Ingenieurbüro Eva Jenennchen

JERA

Jenennchen - Energie : Regenerative / Alternative

Blendanalyse

PV-Kraftwerk Pfalzdorf

Freilandanlage

Auftraggeber:

Rainer Wehren
Uedemerfelderweg 35
47589

Ilmenau, 21.02.2023
Version Nr.: 1.0
Gutachtennummer: BAL-K131-23009-V10

Auftragnehmer:

Ingenieurbüro JERA
Heydaer Straße 5
98693 Ilmenau OT Bücheloh

E. Jenennchen

Dipl.-Ing. Eva Jenennchen
(Bearbeiter und Teamleitung)

Inhaltsverzeichnis

Seite

Inhaltsverzeichnis 1

1. Beauftragung 2

2. Grundlagen 3

a. Begriffsbestimmung Blendung 3

b. Physikalische Grundlagen 4

c. Berechnung der Lichttechnik 6

d. Mathematische Berechnungsmethode der astronomischen Blendzeiten 7

e. Reflektionsverhalten von PV-Modulen 9

3. Rahmenbedingungen am Standort 10

4. mögliche Immissionsobjekte 10

5. Situation am Anlagenstandort 12

a. Bewertung der Immissionsorte 14

b. Berechnung der Lichttechnik 15

c. Astronomische Blendzeiten 18

6. Fazit 20

7. Gewährleistung 21

8. Tabellenverzeichnis 21

9. Abbildungsverzeichnis 21

1. Beauftragung

Abbildung 1: Satellitenbild mit eingebettetem Modulbelegungsplan

[Quelle: GoogleEarth+ Kunde]

Auftraggeber:	Rainer Wehren
Auftragsdatum:	30.11.2022
Anlagentyp:	Freilandanlage
Standort:	Pfalzdorf *(51°43' nördliche Breite; 6°10' östliche Länge; 30 m ü. NN.)*

Tabelle 1: Beauftragung

Dem Auftragnehmer standen die erforderlichen Unterlagen in Form des Modulbelegungsplanes vom geplanten Standort zur Verfügung.

Zur Beurteilung der Blendwirkung als Immission bezieht sich dieses Gutachten auf die LAI (Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen, vom 13.09.2012).

2. Grundlagen

a. Begriffsbestimmung Blendung

Bei der Blendung durch Lichtquellen wird zwischen der physiologischen und psychologischen Blendung unterschieden. Während die physiologische Blendung, die die Minderung des Sehvermögens durch Streulicht im Glaskörper des Auges beschreibt, bei den üblichen Immissionssituationen nicht auftritt, werden die Anwohner häufig durch die psychologische Blendung belästigt. Das ist selbst dann so, wenn sich die Lichtquelle in größerer Entfernung befindet, so dass sie im Wohnbereich keine nennenswerte Aufhellung erzeugt. Die Belästigung entsteht durch die ständige und ungewollte Ablenkung der Blickrichtung zur Lichtquelle hin, die bei einem großen Unterschied der Leuchtdichte der Lichtquelle zur Umgebungsleuchtdichte die ständige Adaptation des Auges auslöst [Quelle: Lichtleitlinie des Landes Brandenburg vom 16.April 2014].

Im Zuge eines Blendgutachtens muss daher zwischen der physiologischen und der psychologischen Blendung unterschieden werden. Die physiologische Blendung wird in diesem Gutachten als Beeinträchtigung eines Betrachters bezeichnet und für verkehrstechnisch relevante Immissionsorte wie Straßen oder Bahnlinien verifiziert. Diese Betrachtung liegt außerhalb des Geltungsbereiches der Lichtleitlinie, da verkehrstechnisch relevante Immissionsorte nicht zu besonders schützenswerten Räumen zählen. Die Berechnungsmethode stützt sich daher auf den Bereich der physikalischen Lichttechnik und betrachtet die Absolutblendung. In der Lichttechnik wird allerdings die Physiognomie des menschlichen Auges nicht berücksichtigt, welche die Adaption des Auges an die vorherrschende Umgebungsleuchtdichte beschreibt. Hierzu findet in diesem Gutachten eine Beurteilung statt, die den Sonnenstand im Vergleich zum Emmissionsort der Reflektion betrachtet.

Die psychologische Blendung wird in diesem Gutachten als Belästigung bezeichnet und nach der Lichtleitlinie LAI (Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen, vom 13.09.2012) berechnet.

b. Physikalische Grundlagen

Die physikalischen Grundlagen einer Blendung liegen in der Optik. Die Ursache ist die Reflektion von Strahlung an einer glatten Oberfläche. Die Oberfläche eines PV-Moduls besteht aus gehärtetem Glas, dies ist eine glatte Oberfläche welche eine Reflektion von einfallender Strahlung verursacht.

Das Reflexionsgesetz besagt, dass der Ausfallswinkel (auch Reflexionswinkel) genau so groß wie der Einfallswinkel ist, $\alpha = \beta$, und beide mit dem Lot in einer Ebene, der Einfallsebene, liegen.

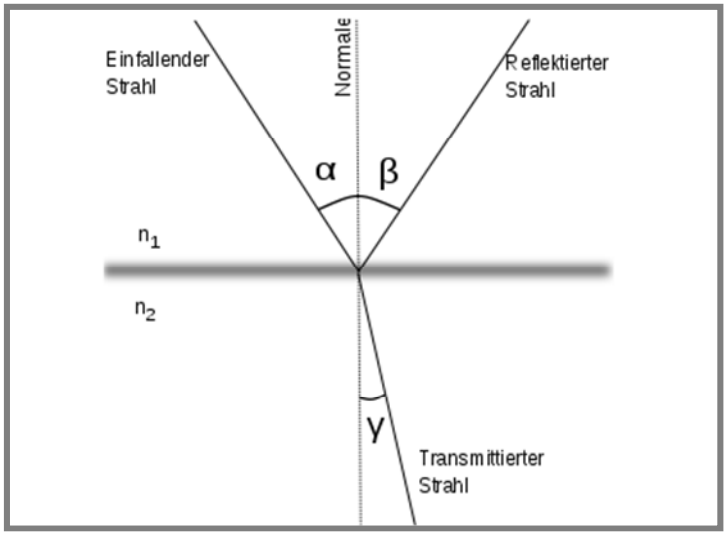

Abbildung 2: Prinzip Reflexionsgesetz

[Quelle: Tim Hellwig, Wikipedia]

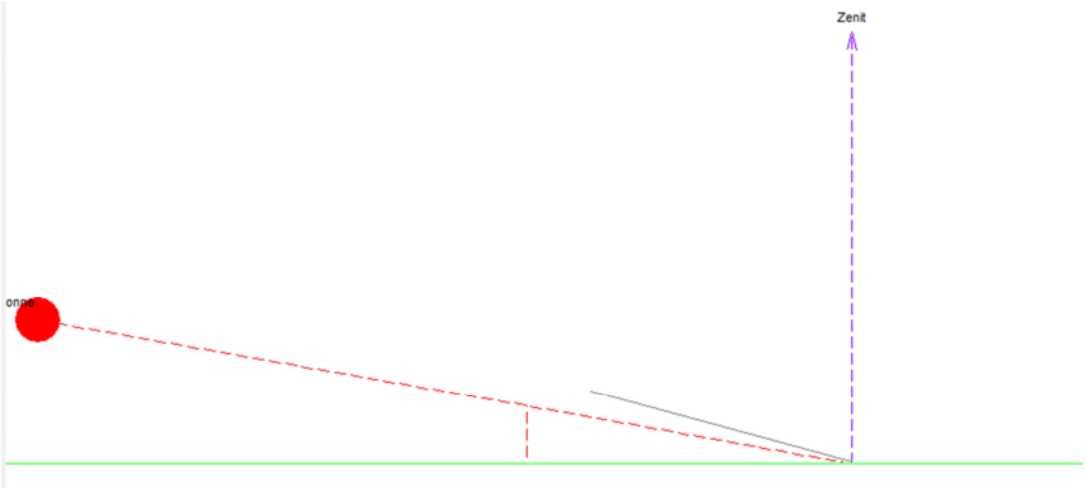

Abbildung 3: schematische Darstellung - Sonne hinter Modulebene (21.05.; 05:00Uhr)[Quelle:PVSyst]

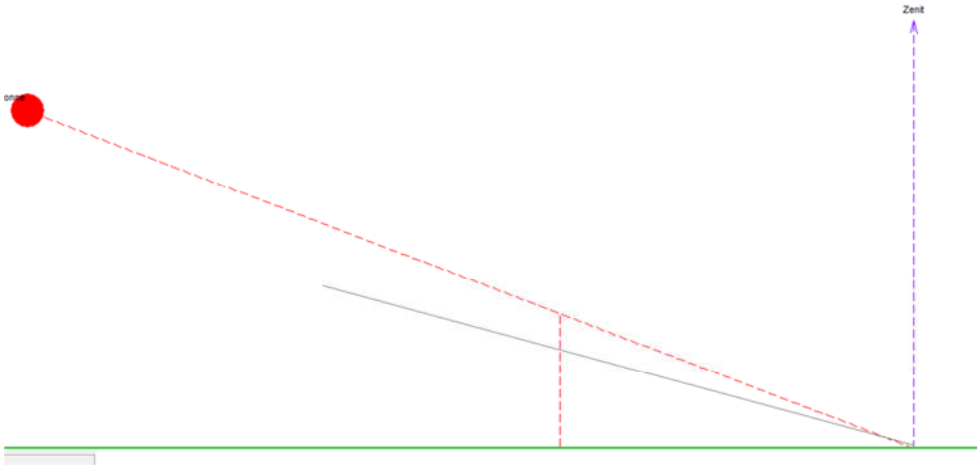

Abbildung 4: schematische Darstellung: Sonne trifft auf Moduloberfläche, ist aber in Draufsicht hinter Modul (21.06.; 05:30Uhr)[Quelle: PVSyst]

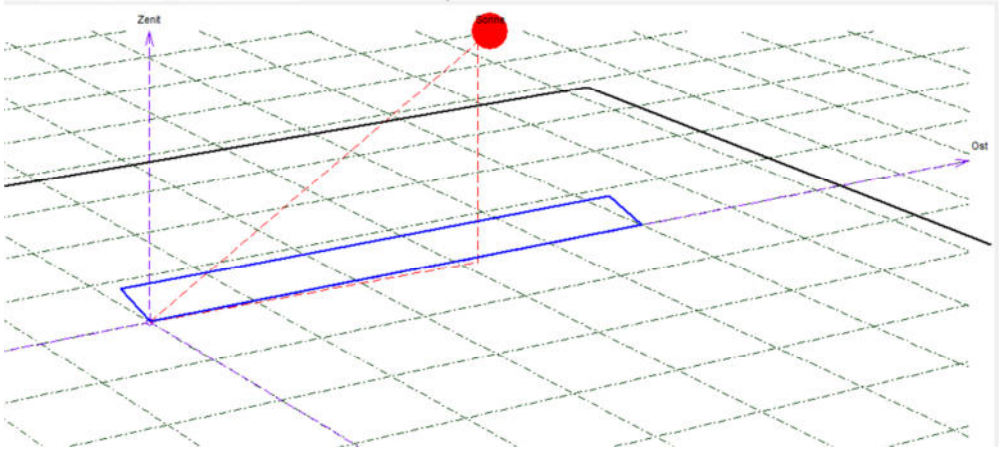

Abbildung 5: schematische Darstellung Sonne trifft von vorn auf Modul (21.06.; 08:00Uhr)[Quelle: PVSyst]

Abbildung 3 bis Abbildung 5 verdeutlicht den Sonneneinfall auf die Modulfläche. In Situationen wie Abbildung 3 ist keine Blendung möglich, da die Sonne hinter der Modulebene ist und somit die Module kein Sonnenlicht reflektieren können. Abbildung 5 zeigt die Situation, in der die Sonne von vorn auf das Modul scheint – der Einfallswinkel auf das Modul ist dann so groß, dass Reflektionen nur in sehr großer Höhe auf einen Betrachter fallen können. (Beispiel: am 21.12. zur Mittagszeit müsste ein Betrachter 5m nördlich eines Module aus 5 m Höhe auf das Modul schauen, um das Spiegelbild der Sonne zu sehen). Im Regelfall kommt es bei Sonnenstandsituationen wie in Abbildung 4 zur Blendung beim Betrachter, also bei Sonnenazimut < -90° und >90°. Diese Situationen treten vom 20.März bis 23.Semptember ein (vgl. Abbildung 7: Sonnenlaufbahn am Anlagenstandort).

c. Berechnung der Lichttechnik

Anwendungsbereich bei verkehrstechnisch relevanten Immissionsorten. Eine Berechnung der resultierenden Leuchtdichte des Solarmoduls auf einen Betrachter ist wie folgt möglich:
Leuchtdichte der Sonne – zwischen Sonne am Horizont und Mittagssonne

$$6 \times 10^6[\frac{cd}{m^2}] < L_S < 1{,}5 \times 10^9[\frac{cd}{m^2}]$$

Minimaler Abstand Modul zu Betrachter bei möglicher Blendung

$$r\ [m]$$

Üblicher Weise wird ein Sonnenhöchststand zwischen 60° und 63° erreicht. Eine Reflexion auf einen Betrachter ist je nach Ausrichtung des Solarmoduls und Lage zum Betrachter meist bis maximal 25° Sonnenhöhe möglich. Somit wird die max. Leuchtdichte der Sonne zum Zeitpunkt der Blendung auf den Mittelwert zwischen Leuchtdichte der Sonne am Horizont und der Mittagssonne gesetzt (für abweichende Ausgangssituationen wird dieser Wert entsprechend angepasst) und resultiert zu:

$$L_S = 7{,}5\ \times 10^8[\frac{cd}{m^2}]$$

Nach Abbildung 6: Reflexion von Solarmodulen in Abhängigkeit vom Einfallswinkel solarer Einstrahlung / [Quelle: Deutsche Flugsicherung (DFS): Aeronautical Information Publication - Luftfahrthandbuch AIP VFR] resultiert für die Oberfläche des Solarmoduls eine Reflexionsrate von 7 %. Die abstrahlende Lichtstärke des Moduls folgt dann zu:

$$I_M = 52{,}5\ \times 10^6[cd] <\ 5{,}3 \times 10^7[cd]$$

Durch die Antireflexbeschichtung des Moduls tritt keine optimal spiegelnde Reflexion auf, sondern eine diffuse. Diese diffuse Reflexion wird auch Lambertreflexion genannt. Die Blendquelle erscheint also als Lambertstrahler. Aus dieser Annahme folgt:
Die Leuchtdichte des Moduls beim Betrachter am minimal entfernten Punkt von Betrachter zu Modul folgt zu:

$$L_B = \frac{I_M}{A} = \frac{I_M}{2\pi r^2} = \frac{5{,}3 \times 10^7}{6{,}3 \times r^2} \left[\frac{cd}{m^2}\right]$$

wobei A die Fläche der Halbkugel aufgespannt bei r (minimale Entfernung des Betrachters) ist.

Bereich der vorherrschenden Umgebungsleuchtdichte = $10^2 < L_U < 10^3$

Absolutblendung =$L_A \cong 1{,}0 \times 10^5 \left[\frac{cd}{m^2}\right]$

d. Mathematische Berechnungsmethode der astronomischen Blendzeiten

Anwendungsbereich bei psychologischer Blendung

Gegebene Größen zur Bestimmung der kritischen Sonnenhöhe (γ_S) und des kritischen Sonnenazimutes (α_S), bei denen durch direkte Spiegelung Reflektionen am PV-Generator auftreten können.

$$\alpha \sim Azimutwinkel\ PV - Modul$$
$$\beta \sim Neigungswinkel\ PV - Modul$$
$$\vec{b} \sim Ortsvektor\ Beobachter$$
$$\vec{p} \sim Ortsvektor\ PV - Element$$

Berechnungsmethode:

Bestimmen des Normalenvektors PV

$$\vec{n} = \begin{matrix} -\sin\beta * \sin\alpha \\ -\sin\beta * \cos\alpha \\ \cos\beta \end{matrix}$$

Bestimmen des Richtungsvektors vom Beobachter zur PVA, wobei der Koordinatenursprung auf den Beobachter gesetzt wird.

$$\vec{r} = \vec{p} - \vec{b}$$

$$\vec{d} = -(\vec{n} * \vec{r}) * \vec{n}$$

Abstand des Beobachters zur PVA

$$d = \vec{n} * \vec{d}$$

Wenn $d < 0$ – Sonne auf Rückseite PV-Modul – keine Spiegelung

$$\overrightarrow{r'} = \vec{r} + 2 * \vec{d}$$

$$\gamma_S = \Delta\gamma_S + arcsin\frac{r'_z}{\|r'\|}$$

$$\alpha_S = \Delta\alpha_S - arctan\frac{-r'_x}{r'_y}$$

Wobei nach LAI $\Delta\gamma_S = 0$ und $\Delta\alpha_S = 0$

Des Weiteren wird der Winkel zwischen dem Sonnenstand und dem Spiegelbild vom Beobachter aus gesehen ermittelt.

$$\kappa = \cos^{-1}\frac{\vec{r} * \overrightarrow{r'}}{r * r'}$$

Nach LAI wird eine reflektierte Lichtquelle erst bei einem Winkel > 10° als eigene Lichtquelle vom Menschen wahrgenommen.

Nach DIN 5034-2 lässt sich der Sonnenstand abhängig von Uhrzeit und Datum berechnen.

$$\varphi \sim geogr.\ Breite$$

$$\lambda \sim geographische\ Länge$$

$$\omega = (12h - WOZ) * \frac{15°}{h} \sim Stundenwinkel$$

$$WOZ = MOZ + Zgl \sim wahre\ Ortszeit$$

$$MOZ = LZ - Zeitzone + 4 * \lambda \sim mittlere\ Ortszeit$$

$$Zgl(J') \sim Zeitgleichung$$

$$\delta(J') \sim Sonnendeklination$$

$$\gamma_S = arcsin\big(\cos\omega * \cos\varphi * \cos\delta + \sin\varphi * (\delta)\big)$$

$$\alpha_S = 180° - arccos\frac{\sin\gamma_S * \sin\varphi - \sin\delta}{\cos\gamma_S * \cos\varphi}\text{, für } WOZ \leq 12{:}00\ Uhr$$

$$\alpha_S = 180° - arccos\frac{\sin\gamma_S * \sin\varphi - \sin\delta}{\cos\gamma_S * \cos\varphi}\text{, für } WOZ > 12{:}00\ Uhr$$

e. Reflektionsverhalten von PV-Modulen

Eine Blendung wird an einer reflektierenden Oberfläche verursacht. Die Module sind nach aktuellem Stand der Technik mit reflexionsarmen Solar-Sicherheitsglas ausgestattet (eine Abweichung der Moduloberfläche wird explizit ausgewiesen)

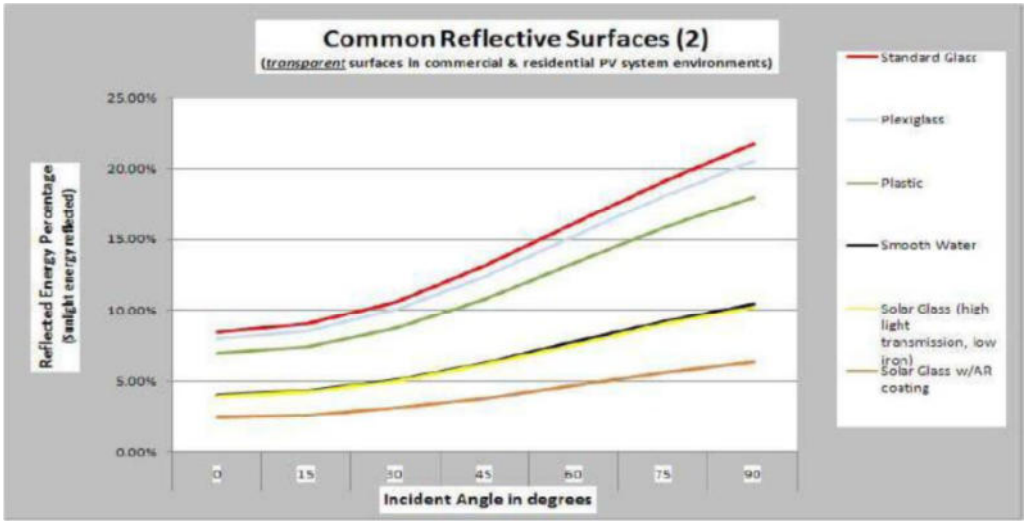

Abbildung 6: Reflexion von Solarmodulen in Abhängigkeit vom Einfallswinkel solarer Einstrahlung / [Quelle: Deutsche Flugsicherung (DFS): Aeronautical Information Publication - Luftfahrthandbuch AIP VFR]

Ergänzend ist darauf hinzuweisen, dass nasse PV-Oberflächen deutlich veränderte Reflexionseigenschaften aufweisen. Allerdings führt die Neigung der Oberfläche der Module zu einem raschen Ablaufen des Wassers, so dass nach einem Regenereignis keine erhebliche Beeinträchtigung zu erwarten ist. Die Entwicklung bei Solarmodulen zielte in der Vergangenheit unter anderem auf eine weitestgehende Minimierung der Strahlungsverluste durch Reflexionen ab. Hierzu sind Solarmodule nach dem Stand der Technik (wie das hier verwendete Modul) mit Antireflexausrüstungen durch Oberflächenstrukturierungen (mikrotexturierte Oberflächen) und weitere Entspiegelungstechniken ausgestattet. Die Reflexionen werden dabei weitestgehend minimiert. Diese Konstruktion führt zu einer erheblichen Aufweitung des reflektierten Strahls. Fokussierte, gebündelte Blendstrahlen können hierdurch nicht entstehen, es kommt allenfalls zu einem flächenhaften Lichteindruck, ähnlich Gewässerflächen. [Quelle: Dr.-Ing. Frank Dröscher, Beurteilung der möglichen Blendwirkung eines Solarparks und dessen thermischen Effekte am Verkehrslandeplatz Eberswalde-Finow].

3. Rahmenbedingungen am Standort

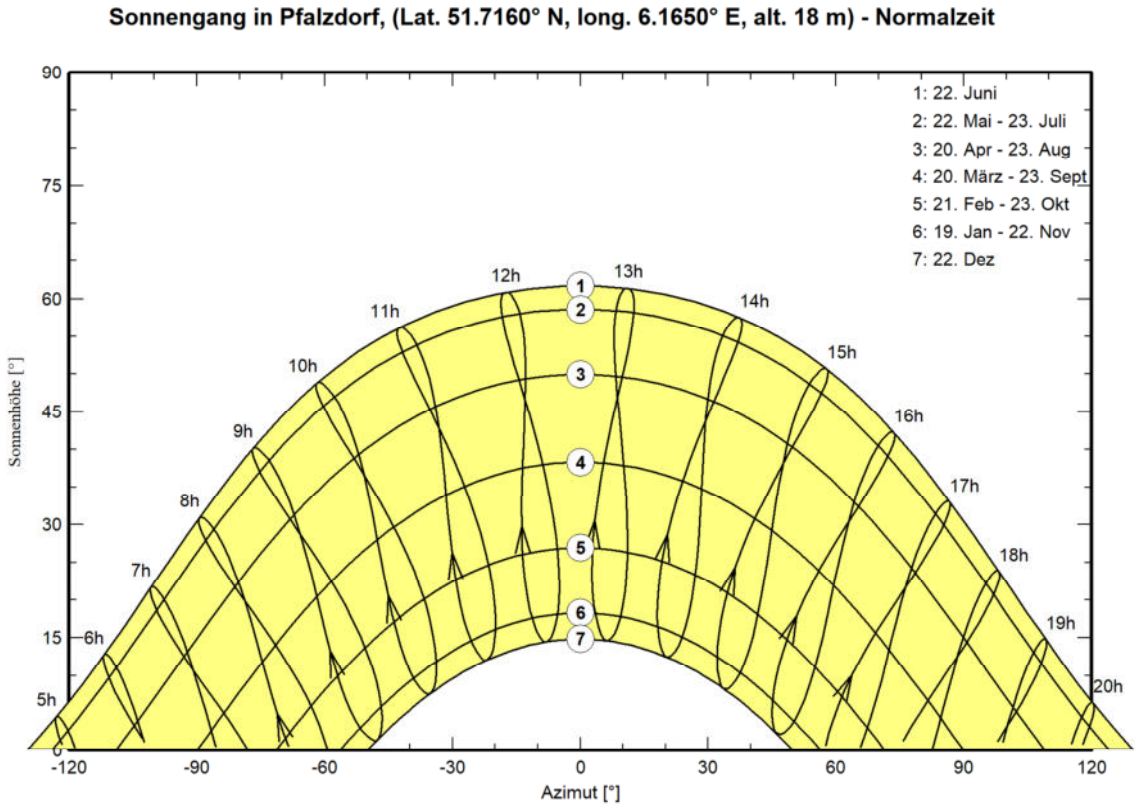

Abbildung 7: Sonnenlaufbahn am Anlagenstandort

Abbildung 7 zeigt die Sonnenlaufbahn am Anlagenstandort. Aus diesem Diagramm lässt sich der jeweilige Einfallswinkel der Sonne auf die Horizontale Ebene auslesen. Am Anlagenstandort ist demnach ein Sonnenhöchststand von ca. 62° möglich.

4. mögliche Immissionsobjekte

Zur Beurteilung des Blendverhaltens von PV-Anlagen müssen die einzelnen möglichen Immissionsorte festgestellt und ihre geographische Lage zur PVA ermittelt werden. Je kürzer die Entfernung eines Immissionsortes zur PVA ist, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit einer möglichen Blendung.

In diesem Gutachten werden zunächst die besonders schutzwürdigen Räume (nach LAI), welche der geplanten PVA am nächsten liegen, betrachtet. Sollte sich eine Belästigung durch Blendung herausstellen, werden weitere Immissionsorte in die Berechnungen mit einbezogen. Des Weiteren werden die verkehrsrelevanten Immissionsorte und ihre Lage zur PVA betrachtet.

In Tabelle 2 sind die möglichen Immissionsorte mit ihrer Entfernung zur PVA angegeben.

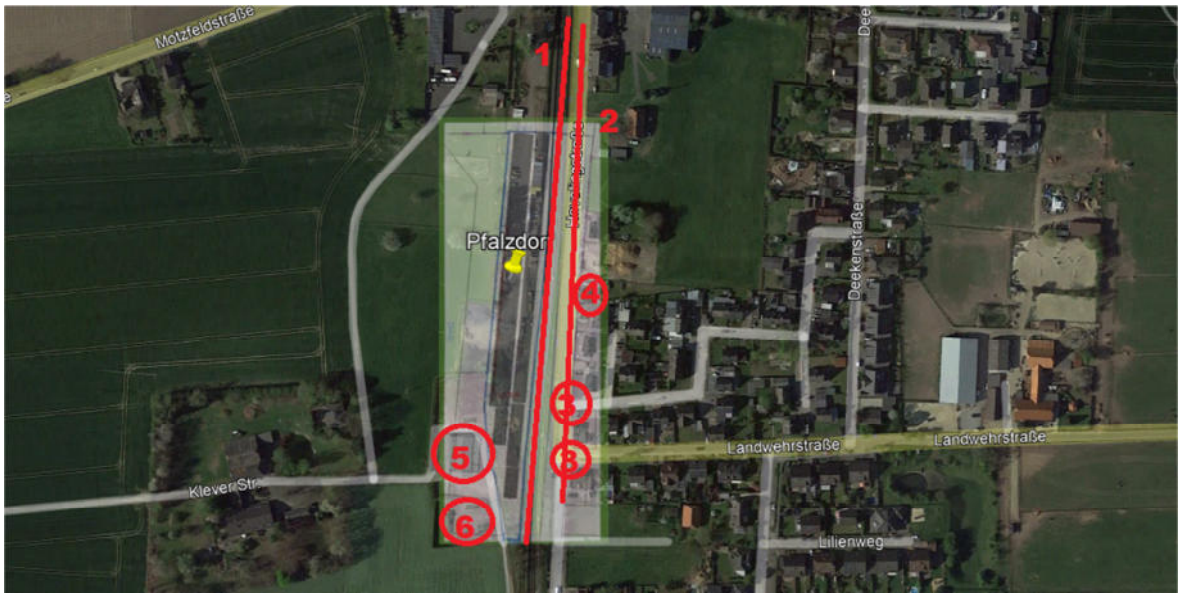

Abbildung 8: mögliche Immissionsorte [Quelle:Google Earth + Kunde]

Nr.	Adresse / Ort	Entfernung zur PVA in m
1	Bahnstrecke	8
2	Hevelingstraße	20
3	Kreuzungsbereiche zur Landwehrstraße / Rosenhag	25
4	Hevelingstraße 216	33
5	Lagerhalle	8
6	Gartengrundstück	13

Tabelle 2: Immissionsorte und ihre Entfernung zur PVA

5. Situation am Anlagenstandort

Abbildung 9: Blick von süd nach nord auf die geplante PV-Fläche [vom Kunden zur Verfügung gestellt]

Zur Beurteilung und Berechnung der Blendung müssen die topographischen Eigenschaften am Anlagenstandort mit berücksichtigt werden. Wie in Abbildung 9 ersichtlich weißt das Gelände keine Höhenunterschiede auf.

Aufgrund der Fokussierung der Energieversorgung auf Solarerzeugung werden breitere Kurven (früher am Morgen und länger am Abend) immer wichtiger. Auch sollen die beanspruchten Flächen maximal genutzt werden. Somit ist dieses Gutachten unter der Berücksichtigung der Ost-West-Ausrichtung erstellt.

Es wird eine **Ost-West-Belegung mit einem Neigungswinkel von 15°** untersucht.

Abbildung 10: Modulbelegungsplan mit Ost-West-Asurichtung [vom Kunden]

a. Bewertung der Immissionsorte

Bei einer Modulneigung von 15° und Ost- / Westausrichtung (-85°/95°) beträgt der maximale Winkelunterschied in der Draufsicht von der PVA zum Betrachter -80° bis -155° (+90°bis +165°), bei anderen Winkeln wird ein Teil des Himmels Reflektiert, an dem die Sonne nie sichtbar ist.

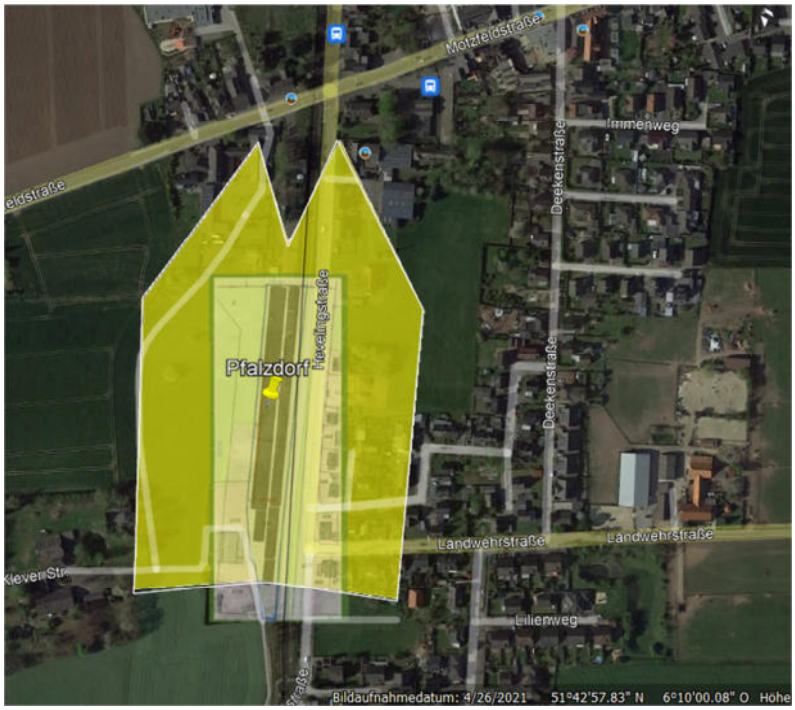

Abbildung 11: Blendbereich Ost-West-Ausrichtung [Quelle: Google Earth, eigene Berechnungen]

Auf Grund dessen können sich die Entfernungen in Blendrichtung zur PVA erheblich vergrößern. Weiterhin muss eine Sichtverbindung vom Immissionsort zur PVA vorhanden sein, um vom reflektierten Sonnenlicht geblendet zu werden.

Laut LAI sind nur besonders schützenswerte Räume innerhalb von 100 m zur PVA relevant, außer bei größeren PVAs.

In der LAI wird nicht genauer auf den Verkehr eingegangen, etwaige Beurteilungen zu Blickrichtungen fehlen hier. Laut Richtlinie R11-3 (Blendung durch Photovoltaikanlagen) des österreichischen Verbandes für Elektrotechnik (der LAI angelehnt) sind Blendungen nur in einem Einfallswinkel bis 30° zur Fahrtrichtung relevant.

Nr.	Adresse / Ort	Entfernung zur PVA in Blendrichtung / Bewertung
1	Bahnstrecke	Fahrtrichtung Süd: 12,5 m bei 30° Einfallswinkel Fahrtrichtung Nord: weit außerhalb 30°
2	Hevelingstraße	Fahrtrichtung Süd: 44 m bei 30° Einfallswinkel Fahrtrichtung Nord: weit außerhalb 30°
3	Kreuzungsbereiche zur Landwehrstraße / Rosenhag	25 m
4	Hevelingstraße 216	33 m
5	Lagerhalle	8 m /kein besonders schutzwürdiger Raum
6	Gartengrundstück	Außerhalb Blendbereich / keine Reflektion möglich

Tabelle 3: Immissionsorte und ihre Entfernung zur PVA in Blendrichtung

b. Berechnung der Lichttechnik

Verkehrstechnisch relevante Orte

Eine Berechnung der resultierenden Leuchtdichte des Solarmoduls auf einen Verkehrsteilnehmer am Anlagenstandort Pfalzdorf ist wie folgt möglich:

Leuchtdichte der Sonne – zwischen Sonne am Horizont und Mittagssonne

$$L_S(5°) = 6 \times 10^6 [\frac{cd}{m^2}] < L_S < L_S(60°) 1{,}5 \times 10^9 [\frac{cd}{m^2}]$$

Minimaler Abstand Modul zu Betrachter bei möglicher Blendung

$$r = siehe \text{ Tabelle } 4 \ [m]$$

Nr.	Adresse / Ort	Minimaler Abstand Modul zu Betrachter bei möglicher Blendung
1	Bahnstrecke	12,5
2	Hevelingstraße	44
3	Kreuzungsbereiche zur Landwehrstraße / Rosenhag	25 m

Tabelle 4: r - minimaler Abstand Modul zu Betrachter

Am Anlagenstandort wird ein Sonnenhöchststand von 62° erreicht. Somit wird die max. Leuchtdichte der Sonne zum Zeitpunkt der Blendung (Sonnenhöhe bei Blendung ca. 15°) auf ein Viertel der Leuchtdichte der Sonne zur Mittagssonne gesetzt und resultiert zu:

(siehe Wikipedia Beleuchtungsstärke Sonne 60°, klarer Himmel = 90.000lx – Sonne 16°, klarer Himmel = 20.000 lx)

$$L_S = 3{,}3 \times 10^8 [\frac{cd}{m^2}]$$

Nach Abbildung 6 resultiert für die Oberfläche des Solarmoduls eine Reflexionsrate von 7%. Die abstrahlende Lichtstärke des Moduls folgt dann zu:

$$I_M = 23{,}3 \times 10^6 [cd] < 2{,}4 \times 10^7 [cd]$$

Durch die Antireflexbeschichtung des Moduls tritt keine optimal spiegelnde Reflexion auf, sondern eine diffuse. Diese diffuse Reflexion wird auch Lambertreflexion genannt. Die Blendquelle erscheint also als Lambertstrahler. Aus dieser Annahme folgt:
Die Leuchtdichte des Moduls beim Betrachter am minimal entfernten Punkt von Betrachter zu Modul folgt zu:

$$L_B = \frac{I_M}{A} = \frac{I_M}{2\pi r^2} = \frac{2{,}4 \times 10^7}{2\pi r^2} \left[\frac{cd}{m^2}\right] \cong \boldsymbol{siehe}\ \text{Tabelle 5} \left[\frac{\boldsymbol{cd}}{\boldsymbol{m^2}}\right]$$

Nr.	Adresse / Ort	Die Leuchtdichte des Moduls beim Betrachter am minimal entfernten Punkt von Betrachter zu Modul
1	Bahnstrecke	$\boldsymbol{2{,}4 \times 10^4 \left[\frac{cd}{m^2}\right]}$
2	Hevelingstraße	$\boldsymbol{2{,}0 \times 10^3 \left[\frac{cd}{m^2}\right]}$
3	Kreuzungsbereiche zur Landwehrstraße / Rosenhag	$\boldsymbol{6{,}2 \times 10^3 \left[\frac{cd}{m^2}\right]}$

Tabelle 5: Leuchtdichte beim Betrachter

wobei A die Fläche der Halbkugel aufgespannt bei r (minimale Entfernung des Betrachters) ist.

Die Leuchtdichten durch Reflektion an der PVA liegen über dem Bereich der vorherrschenden Umgebungsleuchtdichte (zwischen $10^2 < L_U < 10^3$), aber weit unter dem Grenzwert der Absolutblendung L_A.

$$\boldsymbol{L_B = siehe}\ \text{Tabelle 5} < \boldsymbol{L_A = 1{,}0 \times 10^5 \left[\frac{cd}{m^2}\right]}$$

Bei einer Straße handelt es sich laut BImSch nicht um besonders schützenswerte Räume. Die Berechnung der Blendzeiten nach LAI können hierfür also nicht betrachtet werden. Die LAI geht nicht weiter auf die Beeinflussung von Blendung im Verkehr ein. Bei der Betrachtung der Störung durch Reflektion wird an dieser Stelle auf die Adaption des menschlichen Auges verwiesen, da es nur bei relativ niedrigen Sonnenständen zu Reflektionen kommt und das Auge dann durch den niedrigen Sonnenstand an diese helle Umgebung angepasst ist.

Da die Leuchtdichte an den Immissionsorten kleiner als die Leuchtdichte bei Absolutblendung ist, ist eine physiologische Blendung ausgeschlossen. Die LAI unterscheidet zwischen physiologischer und psychologischer Blendung. Die psychologische Blendung beschreibt die Belästigung der Immission durch Ablenkung. Für die psychologische Blendung gelten in besonders schutzwürdigen Räumen zeitlich begrenzte Schwellwerte. Zur Festlegung der Stärke der Beurteilung wird das Blendmaß k berechnet.

Im Falle von verkehrstechnisch relevanten Orten, die nicht als besonders schutzwürdiger Raum zu betrachten sind, soll dieser Wert die Relation der Belästigung verdeutlichen. Das Blendmaß k_s wird vornehmlich für technische Blendquellen zu Hilfe gezogen und beschreibt die Stärke der psychologischen Blendung.

$$k = 0{,}1 \times \frac{L_B}{\sqrt{L_U}}$$

Im vorliegenden Fall ist das Blendmaß:

$$\boldsymbol{k} = 0{,}1 \times \frac{L_B}{\sqrt{10^3}} = \boldsymbol{siehe}\ \text{Tabelle 6}$$

Nr.	Adresse / Ort	Blendmaß
1	Bahnstrecke	**75**
2	Hevelingstraße	**6**
3	Kreuzungsbereiche zur Landwehrstraße / Rosenhag	**19**

Tabelle 6: Blendmaß k

Das Blendmaß k hat nach Gebietsart gegliederte Schwellwerte nach folgender Tabelle:

	Immissionsort (Einwirkungsort) (Gebietsart nach § BauNVO) [2]	Immissionsrichtwert k für Blendung		
		6 h bis 20 h	20 h bis 22 h	22 h bis 6 h
1	Kurgebiete, Krankenhäuser, Pflegeanstalten (§ 3)[1)]	32	32	32
2	reine Wohngebiete allgemeine Wohngebiete(§ 4) besondere Wohngebiete (§ 4a) Kleinsiedlungsgebiete (§ 2) Erholungsgebiete (§ 10)	96	64	32
3	Dorfgebiete (§ 5) Mischgebiete (§ 6)	160	160	32
4	Kerngebiete (§ 7) [2)] Gewerbegebiete (§ 8) Industriegebiete (§ 9)	-	-	160

Tabelle 7: max. Zulässiges Blendmaß nach Gebietsart [Quelle: LAI]

Auf der Hevelingstraße und den Kreuzungsbereichen liegt das Blendmaß unter allen zulässigen Schwellwerten der psychologischen Blendung. Für die Bahnstrecke liegt das Blendmaß zum Zeitpunkte der Reflektion (zwischen 13.00 und 17.00 Uhr) unter den zulässigen Schwellwerten außer für Kurgebiete. Es ist also davon auszugehen, dass auch eine psychologische Blendung durch Ablenkung ausgeschlossen ist.

c. Astronomische Blendzeiten

Die LAI beschreibt im Anhang 2 im Besonderen die Blendwirkung von Photovoltaikanlagen. Die festgelegten Schwellwerte für die zulässige Einwirkdauer lauten: nicht mehr als **30 min pro Tag** und nicht mehr als **30 Stunden pro Jahr**. Diese Einschränkungen gelten für besonders schutzwürdige Räume.

Abbildung 12: Markierung des Bereichs der möglichen Emission auf den Immissionsort [Quelle: MDB-Plan vom Kunden, eigene Berechnungen, GoogleEarth]

Es wurden mehrere Punkte der geplanten PV-Analge berechnet. Die in Abbildung 12 markierten Punkte 1 bis 4 sind die Grenzpunkte der möglichen Blendung auf das hier grün markierte Wohnhaus.
Je näher ein Beobachterpunkt an der PVA ist, desto länger ist die Blendzeit, gleiches gilt für die Höhe des Beobachters.

Abbildung 13: Wohnhäuser entlang der Hevelingstraße [Quelle: vom Kunden]

Bei der Berechnung der Blendzeiten wurden daher konservative Ansätze gewählt: die kürzeste Entfernung zur PVA (33m), sowie das Wohngebäude mit dem höchsten Beobachterpunkt (6m).
Abweichend von den sonst üblichen Süd-Ausrichtungsanlagen bei denen eine potentielle Blendung nur in den Sommermonaten möglich ist, ist eine Reflektion des Sonnenlichtes an der PVA zu den Wohngebäuden das ganze Jahr möglich.
Die Berechnungen ergaben am kürzesten Tag des Jahres von 13:41 Uhr bis 13:43 Uhr und am längsten Tag des Jahres von 16:38 Uhr bis 16:41 Uhr. Also zwischen 3 und **4 min pro Tag**. Auf das gesamte Jahr aufsummiert sind das 1.276 min pro Jahr
= **21 h 18 min /a**.
Die festgelegten Schwellwerte nach LAI (30 min/d und 30 h/a) werden unterschritten.
Durch die konservative Annahme in der Berechnung, ist davon auszugehen, dass die astronomischen Blendzeiten das absolute Maximum bilden und real geringer ausfallen.

6. Fazit

Nr.	Adresse / Ort	Beurteilung zur Blendung
1	Bahnstrecke	$L_B = 2{,}4 \times 10^4 [\frac{cd}{m^2}] \ll Absolutblendung$ Blendmaß k = 75 unterschreitet Schwellwerte außer für Kurgebiete; **Keine Blendung**
2	Hevelingstraße	$L_B = 2{,}0 \times 10^3 [\frac{cd}{m^2}] \ll Absolutblendung$ Blendmaß k = 6 unterschreitet alle Schwellwerte; **Keine Blendung**
3	Kreuzungsbereiche zur Landwehrstraße / Rosenhag	$L_B = 6{,}2 \times 10^3 [\frac{cd}{m^2}] \ll Absolutblendung$ Blendmaß k = 19 unterschreitet alle Schwellwerte; **Keine Blendung**
4	Hevelingstraße 216	Astronomische Blendzeit: max. 4 min/d und 21h 18 min/a Schwellwerte nach LAI unterschritten; **Keine Blendung**
5	Lagerhalle	kein besonders schutzwürdiger Raum
6	Gartengrundstück	Außerhalb Blendbereich / keine Reflektion möglich

Tabelle 8: Fazit zur Blendung der einzelnen Immissionsorte

Am vorgesehenen Anlagenstandort ist nicht mit Belästigungen auf Grund von Blendung der geplanten PVA oder Beeinträchtigung des Verkehrs zu rechnen.

7. Gewährleistung

Dieses Gutachten wurde nach bestem Wissen und Gewissen unter Verwendung der zugearbeiteten Unterlagen mit größtmöglicher Sorgfalt erstellt. Die verwendeten Hilfsmittel befinden sich auf dem aktuellen Stand der Wissenschaft und Technik. Dennoch können Irrtümer oder Abweichungen nicht gänzlich ausgeschlossen werden. Hierfür wird von uns ausdrücklich keine Haftung übernommen. Gewährleistungen jeder Art sind ausgeschlossen.

8. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Beauftragung 2
Tabelle 2: Immissionsorte und ihre Entfernung zur PVA 11
Tabelle 3: Immissionsorte und ihre Entfernung zur PVA in Blendrichtung 15
Tabelle 4: r - minimaler Abstand Modul zu Betrachter 15
Tabelle 5: Leuchtdichte beim Betrachter 16
Tabelle 6: Blendmaß k 17
Tabelle 7: max. Zulässiges Blendmaß nach Gebietsart [Quelle: LAI] 18
Tabelle 8: Fazit zur Blendung der einzelnen Immissionsorte 20

9. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Satellitenbild mit eingebettetem Modulbelegungsplan 2
Abbildung 2: Prinzip Reflexionsgesetz 4
Abbildung 3: schematische Darstellung - Sonne hinter Modulebene (21.05.; 05:00Uhr)[Quelle:PVSyst] 4
Abbildung 4: schematische Darstellung: Sonne trifft auf Moduloberfläche, ist aber in Draufsicht hinter Modul (21.06.; 05:30Uhr)[Quelle: PVSyst] 5
Abbildung 5: schematische Darstellung Sonne trifft von vorn auf Modul (21.06.; 08:00Uhr)[Quelle: PVSyst] 5
Abbildung 6: Reflexion von Solarmodulen in Abhängigkeit vom Einfallswinkel solarer Einstrahlung / [Quelle: Deutsche Flugsicherung (DFS): Aeronautical Information Publication - Luftfahrthandbuch AIP VFR] 9
Abbildung 7: Sonnenlaufbahn am Anlagenstandort 10
Abbildung 8: mögliche Immissionsorte [Quelle:Google Earth + Kunde] 11
Abbildung 9: Blick von süd nach nord auf die geplante PV-Fläche [vom Kunden zur Verfügung gestellt] 12
Abbildung 10: Modulbelegungsplan mit Ost-West-Asurichtung [vom Kunden] 13
Abbildung 11: Blendbereich Ost-West-Ausrichtung [Quelle: Google Earth, eigene Berechnungen] 14
Abbildung 12: Markierung des Bereichs der möglichen Emission auf den Immissionsort [Quelle: MDB-Plan vom Kunden, eigene Berechnungen, GoogleEarth 18
Abbildung 13: Wohnhäuser entlang der Hevelingstraße 19