

Blendgutachten

Vorhabenbezogener Bebauungsplan

„Großflächige PV-Anlage Bächle – Flur 3519“

in Engen-Welschingen, Stadt Engen

Bericht Nr. 770-6261

im Auftrag der

Stadtwerke Engen GmbH

78234 Engen

München, im Mai 2020

Blendgutachten

Vorhabenbezogener Bebauungsplan
„Großflächige PV-Anlage Bächle – Flur 3519“
in Engen-Welschingen, Stadt Engen

Bericht-Nr.: 770-6261

Datum: 29.05.2020

Auftraggeber: Stadtwerke Engen GmbH
Eugen-Schädler-Str. 3
78234 Engen

Auftragnehmer: Möhler + Partner Ingenieure AG
Beratung in Schallschutz + Bauphysik
Landaubogen 10
D-81373 München
T + 49 89 544 217 - 0
F + 49 89 544 217 - 99
www.mopa.de
info@mopa.de

Bearbeiter: M.Sc. P. Patsch
M.Sc. C. Bews

Inhaltsverzeichnis:

1. Aufgabenstellung	7
2. Örtliche Gegebenheiten	7
3. Grundlagen.....	8
4. Blendungsberechnung.....	12
4.1 Berechnungsmethode.....	12
4.2 Blendquellen.....	12
4.3 Maßgeblich Immissionsorte	14
4.4 Blendeinwirkungen an den Immissionsorten	15
4.5 Beurteilung der Blendeinwirkung	16
5. Anlagen	21

Abbildungsverzeichnis:

Abbildung 1:	Übersichtslageplan und Höhenverlauf im Plangebiet und der umliegenden Nachbarschaft	8
Abbildung 2:	Übersicht über die möglichen Blendquellen.....	13
Abbildung 3:	Immissionsorte in der Nachbarschaft	15
Abbildung 4:	Blendungssituation IO 6 – Paneel 4 (Paneelneigung 20°).....	19

Tabellenverzeichnis:

Tabelle 1:	Immissionsrichtwerte k für Blendung [4]	9
Tabelle 2:	Schwellenwerte verursacht durch Blendung [4]	10
Tabelle 3:	Blendungen im Bereich der Zugstrecke.....	15
Tabelle 4:	Blendungen des Bahnbetriebs (B.Str. 4250) für eine Paneelneigung von 20°	18

Grundlagenverzeichnis:

- [1] Bundes-Immissionsschutzgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 8. April 2019 (BGBl. I S. 432) geändert worden ist
- [2] Belegungsplan, PVA-Engen, Bächle, Maßstab: 1:5, erstellt durch Herrn Hallier am 12.05.20
- [3] Planzeichnung zum verwendeten Modultisch, zugesandt durch Herrn Hallier am 12.05.20
- [4] Hinweise zur Messung und Beurteilung von Lichtimmissionen, Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI), Stand 08.10.2012 – (Anlage 2 Stand 03.11.2015), redaktionelle Änderung: 09.03.2018
- [5] Lichtimmissionen, Messung, Beurteilung und Verminderung, Gemeinsamer Runderlass des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz und des Ministeriums für Bauen, Wohnen, Stadtentwicklung und Verkehr in Österreich, Stand: 11.12.2014
- [6] Blendung durch natürliche und neue künstliche Lichtquellen und ihre Gefahren, Strahlenschutzkommission, 16./17. Februar 2006
- [7] Über die Blendungsbewertung von reflektiertem Sonnenlicht bei Solaranlagen, Schierz, Tagung LICHT, 2012
- [8] DIN EN 13201-2: Straßenbeleuchtung-Teil 2: Gütermerkmale, Juni 2016
- [9] DIN 5034, Teil 2: Tageslicht in Innenräumen: Grundlagen, Februar 1985
- [10] Höhenmodell des Plangebiets und der umliegenden Nachbarschaft in Engen, bestellt beim Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg am 07.05.2020
- [11] Sichtanalyse im Pkw unter Berücksichtigung von Bewegung und individuellen Körpercharakteristika, Jörg Hudelmaier, 31.10.2002
- [12] Augenbewegungen und visuelle Aufmerksamkeit, Uni Bielefeld, Juli 2011, Link: <https://www.techfak.uni-bielefeld.de/~ihkoesli/vab2011/07-vab2011-hk-augenbewegungen-sw.pdf> (letzter Zugriff am 18.05.2020)
- [13] Blend- und Lärmschutz, Beeinträchtigungen und Verkehrssicherheit, Visuelle Informationsträger für verkehrsfremde Zwecke, Österreichische Forschungsgemeinschaft Straße und Verkehr (FSV), November 2003

Zusammenfassung:

Die Stadtwerke Engen GmbH plant westlich des Stadtteils Welschingen der Stadt Engen die Errichtung eines Solarparks. Die Planung sieht die Errichtung einer Freiflächen-Photovoltaikanlage auf der aktuell landwirtschaftlichen genutzten Fläche mit der Flurnummer 3195 vor. In der folgenden Untersuchung wurde die Blendung ausgehend von Solarpaneelen des geplanten Solarparks auf die westlich verlaufende Zugstrecke mit der Streckennummer 4250 von Offenburg nach Singen berechnet und bewertet. Die Untersuchung kommt zu folgenden Ergebnissen:

Ausgehend von den geplanten 15 Photovoltaikpaneelreihen gehen physiologische – die Sehfunktion des Zugführers einschränkende – und psychologische Blendungen aus. Es sind von daher Maßnahmen zur Entschärfung der Blendungssituation erforderlich.

Bei einer Erhöhung des Neigungswinkels der Solarpaneele von 10° auf 20° treten keine physiologischen Blendungen mehr auf.

Es liegen dann vereinzelt lediglich psychologische Blendungen vor, die jedoch außerhalb des fovealen Sichtbereich des Menschen liegen und somit keine Einschränkung der Sehfunktion des Zugführers mit sich führen.

Unter Berücksichtigung der obengenannten Maßnahmen ist somit das Planvorhaben aus gutachterlicher Sicht mit den Sicherheitsbelangen des Zugbetriebs vereinbar.

1. Aufgabenstellung

Die Stadtwerke Engen GmbH plant westlich des Stadtteils Welschingen der Stadt Engen die Errichtung eines Solarparks. Westlich der Plangebietsfläche verlaufen die zwei Bahngleise der sogenannten Schwarzwaldbahn mit der Streckennummer 4250 von Engen nach Singen. Weitere Verkehrswege sowie Gebäude befinden sich nicht in der näheren Umgebung des Plangebiets. Durch den geplanten Solarpark können negative Einflüsse in Form von Blendung entstehend durch Sonnenreflexion an den Solarpaneelen auf den westlich befindlichen Eisenbahnbetrieb nicht ausgeschlossen werden. Es sind mögliche negative Blendeinflüsse auf den Eisenbahnbetrieb zu untersuchen. Dauer und das Ausmaß der Blendung sind zu prognostizieren und nach den einschlägigen Regelwerken zu beurteilen. Gegebenenfalls sind Maßnahmen in Abstimmung mit dem Auftraggeber zu erarbeiten, um eventuelle Konfliktpotentiale zu entschärfen.

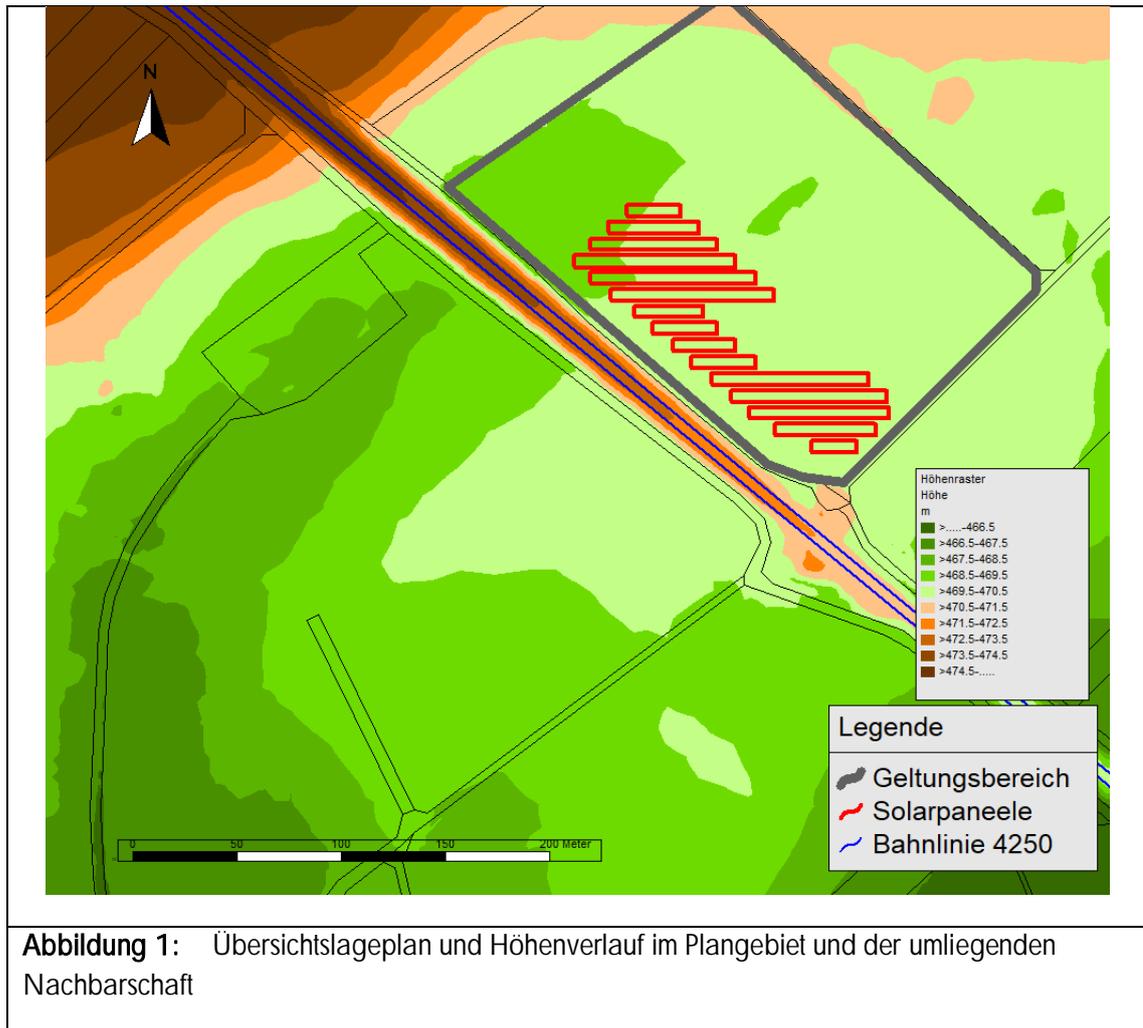
Mit der Durchführung der Untersuchung wurde die Möhler + Partner Ingenieure AG mit Schreiben vom 05.05.2020 stellvertretend für die Stadtwerke Engen GmbH von der Firma solarcomplex AG beauftragt.

2. Örtliche Gegebenheiten

Das Plangebiet, auf dem der Solarpark entstehen soll, befindet sich auf dem Grundstück mit der Flurnummer 3195 westlich des Stadtteils Welschingen der Stadt Engen.

Das Plangebiet grenzt östlich an die zwei Bahngleise der Zugstrecke mit der Streckennummer 4250 von Offenburg nach Singen an. Abgesehen von der westlich gelegenen Zugstrecke mit der Streckennummer 4250 von Engen nach Singen ist das Plangebiet von landwirtschaftlichen Flächen umgeben.

Das Gelände ist im Bereich der Solarpaneele weitestgehend eben. Die Bahnstrecke 4250 verläuft im Dammlage über dem umliegenden Gelände. Die genauen örtlichen Gegebenheiten und der Höhenverlauf des Geländes sind aus folgender Abbildung 1 und aus Anlage 1 ersichtlich.



3. Grundlagen

Licht zählt zu den Emissionen und Immissionen im Sinne des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG, §3, Absatz 2 und 3 [1]) und stellt eine schädliche Umwelteinwirkung dar, wenn die Lichteinwirkung „nach Art, Ausmaß und Dauer geeignet ist, Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit oder für die Nachbarschaft herbeizuführen“ (BImSchG, §3, Absatz 1,[1]). In der Regel stellen die im Immissionsschutz auftretenden Lichteinwirkungen keine Gefahren oder erheblichen Nachteile dar, können jedoch eine erhebliche Belästigungswirkung für Betroffene entwickeln.

Die Beurteilung der Belästigungswirkung durch Licht erfolgt auf der Grundlage der „Licht-Richtlinie“ des Länderausschuss für Immissionsschutz (LAI), die in Nordrhein-Westfalen als Erlass eingeführt wurde [4]. Der Anwendungsbereich dieser Hinweise zur Messung und Beurteilung von Lichtimmissionen umfasst die „Wirkung von Lichtimmissionen auf Menschen durch Licht emittierende Anlagen aller Art, soweit es sich dabei um Anlagen oder Bestandteile von Anlagen i. S. des § 3 Abs. 5 BImSchG handelt“. Dazu zählen künstliche Lichtquellen und hell beleuchtete Flächen aller Art. Ausgenommen sind Laser, Anlagen zur Beleuchtung des öffentlichen Straßenraumes, Beleuchtungsanlagen von Kraftfahrzeugen, dem Verkehr zuzuordnende Signalleuchten. Im Zuge der Überarbeitung der Hinweise

zur Messung und Beurteilung von Lichtimmissionen ([4], [5]) werden mittlerweile statisch technische und bauliche Einrichtungen, die das Sonnenlicht reflektieren, ebenfalls nach der „Licht-Richtlinie“ beurteilt.

Die Beurteilung von Lichtimmissionen umfasst nach [4] zwei Wirkungsbereiche, durch die sich Betroffene belästigt fühlen können. Zum einen wird die Raumaufhellung betrachtet, d.h. Beleuchtungsanlagen können zu einer Aufhellung von Aufenthaltsräumen (Schlaf-/Wohnzimmer), der Terrasse oder des Balkons und damit zu einer eingeschränkten Nutzung dieser Wohnbereiche führen. Zum anderen kann es zu Blendungen durch Lichtquellen kommen. Dabei unterscheidet man physiologische, das Sehvermögen mindernde und psychologische Blendungen, die auch ohne Minderung des Sehvermögens auftreten, jedoch trotzdem zu erheblichen Belästigungen führen. Belästigungen entstehen z. B. durch ständige Adaptationen des Auges an verändernde Lichtbedingungen und können auch ohne eine Aufhellung des Wohnbereiches auftreten, z. B. wenn die Blickrichtung ständig und ungewollt auf die Lichtquelle gelenkt wird. Im Verkehr sind sowohl die physiologische als auch die psychologische Blendung zu untersuchen, weshalb eine Bestimmung aller auftretenden Blendungen notwendig ist. Die Aufhellung von Aufenthaltsräumen ist in vorliegendem Fall nicht Bestandteil der Untersuchung und wird demnach nicht berücksichtigt.

Bezugsgröße für die Beurteilung der Blendwirkungen ist die Leuchtdichte [cd/m²] der Lichtquelle. Die „Licht-Richtlinie“ legt hierfür eine maximal tolerable mittlere Leuchtdichte L_{\max} fest, die sich aus der wahrnehmbaren Größe der Lichtquelle Ω_s (Raumwinkel in Sr) und der Umgebungsleuchtdichte L_u sowie je nach Gebietsart aus dem Proportionalitätsfaktor k (normiert) ergeben:

$$\bar{L}_{\max} = k \sqrt{\frac{L_u}{\Omega_s}} \quad , \text{wobei } 0,1 \leq L_u \leq 10 \text{ und } 10^{-7} \leq \Omega_s \leq 10^{-2}$$

Die mittlere Leuchtdichte L_s der zu beurteilenden Lichtquelle soll diese berechneten maximalen Werte nicht überschreiten. Der Proportionalitätsfaktor k zur Festlegung der max. zulässigen Blendung kann je nach Gebietsart der folgenden Tabelle aus [4] entnommen werden:

Tabelle 1: Immissionsrichtwerte k für Blendung [4]			
Immissionsort (Einwirkungsort) Gebietsart nach § BauNVO	Immissionsrichtwert k für Blendung		
	06 Uhr bis 20 Uhr	20 Uhr bis 22 Uhr	22 Uhr bis 06 Uhr
1 Kurgebiete, Krankenhäuser, Pflegeanstalten ¹⁾	32	32	32
2 reine Wohngebiete (§ 3) allgemeine Wohngebiete (§ 4) besondere Wohngebiete (§ 4 a) Kleinsiedlungsgebiete (§ 2) Erholungsgebiete (§ 10)	96	64	32

Tabelle 1: Immissionsrichtwerte k für Blendung [4]				
Immissionsort (Einwirkungsort) Gebietsart nach § BauNVO		Immissionsrichtwert k für Blendung		
		06 Uhr bis 20 Uhr	20 Uhr bis 22 Uhr	22 Uhr bis 06 Uhr
3	Dorfgebiete (§ 5) Mischgebiete (§ 7)	160	160	32
4	Kerngebiete (§ 7) ²⁾ Gewerbegebiete (§ 8) Industriegebiete (§ 9)	-	-	160

¹⁾ Wird die Beleuchtungsanlage regelmäßig weniger als eine Stunde pro Tag eingeschaltet, gelten auch für die in Zeile 1 genannten Gebiete die Werte der Zeile 2.

²⁾ Kerngebiete können in Einzelfällen bei geringer Umgebungsbeleuchtung ($L_{u, mess} \leq 0,1 \text{ cd/m}^2$) auch Zeile 3 zugeordnet werden.

Die Anwendung des Beurteilungsverfahrens gilt nur unter der Voraussetzung, dass vom Immissionsort aus bei üblicher Position der Blick zur Blendquelle hin möglich ist.

Ob eine Lichtquelle blendet, hängt neben der Umgebungsleuchtdichte und dem Raumwinkel auch vom Adaptionszustand des Auges ab. Bei dunkel adaptiertem Auge kann bereits der Vollmond zu einer Blendung führen [6]. Die Strahlenschutzkommission gibt in [6] eine noch annehmbare, d. h. blendungsfreie Betrachtung einer Lichtquelle für eine Leuchtdichte von 730 cd/m^2 an. Durch die Reflektion von Sonnenlicht an den glatten Oberflächen von Photovoltaikanlagen können in der unmittelbaren Nachbarschaft hohe Leuchtdichten auftreten, die mit $>10^5 \text{ cd/m}^2$ eine absolute Blendung bei den Betroffenen verursachen können [4]. Eine vollständige Reduzierung des Sehvermögens im gesamten Blickfeld kann die Folge sein. Bei längerer Exposition von Blendungen werden Abhilfemaßnahmen empfohlen.

Gemäß der LAI-Hinweise [4] wird der Immissionsort über schutzwürdige Räume, die sich zum dauerhaften Aufenthalt eignen, definiert. In nachfolgender Tabelle sind die Blendedauern angegeben, die im Sinne der LAI-Hinweise zu erheblichen Belästigungen in Räumen mit dauerhaften Aufenthalt führen:

Tabelle 2: Schwellenwerte verursacht durch Blendung [4]	
Zeitraum	Schwellenwert [Zeit]
Tag	30 Minuten
Jahr	30 Stunden

Da der Verkehr durch kurze Aufenthaltszeiten der einzelnen Verkehrsteilnehmer an einem bestimmten Ort bestimmt ist, bietet sich eine Bewertung anhand von Blendungszeiten nur bedingt an, da für den

jeweiligen Verkehrsteilnehmer eine kurze Blendungszeit ausreicht, um die Sichtfähigkeit einzuschränken und damit die Unfallwahrscheinlichkeit erhöht. Vielmehr gilt es diejenigen Blendungen komplett zu vermeiden, die zu einer Sichteinschränkung führen.

Eine Beurteilung der Blendung von Sonnenlicht kann so beispielsweise basierend auf der DIN 13201-2 [8] in sogenannten Blendindexklassen erfolgen, obwohl sich die Norm auf die Blendung von künstlichen Lichtquellen bezieht. Zweck der Normenreihe ist die Erhöhung der Sicherheit im Verkehr, die hauptsächlich an die Sehleistung der verschiedenen Verkehrsteilnehmer gekoppelt ist. Die Blendindexklassen stellen den Quotienten aus Lichtstärke in [cd] und der auf die senkrechte Ebene projizierte leuchtende Fläche dar. Die höchste Blendindexklasse hat den Wert von 7.000 cd/m^2 . Wie oben jedoch bereits behandelt, treten bei der Sonne Lichtstärken auf, die den Wert der höchsten Blendindexklasse überschreiten. Deshalb führt eine Bewertung der Blendungen durch Sonnenlicht mithilfe der Blendindexklassen zu keiner Unterscheidbarkeit der Blendungen. Es wird daher wegen der hohen Lichtstärken pro Quadratmeter jeder auftretenden Blendung das Potential attestiert, zu einer physiologischen Blendung führen zu können. In den Berechnungen wurden daher alle auftretenden Blendungen ermittelt.

Ob eine Blendung zu einer physiologischen Blendung führt, hängt von der Lage der blendenden Fläche/Punkts im Verhältnis zur Sichtachse der Person am Immissionsort ab:

Richtet sich der Blick nicht direkt auf die Blendquelle, ist je nach Richtungswinkel von einer psychologischen Blendung auszugehen. Das menschliche Auge kann peripher und foveal sehen. Beim fovealen Sehen ist die Gesichtslinie des Auges direkt auf das Objekt gerichtet, welches scharf gesehen werden soll. Der horizontale Winkelbereich, in dem mit beiden Augen gemeinsam foveal fixiert gesehen werden kann (binokulares Blickfeld), beträgt ca. 30° links und rechts vom fixierten Punkt. Liegt die Blendquelle in diesem Winkelbereich, muss von einer physiologischen Blendung ausgegangen werden, die zu einer starken Sichteinschränkung führt. Liegt eine Leuchtquelle (z.B. blendende Pannelfläche) im fovealen Sichtbereich, führt diese dazu, dass die Objekte in diesem Bereich nicht mehr gescheit wahrgenommen werden können, da die Kontrasthaltigkeit der Objekte im Vergleich zum Hintergrund durch die grelle Leuchtquelle im Sichtfeld reduziert wird und somit mehr und mehr mit dem Hintergrund „verschmilzt“. Liegt eine Blendquelle im peripheren Sichtbereich (außerhalb des Winkelbereichs des fovealen Sehens), wird eine Blendung zwar im Augenwinkel wahrgenommen, führt jedoch nicht zu einer physiologischen sondern vielmehr zu einer psychologischen Blendung, die lediglich ablenkenden und störenden Charakter hat ([11], [12], [13]). Bei den betrachteten Immissionsorten auf der Zugverkehrrstrecke kann davon ausgegangen werden, dass der Blick des Zugführers nach vorne in Bezug auf die Fahrtrichtung des Zugs gerichtet ist und somit diejenigen Blendungen zu beurteilen und zu vermeiden sind, die zu einer physiologischen Blendung führen. Blendungen, die störenden Charakter haben aber die Sicht des Zugführers nicht einschränken, werden informativ erhoben, sind jedoch aus gutachterlicher Sicht nicht beurteilungsrelevant. Bei psychologischen Blendungen kann nicht davon ausgegangen werden, dass sie die Reaktionszeit des Zugführers erhöhen und somit eine Erhöhung einer Unfallwahrscheinlichkeit bedeuten.

4. Blendungsberechnung

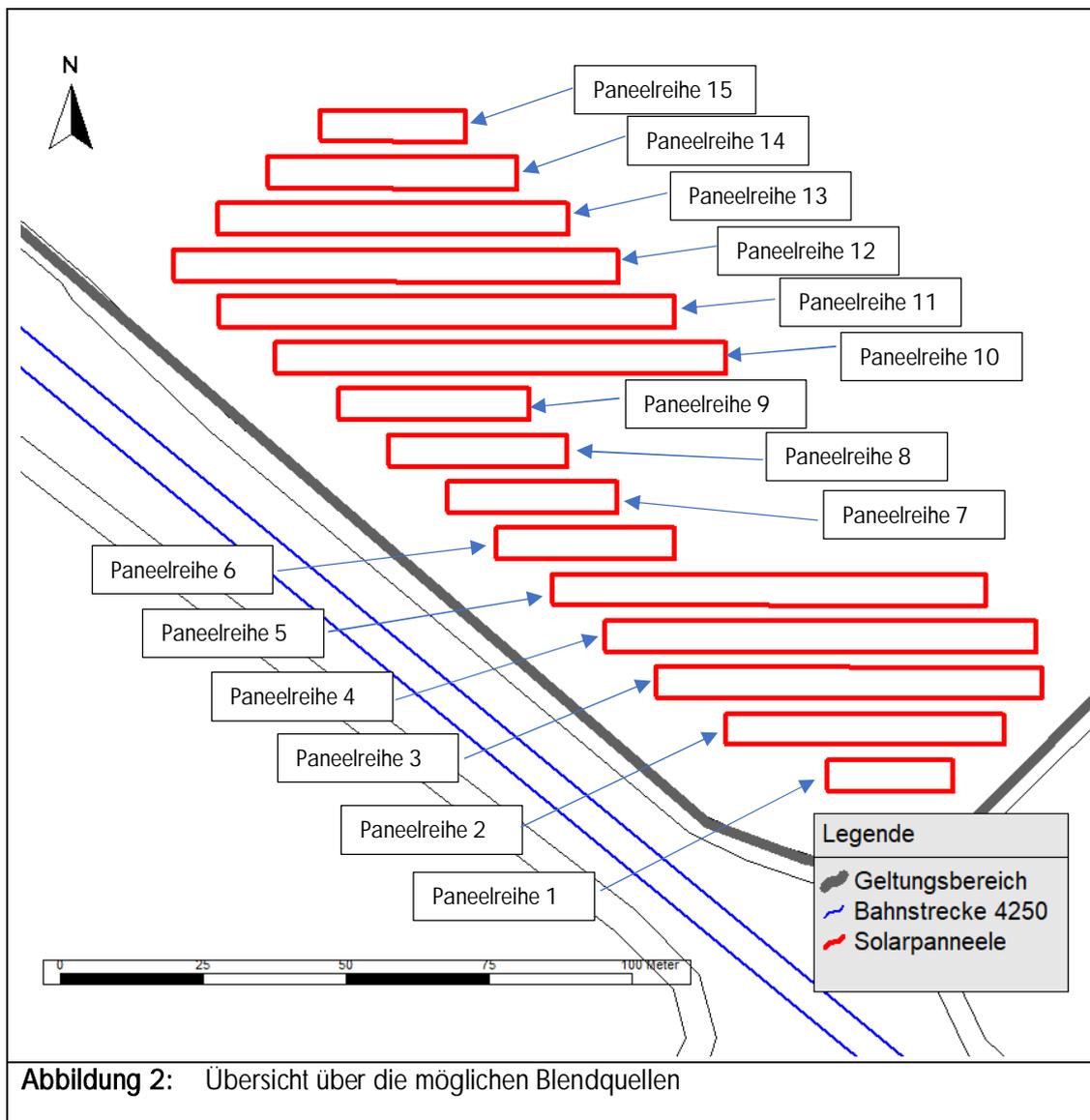
4.1 Berechnungsmethode

Die Berechnung der möglichen Blendung erfolgt unabhängig vom möglichen Bedeckungsgrad des Himmels. In Anlehnung an das Berechnungsverfahren nach Schierz [7] werden anhand von Ortsvektoren ausgehend von der Photovoltaikfläche und von dem zu untersuchenden Immissionsort die maßgebenden Azimuth- und Höhenwinkel ermittelt, die zu einer Blendung führen können. In weiterer Folge werden auf Grundlage der DIN 5034 Teil 2 die im Gleisbereich der Bahnstrecke 4250 auftretenden Azimuth- und Höhenwinkel der Sonne im Jahresverlauf ermittelt. Dabei wird der Sonnendurchmesser von $0,52^\circ$ berücksichtigt [7]. Es wird in der vorliegenden Untersuchung von einem wolkenlosen Himmel ausgegangen. In der Realität kann es also sein, dass an manchen Tagen, an denen ein bewölkter Himmel vorliegt, geringere oder gar keine Blendungen auftreten.

Stimmt der Verbindungsvektor von Immissionsort (Zugführerhaus) zu einem Paneelflächenpunkt mit dem Vektor eines über den selben Paneelflächenpunkt gespiegelten Sonnenstrahls überein, so tritt Blendung auf. Die mögliche Blendung wird im Jahresverlauf in 5-Minuten-Schritten dargestellt. Eine Blendung durch ein geplantes Photovoltaikelement tritt nicht auf, wenn sich die Blickrichtungen auf die Sonne und auf das Modul um weniger als 10° unterscheiden, da in diesen Fällen die direkte Sonnenblendung überwiegt. Des Weiteren können Sonnenstrahlen, die an der Rückseite der Solarpaneele gespiegelt werden (Beobachter betrachtet die Paneelrückseite), zu keinen Blendungen führen. Es muss eine Sichtverbindung zur Blendungsfläche vorliegen, damit Blendung vorliegen kann.

4.2 Blendquellen

Mögliche Blendungen können von den Photovoltaikelementen des geplanten Solarparks ausgehen. Ob ein Photovoltaikelement Blendung erzeugen kann, hängt maßgeblich vom Immissionsort ab. In der nachfolgenden Darstellung ist der geplante Solarpark dargestellt und die Reihen der Photovoltaikelemente beschriftet. Die vorgenommene Benennung der Photovoltaikelemente wird im weiteren Verlauf des Gutachtens beibehalten.



Für die in der Abbildung 2 benannten Paneelreihen (Paneelreihe 1 bis Paneelreihe 15) werden in der vorliegenden Untersuchung die ausgehenden Blendungen ermittelt. Die Azimutwinkel der Photovoltaikmodule, die die horizontale Orientierung der Photovoltaikmodule beschreiben, sind nach Süden orientiert und haben daher einen Azimutwinkel von 0° (von Süden gegen den Uhrzeigersinn gemessene Winkel). Die Höhenwinkel (Neigung) der Photovoltaikflächen, welche den Vertikalwinkeln entsprechen, betragen 10° [3]. Hierbei entspricht eine Ebene mit einem Höhenwinkel von 0° einer Parallelen zur ebenen Grundfläche und 90° einer Senkrechten zur ebenen Grundfläche.

Die Paneelreihen werden auf eine Höhe von 0,8 m relativ zum Gelände erhöht, sodass sich jeweils die südliche Paneelkante auf einer Höhe von 0,8 m relativ zum Gelände befindet. Es wird angenommen, dass unabhängig vom Gelände für jede Paneelreihe in jedem Bereich ein Höhenwinkel von 10° vorliegt. Dies bedeutet für Höhenbestimmung der Paneelpunkte anhand des digitalen Geländemodells, dass das unter einer Paneelreihe liegende Gelände flächenstück demnach vereinfacht auf einer Ebene liegt, die um die y-Achse gedreht werden kann, jedoch nicht um die x-Achse.

Bei der Berechnung von möglichen Blendungen an den maßgeblichen Immissionsorten wurde folgendermaßen verfahren:

Jede Paneelfläche wurde in 0,3 m Schritten in horizontaler und vertikaler Richtung (relativ zur Paneelfläche) durchlaufen und an jedem Punkt mögliche Blendungen am Immissionsort bestimmt. Eine Verfeinerung der Schrittweite ergibt keine Ergebnisveränderung und ist deshalb nicht erforderlich.

4.3 Maßgeblich Immissionsorte

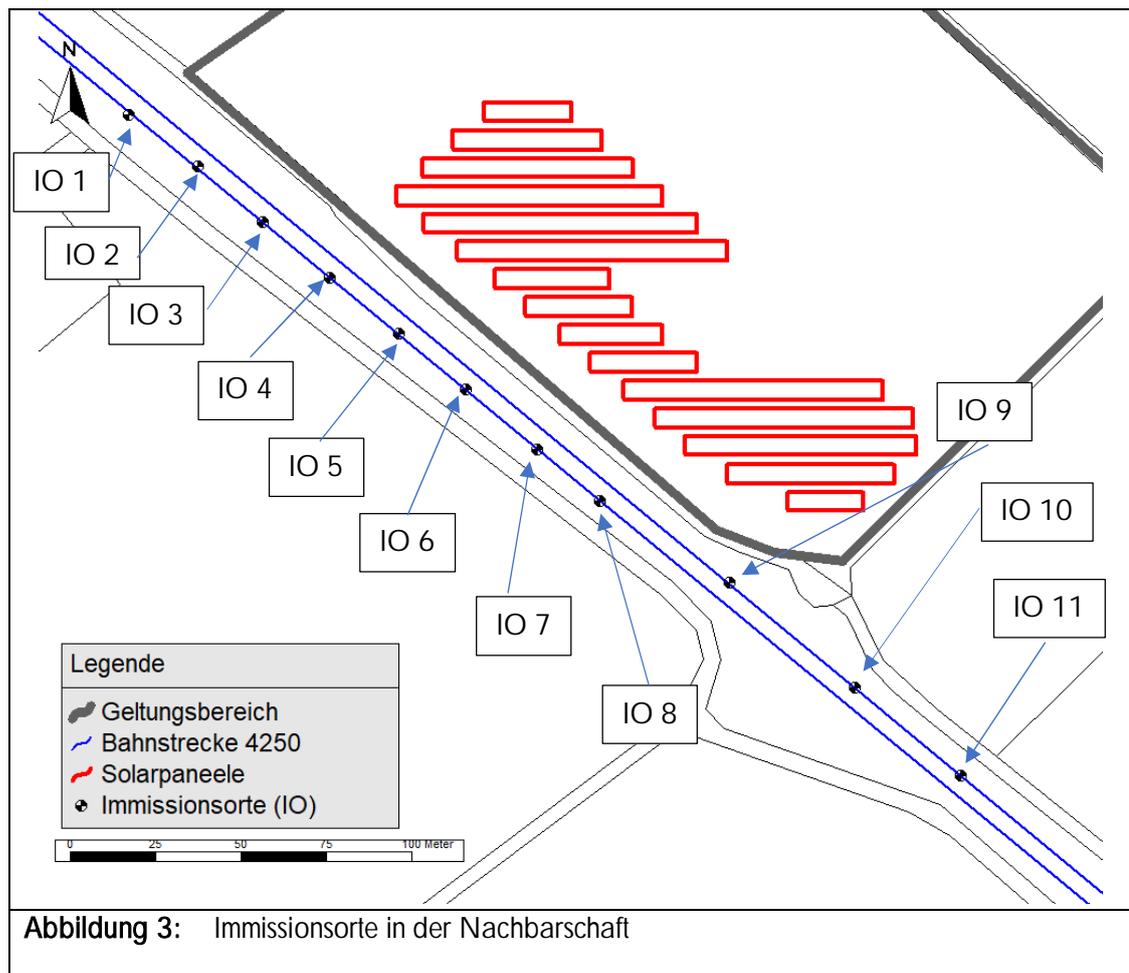
Bei der Wahl der zu untersuchenden Immissionsorte in der Nachbarschaft wurden die aus gutachterlicher Sicht kritischen Immissionsorte gewählt. Hierbei können primär für den Zugverkehr, der sich von Norden nach Süden bewegt, Blendungen entstehen. Eine sichteinschränkende Blendung des Zugverkehrs von Süden nach Norden ist unwahrscheinlich, da hier entweder Blendungen im deutlichen Peripheriebereich des Auges oder gar im Rücken des Betrachters (Morgenstunden) auftreten oder eine Sonnenreflexion in den Himmel erfolgt (Mittagsstunden) und damit keine Blendung an geländenahen Immissionsorten auftreten kann.

Bei der Wahl der Immissionsorte von Norden nach Süden (westliches Gleis) wurde auf Höhe des Paneels 15 begonnen und bis auf Höhe des Paneels 1 fortgeführt. Mithilfe von Vorberechnungen konnten Immissionsorte, die weiter nördlich als Paneel 15 liegen, ausgeschlossen werden, da hier keine Blendungen prognostiziert wurden. Bei der Bewegungsrichtung des Zugs von Norden nach Süden sind für den Zugverkehr maßgebliche Blendungen auf Höhe des Solarparks möglich. Hierbei können die Blendungen auf einen Immissionsort zum einen durch das Paneel entstehen, welches sich auf gleicher Höhe zum Immissionsort befindet oder auch durch Paneele, die sich etwas südlich zum Immissionsort befinden. Eine Sichtbeziehung des Immissionsorts zu einem südlich gelegenen Solarpaneel kann durch die im Vergleich zum Paneel höhere Lage des Immissionsortes ermöglicht werden.

Von Süden nach Norden (östliches Gleis) wurden im südlichen Bereich Immissionsorte gelegt, um mögliche Blendungen in diese Fahrtrichtung zu untersuchen.

Gemäß dem Grundlagenkapitel 3 muss zwischen einer physiologischen und einer psychologischen Blendung unterschieden werden. Tritt eine Blendung außerhalb des fovealen Blickfelds auf, hat diese lediglich störenden aber keinen sichteinschränkenden Charakter. Die Höhe der Immissionsorte wurde folgendermaßen festgelegt: im vorliegenden Fall stellt sich ein höherer Immissionsort aufgrund der tiefergelegenen Emissionsorte als problematischer dar. Es wurde auf die jeweilige Geländehöhe [10] eine Höhe von 3 m aufaddiert, was als Kopfhöhe des Zugführers angenommen wurde.

In der nachfolgenden Abbildung sind die untersuchten Immissionsorte dargestellt, die südlich des Plangebiets beginnen und sich bis auf Höhe des Paneels 15 Richtung Norden ziehen.



4.4 Blendeinwirkungen an den Immissionsorten

Nachfolgend wurden die Blendungen ausgehend von den Paneelen auf die Immissionsorte berechnet. Es wurde ferner bestimmt, ob es sich um eine physiologische oder eine psychologische Blendung handelt. Es wurde für die Betrachtung des Zugverkehrs in der Richtung von Süden nach Norden auf der sicheren Seite liegend davon ausgegangen, dass die unten untersuchten Paneel-Immissionsort-Beziehungen durch keine davorliegenden Paneele verdeckt werden.

Tabelle 3: Blendungen im Bereich der Zugstrecke			
Immissionsort	Photovoltaikflächen	Art der Blendung	
		Physiologisch	Psychologisch
IO 1	12	nein	nein
	13	ja	ja
	15	nein	ja
IO 2	11	ja	ja
	13	nein	ja
IO 3	9	ja	ja
	11	nein	ja
IO 4	7	ja	ja

Tabelle 3: Blendungen im Bereich der Zugstrecke			
Immissionsort	Photovoltaikflächen	Art der Blendung	
		Physiologisch	Psychologisch
	9	nein	ja
IO 5	5	ja	ja
	7	nein	ja
IO 6	3	nein	nein
	4	ja	ja
	5	nein	ja
IO 7	1	nein	nein
	3	nein	ja
IO 8	1	nein	ja
IO 9	1	nein	nein
	6	nein	nein
	10	nein	nein
IO 10	1	nein	nein
	2	nein	nein
	6	nein	nein
	10	nein	nein
IO 11	1	nein	nein
	2	nein	nein
	6	nein	nein
	10	nein	nein

Grün: Keine Blendungen; **Rot:** Vorliegen von Blendungen

Aus der obenstehenden Tabelle geht hervor, dass lediglich für den Zugverkehr, der sich von Norden nach Süden bewegt, Blendungen entstehen. Hierbei kann auf Höhe des Solarparks (IO 1 bis IO 8) für von Norden nach Süden fahrende Züge eine psychologische Blendung prognostiziert werden. Physiologische Blendungen werden im Bereich zwischen IO 1 und IO 7 (ausgeschlossen) prognostiziert.

4.5 Beurteilung der Blendeinwirkung

Aus den Blendungsberechnungen geht hervor, dass es entlang der Bahnstrecke 4250 von Engen nach Singen sowohl zu psychologischen als auch physiologischen Blendungen – hervorgerufen durch den geplanten Solarpark – kommt. Dies bedeutet, dass auch im fovealen Sichtbereich des Zugführers Blendungen auftreten können, die die Sicherheit des Zugverkehrs beeinträchtigen können (z.B. können Signale nicht oder zu spät erkannt werden).

Die psychologischen und physiologischen Blendungen treten ausschließlich für den Zugverkehr auf, der sich von Norden nach Süden bewegt. Für den Zugverkehr, der sich von Süden nach Norden bewegt, werden keine Blendungen prognostiziert. Der Bereich, in dem die psychologischen Blendungen für den Zugverkehr von Norden nach Süden auftreten, erstreckt sich über die ganze Länge des Solarparks und somit über eine Strecke von etwa 180 m. Der Bereich, in dem zusätzlich zur psychologischen auch noch physiologische Blendungen für den Zugverkehr von Norden nach Süden auftreten, erstreckt sich über eine Strecke von ca. 160 m vom Immissionsort IO 1 bis IO 7.

Die Blendungen treten ausschließlich in den Morgenstunden auf, wenn die Sonne tief im Osten steht und somit im Westen Blendung erzeugen kann. Zu anderen Tageszeiten treten keine Blendungen auf. Die Blendungen dauern bis zu 30 Minuten pro Tag an und treten zwischen Ende Februar bis Mitte April und im September bis Oktober auf.

Es muss festgehalten werden, dass sich bei den auftretenden Blendungen im Morgenzeitraum die Sonne im Hintergrund der blendenden Paneelfläche befindet. Das heißt, es liegt kein deutlicher Helligkeitskontrast zwischen blendender Paneelfläche und Hintergrund vor. Die tiefstehende Morgensonne führt also auch ohne Blendungen - hervorgerufen durch die jeweiligen Paneelflächen - dazu, dass das aus Westen einfallende Sonnenlicht störende Wirkung haben kann. Die Blendungszeitendiagramme können der Anlage 2 entnommen werden.

Da auch physiologische Blendungen auftreten, die im fovealen Sichtbereich liegen und somit die Sehfähigkeit des Zugführers deutlich herabsetzen können, sind aus gutachterlicher Sicht Maßnahmen zum Schutz des Zugverkehrs zu treffen.

Es wird empfohlen, Maßnahmen zur Blendungsvermeidung umzusetzen. Folgende Maßnahmen werden kurz in Bezug auf deren Wirksamkeit beurteilt:

- **Verwendung von Glaselementen mit niedrigem Reflexionsgrad bzw. hohem Absorptionsgrad oder Verwendung von Anti-Reflexions-Beschichtungen.** Gläser mit unterschiedlichen Farbtönen oder Beschichtungen mit niedrigen Reflexionsgraden können im Vergleich zu herkömmlichem Glas die Blendwirkung z.T. wesentlich verringern. Da bei Sonnenlicht jedoch sehr hohe Leuchtdichten auftreten, können auch Bruchteile der Sonnenreflektion zu absoluten Blendungen führen. Dieser Maßnahme wird aus gutachterlicher Sicht nicht attestiert, die Blendungsproblematik zu entschärfen und stellt für sich keine ausreichende Maßnahme dar.
- **Sichtunterbrechende Maßnahmen zwischen den Solarpaneelen und den Immissionsorten auf der Baldinger Straße.** Generell stellt die Unterbrechung der Blickbeziehung des blendenden Paneels zum Immissionsort durch eine Wand oder Ähnliches ein effektives Mittel dar, um Blendungen am Immissionsort zu vermeiden. Im vorliegenden Fall ist eine Sichtunterbrechung – aufgestellt in dem im Vergleich zu der in Dammlage befindlichen Bahngleise niedrigerem Plangebiet – nur mit größerem Aufwand der Lösung der Blendungsproblematik zuträglich. Aufgrund der tiefen Höhenlage des Plangebiets im Vergleich zu den Immissionsorten auf der Bahnstrecke müsste eine sichtunterbrechende Wand sehr hoch konzipiert werden. Wenn die Möglichkeit besteht, eine Sichtunterbrechung seitlich – auf Dammlage befindlich - der Bahnstrecke anzubringen, kann die Dimensionierung der Sichtunterbrechung geringer ausfallen und somit eine wirtschaftliche und umsetzbare Maßnahme darstellen.
- **Veränderung des Azimut- und/oder Neigungswinkel der Solarpaneele.** Eine Veränderung der Azimut- und Neigungswinkel der Solarpaneelreihen stellt eine effektive Maßnahme dar, um gerade die physiologischen Blendungen, die zu Sehbeeinträchtigungen führen können, zu vermeiden. Eine Änderung des Azimutwinkels einer längeren Solarpaneelreihe (z.B. Paneelreihe 5) bedeutet auch bei nur kleinen Winkelveränderungen eine deutliche Veränderung der Planung. Sollte eine Veränderung der Azimutwinkel zur Lösung der Blendungsproblematik herangezogen werden, sind die Paneele im Uhrzeigersinn zu ver-

schieben. Eine weitaus effektivere Maßnahme stellt jedoch die Veränderung der Paneelneigung dar. Eine Neigungswinkelerhöhung der Solarpaneele kann zu einer Blendungskonfliktentschärfung führen.

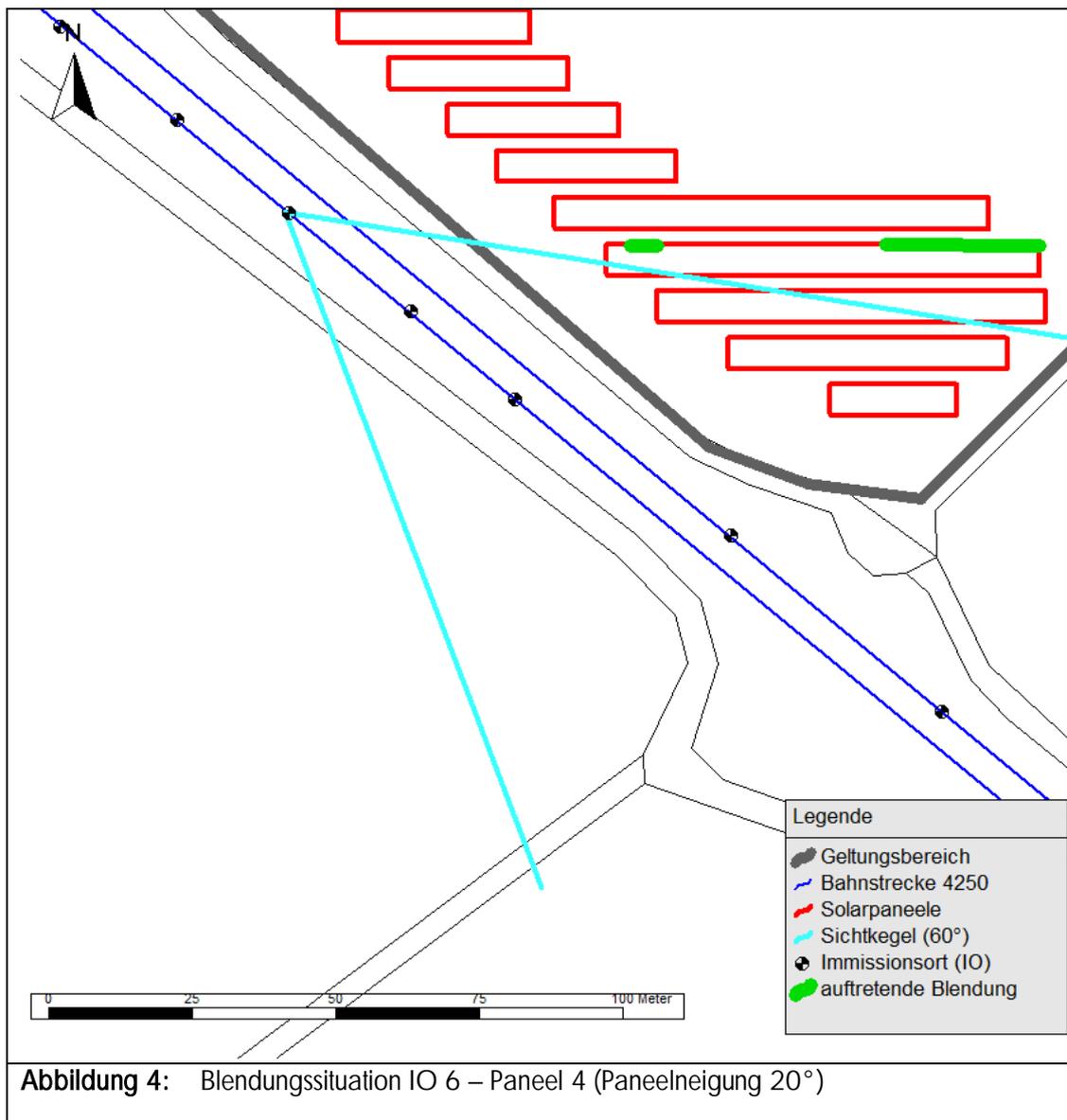
An den Immissionsorten IO1 bis IO 6 (vgl. Tabelle 3) treten auch physiologische Blendungen auf, die durch einzelne Solarpaneele hervorgerufen werden.

Es wurde eine Erhöhung der Neigungswinkel der Solarpaneele von 10° auf 20° vorgenommen und für die Immissionsort-Solarpaneelbeziehungen, an denen physiologische Blendungen auftreten, eine erneute Berechnung mit einer Solarpaneelneigung von 20° durchgeführt.

In der nachfolgenden Tabelle sind die Ergebnisse hierzu dargestellt.

Tabelle 4: Blendungen des Bahnbetriebs (B.Str. 4250) für eine Paneelneigung von 20°			
Immissionsort	Photovoltaikflächen	Art der Blendung	
		Physiologisch	Psychologisch
IO 1	13	nein	nein
IO 2	11	nein	nein
IO 3	9	nein	nein
IO 4	7	nein	nein
IO 5	5	nein	nein
IO 6	4	nein	ja

An den Immissionsorten IO 1 bis IO 5 treten nach Erhöhung des Neigungswinkels der Solarpaneele von 10° auf 20° keine Blendungen mehr auf. Am Immissionsort IO 6 treten – hervorgerufen durch das Solarpaneel 4 – keine Blendungen mehr auf, die im fovealen Sichtbereich liegen. Die Blendungssituation am Immissionsort IO 6 hervorgerufen durch das Solarpaneel 4 ist in der nachfolgenden Abbildung dargestellt.



Es zeigt sich, dass die punktuell auftretenden Blendungsbereiche außerhalb des fovealen Sichtbereichs liegen und somit keinen sichteinschränkenden Charakter mehr haben.

Es zeigt sich, dass ohne Maßnahmen Blendungen im Bereich des Zugverkehrs auftreten, die zu einer Verminderung der Sehleistung des Zugführers führen können. Es wird von daher eine Erhöhung des Neigungswinkels der Solarpaneele von 10° auf 20° empfohlen, da hierdurch die Blendungskonflikte in der Nachbarschaft gelöst werden können und somit keine Gefahrenpotentiale für den westlich verlaufenden Zugverkehr geschaffen werden. Die Planung muss diesbezüglich modifiziert werden, um vereinbar mit den Belangen eines sicheren Bahnbetriebs zu sein.

Dieses Gutachten umfasst 21 Seiten und 2 Anlagen. Die auszugsweise Vervielfältigung des Gutachtens ist nur mit Zustimmung der Möhler + Partner Ingenieure AG gestattet.

München, den 29. Mai 2020

Möhler + Partner
Ingenieure AG



i. V. M. Sc. C. Bews



i. A. M. Sc. P. Patsch

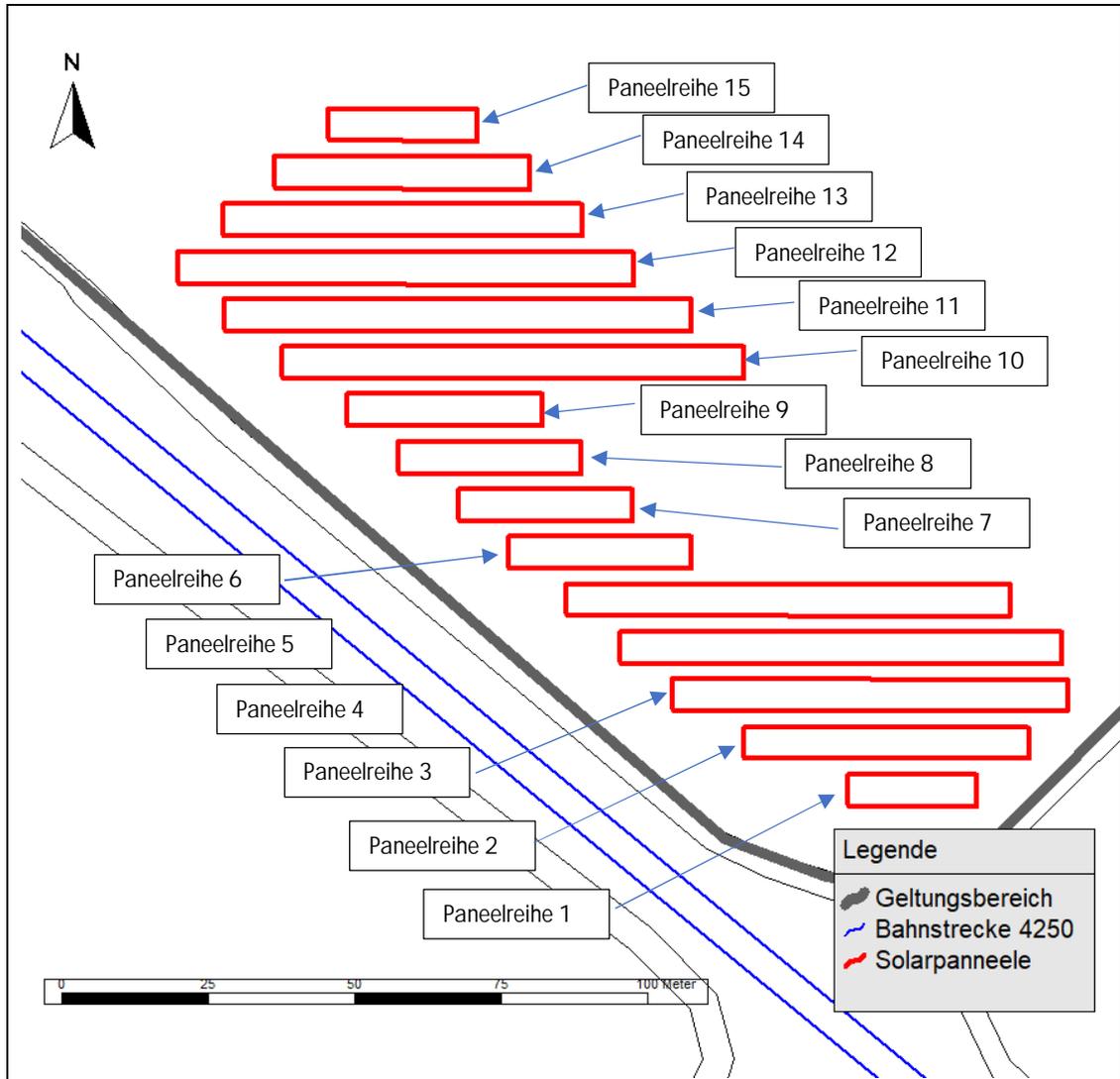
5. Anlagen

Anlage 1: Übersichtslagepläne

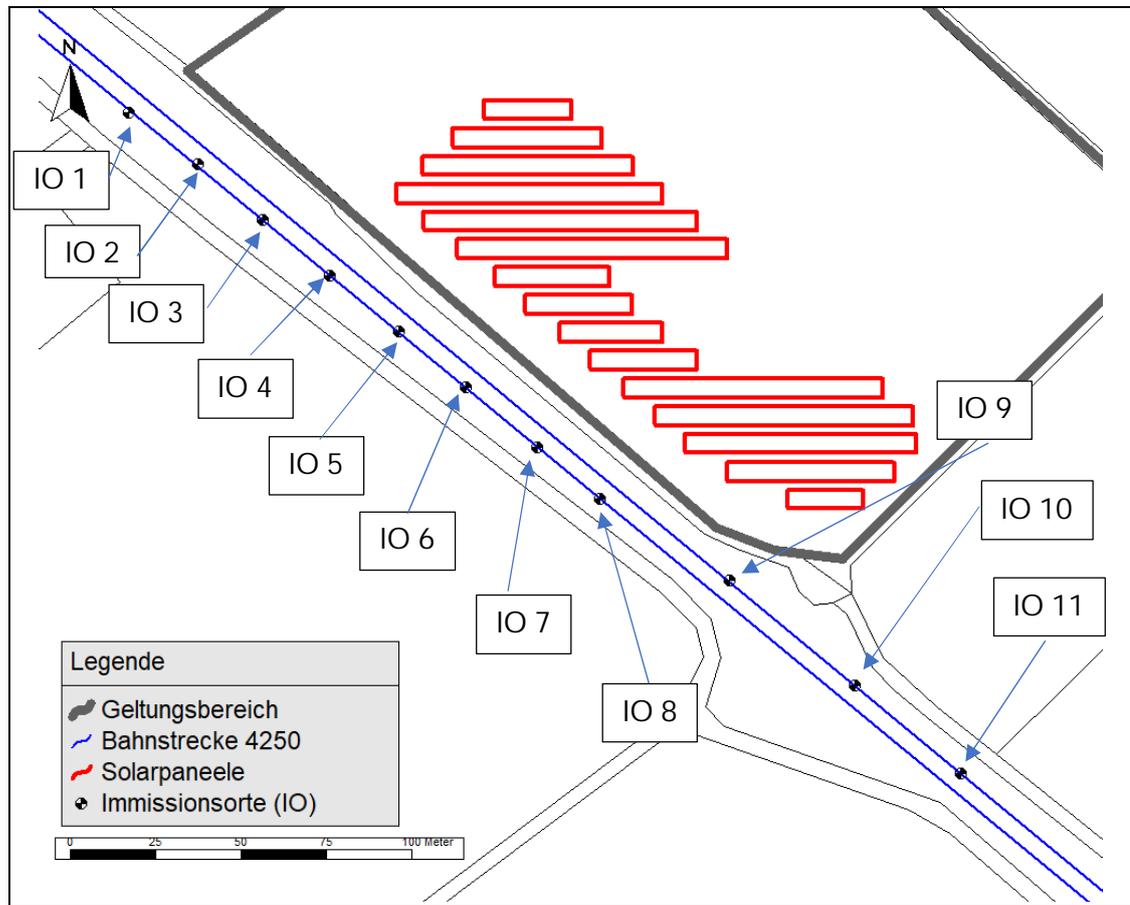
Anlage 2: Blendungszeiten

Anlage 1: Übersichtslagepläne

Übersichtslageplan der Planung



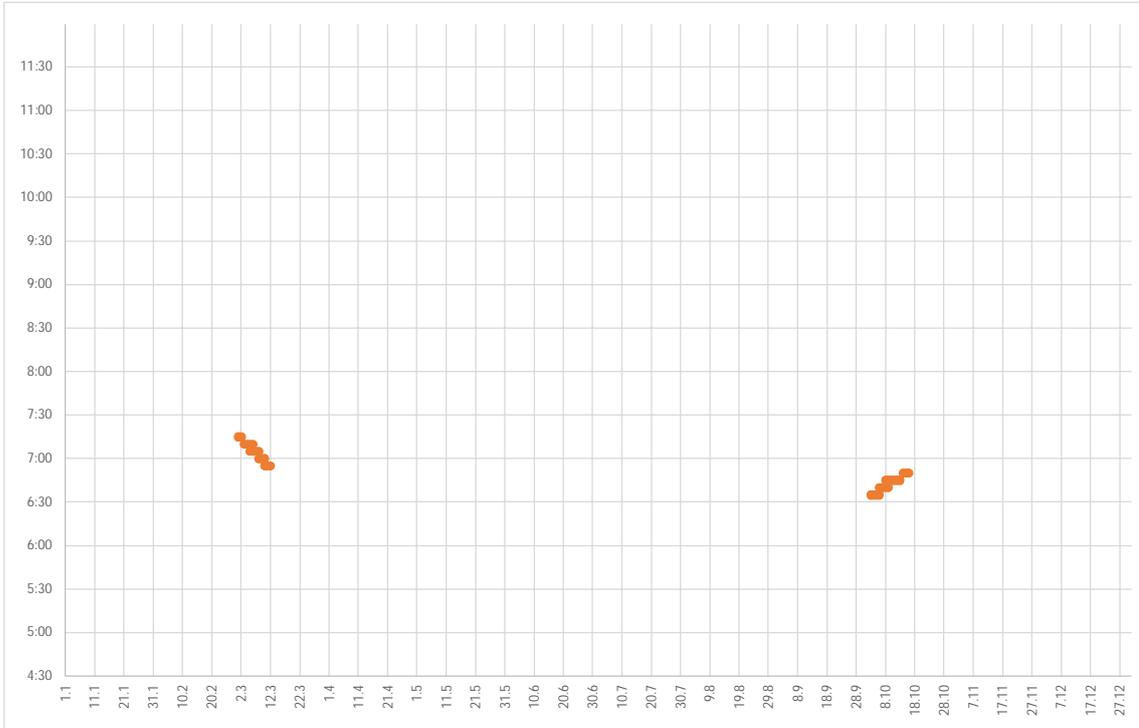
Übersichtslageplan der Immissionsorte



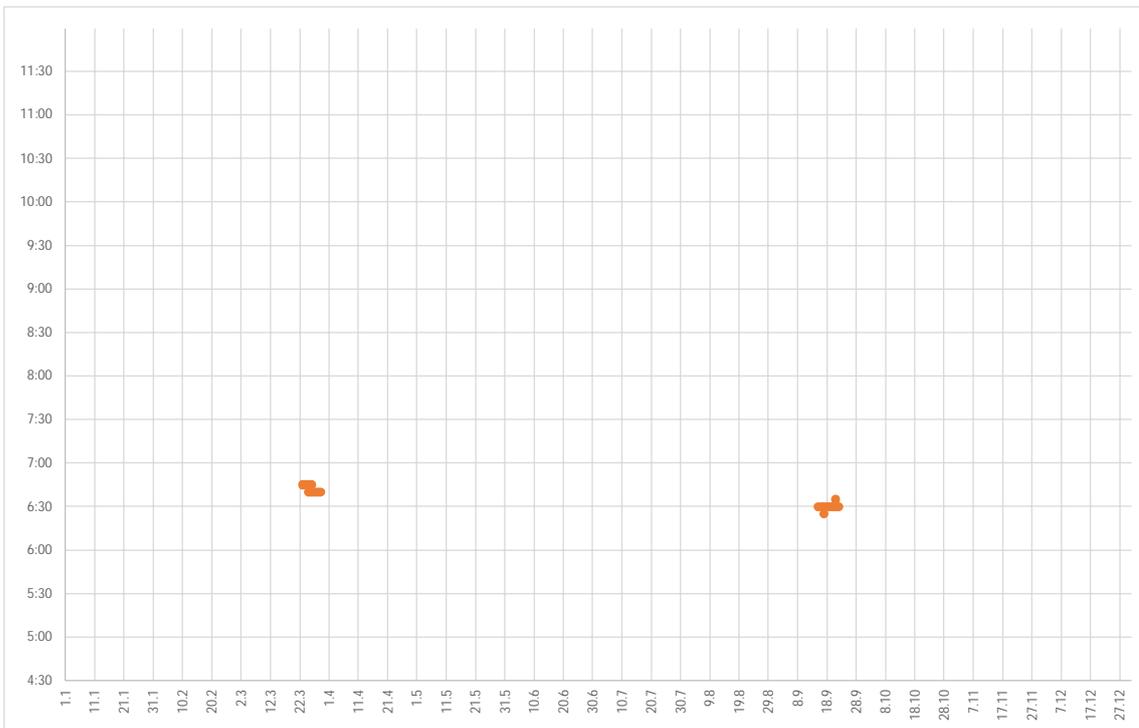
Anlage 2: Blendungszeiten

Die Blendungszeiten sind in Winterzeit (MEZ) angegeben.

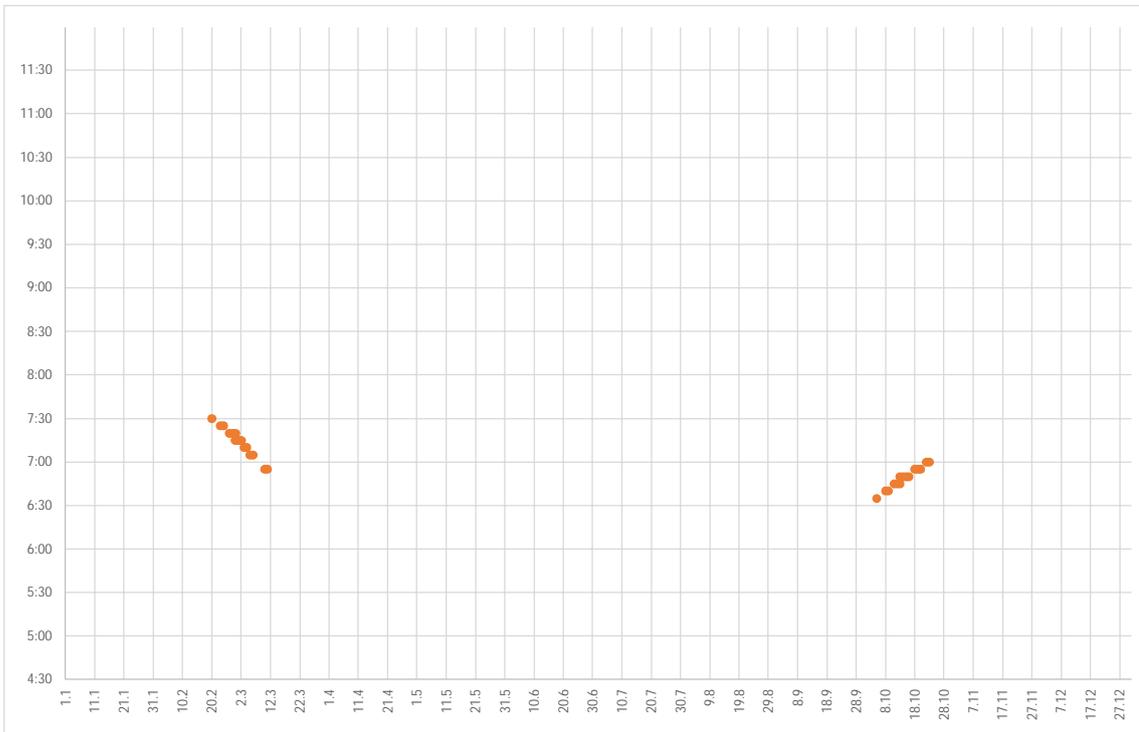
IO 1 Solarpanelreihe 13



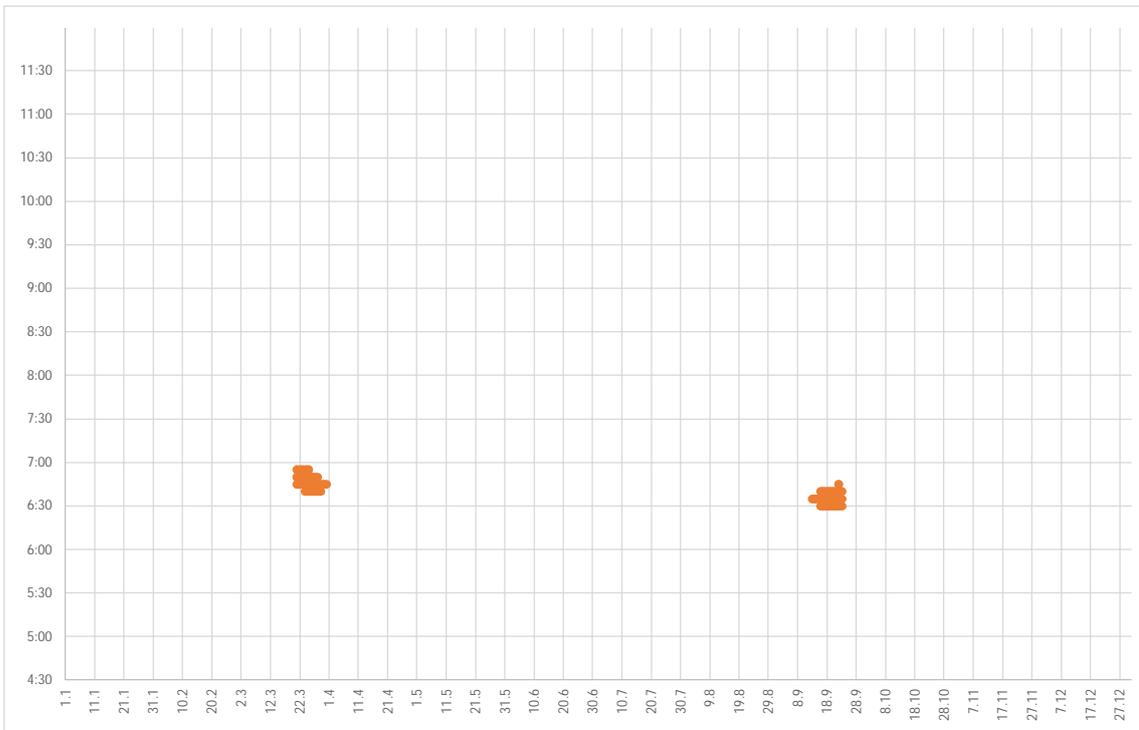
IO 1 Solarpanelreihe 15



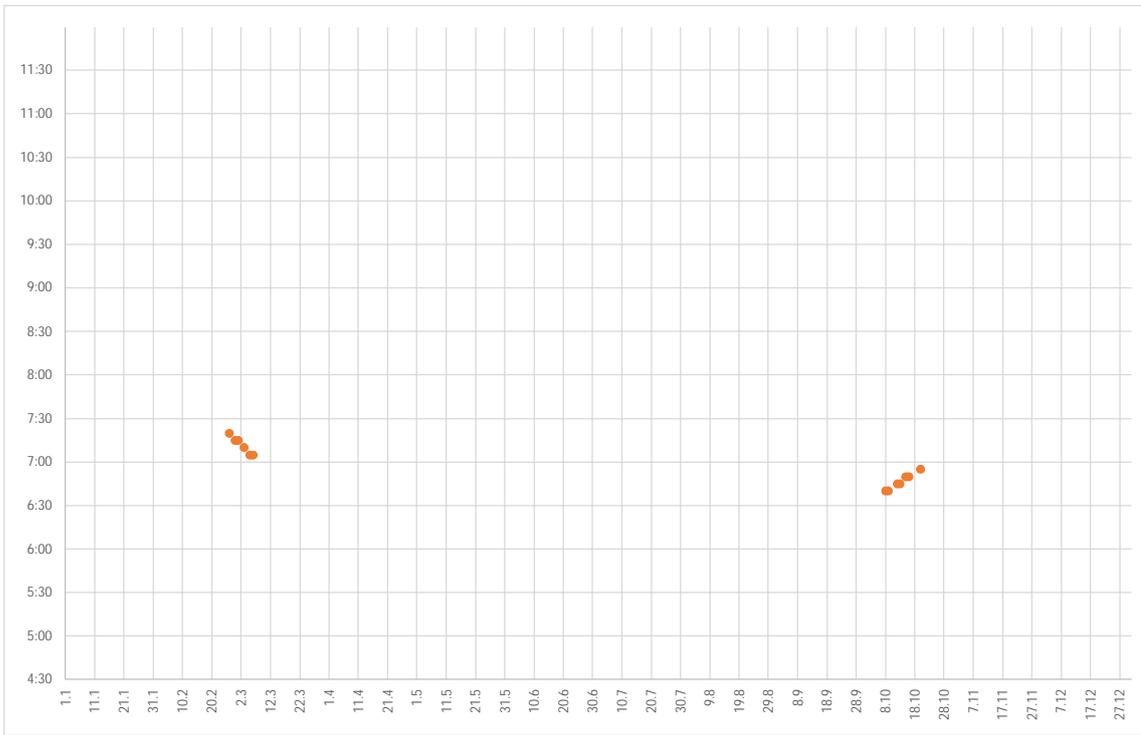
IO 2 Solarpanelreihe 11



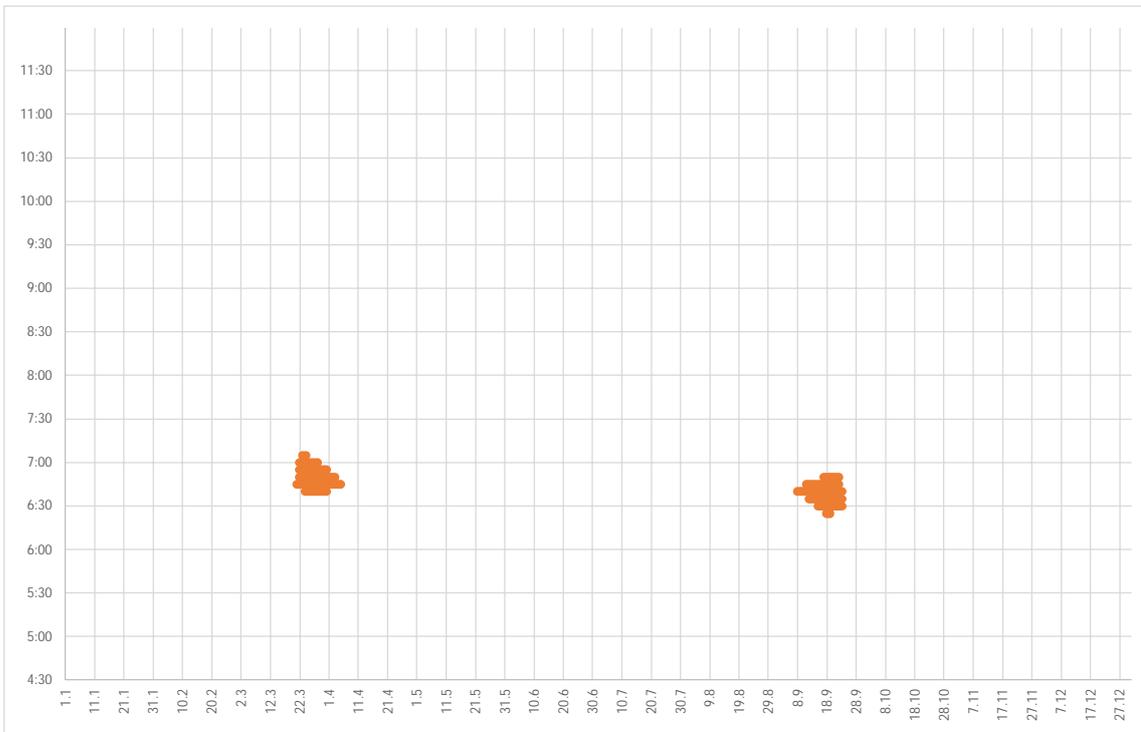
IO 2 Solarpanelreihe 13



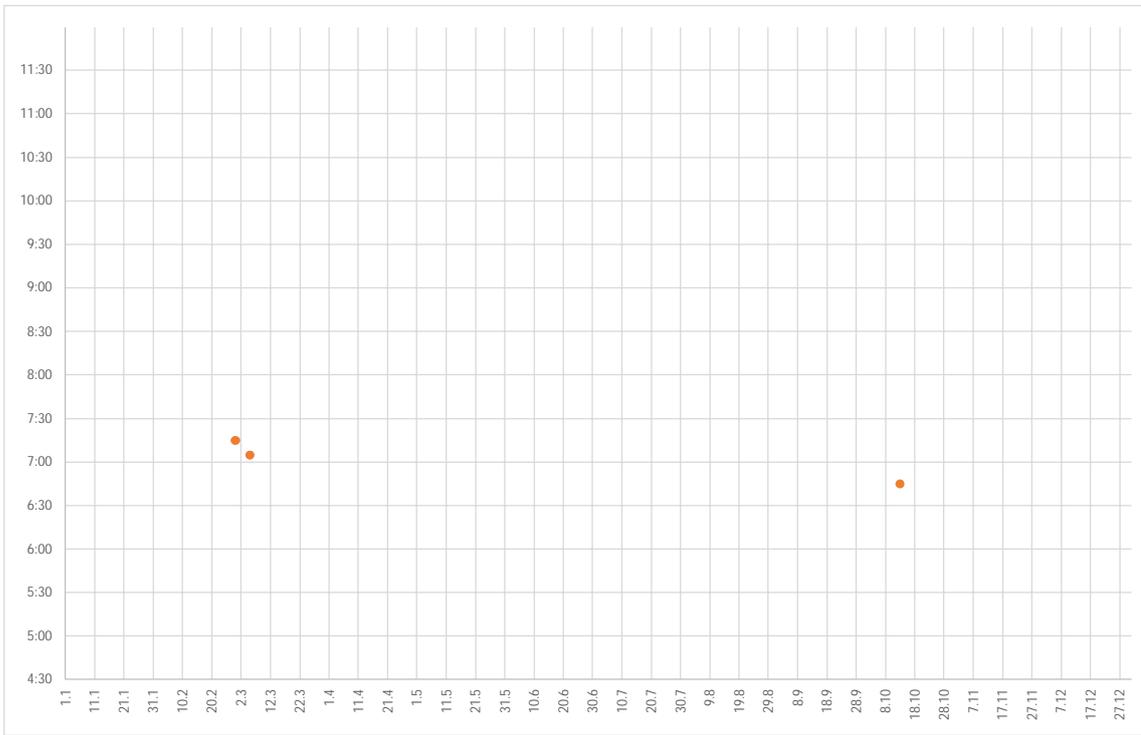
IO 3 Solarpanelreihe 9



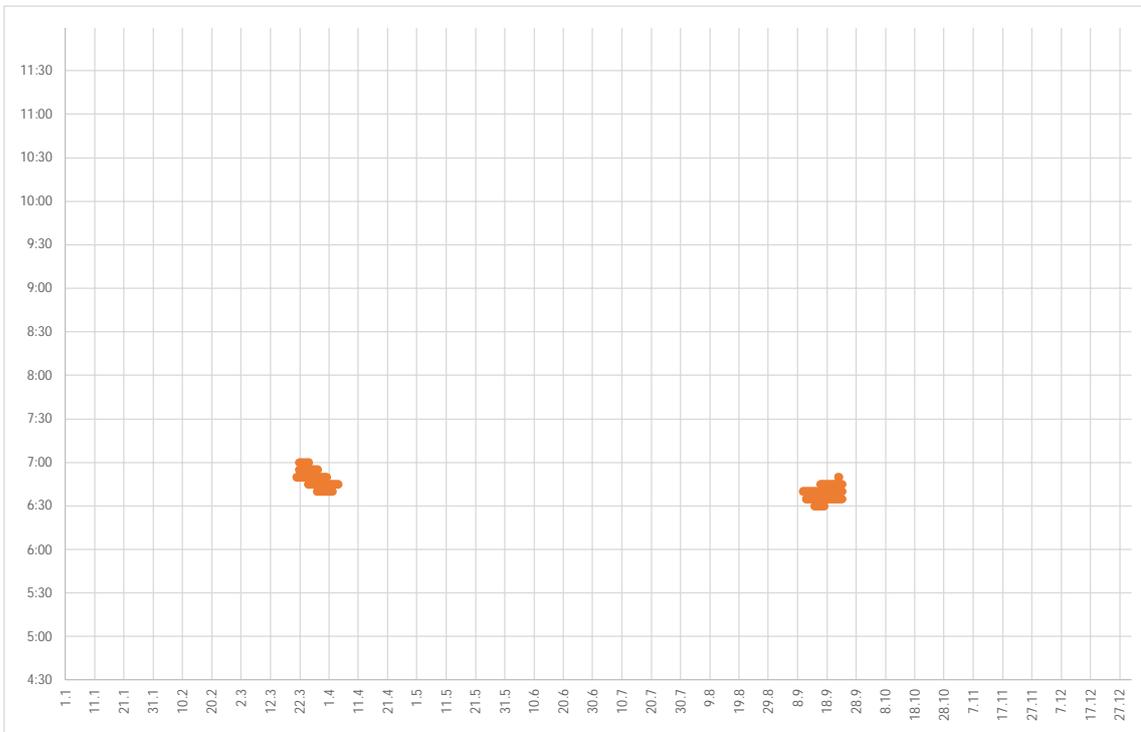
IO 3 Solarpanelreihe 11



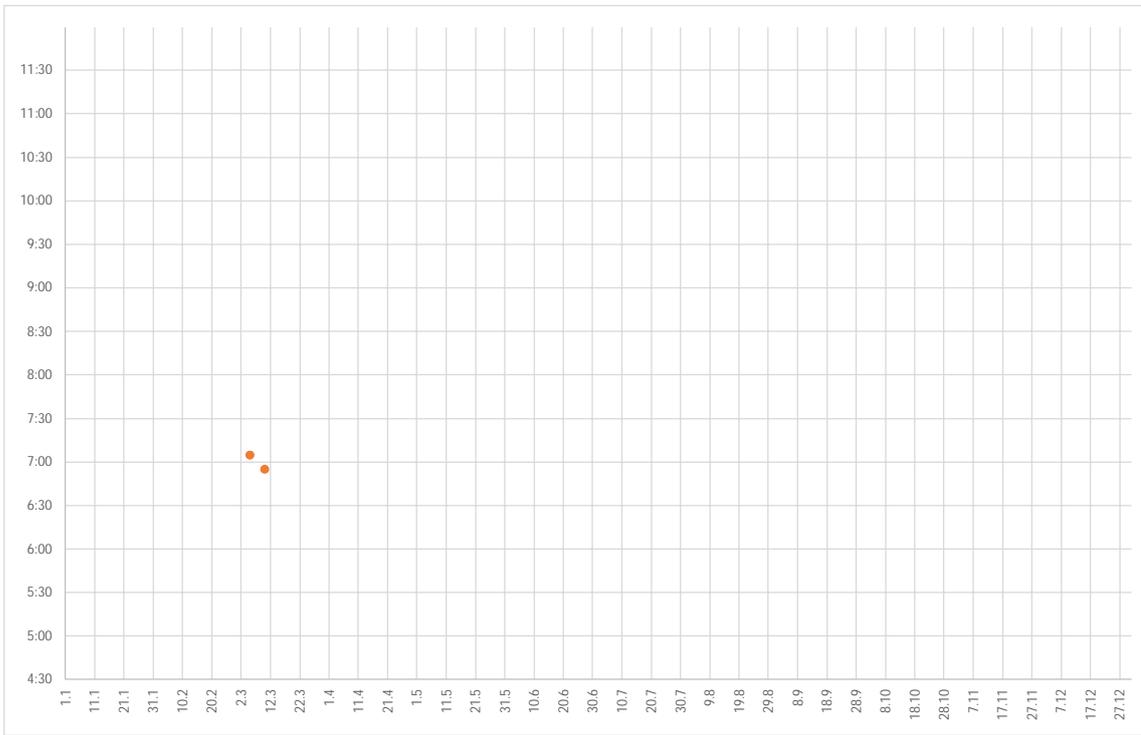
IO 4 Solarpanelreihe 7



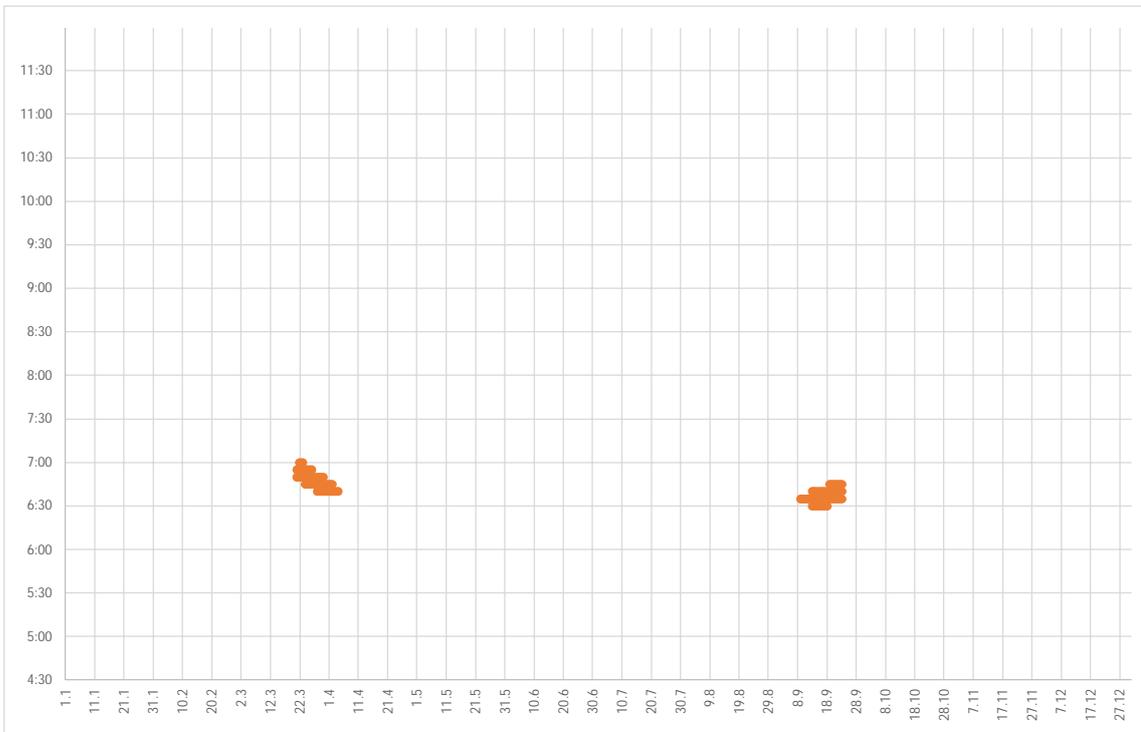
IO 4 Solarpanelreihe 9



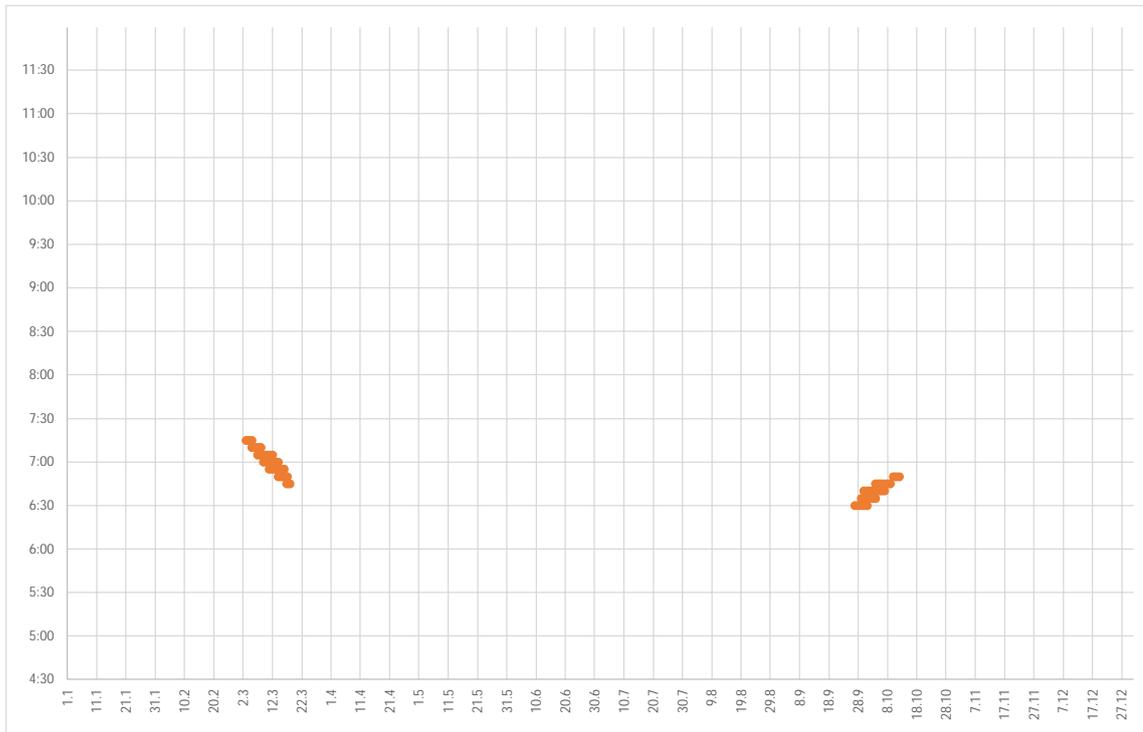
IO 5 Solarpanelreihe 5



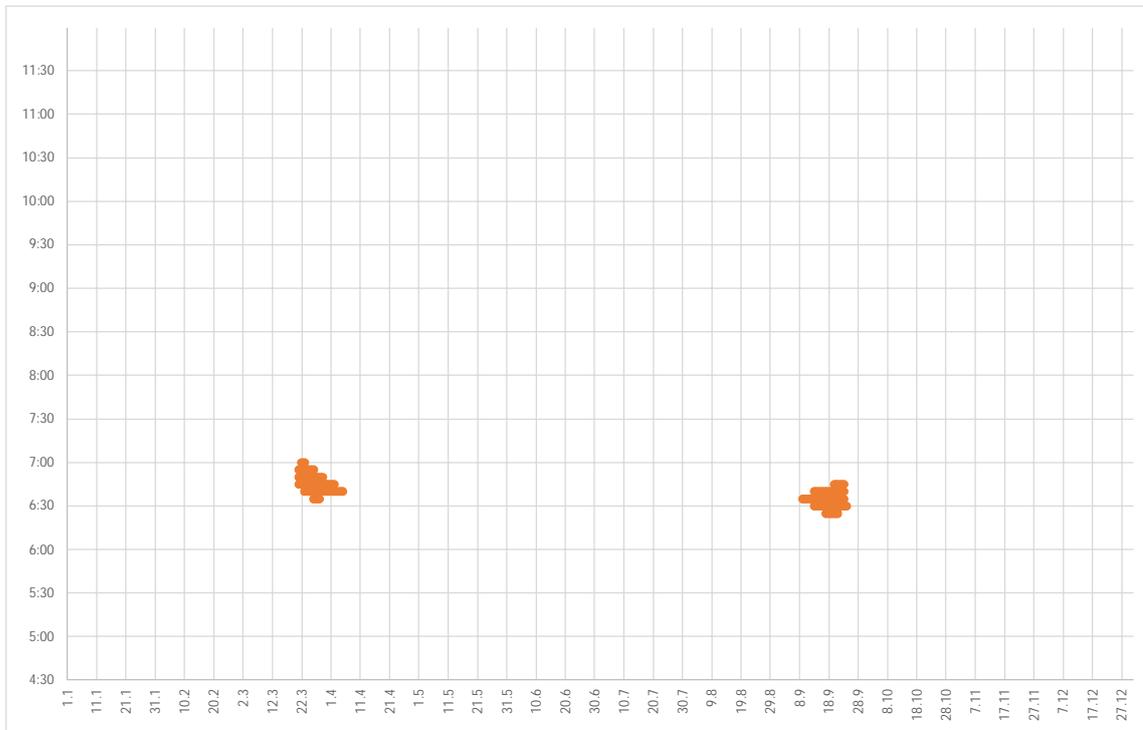
IO 5 Solarpanelreihe 7



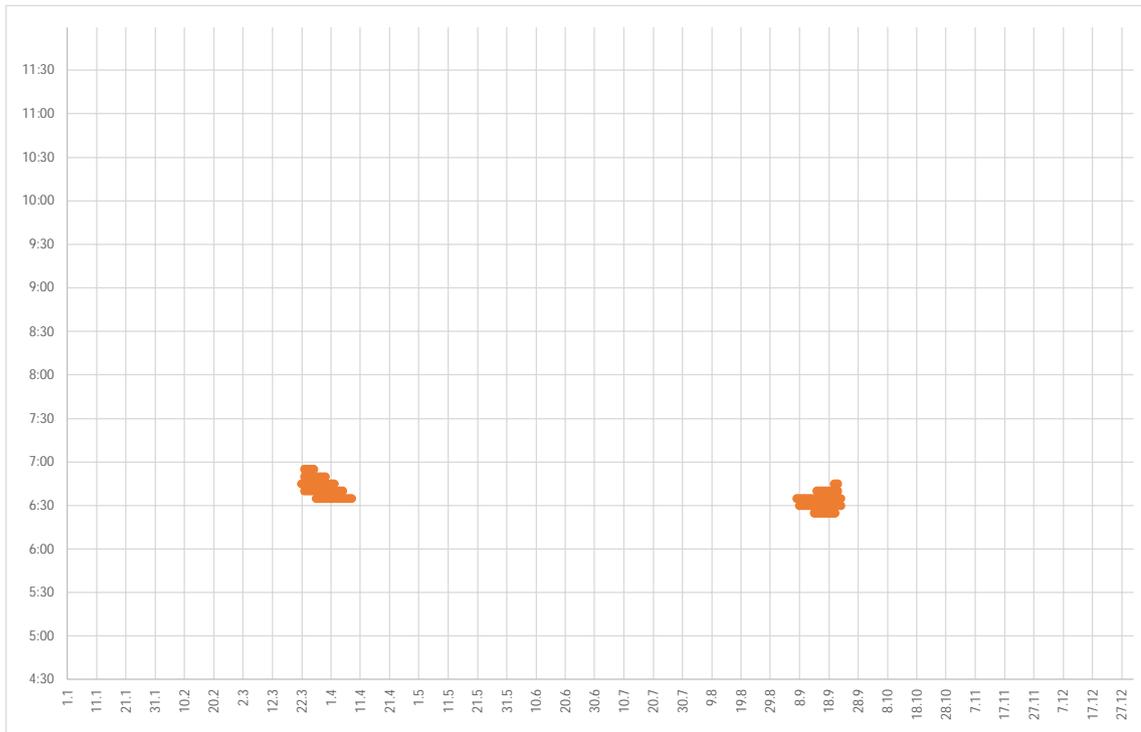
IO 6 Solarpanelreihe 4



IO 6 Solarpanelreihe 5



IO 7 Solarpanelreihe 3



IO 8 Solarpanelreihe 1

