

- schallschutz
- bau- und raumakustik
- erschütterungsschutz
- wärme- & feuchteschutz
- energieberatung /-konzepte
- enev - gebäudeenergieausweis
- thermografie & luftdichtheit



## Tageslichttechnische Untersuchung

-----
   
**Bebauungsplanänderung "Heisinger Straße - SO Photovoltaik", (Fl.-Nr. 919 u.a.), 87437 Kempten; hier: Einschätzung Blendwirkung auf angrenzende (Wohn-)Bebauung sowie BAB A7 – Tektur zusätzliche Untersuchung der Einwirkungen auf die Kaufbeurer Straße (Staatsstraße 2055)**
  
 -----

**Bericht:** 24093\_gu02\_v1

-----
   
**Auftraggeber:** ds-architektur und stadtplanung  
 partnergesellschaft mbh  
 Schönfeldstraße 1

**87700 Memmingen**

-----  
**Kaufering, den 28.08.2024**

Index	Fassung vom	Bemerkung
gu01_v1	19.08.2024	Beurteilung der lichttechnischen Situation gem. Planung [1]
gu02:v1	28.08.2024	Beurteilung der lichttechnischen Situation gem. Planung [1]

Bezeichnung der Untersuchung	Bebauungsplanänderung "Heisinger Straße - SO Photovoltaik", (Fl.-Nr. 919 u.a.), 87437 Kempten; hier: Einschätzung Blendwirkung auf angrenzende (Wohn-)Bebauung sowie BAB A7 – Tektur zusätzliche Untersuchung der Einwirkungen auf die Kaufbeurer Straße (Staatsstraße 2055)
Auftraggeber	ds-architektur und stadtplanung, partnergesellschaft mbh, Schönfeldstraße 1, 87700 Memmingen
Auftragnehmer	 <p>hils consult gmbh              Kolpingstr. 15              86916 Kaufering              fon: (0 81 91) 97 14 37              fax: (0 81 91) 97 14 38              www.hils-consult.de              info@hils-consult.de</p>
Bearbeiter	Dr. rer. nat. Th. Hils, F. Besenschek M.Sc.
Datum der Berichterstellung	Kaufering, den 28.08.2024

### Zusammenfassung

Die Bauherrschaft beabsichtigt die Errichtung einer Freiflächen-Photovoltaikanlage im Bereich zwischen BAB A7 und Heisinger Straße (Fl.-Nr. 919 u.a.), 87437 Kempten und in diesem Zuge zunächst die Aufstellung/Änderung des entsprechenden Bebauungsplans. Im Zuge des Bauleitplanungs- bzw. Genehmigungsverfahrens ist eine Einschätzung hinsichtlich möglicher Blendwirkungen auf die angrenzende (Wohn-)Bebauung sowie BAB A7 erforderlich. In diesem Zusammenhang ist in Anlehnung an den LAI-Leitfaden „Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen“ [6] in Verbindung mit der Studie des BayLfU 2007 [4] exemplarisch an maßgeblichen Immissionsorten im Umfeld der Anlage aufzuzeigen, ob durch die Planung nennenswerte Beeinträchtigungen bzw. erhebliche Belästigungen aufgrund potentieller Blendwirkungen zu erwarten sind. Aus der Analyse der geometrischen Situation wird deutlich, dass Teilbereiche der angrenzenden Bundesautobahn sowie der angrenzenden (Wohn-)Bebauung sich zumindest im potentiellen Einwirkungsbereich der Anlage befinden.

#### 1) Straße:

##### 1a) BAB A7 + Staatsstraße 2055

Unter Berücksichtigung der Topographie und typischen Fahr-Geschwindigkeit, sind Reflektionen an einem Teilbereich der Modulfelder bei seitlicher Blickrichtung (off-axis) zwar kurzzeitig denkbar, die jedoch bedingt durch die kurzen Einwirkdauern im Sekundenbereich in Verbindung mit einer hierzu erforderlichen achsenabgewandten Blickrichtung noch als vertretbar und nicht erheblich beeinträchtigend einzustufen sind.

##### 1b) Staatsstraße 2055 Kreuzungsbereich mit Heisinger Straße

Je nach Position des Kraftfahrzeuges sind Blendungen im Sichtfeld des Fahrers nicht vollständig auszuschließen. Die dabei relevanten Module sind dabei jedoch bereits mindestens 240 m weit entfernt und daher weniger blendungsintensiv

#### 2) Bebauung:

An den ortsfesten Immissionsorten der angrenzenden (Wohn-)Bebauung wird deutlich, dass Einwirkungen durch Blendung nicht ausgeschlossen bzw. teilweise zu erwarten sind. Dabei zeigt sich, dass die Einwirkdauern den Anhaltswerten gemäß [4], [6] z z.T. nicht genügen bzw. diese deutlich verfehlen und damit teilweise als erheblich belästigend im Sinne des LAI Leitfadens einzustufen sind. Maßnahmen zum Blendschutz werden daher erforderlich.

#### Blendschutz:

Zur Vermeidung und Verbesserung der Situation werden folgende Maßnahme vorgeschlagen:

1) Verzicht auf die nach Nordosten ausgerichteten Module.

2) Im Hinblick auf eine Optimierung der Situation im Kreuzungsbereich der St 2055 mit der Heisinger Straße wird empfohlen einen Blendschutz (Blendschutzzaun/Bewuchs) in einer mit einer Länge von 85 m gem. Lageplan im Anhang (Abbildung A18) und einer Höhe: Oberkante 2,7 m ü. Gelände bis Unterkante 0,7 m ü. Gelände auszuführen.

Wenngleich kurzzeitige Blendereignisse auch damit nicht vollständig ausgeschlossen werden können, sind erhebliche Beeinträchtigungen, unter Berücksichtigung der o.g. Blendschutzmaßnahmen durch die Anlage jedoch damit voraussichtlich nicht zu erwarten..

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>1. Aufgabenstellung</b> .....	<b>4</b>
<b>2. Grundlagen</b> .....	<b>4</b>
<b>3. Örtliche Gegebenheiten - geplante Maßnahmen</b> .....	<b>5</b>
<b>4. Methodik der Untersuchung - Beurteilungsgrundlagen</b> .....	<b>8</b>
4.1 Allgemeines .....	8
4.2 Überlagerung Reflektionen durch direktes Sonnenlicht .....	9
4.3 Einwirkungsbereich der Anlage .....	10
4.4 Bewertungsgrundlagen - Anhaltswerte .....	11
<b>5 Numerisches Berechnungsverfahren</b> .....	<b>12</b>
5.1 Berechnungsergebnisse und Bewertung .....	13

### Anhang:

Solaranlage mit Darstellung der Bereiche mit Reflektionen je Modul und Immissionsort

## 1. Aufgabenstellung

Die Bauherrschaft beabsichtigt die Errichtung einer Freiflächen-Photovoltaikanlage im Bereich zwischen BAB A7 und Heisinger Straße (Fl.-Nr. 919 u.a.), 87437 Kempten und in diesem Zuge zunächst die Aufstellung/Änderung des entsprechenden Bebauungsplans. Im Zuge des Bauleitplanungs- bzw. Genehmigungsverfahrens ist eine Einschätzung hinsichtlich möglicher Blendwirkungen auf die angrenzende (Wohn-)Bebauung sowie BAB A7 erforderlich.

In diesem Zusammenhang ist in Anlehnung an den LAI-Leitfaden „Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen“ [6] in Verbindung mit der Studie des BayLfU 2007 [4] exemplarisch an maßgeblichen Immissionsorten im Umfeld der Anlage aufzuzeigen, ob durch die Planung nennenswerte Beeinträchtigungen bzw. erhebliche Belästigungen aufgrund potentieller Blendwirkungen zu erwarten sind.

Die tageslichttechnischen Verhältnisse werden hierzu basierend auf einem digitalen Geländemodell des Untersuchungsbereichs in Verbindung mit dem Jahresgang des Sonnenstandes untersucht und in Anlehnung an den LAI-Leitfaden „Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen“ [6] in Verbindung der Studie des BayLfU 2007 [4] nebst weiteren Regelwerken beurteilt. Die Berechnungen erfolgen mittels geometrischer Analyse des Strahlengangs des reflektierten Sonnenlichts in Abhängigkeit des Sonnenstands (backward raytracing).

## 2. Grundlagen

- [1] Diverse Planunterlagen zum Vorhaben über Hr. Gerhardt (REV Energy GmbH) per E-Mail nebst Abstimmungen und Ergänzungen bis zum 21.08.2024
- [2] Ortsbesichtigung Online im Fotorealistischen 3 D Modell earth.google.com
- [3] Digitales Geländemodell des Untersuchungsbereichs LOD2 Datensatz und Höhenmodell der Bayerischen Vermessungsverwaltung abgerufen am 02.08.2024
- [4] Blendwirkungen durch Photovoltaikanlagen, Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, BayLfU 2007
- [5] Optische Einwirkungen auf die Nachbarschaft durch technische Anlagen und Geräte, Seminar, BayLfU 09/2009

- [6] „Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen“ (LAI)  
Stand 08.10.2012 nebst Anhang 2 (Stand 3.11.2015)
- [7] „Über die Blendungsbewertung von reflektiertem Sonnenlicht bei Solaranlagen“,  
Schierz, TU Ilmenau 2012
- [8] „The sun's apparent position and the optimal tilt angle of a solar collector in the  
northern hemisphere“ Chang T.P. (2009), Solar Energy V83 P1274-1284

### 3. Örtliche Gegebenheiten - geplante Maßnahmen

Der Standort der geplanten Anlage befindet sich östlich der BAB A7 und westlich des  
Gewerbegebiets Heisinger Straße im Kemptener Stadtteil Leubas.

Dabei soll eine Freiflächen Anlage im westlichen Bereich in Süd- und im östlichen Be-  
reich in Ost-Ausrichtung errichtet werden (vgl. nachfolgende Abbildung).

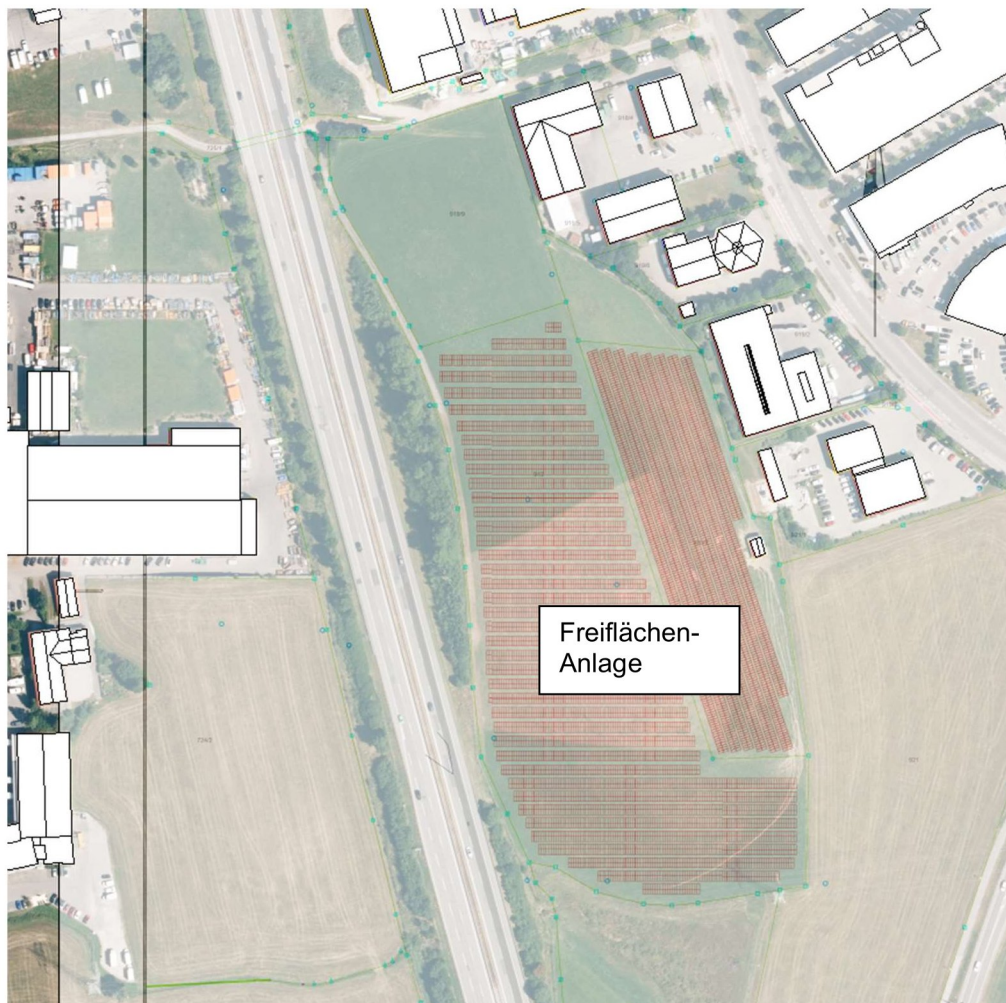


Abb. 1: Standort Anlage (Lageplan [1])

### Topografische Situation:

Die nachfolgenden Untersuchungen basieren auf einem digitalen Geländemodell [2] des Untersuchungsbereichs, das neben der geplanten Anlage (Modultische) auch die Topografie des umliegenden Geländes berücksichtigt.

Aus den topografischen Gegebenheiten lässt sich als potentiell besonders betroffener Einwirkungsbereich die angrenzende Bebauung im Osten mit direktem Sichtkontakt zu den nächsten Solarmodulen der Anlage im Abstand von z.T. nur 11 m ableiten. Die PV-Anlage befindet sich in einer Höhenlage etwa zwischen 691 m und 715 m, wohingegen die Immissionsorte eine Höhenlage zwischen etwa 696 m und 702 m aufweisen. Somit erscheint die Anlage größtenteils Höhengleich, so dass Reflektionen zum Einwirkungsbereich nicht von vorneherein auszuschließen sind.

### Immissionsorte:

#### 1) Stationäre Immissionspunkte - Gebäude:

Es zwei potentiell betroffene Immissionspunkte an der angrenzenden Wohnbebauung, westlich und südlich der Anlage zur rechnerischen Analyse von Blendwirkungen näher betrachtet. Konkret handelt es sich dabei um nachfolgende Immissionspunkte:

Tab. 1: maßgebende Immissionsorte im Untersuchungsgebiet

ID	Bezeichnung/Lage
IO01	Heisinger Straße 9
IO02	Heisinger Straße 11 Süd
IO03	Heisinger Straße 11 Nord
IO04	Heisinger Straße 13
IO05	Heisinger Straße 15 Süd
IO06	Heisinger Straße 15 West
IO07	Heisinger Straße 17a
IO08	Hub 6
IO09	Felbener Straße 1
IO10	Heisinger Straße 12

#### Anmerkung:

Als Immissionsorte werden die Fenstermitten gem. Einschätzung durch Lichtbilder sowie falls erforderlich gem. Bebauungsplan herangezogen

#### 2) Instationäre Immissionspunkte - Verkehrswege:

Im Weiteren werden daher neben den 10 Immissionsorten exemplarisch 17 weitere potentiell betroffene Immissionspunkte an den angrenzenden Verkehrswegen zur rechnerischen Analyse von Blendwirkungen näher betrachtet. Konkret handelt es sich dabei um nachfolgende Immissionspunkte:

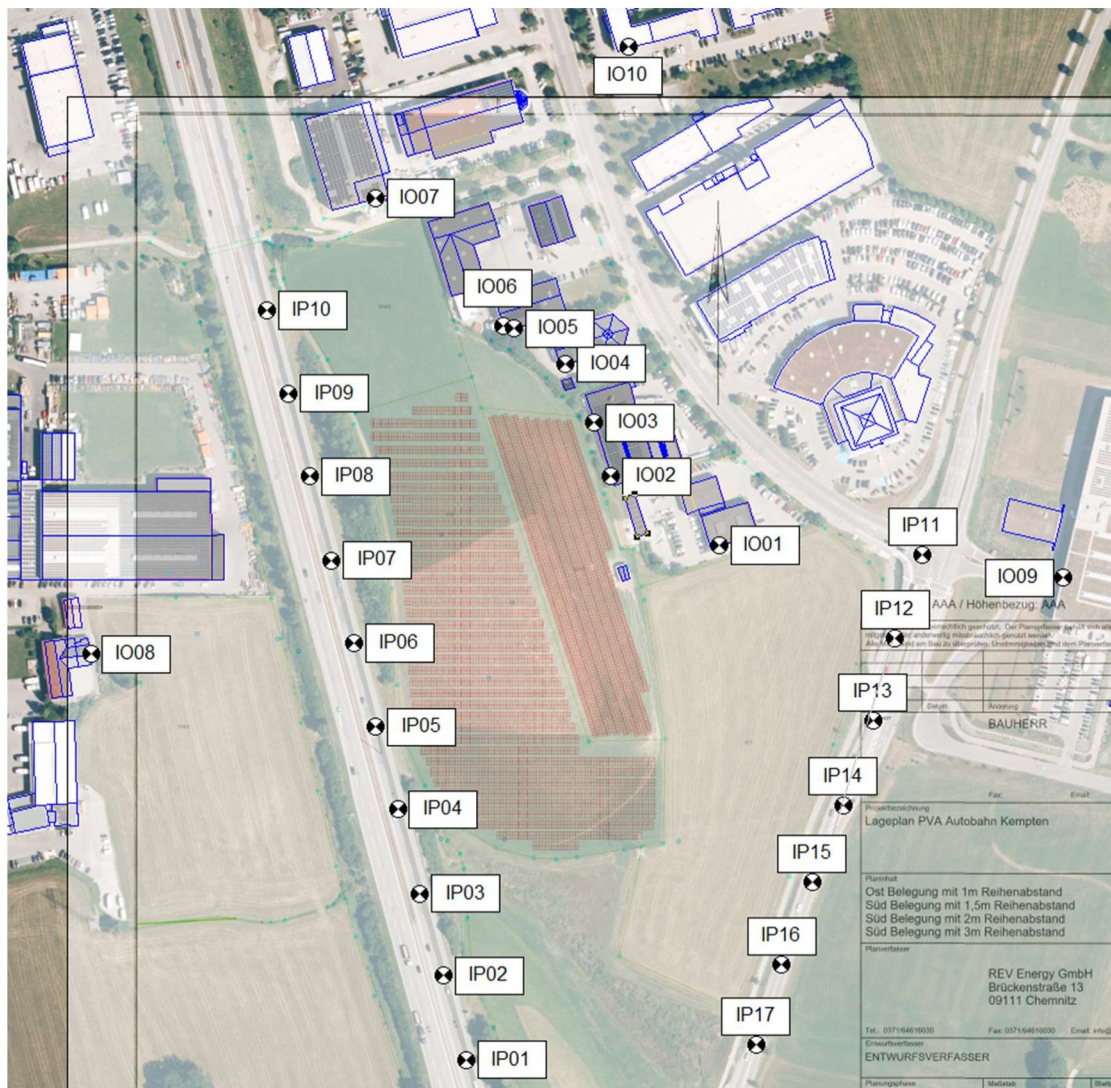


Abb. 2: Position der herangezogenen Immissionsorte

### Beschreibung der Photovoltaikmodule

Solar-Module sind speziell entworfen, um möglichst viel einfallende solare Energie zu absorbieren. Lichtreflexionen stellen hierbei einen unerwünschten Nebeneffekt dar, da diese mit einem Verlust von Energie verbunden sind. Die Module sind von dunkler Farbe und verfügen nach dem Stand der Technik über Antireflex-Beschichtungen. Laut einer aktuellen Studie des US-PV-Modulherstellers SunPower Corporation sind Blendung und Reflexion aus PV-Anlagen erheblich niedriger als Blendung und Reflexion durch normales Glas und andere reflektierende Flächen, die sich in der Regel in der Umgebung der PV-Anlage befinden.

Im geplanten Solarpark sollen zur Energiegewinnung festinstallierte polykristalline Module zum Einsatz kommen. Die Frontabdeckung der Module besteht aus lichtdurchlässigem gehärtetem Antireflex-Glas (sog. „Solarglas“), Dabei wird die solare

Transmission (der durch das Glas dringender Anteil Sonnenstrahlung) auf Werte über 95 % angehoben wodurch die Reflexion auf unter 5 % sinkt. Das Freiflächensystem wird mit einem Untergestell aus Stahl versehen und die Unterkonstruktion wird in das Erdreich gerammt.

Die Neigung der Module der Freiflächenanlage sollen im westlichen Bereich etwa 20° in Südrichtung (Azimut 180°) und im östlichen Bereich ebenfalls 20° jedoch in Ostrichtung (Azimut etwa 72°) betragen [1].

## **4. Methodik der Untersuchung - Beurteilungsgrundlagen**

### **4.1 Allgemeines**

Da Sonnenlicht von der Oberfläche der Solarmodule nicht nur absorbiert, sondern insbesondere bei streifendem Einfall auch reflektiert wird, können Reflexionen in der unmittelbaren Umgebung der Anlage zu potentiellen Belästigungen durch Blendwirkung führen. Als Einflussgrößen zur Bewertung spielen hierbei insbesondere die geometrische Situation

- relative Lage (Azimut, Höhenwinkel) zur Blendquelle
- Vorliegen einer direkten Sichtverbindung
- Vorliegen einer reflektierenden Fläche in Hauptblickrichtung

die Intensitätsverhältnisse ausgedrückt über die

- Leuchtdichte der Blendquelle in Bezug zur Umgebungsleuchtdichte
- Leuchtdichte der Sonne in Abhängigkeit vom Sonnenstand
- Reflexionseigenschaften der Moduloberflächen

sowie Zeitpunkt, Dauer und Häufigkeit einer potentiellen Blendsituation eine Rolle.

Das Blendverhalten einer Lichtquelle hängt neben Umgebungsleuchtdichte und Raumwinkel auch vom Adaptionszustand des Auges ab. Bei dunkel adaptiertem Auge kann auch bei verhältnismäßig geringen Störleuchtdichten eine Blendung auftreten. Durch die Reflektion von Sonnenlicht an Photovoltaikanlagen können in der unmittelbaren Nachbarschaft hohe Leuchtdichten auftreten, die eine absolute Blendung bei den Betroffenen [6] und eine Reduzierung des Sehvermögens im entsprechenden Blickfeld verursachen können. Bei längerer Exposition von Blendungen werden daher Abhilfemaßnahmen empfohlen bzw. erforderlich.



Ob eine Blendung zu einer *physiologischen Blendung* führt, hängt von der Lage der blendenden Fläche/Punkts im Verhältnis zur Sichtachse bzw. Blickwinkel der Person am Immissionspunkt ab. Richtet sich der Blick nicht direkt auf die Blendquelle, ist je nach Richtungswinkel lediglich von einer *subjektiv-psychologischen Blendung* auszugehen. Nachdem beim menschliche Auge zwischen Fovealem und Peripherem Sehen differenziert wird, kommt es auf den Winkelbereich abweichend zur Sichtachse an. Der horizontale Winkelbereich beim Fovealen Sehen (binokulares Blickfeld) beträgt typischerweise etwa  $\pm 30^\circ$  (links und rechts) der Sichtachse zum fokussierten Punkt. Liegt die Blendquelle in diesem Winkelbereich, ist von einer *physiologischen Blendung* auszugehen, die zu einer Sichteinschränkung führen kann. Außerhalb dieses Bereichs (peripherer Blickbereich) wird eine Blendung zwar im Augenwinkel wahrgenommen führt aber lediglich zu einer untergeordneten einzustufenden *psychologischen Blendung*, die ablenkend-störenden Charakter haben kann.

Bei Einwirkungen auf Fahrzeuglenker, Lokführer u.ä. ist auszugehen, dass der Blick weitestgehend nach vorne in Fahrtrichtung ausgerichtet ist (Foveales Sehen) und im Wesentlichen diejenigen Blendungen zu beurteilen und zu vermeiden sind, die zu einer *physiologischen Blendung* führen.

#### **4.2 Überlagerung Reflektionen durch direktes Sonnenlicht**

Bei streifendem Einfall des Sonnenlichts befindet sich die Sonne vom Betrachter aus gesehen in unmittelbarer Nähe des reflektierenden Moduls so dass die Blendwirkung durch die Direkteinstrahlung der Sonne dominiert wird. Eine optische Differenzierung und zusätzliche Blendwirkung durch Reflektion erfolgt jedoch typischerweise erst bei Differenzwinkeln größer  $10^\circ$ .



Abb. 3: Blendungssituation bei streifendem Lichteinfall gem. [4]

Grundsätzlich ist bei Reflexionen in streifendem Einfall zu beachten, dass die Reflexionen stets aus nahezu der gleichen Richtung kommen wie die solare Direkteinstrahlung. Daher blickt der Beobachter bereits in die tief stehende Sonne, die zusätzlichen peripheren Störwirkung durch die flachwinkligen Reflexionen sind allenfalls als tendenziell gering zu bewerten. Die Lichtintensität der tiefstehenden Sonne ist darüber hinaus stark vermindert. Erhebliche Auswirkungen auf die Sehleistung der Betroffenen sind daher nicht zu erwarten.

#### 4.3 Einwirkungsbereich der Anlage

Gemäß Anhang 2 aus [6] und dem Leitfaden des LfU [4] ergibt sich - bei ebenem Gelände - für übliche festmontierte PV-Module ein potentieller Einwirkungsbereich, der sich in zwei 24°-Sektoren (morgendliche bzw. abendliche Einwirkungssektoren) südöstlich bzw. südwestlich der Anlage gliedert. Befindet sich der Einwirkungsbereich in seiner Höhenentwicklung unterhalb der Spiegelebene sind Reflektionen grundsätzlich auszuschließen.

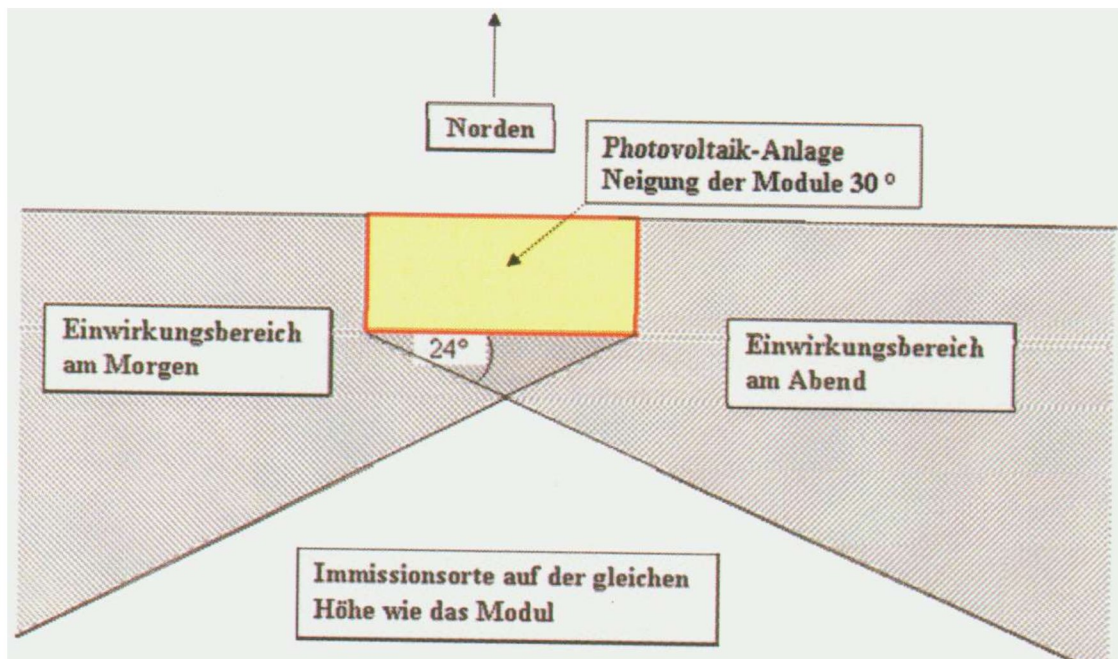


Abb. 4: Typischer Einwirkungsbereich für Reflexionen gemäß BayLfU [4]

Liegen potentielle Immissionsorte außerhalb des Einflussbereichs können erhebliche Belästigungen durch Blendwirkung von vorneherein ausgeschlossen werden.

Bei Immissionsorten innerhalb des Einwirkungsbereichs können bei Entfernungen kleiner 100 m erhebliche Belästigungen nicht grundsätzlich ausgeschlossen werden. In diesem Fall sind detailliertere Berechnungen durchzuführen und ggf. Schutzmaßnahmen zu dimensionieren. Für Immissionsorte die zwar innerhalb des o.g. Einflussbereichs liegen, jedoch Abstände zur Anlage von mehr als 100 m aufweisen, wird gemäß [6], Anhang 2, Nr. 3 folgendes ausgeführt:

„...  
Immissionsorte, die sich weiter als ca. 100 m von einer Photovoltaikanlage entfernt befinden  
... .. erfahren erfahrungsgemäß nur kurzzeitige Blendwirkungen. Lediglich bei ausgedehnten  
Photovoltaikparks könnten auch weiter entfernte Immissionsorte noch relevant sein.  
...“

#### 4.4 Bewertungsgrundlagen - Anhaltswerte

Gesetzliche Regelungen sowie verbindliche Erhebungs- und Beurteilungskriterien für die Bewertung von Lichtreflexionen, insbesondere der Blendwirkung von Photovoltaikanlagen bestehen derzeit nicht. Daher erfolgt die Bewertung in Anlehnung an den Anhang 2 zu „Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen“

des LAI (Stand 2015) [6] nebst Leitfaden „*Blendwirkungen durch Photovoltaikanlagen*“, Bayerisches Landesamt für Umweltschutz BayLfU 2007 [4].

Demnach werden Blendwirkungen auf ein ortsfestes Objekt (z.B. Immobilie) durch Sonnenlichtreflexion als zumutbar angesehen, sofern die astronomisch mögliche Einwirkdauer bei spekularer (Direkt-)Reflexion als wetterunabhängige Größe 30 min pro Tag sowie 30 h pro Jahr nicht überschreitet.

Tab. 1: Anhaltswerte Blendwirkung

Anhaltswerte	Aufenthaltsräume
<b>Blendungsdauer</b> (max. mögliche astronomische Blenddauer)	≤ 30 min je Tag sowie ≤ 30 h je Jahr

Für bewegliche Objekte oder fließenden (Luft-)Verkehr sind keine konkret-quantitativen Anforderungen bekannt, da die Einwirkzeiten von der Fahrzeuggeschwindigkeit und Blickrichtung der Fahrzeugführer abhängen und daher wesentlich kürzer sind. Hier kommt es darauf an, dass die Sehfähigkeit aus sicherheitstechnischen Aspekten nicht wesentlich eingeschränkt werden darf, so dass derartige Blendwirkungen nach Möglichkeit grundsätzlich zu vermeiden sind.

## 5 Numerisches Berechnungsverfahren

Für den Fall, dass erhebliche Belästigungen durch Blendwirkung aus geometrischen Gründen nicht per se auszuschließen sind werden genauere quantitative Analysen zu Blendauern erforderlich. Zur quantitativen Analyse der Einstrahldauer werden ergänzend numerische Untersuchungen in Anlehnung an das Verfahren nach Schierz [7] durchgeführt. Dabei werden mittels vektorieller Betrachtung der Blendquellen und zu untersuchenden Immissionspunkten die maßgebenden Azimut- und Höhenwinkel berechnet und mit den auftretenden Azimut- und Höhenwinkeln der Sonne im Jahresverlauf verglichen. Witterungseinflüsse werden dabei im Zuge einer oberen Abschätzung vernachlässigt.

Der Rechenalgorithmus basiert dabei auf einem Inverse-Ray-Tracing Verfahren basierend auf einer Diskretisierung von Reflexionsfläche und Targetpunkt mittels zeitlicher Sonnenstands-Variationsrechnung [7]. Hierbei wird übereinstimmend mit [6] und [4] folgendes Verfahren herangezogen.

1. Festlegung repräsentativer Immissionsorte zur Charakterisierung von Bereichen mit potentiellen Blendwirkungen
2. Berechnung des für die Reflektion erforderlichen Azimuts und Höhenwinkels der Sonne unter Berücksichtigung der Koordinaten von Immissionsort und Reflexionsobjekt nebst Neigung und Drehwinkel. Hierbei werden jeweils die Eck- und Mittelpunkte der einzelnen Reflexionsflächen bzw. ein engmaschigeres Quellraster (1m x 0,5m) zur Berechnung der reflektierten Strahlen verwendet. Die Quellen-Diskretisierung hängt u.a. vom Abstand zwischen Immissionspunkt und Reflektor ab und berücksichtigt die virtuelle Größe der Sonnenscheibe mit  $0,52^\circ$ .
3. Berechnung der - vom jeweiligen Immissionsort aus gesehenen - reflektierten Azimute und Höhenwinkel mittels Vektoranalysis gem. [7] an dem bei passendem Sonnenstand Reflektionen auftreten können.
4. Berechnung des Datums und der Uhrzeit an dem die Sonne am Standort die unter Nr. 3 ermittelten Azimute/Höhenwinkel durchläuft. Die Anzahl der Übereinstimmungen im Verlauf eines Jahres oder Tages ergibt die Anzahl der zu erwartenden Blendungssituationen.

Im Rahmen einer oberen Abschätzung (worst case) wird eine potentielle gegenseitige Eigenabschirmung der Module vernachlässigt. Auch ist aufgrund der Modelldiskretisierung davon auszugehen, dass bei auftretenden Reflektionen jeweils mehrere Module gleichzeitig im selben Zeitfenster reflektieren, dabei jedoch einzeln zeitlich summiert werden, was ebenfalls zu einer tendenziellen Überschätzung der Gesamtreflektionsdauern führt.

Berechnungsgrundlage ist damit eine geometrische Analyse aller relevanten Objekte im Untersuchungsgebiet. Für die Berechnung werden u.a. folgende Eingangsparameter herangezogen:

- Orographie (Höhenverhältnisse des Geländes) nebst Längen-/Breitengrad
- Lage und Höhe der Bebauung im Untersuchungsgebiet

## 5.1 Berechnungsergebnisse und Bewertung

### Sonnenstand am Standort:

Der Sonnenstand am Standort wird entsprechend [8] berechnet. Nachfolgende Grafik zeigt den monatlichen Sonnenstand (Azimut und Höhenwinkel) am Standort in Abhängigkeit von der Tageszeit.

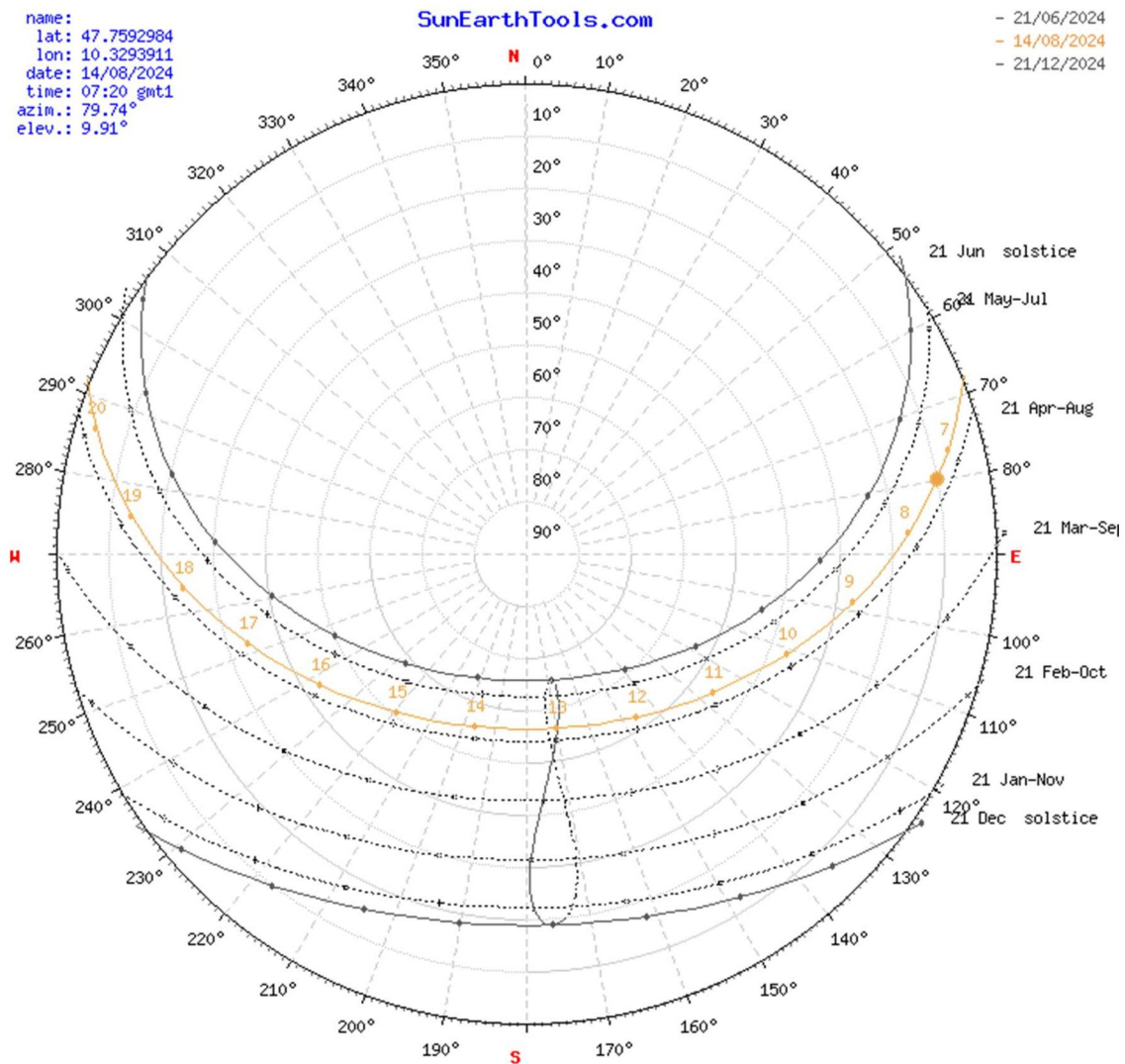


Abb. 5: Sonnenstände am Standort im Jahresverlauf [Quelle: SunEarthTools.com].

Relevante azimutale ( $\alpha$ ) und vertikale ( $\gamma$ ) Lichteinfallsbereiche:

Entsprechend den Gesetzen der spekularen Reflexion ergibt sich für jeden Immissionspunkt ein grundsätzlich möglicher azimutaler Winkel- sowie Höhenwinkelbereich, aus dem das Sonnenlicht einfallen muss, um mittels Reflexion in der Vertikal- bzw. Horizontalebene den jeweiligen Einwirkungsbereich zu treffen. Diese sind bei den Modulen in Südausrichtung:

Tabelle 2: Azimutale  $\alpha$  und vertikale  $\gamma$  Lichteinfallsbereiche

Bezeichnung	$\gamma_{\max}$ [°]	$\gamma_{\min}$ [°]	$\alpha_{\max}$ [°]	$\alpha_{\min}$ [°]
IP1	43,79	32,62	--*	--*
IP2	45,27	24,42	--*	--*
IP3	46,06	11,67	82,33	72,72
IP4	42,76	0	106,76	67,42
IP5	37,76	0	92,09	64,37
IP6	36,53	0	77,94	62,6
IP7	32,65	0	77,47	61,14
IP8	16,0	0	81,34	61,39
IP9	-2,77**	0	--	--

Bezeichnung	$\gamma_{\max}$ [°]	$\gamma_{\min}$ [°]	$\alpha_{\max}$ [°]	$\alpha_{\min}$ [°]
IP10	-16,78**	0	--	--
IP11	10,97	0	286,59	273,57
IP12	17,09	0	295,04	272,75
IP13	22,36	0	303,03	271,42
IP14	17,88	0	295,31	270,1
IP15	30,38	4,69	318,38	274,22
IP16	33,04	15,51	325,16	287,82
IP17	37,30	22,98	355,77	298,75
IP18	21,11	0	300,88	271,25
IP19	18,93	0	297,14	270,98
IO01	17,64	0	291,68	274,76
IO02	15,34	0	292,67	276,66
IO03	4,07	1,98	283,48	279,14
IO04	-14,56**	0	--	--
IO05	-24,44**	0	--	--
IO06	-26,19**	0	--	--
IO07	-34,4**	0	--	--
IO08	22,05	0	87,37	68,24
IO09	9,86	0	284,49	272,75
IO10	--	--	--	--***

\*  $\alpha_{\max} < \alpha_{\min}$  Sonne müsste im Norden stehen => keine Blendung möglich

\*\* Sonne müsste unter dem Horizont stehen => keine Blendung möglich

\*\*\* Immissionsort nördlich von nach Süden ausgerichteten Modulen

Und bei den Modulen in Ostausrichtung

Tabelle 3: Azimutale  $\alpha$  und vertikale  $\gamma$  Lichteinfallsbereiche

Bezeichnung	$\gamma_{\max}$ [°]	$\gamma_{\min}$ [°]	$\alpha_{\max}$ [°]	$\alpha_{\min}$ [°]
IP1	-13,44**	0	--	--
IP2	-15,22**	0	--	--
IP3	-17,58**	0	--	--
IP4	-11,67**	0	--	--
IP5	-25,15**	0	--	--
IP6	-31,13**	0	--	--
IP7	-25,04**	0	--	--
IP8	-19,86**	0	--	--
IP9	-16,16**	0	--	--
IP10	-13,42**	0	--	--
IP11	39,46	29,23	268,32	231,93
IP12	39,33	23,07	268,96	247,24
IP13	37,71	16,76	--*	--*
IP14	29,49	10,76	--*	--*
IP15	20,12	5,89	--*	--*
IP16	10,77	1,76	--*	--*
IP17	3,86	0,0	--*	--*
IP18	36,61	18,55	--*	--**
IP19	35,56	22,01	--*	--*
IO01	37,76	37,76	--*	--*
IO02	35,85	5,45	282,18	168,88
IO03	17,01	0	303,64	210,92
IO04	29,88	2,44	232,73	190,21
IO05	15,11	0	--*	--*
IO06	11,36	0	--*	--*
IO07	-3,14**	0	--	--
IO08	-35,14**	0	--	--
IO09	39,34	30,35	267,15	248,20
IO10	23,0	10,95	194,21	182,90

\*  $\alpha_{\max} < \alpha_{\min}$  Sonne müsste im Norden stehen => keine Blendung möglich

\*\* Sonne müsste unter dem Horizont stehen => keine Blendung möglich

Nur wenn die Reflexionsbedingungen sowohl in vertikaler als auch horizontaler Ebene erfüllt sind, können Reflexionen grundsätzlich auftreten. Ob und wie lange diese dann den Immissionspunkt treffen, ist numerisch zu ermitteln.

Aus den o.g. Überlegungen sind Reflexionen mit Ausnahme an IP2 – IP8, IP11-IP17 und IO01-IO04+IO08-IO10 nicht von vorneherein auszuschließen.

Das Sonnenlicht kann von der PV-Anlage nur zu Zeiten in Richtung der Immissionspunkte reflektiert werden, wenn in o.g. Winkelsegmenten Sonnenstandslinien auftreten. Durch den Einsatz von modernem Solarglas wird darüber hinaus die Intensität des reflektierten Lichts stark gemindert, so dass lediglich bei extrem streifendem Einfall mit Elevationswinkeln unter 2° mit Totalreflexion zu rechnen ist.

Einwirkung auf Verkehrswege:

Zur weiteren quantitativen Analyse der Einstrahldauer bzw. Blendeffekten werden ergänzend numerische Untersuchungen durchgeführt. Nachdem bei typischen Geschwindigkeiten potentielle Blendwirkungen auf dem Straßenverkehrsweg allenfalls im Sekundenbereich liegen, wird nachfolgend dargestellt, ob eine theoretische Blendwirkung am Immissionspunkt auftreten kann und auf eine Angabe der Einstrahldauer verzichtet.

*Tabelle 4: Potentiell auftretende Reflektionen auf Verkehrsinfrastruktur (Blendwirkung)*

Berechnungspunkt Bezeichnung	kurzfristige Blendung auszuschließen ja/nein
<b>Bundesautobahn A7</b>	
IP1	ja
IP2	ja
IP3	Nein
IP4	Nein
IP5	Nein
IP6	Nein
IP7	Nein
IP8	Nein
IO9	ja
IP10	ja
<b>Staatsstraße 2055 (Kaufbeurer Straße)</b>	
IP11	Nein
IP12	Nein
IP13	Nein
IP14	Nein
IP15	Nein
IP16	Ja
IP17	Ja

**Bemerkung:**

Die obigen Berechnungen sind als worst-case Betrachtung anzusehen, da zum einen ein ganzjährig wolkenfreier Himmel zugrunde liegt, zum anderen die Eigenabschirmung im Führerstand



das Sichtfeld zur Seite im Regelfall stark einschränkt, so dass Reflektionen von seitlich als we-  
 niger einsehbar und überwiegend unkritisch einzustufen sind.

Solarmodule mit Reflektionen vom Immissionsort:

Im nächsten Schritt werden die Winkel zwischen der Straße (Sichtlinie) und den Solar-  
 modulen mit Blendung betrachtet, dabei wird weder der vorhandene Bewuchs noch die  
 Eigenabschirmung der Modelle betrachtet.

Tabelle 5: Winkel zwischen Verkehr und Solarmodulen

<b>Berechnungs- punkt Bezeichnung</b>	<b>Winkel zwischen Blickrichtung Kraftfahrzeuglenker und Solarmodulen mit Blendung Min / max [°] Blickrichtung</b>
<b>Bundesautobahn 7 Fahrtrichtung Norden</b>	
IP3	80 / 91 seitlich
IP4	80 / 110 seitlich von hinten
IP5	79 / 105 seitlich
IP6	79 / 95 seitlich
IP7	80 / 98 seitlich
IP8	80 / 97 seitlich
<b>Bundesautobahn 7 Fahrtrichtung Süden</b>	
IP3	89 / 100 seitlich
IP4	70 / 100 seitlich
IP5	75 / 101 seitlich
IP6	85 / 101 seitlich
IP7	82 / 100 seitlich
IP8	83 / 100 seitlich
<b>Staatsstraße 2055 Fahrtrichtung Süden</b>	
IP11	38 / 90 seitlich
IP12	50 / 95 seitlich
IP13	73 / 95 seitlich
IP14	70 / 97 seitlich
IP15	70 / 90 seitlich
<b>Staatsstraße 2055 Fahrtrichtung Norden</b>	
IP11	90/ 142 seitlich
IP12	85 / 110 seitlich
IP13	85 / 107 seitlich
IP14	83 / 110 seitlich
IP15	90/ 110 seitlich
<b>Staatsstraße 2055 Kreuzung</b>	
IP11	Je nach Position des Fahrzeuges

Einwirkung auf ortsfeste Immissionsorte:

Das Sonnenlicht kann von der PV-Anlage dementsprechend nur zu Zeiten in Richtung  
 der Immissionsorte reflektiert werden, wenn im o.g. Winkelsegment Sonnenstandslin-  
 nien auftreten. Durch den Einsatz von modernem Solarglas wird darüber hinaus die  
 Intensität des reflektierten Lichts stark gemindert, so dass lediglich bei extrem streifen-  
 dem Einfall mit Elevationswinkeln unter 2 ° mit Totalreflexion zu rechnen ist. In diesem  
 Fall ist betroffeneneseitig jedoch durch die tiefstehende Sonne von einer Blendwirkung

durch solare Direkteinstrahlung auszugehen, so dass zusätzliche Reflexionswirkungen als unmaßgeblich einzustufen sind.

Ergebnisse für die Einwirkdauern mit Blendwirkung auf die ortsfesten Immissionsorte werden sind in der nachfolgenden Tabelle angegeben:

Tab. 6: Maximale tägliche Einwirkdauern von Reflektionen der Sonne an der Anlage (Blendwirkung) sowie Gesamtjahreseinwirkdauer

Berechnungspunkt		Maximal zulässige Einwirkdauer gem. LAI 2012 [6]		Einwirkdauer aus Blendung durch die geplante Photovoltaikanlage		Kriterium eingehalten ja/nein	
Bezeichnung	ID	Jahr [min]	Tag [min]	Jahr [min]	Tag [min]	Jahr	Tag
Heisinger Straße 9	IO01	1800	30	0*	0	ja	ja
Heisinger Straße 11 Süd	IO02	1800	30	>10000	104	nein	nein
Heisinger Straße 11 Nord	IO03	1800	30	>10000	95	nein	nein
Heisinger Straße 13	IO04	1800	30	3808	55	nein	nein
Heisinger Straße 15 Süd	IO05	1800	30	0	0	ja	ja
Heisinger Straße 15 West	IO06	1800	30	0	0	ja	ja
Heisinger Straße 17a	IO07	1800	30	0	0	ja	ja
Hub 6	IO08	1800	30	1300	11	ja	ja
Luxemburger Straße 1	IO09	1800	30	1820	24	nein	ja
Heisinger Straße 12	IO10	1800	30	1334	25	ja	ja

\* Module mit Blendung liegen nordöstlich vom Immissionsort, dieser schaut jedoch nach Süden, daher aufgrund der Eigenabschirmung des Gebäudes keine Blendung möglich

Die Überschreitungen sind dabei ausschließlich auf den Teil der Anlage in nordöstlicher Ausrichtung zurückzuführen.

Grafisch lassen sich die Blendwirkungen in nachfolgendem Sonnenstandsdiagramm verdeutlichen:

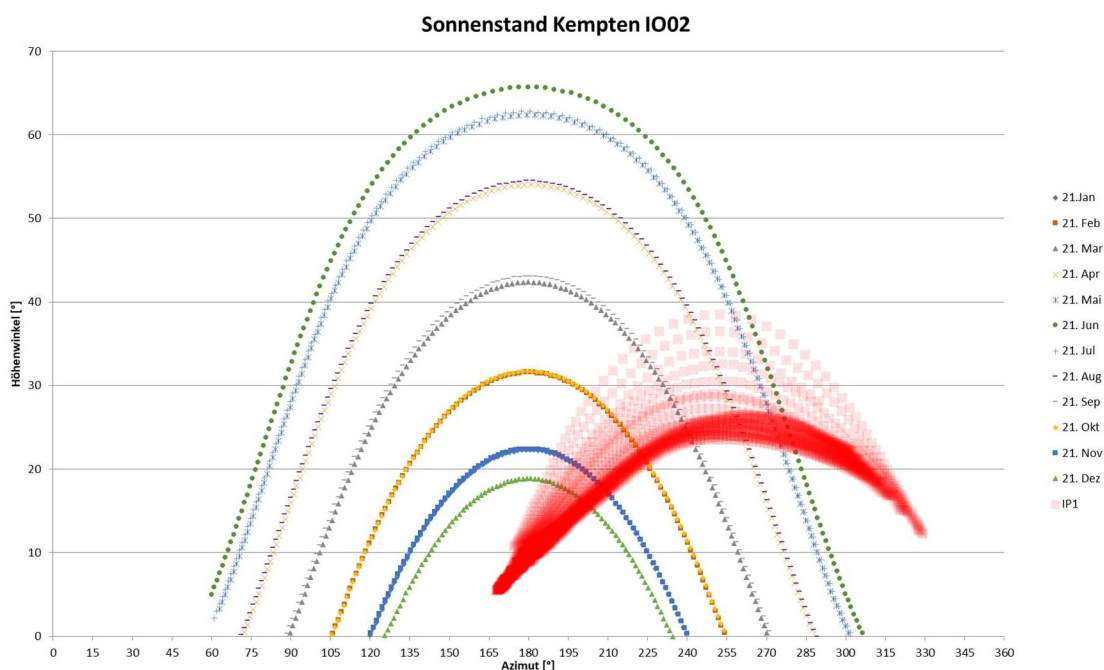


Abb. 6: Graphische Darstellung der Blendwirkung an IO02

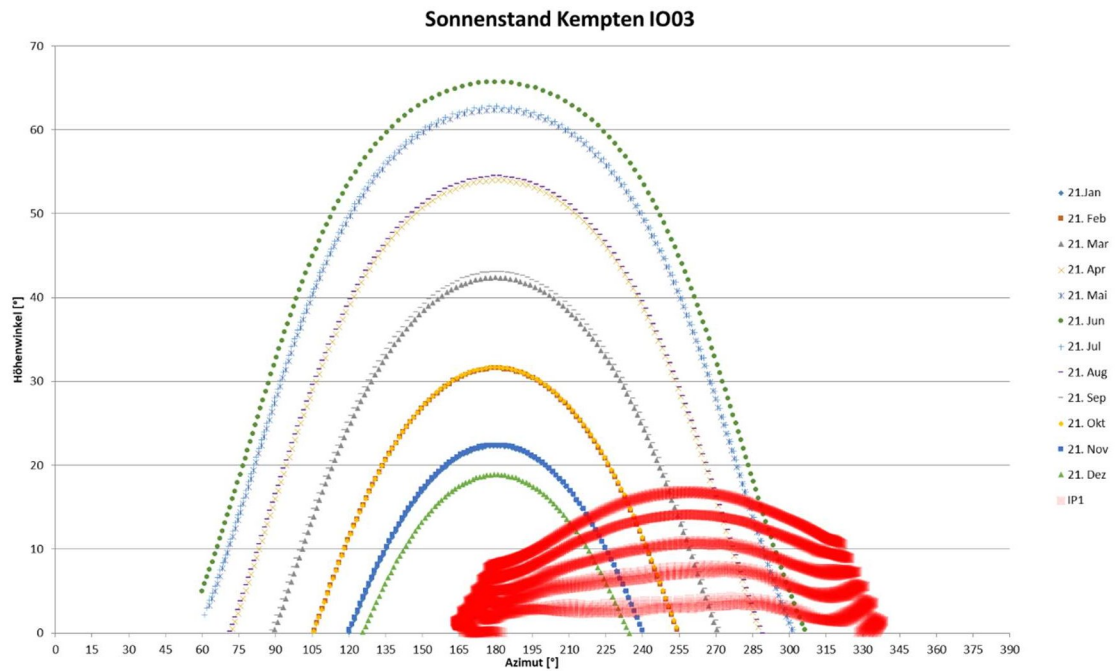


Abb. 7: Graphische Darstellung der Blendwirkung an IO03

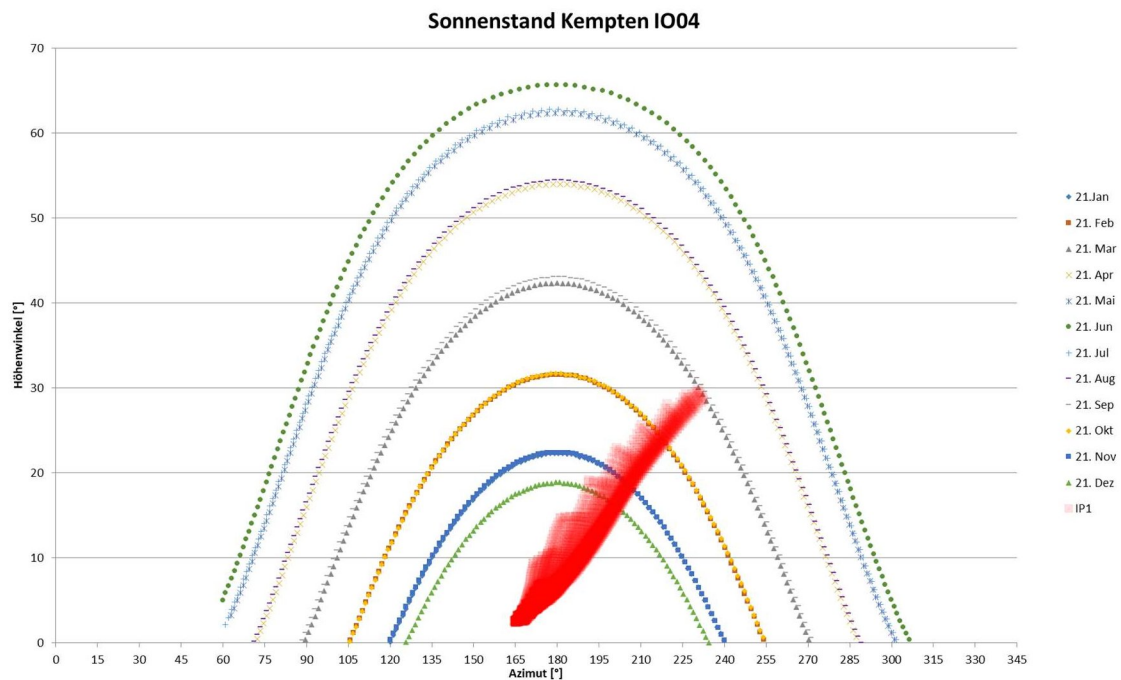


Abb. 8: Graphische Darstellung der Blendwirkung an IO04

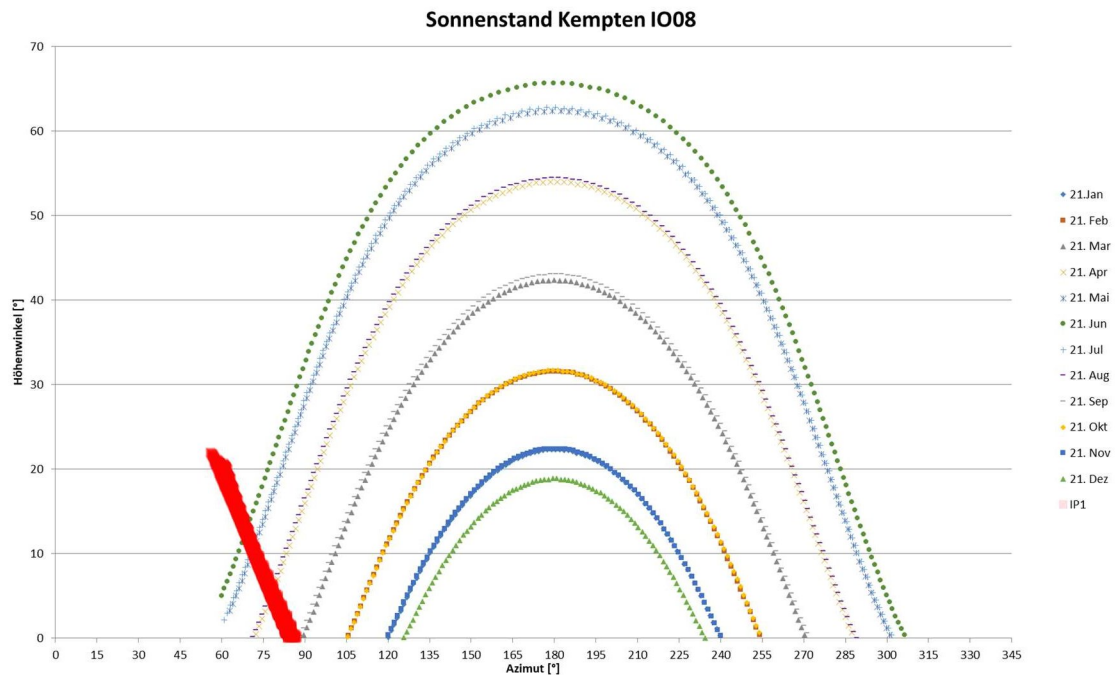


Abb. 9: Graphische Darstellung der Blendwirkung an IO08

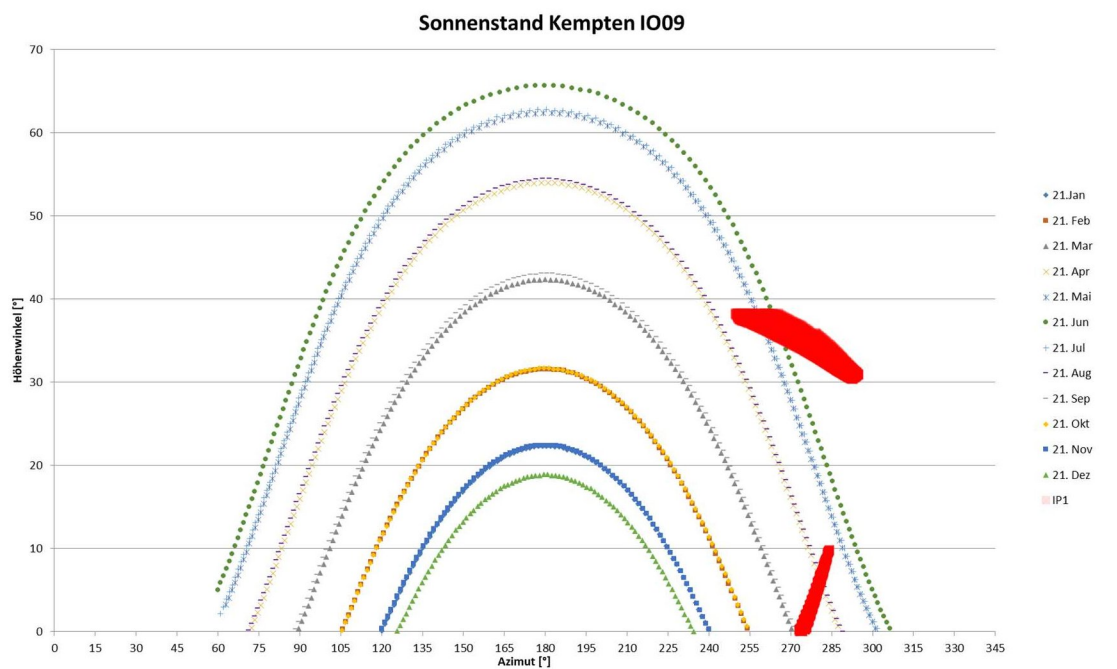


Abb. 10: Graphische Darstellung der Blendwirkung an IO09

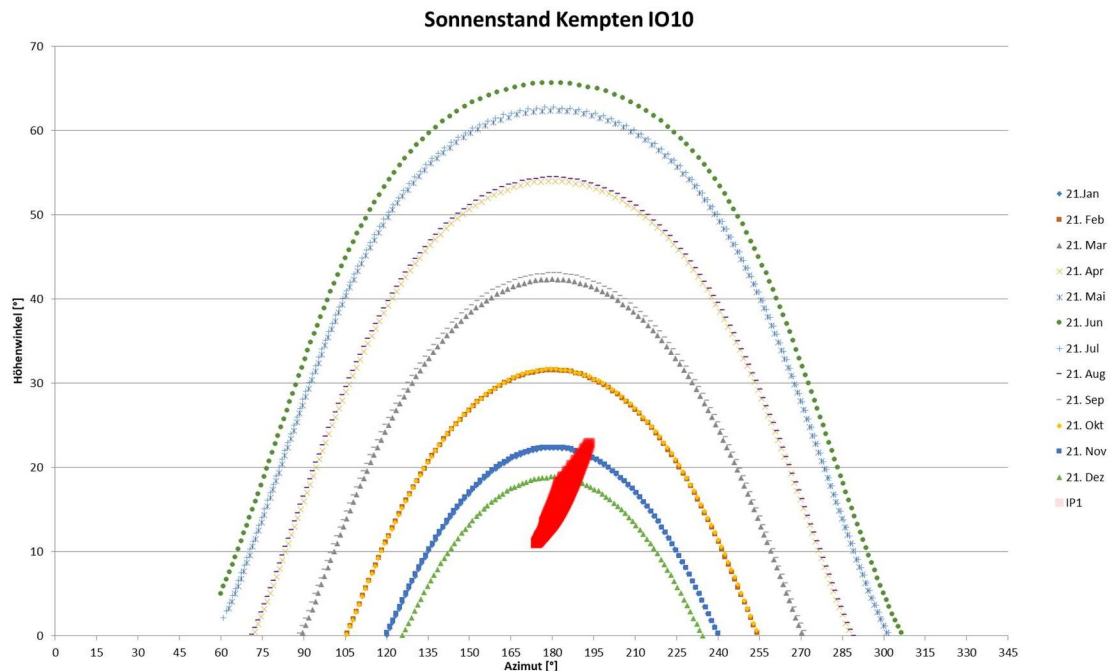


Abb. 11: Graphische Darstellung der Blendwirkung an IO10

#### Fazit:

Die Bauherrschaft beabsichtigt die Errichtung einer Freiflächen-Photovoltaikanlage im Bereich zwischen BAB A7 und Heisinger Straße (Fl.-Nr. 919 u.a.), 87437 Kempten und in diesem Zuge zunächst die Aufstellung/Änderung des entsprechenden Bebauungsplans. Im Zuge des Bauleitplanungs- bzw. Genehmigungsverfahrens ist eine Einschätzung hinsichtlich möglicher Blendwirkungen auf die angrenzende (Wohn-)Bebauung sowie BAB A7 erforderlich.

In diesem Zusammenhang ist in Anlehnung an den LAI-Leitfaden „Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen“ [6] in Verbindung mit der Studie des BayLfU 2007 [4] exemplarisch an maßgeblichen Immissionsorten im Umfeld der Anlage aufzuzeigen, ob durch die Planung nennenswerte Beeinträchtigungen bzw. erhebliche Belästigungen aufgrund potentieller Blendwirkungen zu erwarten sind.

Aus der Analyse der geometrischen Situation wird deutlich, dass Teilbereiche der angrenzenden Gemeindeverbindungs-Straße sowie der angrenzenden (Wohn-)Bebauung sich zumindest im potentiellen Einwirkungsbereich der Anlage befinden.

### 1) Straße:

#### 1a) BAB A7 + Staatsstraße 2055

Unter Berücksichtigung der Topographie und typischen Fahr-Geschwindigkeit, sind Reflektionen an einem Teilbereich der Modulfelder bei seitlicher Blickrichtung (off-axis) zwar kurzzeitig denkbar, die jedoch bedingt durch die kurzen Einwirkdauern im Sekundenbereich in Verbindung mit einer hierzu erforderlichen achsenabgewandten Blickrichtung noch als vertretbar und nicht erheblich beeinträchtigend einzustufen sind.

#### 1b) Staatsstraße 2055 Kreuzungsbereich mit Heisinger Straße

Je nach Position des Kraftfahrzeuges sind Blendungen im Sichtfeld des Fahrers nicht vollständig auszuschließen. Die dabei relevanten Module sind dabei jedoch bereits mindestens 240 m weit entfernt und daher weniger blendungsintensiv

### 2) Bebauung:

An den ortsfesten Immissionsorten der angrenzenden (Wohn-)Bebauung wird deutlich, dass Einwirkungen durch Blendung nicht ausgeschlossen bzw. teilweise zu erwarten sind. Dabei zeigt sich, dass die Einwirkdauern den Anhaltswerten gemäß [4], [6] z.T. nicht genügen bzw. diese deutlich verfehlen und damit teilweise als erheblich belästigend im Sinne des LAI Leitfadens einzustufen sind. Maßnahmen zum Blendschutz werden daher erforderlich.

### **Blendschutz:**

Zur Vermeidung und Verbesserung der Situation werden folgende Maßnahme vorgeschlagen:

1) Verzicht auf die nach Nordosten ausgerichteten Module.

2) Im Hinblick auf eine Optimierung der Situation im Kreuzungsbereich der St 2055 mit der Heisinger Straße wird empfohlen einen Blendschutz (Blendschutzzaun/Bewuchs) in einer mit einer Länge von 85 m gem. Lageplan im Anhang (Abbildung A18) und einer Höhe: Oberkante 2,7 m ü. Gelände bis Unterkante 0,7 m ü. Gelände auszuführen.

Wenngleich kurzzeitige Blendereignisse auch damit nicht vollständig ausgeschlossen werden können, sind erhebliche Beeinträchtigungen, unter Berücksichtigung der o.g. Blendschutzmaßnahmen durch die Anlage jedoch damit voraussichtlich nicht zu erwarten.

Sonstiges:

Dieser Bericht ist nur für seinen vorgesehenen Zweck bestimmt und darf auch auszugsweise nur nach Genehmigung durch das Büro hils consult gmbh vervielfältigt, gezeigt oder veröffentlicht werden. Einer Veröffentlichung im Internet o.ä. wird ausdrücklich nicht zugestimmt.

Dieser Bericht umfasst 23 Seiten und 18 Seiten Anhang.

Kaufering, den 28.08.2024

**hils consult gmbh, ing.-büro für bauphysik**



Dr.rer.nat. Th. Hils  
(GF/TL)



i. A. F. Besenschek M.Sc.  
(TB)

**Darstellung der Quellbereiche mit potentiellen Reflektionen unter Vernachlässigung von Be-  
wuchs und Eigenabschirmung der Module sowie weiterer topographischer Gegebenheiten:**



Abb. A1: Geplante Solaranlage mit Darstellung der Quellbereiche mit potentiellen Reflektionen am IP3



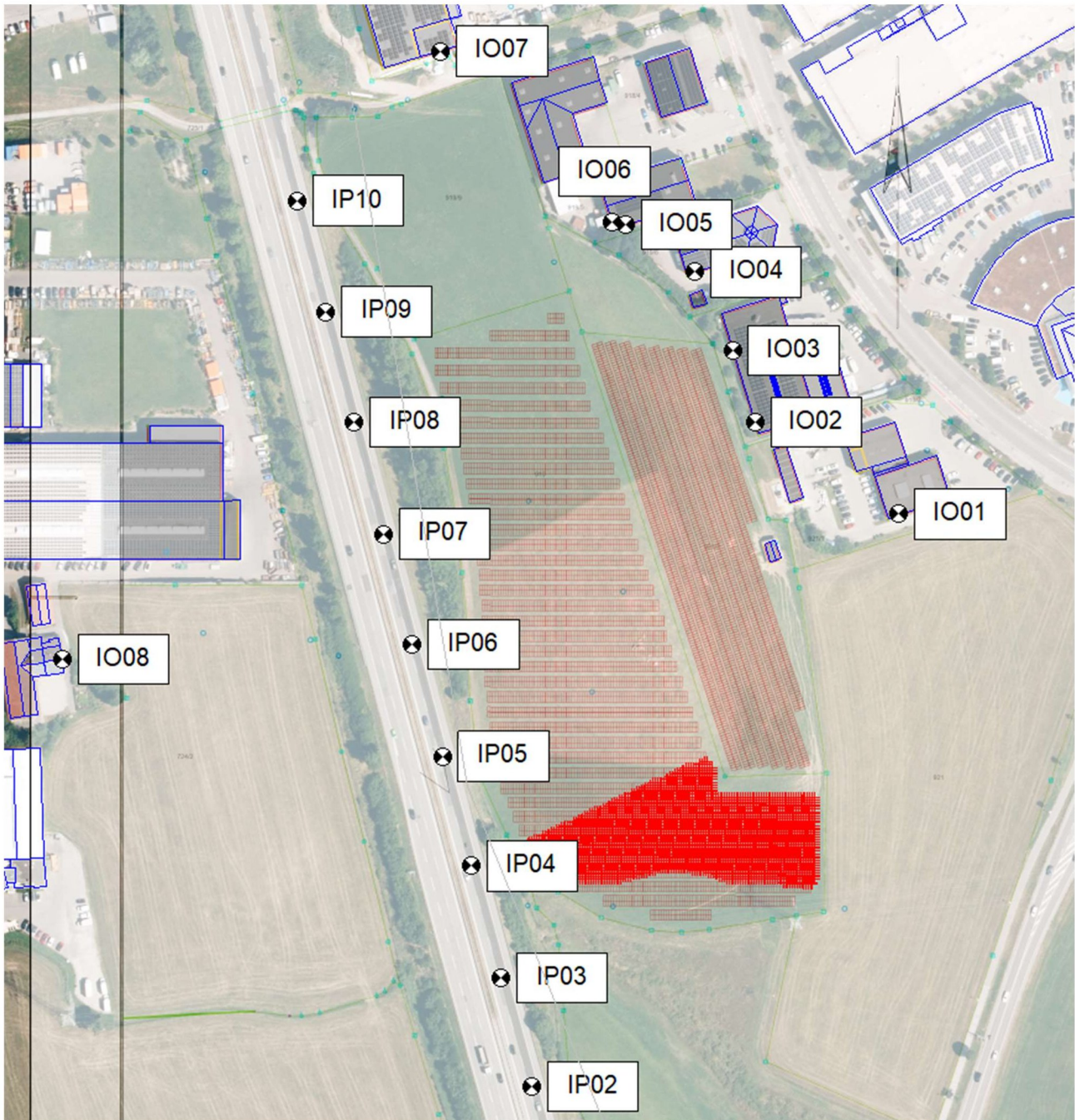


Abb. A2: Geplante Solaranlage mit Darstellung der Quellbereiche mit potentiellen Reflektionen am IP4

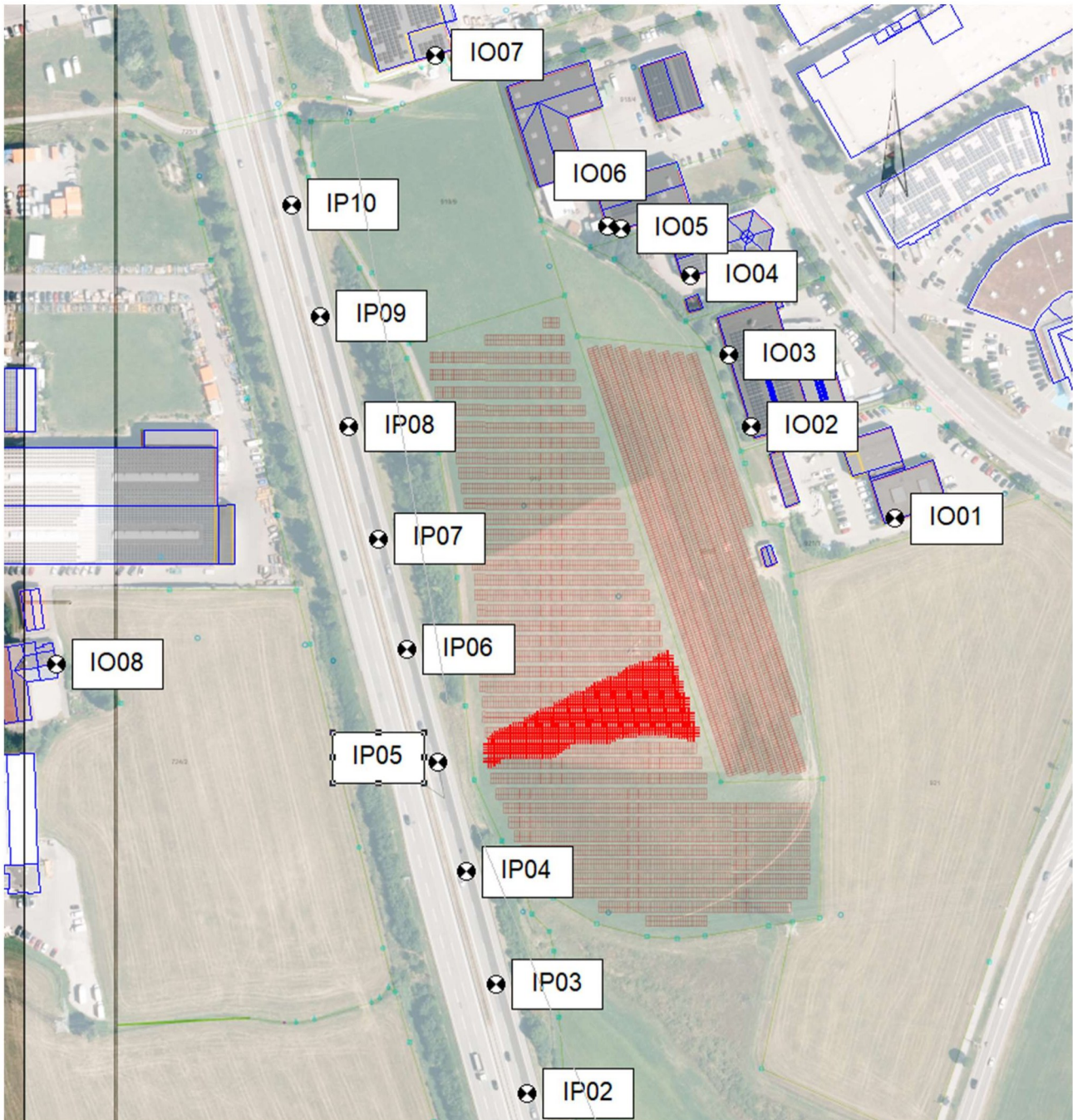


Abb. A3: Geplante Solaranlage mit Darstellung der Quellbereiche mit potentiellen Reflektionen am IP5

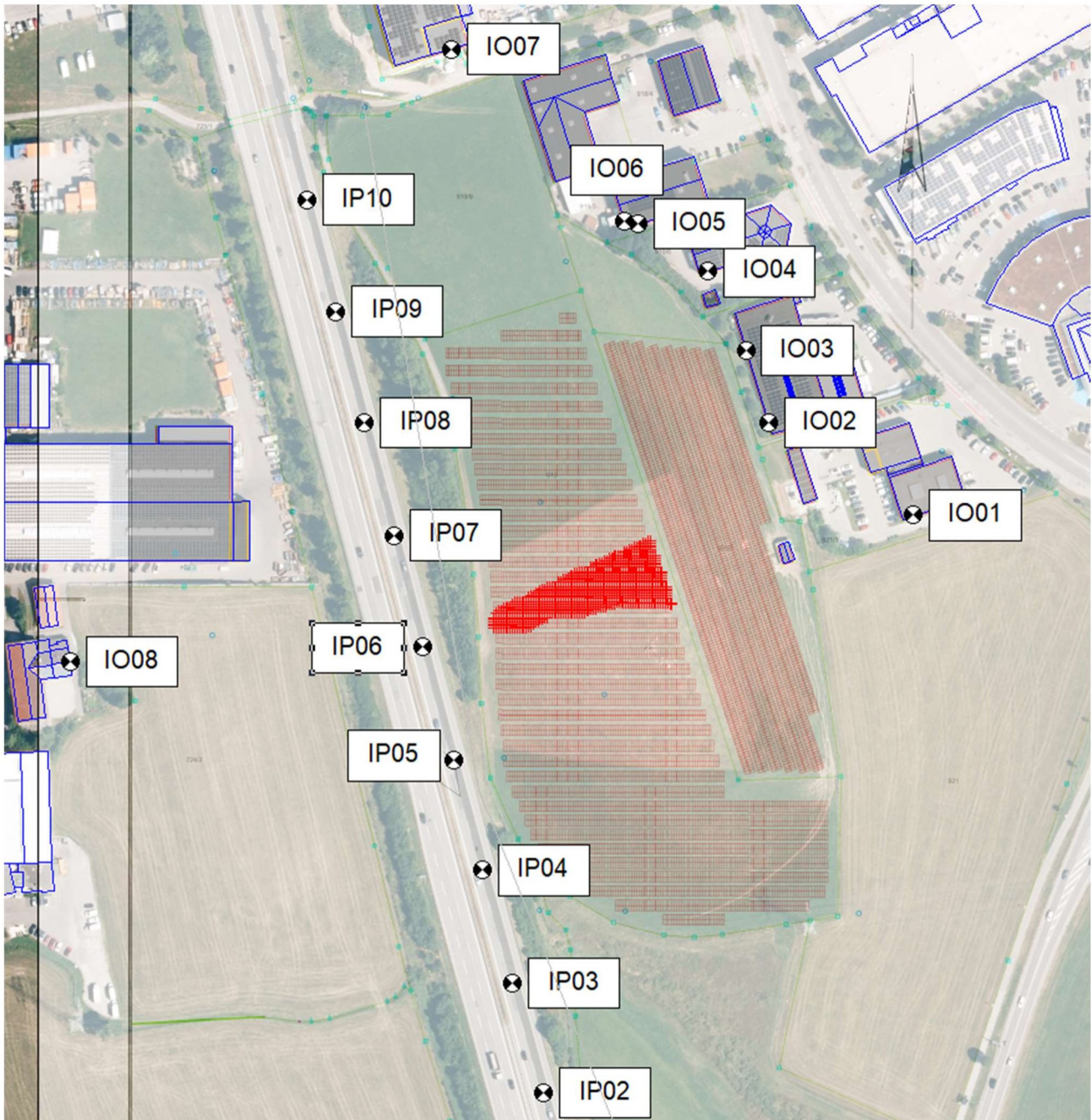


Abb. A4: Geplante Solaranlage mit Darstellung der Quellbereiche mit potentiellen Reflektionen am IP6

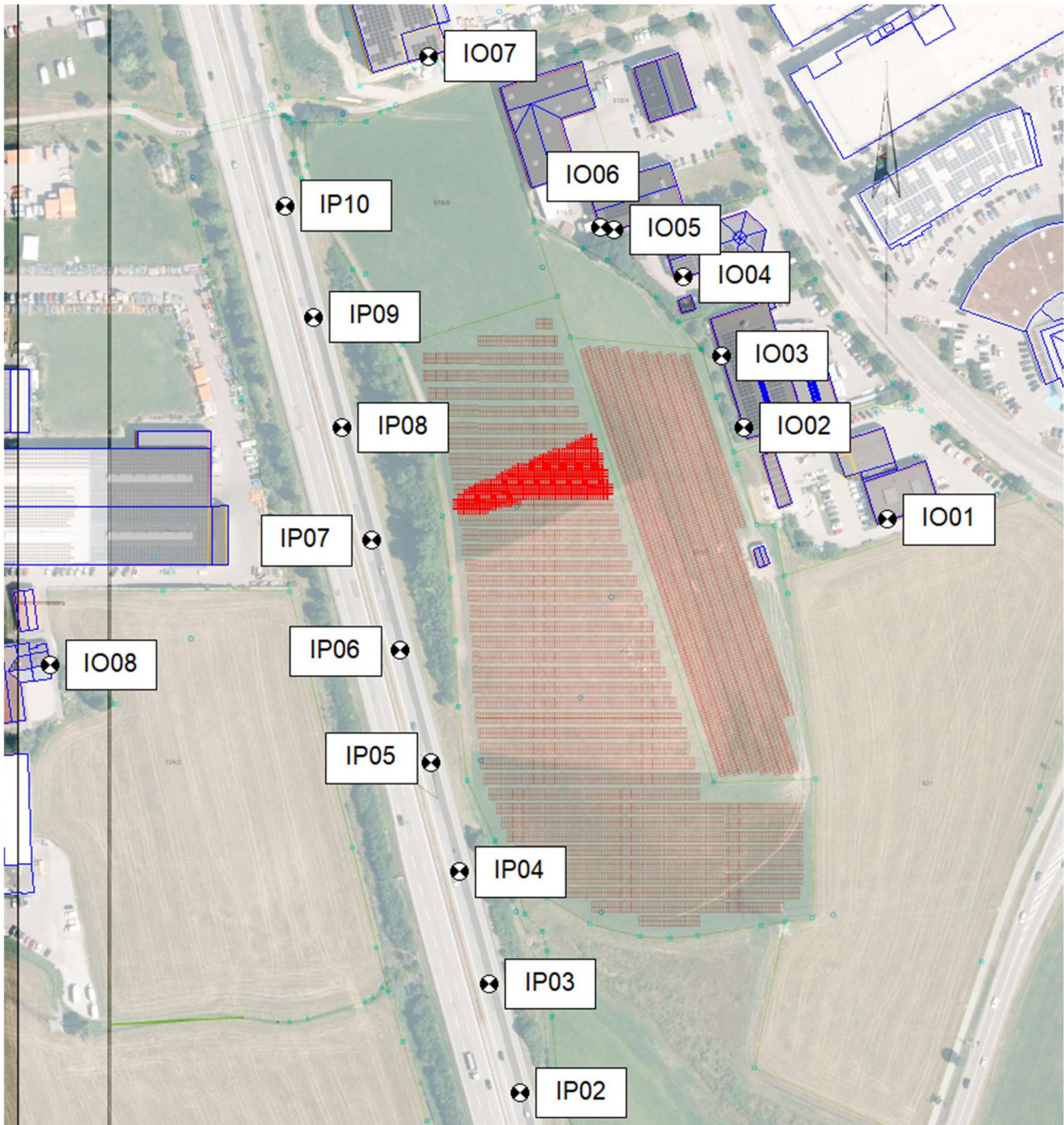


Abb. A5: Geplante Solaranlage mit Darstellung der Quellbereiche mit potentiellen Reflektionen am IP7

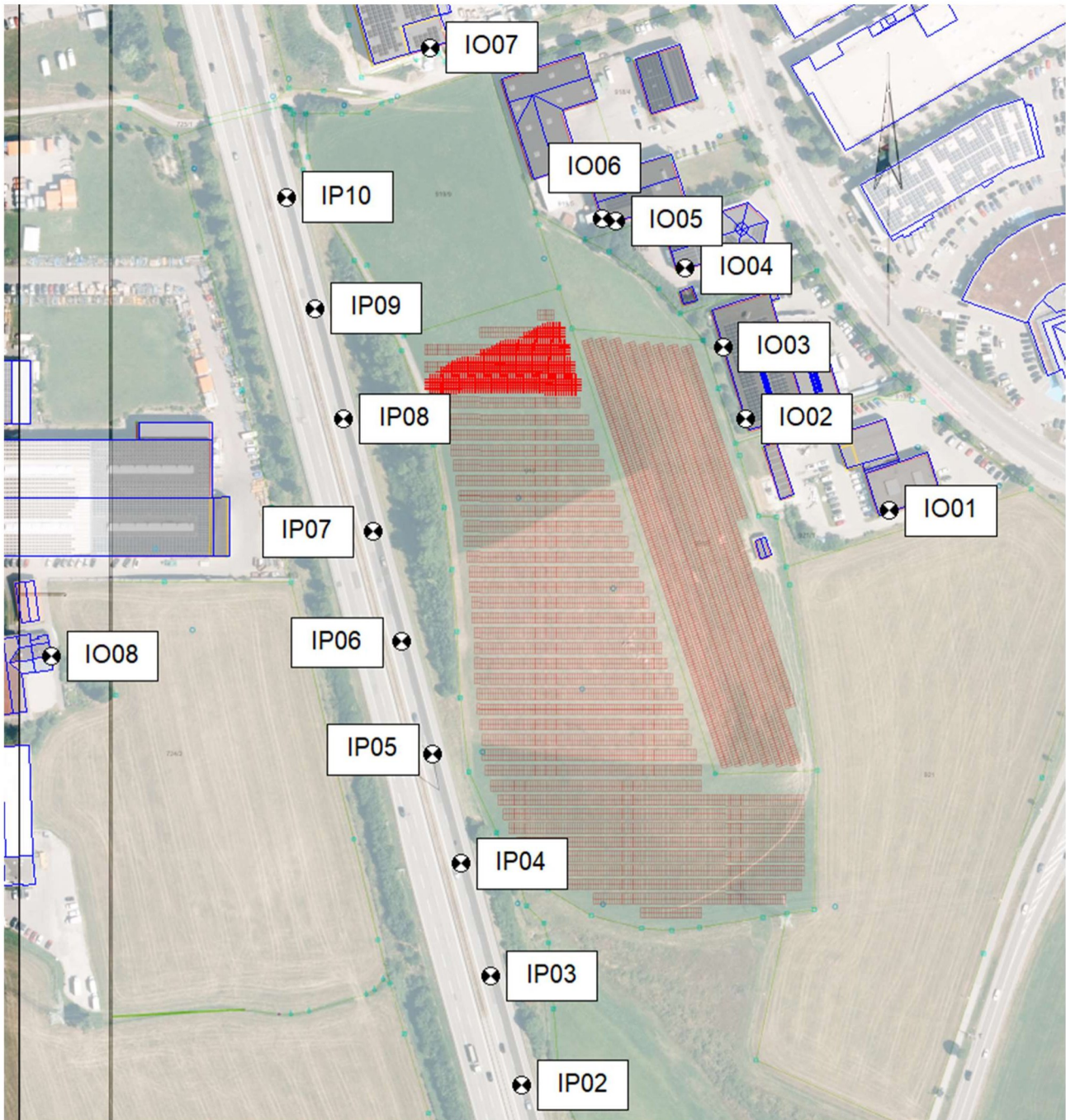


Abb. A6: Geplante Solaranlage mit Darstellung der Quellbereiche mit potentiellen Reflektionen am IP8



Abb. A7: Geplante Solaranlage mit Darstellung der Quellbereiche mit potentiellen Reflektionen am IP11

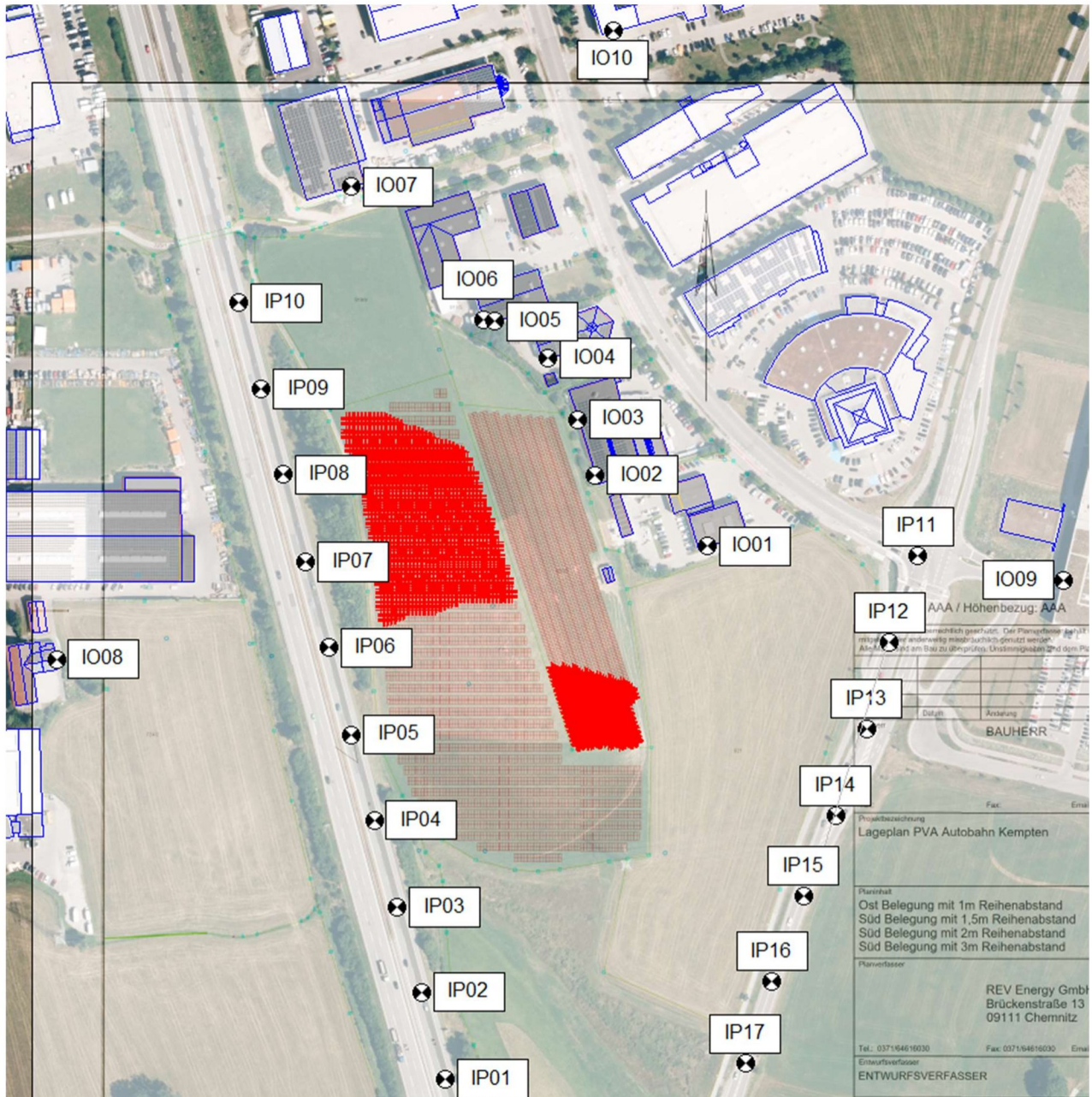


Abb. A8: Geplante Solaranlage mit Darstellung der Quellbereiche mit potentiellen Reflektionen am IP12







Abb. A10: Geplante Solaranlage mit Darstellung der Quellbereiche mit potentiellen Reflektionen am IP14

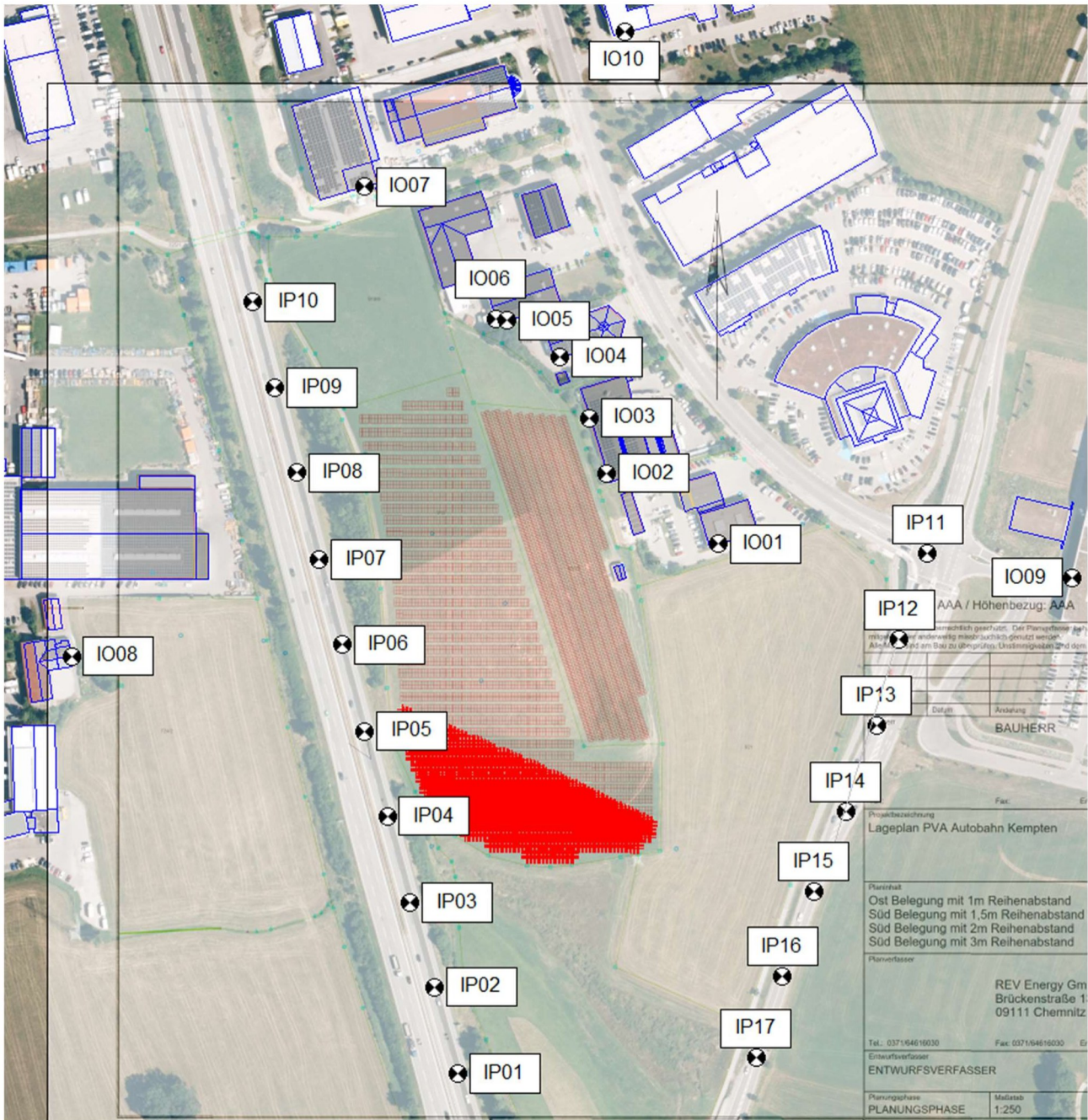


Abb. A11: Geplante Solaranlage mit Darstellung der Quellbereiche mit potentiellen Reflektionen am IP15

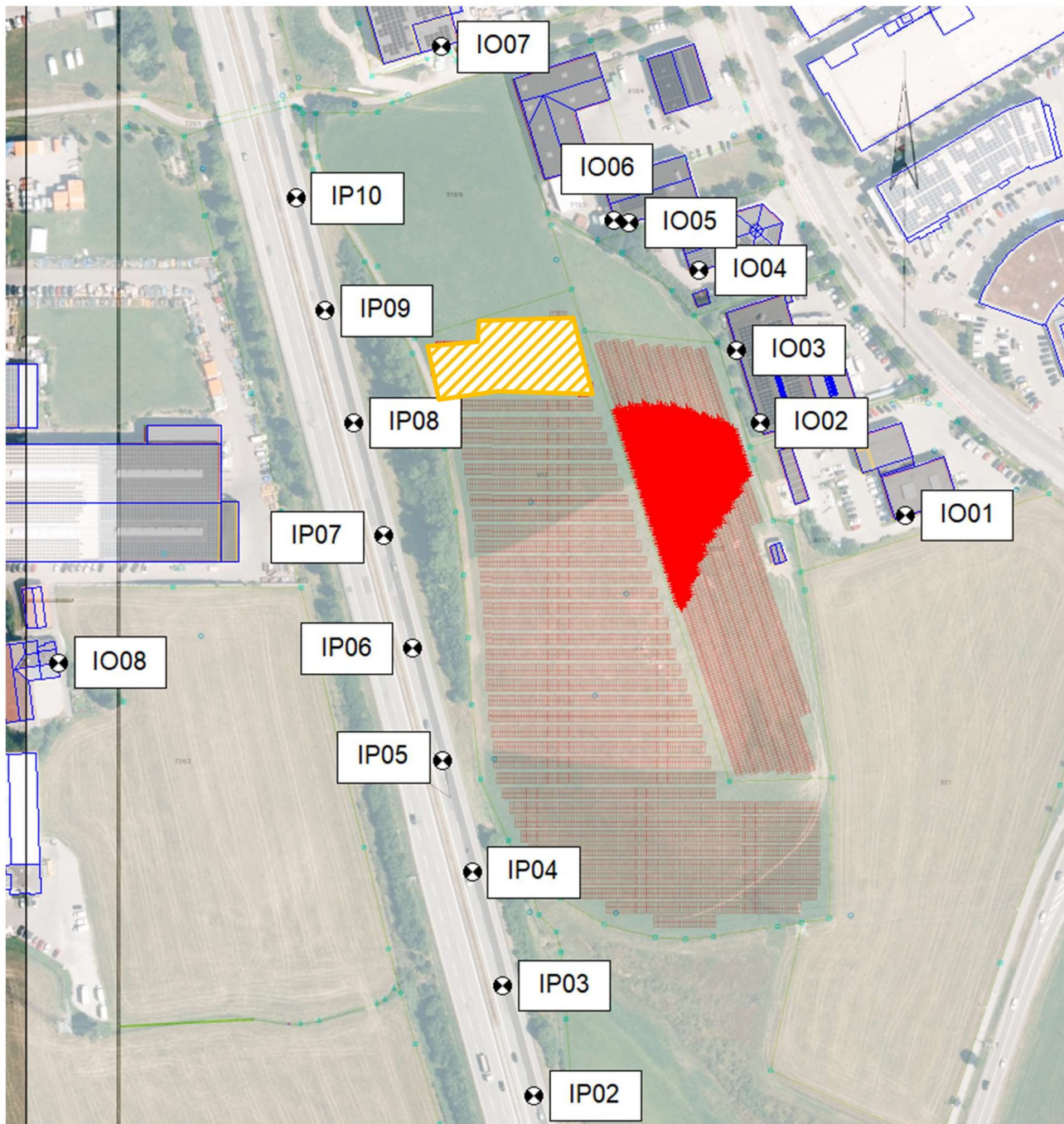


Abb. A12: Geplante Solaranlage mit Darstellung der Quellbereiche mit potentiellen Reflektionen am IO2  
(Gelb markiert, Blendung theoretisch möglich, aus topographischen Überlegungen jedoch auszuschließen)



Abb. A13: Geplante Solaranlage mit Darstellung der Quellbereiche mit potentiellen Reflektionen am IO3

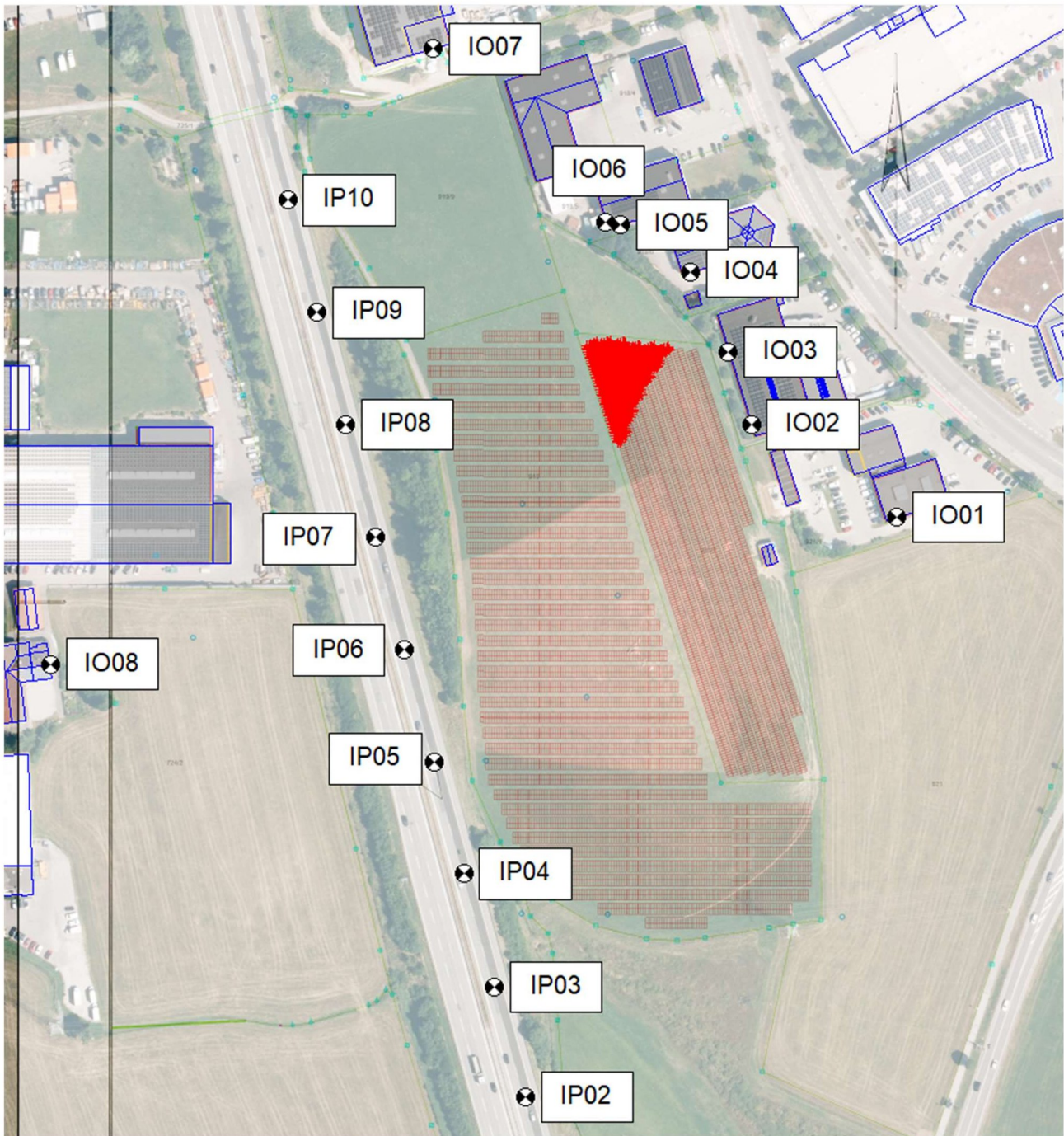


Abb. A14: Geplante Solaranlage mit Darstellung der Quellbereiche mit potentiellen Reflektionen am I04

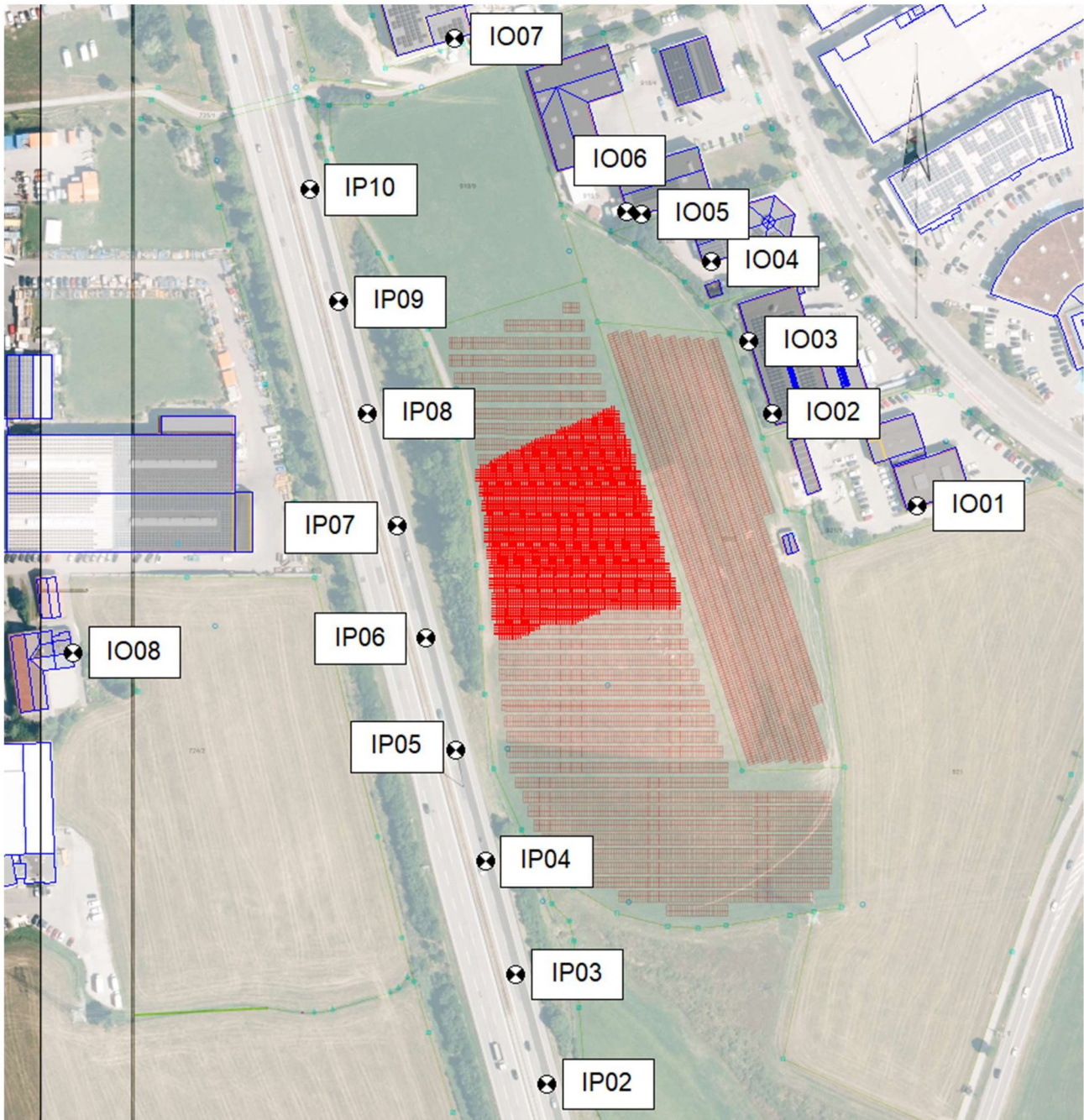


Abb. A15: Geplante Solaranlage mit Darstellung der Quellbereiche mit potentiellen Reflektionen am I08





Abb. A17: Geplante Solaranlage mit Darstellung der Quellbereiche mit potentiellen Reflektionen am IO10



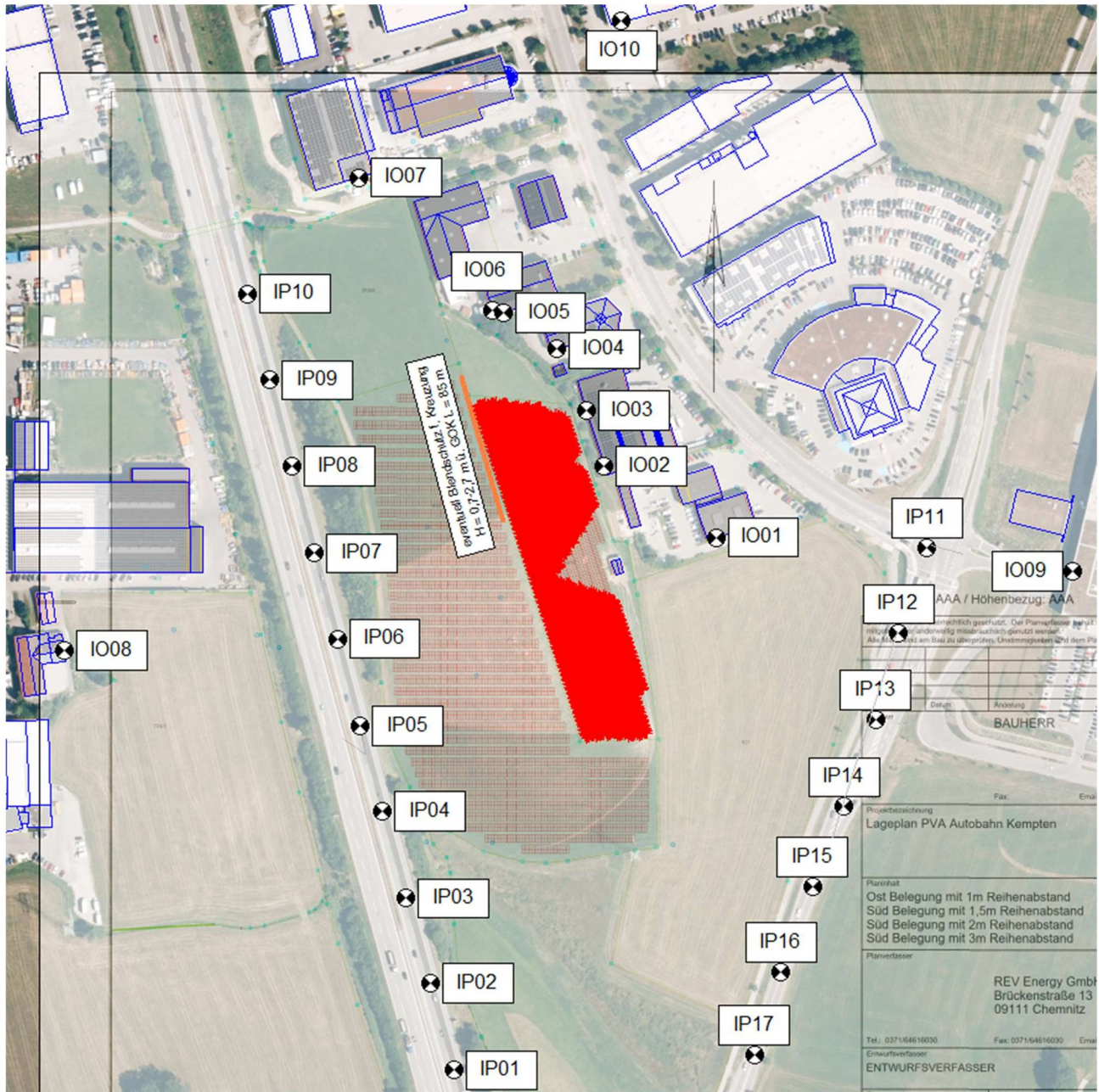


Abb. A18: Blendschutzmaßnahmen: Rot markiert Flächen die nicht mit Solarmodulen belegt werden dürfen  
 gelb markiert eventuell erforderlicher Blendschutz für die Kreuzung Staatsstraße 2055 / Heisinger Straße