall ist der Reflexionswinkel jedoch (zur Normalen auf die Solar-Module) hoch (d.h. relativ flach zur Glasoberfläche), wodurch ein großer Teil des Sonnenlichts reflektiert wird.

¹ Der Mond oder die Sonne sind also z.B. mit dem ausgestreckten Daumen vollständig verdeckbar.

2.5.3 Blenddauer

Abbildung 12 Blenddauer am IP 5

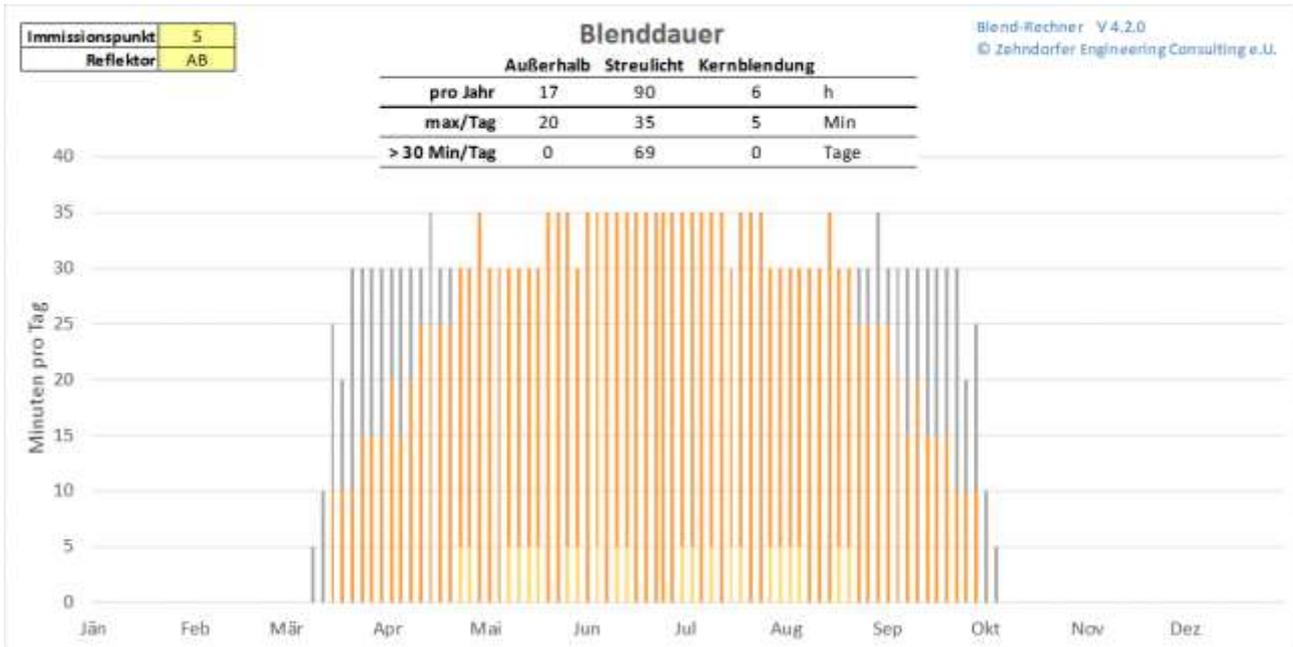


Abbildung 12 zeigt die Verteilung der Blenddauer pro Tag über das ganze Jahr.

Die grauen 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 (+/-30° von der Blickrichtung) nicht in der Summe der Blenddauer berücksichtigt.

Die orangen Balken stellen Streulicht an der Moduloberfläche dar.

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.

2.5.4 Mögliche subjektive Effekte

Es gibt Tätigkeiten, bei denen die ungestörte Sicht in Richtung der PV Anlage notwendig ist. Dies ist im konkreten Fall (für das Lenken von Fahrzeugen) teilweise zutreffend, insbesondere wenn KFZ Lenker von der Autobahn von Norden kommend, in Richtung Bad Abbach abfahren (IP5).

Die von der Autobahn kommenden Fahrzeuge haben üblicher Weise eine höhere Geschwindigkeit und die Rechtskurve erfordert das kontrollierte Lenken des Fahrzeuges um das Fahrzeug sicher auf dem Fahrstreifen zu halten, weshalb Blendungen zu diesem Zeitpunkt als kritisch einzustufen und gänzlich zu vermeiden sind.

3 Beurteilung & Empfehlungen

IP1 und 9

Auf Grund des möglichen Sonnenstandes kann es nicht zu Reflexionen in Richtung der Immissionspunkte kommen.

IP 8 (Anwohner)

Es kann zu kurzfristigen Reflexionen kommen, die jedoch ausschließlich aus Streublendung bestehen (welche gemäß LAI-2012 nicht zu berücksichtigen sind).

IP 2, 4 und 6 (Autobahn bzw. Abfahrt)

Es kann zu kurzfristigen Reflexionen, vor allem verursacht durch Streuung an den Modulen, kommen. Diese treffen jedoch in einem großen Winkel zur Fahrtrichtung ein, liegen also nicht im inneren Gesichtsfeld des Fahrers, der seinen Blick auf der Straße hält. Der Fahrer wird durch die Reflexionen also nicht gefährdet.

IP 7

Es kann zu kurzfristigen Reflexionen in Richtung des IP kommen. Da jedoch die Sonne zu diesem Zeitpunkt aus einer ähnlichen Richtung (viel stärker) blendet, ist von keiner wesentlichen, zusätzlichen Störung auszugehen.

IP 3 und 5 (Autobahn-Abfahrt bzw. -Auffahrt)

Es kann zu kurzfristigen Reflexionen verursacht durch die PV-Anlage kommen. Da die Reflexionen allerdings (insbesondere für höher sitzende LKW-Fahrer im mittleren Gesichtsfeld sichtbar sein werden, ist dafür zu sorgen, dass Reflexionen in Richtung dieser Immissionspunkte abgeschirmt werden.

Abminderungsfaktoren an dieser Stelle sind:

- bestehender Bewuchs
- der Fakt, dass die Sonnen zum Blendzeitpunkt aus einer ähnlichen Richtung blendet

Die geplante Hecke kann dazu beitragen, dass die Blendwirkung der PV Anlage keine Gefahr für den Straßenverkehr darstellt. Die Hecke muss dazu eine ausreichende Höhe (Modultisch-Oberkante), sowie eine Dichte aufweisen, die die Reflexionen auf diesen Straßenteil abhalten. Ist dies nicht gegeben, so kann ein blickdichter Zaun mit einer Länge von 50m und einer Höhe bis mindestens Moduloberkante die Reflexionen abschirmen (siehe rote Linien in Abbildung 13). Nördlich des eingezeichneten Zauns ist keine weitere Abschirmung notwendig.

Abbildung 13 Abschirmung der Reflexionen



Es wird empfohlen eine blickdichte Abschirmung zwischen der PV-Anlage und der Abfahrt 46 Bad Abbach (aus Regensburg kommend) zu errichten - siehe rote Linie in Abbildung 13. Die geplante Hecke kann diese Funktion übernehmen, wenn sie entsprechend ausgeführt wird.

Datum: 16.1.2017

Gutachter:

Zehndorfer
Engineering Consulting
+43 (580) 244 3310 Zehndorfer Engineering Consulting s.r.l.
office@zehndorfer.at Dipl.-Ing. Jakob Zehndorfer, MBA
www.zehndorfer.at St. P. Viktring-Str. 21-8
FN 417845 8070 Klagenfurt
UPLATUEB1140J Austria

Jakob Zehndorfer
Zehndorfer Engineering Consulting

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 Fläche des Reflektors und Raumwinkel (des entfernt stehenden Auges) [$\text{lm}/\text{m}^2\text{sr}$].
Lichtstärke	Der Lichtstrom pro Raumwinkel [lm/sr].
Lichtstrom	gibt an wie viele Photonen pro Zeiteinheit von der Lichtquelle emittiert werden – gemessen in Lumen [lm]
LOV	Line of Vision – die übliche Blickrichtung des Beobachters (z.B. Fahrtrichtung eines Fahrzeuges)
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 (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, ...

Bundesfernstraßengesetz (2007)

§ 9 Bauliche Anlagen an Bundesfernstraßen - (2) Im Übrigen bedürfen Baugenehmigungen oder nach anderen Vorschriften notwendige Genehmigungen der Zustimmung der obersten Landesstraßenbaubehörde, wenn 1. bauliche Anlagen längs der Bundesautobahnen in einer Entfernung bis zu 100 Meter und längs der Bundesstraßen außerhalb der zur Erschließung der anliegenden Grundstücke bestimmten Teile der Ortsdurchfahrten bis zu 40 Meter, gemessen vom äußeren Rand der befestigten Fahrbahn, errichtet, erheblich geändert oder anders genutzt werden sollen, ...

(3) Die Zustimmung nach Absatz 2 darf nur versagt oder mit Bedingungen und Auflagen erteilt werden, soweit dies wegen der Sicherheit oder Leichtigkeit des Verkehrs, der Ausbauabsichten oder der Straßenbaugestaltung nötig ist.

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

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.

ANHANG 3 METHODIK DER BERECHNUNG

Die Berechnung wird mittels *Backward Raytracing* durchgeführt. Dabei werden die Eckpunkte der sichtbaren PV Fläche um den Streuwinkel erweitert. Danach werden die Vektoren der Strahlen vom IP zu den 4 Eckpunkten der PV Fläche durchgeführt. Diese Vektoren werden an der PV Ebene gespiegelt und auf einen virtuellen Sonnenstand (Elevation & Azimut) zurückgerechnet. Es wird die Gültigkeit dieses Virtuellen Sonnenstandes überprüft (PV-Rückseite, Sommerlinie, Winterlinie und Horizont) und für alle gültigen Werte eine Detailsimulation (im *Forward Raytracing*) durchgeführt, was anschließend in der Grafik Blendverlauf dargestellt wird. Alle Berechnungen werden unter Zuhilfenahme von vorteilhaften Koordinatensystemen mittels entsprechender Drehmatrizen durchgeführt.

Die Blenddauer-berechnung erfolgt mittels *Forward Raytracing* Detail-simulation.

ANHANG 4 VERMESSUNG DER UMGEBUNG

Für die Koordinaten wurde das folgende Bezugssystem gewählt: UTM Zone 33, mit false northing -5.000.000

Die PV Anlage befindet sich an folgenden Koordinaten

Reflektor Eckpunkt	A				B			
	C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3	C4
x	286.605	286.696	286.718	286.622	286.624	286.711	286.698	286.602
y	424.181	424.182	424.258	424.262	424.087	424.111	424.182	424.180
z	386	388	393	391	382	385	388	386
h	0,8	0,8	2,5	2,5	0,8	0,8	2,5	2,5

Für diese Berechnung wurden folgende Immissionspunkte betrachtet

Immissionspunkt	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Bezeichnung	IP1	IP2	IP3	IP4	IP5	IP6	IP7	IP8	IP9
x	286.767	286.825	286.900	286.864	286.777	286.725	286.943	287.418	287.333
y	423.700	423.983	424.072	424.212	424.115	424.164	424.216	423.728	423.531
z	380	385	387	391	387	389	390	370	367
h	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,0	2,0
Blickrichtung	-173	-169	113	9	93	168	108		

ANHANG 5 DETAIL-ERGEBNISSE DER BERECHNUNGEN

Reflektor		AB	AB	AB	AB	AB	AB	AB
Immissionspunkt		1	2	3	4	5	6	7
Distanz	m	453	229	251	217	121	70	294
Höhenwinkel	°	1	0	-1	-2	-1	-4	-1
Raumwinkel	msr	3	8	4	0	17	132	0
Datum H1		-	28.5.-21.6.	20.3.-21.6.	23.3.-6.6.	8.3.-21.6.	19.2.-21.6.	23.3.-4.5.
Datum H2		-	21.6.-15.7.	21.6.-22.9.	6.7.-19.9.	21.6.-4.10.	21.6.-22.10.	8.8.-19.9.
Zeit		-	18:07-18:28	17:46-18:30	18:08-18:50	17:35-18:30	17:13-18:30	18:08-18:39
Kernblendung	min / Tag	0	0	5	0	5	0	0
Kernblendung	h / Jahr	0	0	3	0	6	0	0
Streulicht	min / Tag	0	0	35	0	35	0	0
Streulicht	h / Jahr	0	0	77	0	90	0	0
Sonnen Höhenwinkel (Mittel)	°	-	16	10	7	10	11	5
Sonnen Azimut (Mittel)	°	-	107	97	100	95	90	97
Sonne-Reflektor Winkel (max)	°	-	24	26	13	28	33	10
Blendung - Blickwinkel (min)	°	-	73	0	82	2	54	7

Reflektor		AB	AB
Immissionspunkt		8	9
Distanz	m	863	908
Höhenwinkel	°	1	1
Raumwinkel	msr	0	0
Datum H1		13.5.-21.6.	-
Datum H2		21.6.-30.7.	-
Zeit		18:22-18:55	-
Kernblendung	min / Tag	0	0
Kernblendung	h / Jahr	0	0
Streulicht	min / Tag	20	0
Streulicht	h / Jahr	16	0
Sonnen Höhenwinkel (Mittel)	°	12	-
Sonnen Azimut (Mittel)	°	109	-
Sonne-Reflektor Winkel (max)	°	18	-
Blendung - Blickwinkel (min)	°	1	-



