



- ◆ Umweltgutachten
- ◆ Genehmigungen
- ◆ Betrieblicher
Umweltschutz



Beurteilung der möglichen Blendwirkungen einer Freiflächen-PV- Anlage

**im Bereich des Bebauungsplans
„Solarpark Heuberg“**

**Ingenieurbüro für
Technischen Umweltschutz
Dr.-Ing. Frank Dröschner**

Lustnauer Straße 11
72074 Tübingen

Ruf 07071 / 889 - 28 -0
Fax 07071 / 889 - 28 -7
Buero@Dr-Droescher.de

Auftraggeber: WVE GmbH Kaiserslautern
Blechhammerweg 50
67659 Kaiserslautern
Projektnummer: 3602
Bearbeiter: Dr. rer. nat. Christian Geißler
Nina Pohl, M. Eng.
Dr.-Ing. Frank Dröschner

2. Juli 2024

Dieser Bericht umfasst 31 Blätter.

Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabenstellung	3
2	Vorhaben und Lage des Standortes	4
3	Beschreibung der Photovoltaikanlage	5
4	Sonnenbahndiagramm Wartenberg-Rohrbach	7
5	Modellierung möglicher Blendwirkungen	9
5.1	Modell und Parametrisierung	9
5.2	Beurteilung der Blendwirkungen	12
6	Mögliche Blendwirkungen durch die geplante Freiflächen-PV-Anlage	15
6.1	Geländeanalyse – Aufteilung der Gesamtfläche in Teilflächen	15
6.2	Sichtbarkeitsanalyse – Sichtbeziehung zwischen den Beobachtungspunkten und der PV-Fläche	16
6.3	Landesstraße L 393 (Pkw und Lkw)	17
6.4	Zufahrt Kaserne (Pkw und Lkw)	18
6.5	Beobachtungspunkte Pferdepension	24
6.6	Beobachtungspunkte Ortsrand Sembach	26
6.7	Beobachtungspunkte Kaserne	27
7	Zusammenfassung	30
8	Literaturverzeichnis	31

1 Aufgabenstellung

Die WVE GmbH Kaiserslautern plant östlich von Wartenberg-Rohrbach und unmittelbar südlich der Sembach-Kaserne (ehemals Sembach Air Base der United States Air Force) im Umgriff des Bebauungsplans „Solarpark Heuberg“ eine Freiflächen-PV-Anlage. Südlich befindet sich zudem die Landesstraße L 393 und die Zufahrtsstraße „Heuberg“ zur Sembach-Kaserne. Das Baufeld befindet sich in welligem Gelände und umfasst ca. 18 ha (Fläche des Bebauungsplanumgriffs).

Die Module sollen in Südaufständigung (ca. 195° und 201° gegen Nord) mit einer Neigung von 15° gegen die Ebene aufgestellt werden.

Zur Bewertung der Auswirkungen des aktuellen Vorhabens auf die Verkehrssicherheit auf der L 393 und der Zufahrt zur Sembach-Kaserne sollen mit dem vorliegenden Fachgutachten aus Gründen der Verkehrssicherheit mögliche Blendwirkungen durch die Freiflächen-PV-Anlage auf die Führer von Kraftfahrzeugen ermittelt, beschrieben und bewertet werden. Die Bewertung erfolgt anhand vergleichbarer Betroffenheiten (z.B. Flugverkehr).

Weiterhin sind neben diesen möglichen verkehrsgefährdenden Blendwirkungen auch „störende Blendwirkungen“ in Bezug auf die Kaserne auszuschließen. Diese sind nach LAI-Lichtrichtlinie Anlage 2 zu bewerten wie mögliche Blendwirkungen auf die umgebende Bebauung, insbesondere dabei die nahegelegene Pferdepension und den nördlichen Ortsrand von Sembach.

2 Vorhaben und Lage des Standortes

Die Freiflächen-PV-Anlage soll östlich von Wartenberg-Rohrbach und unmittelbar südlich der Sembach-Kaserne im Umgriff des Bebauungsplans „Solarpark Heuberg“ errichtet werden. Südlich befindet sich zudem die Landesstraße L 393 und die Zufahrtsstraße „Heuberg“ zur Sembach-Kaserne. Das Baufeld befindet sich in welligem Gelände und umfasst ca. 18 ha (Fläche des Bebauungsplanumgriffs).

Die Module sollen in Südaufständigung (ca. 195° und 201° gegen Nord) mit einer Neigung von 15° gegen die Ebene aufgestellt werden. Die Lage der geplanten Freiflächen-PV-Anlage, der Pferdepension sowie der Verlauf der L 393 geht aus der Übersichtskarte in Abbildung 1 hervor.

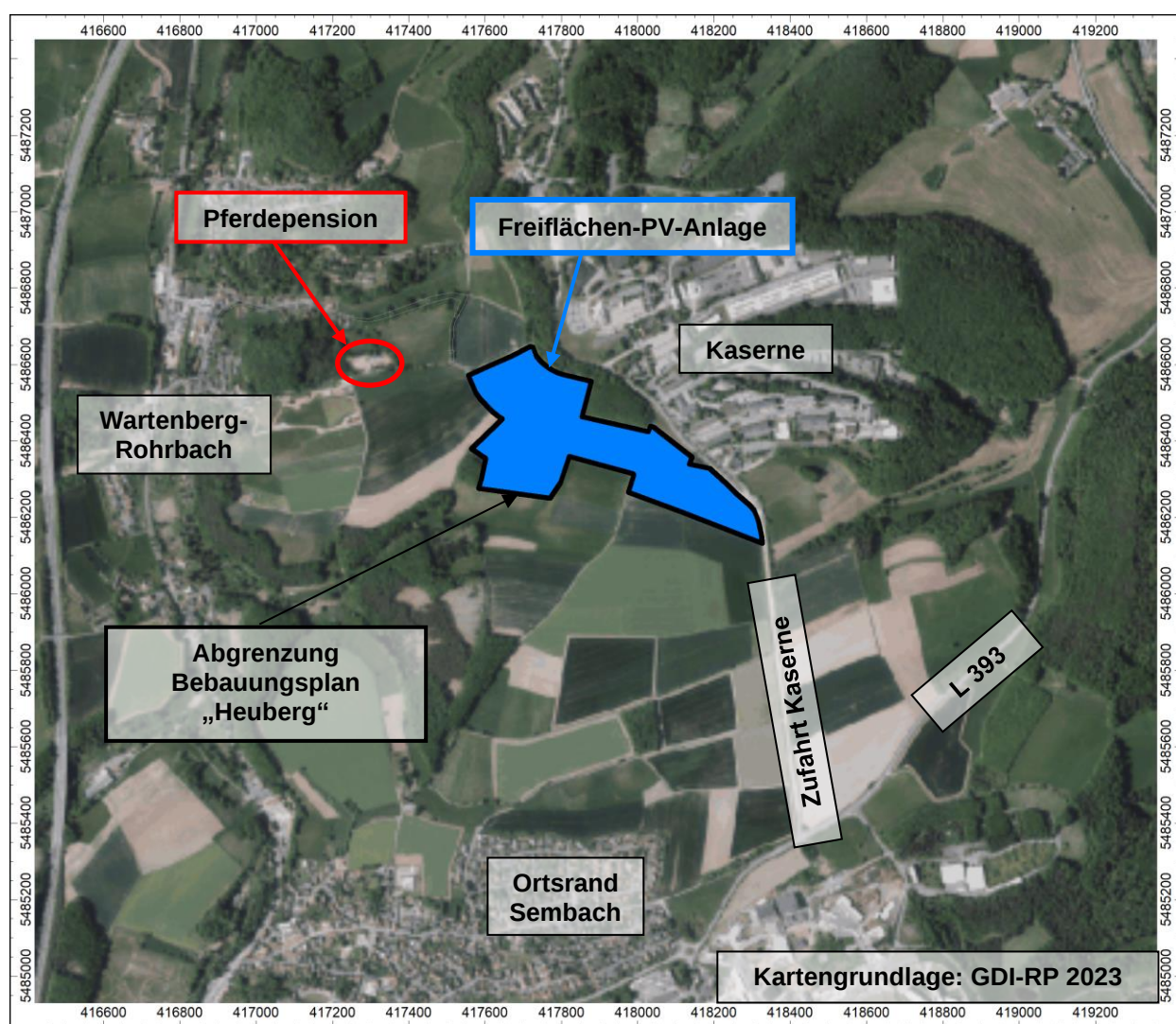


Abbildung 1: Lage der geplanten Freiflächen-PV-Anlage /1/

3 Beschreibung der Photovoltaikanlage

Solarmodule sind speziell entworfen, um möglichst viel einfallende solare Energie zu absorbieren, anstatt es als reflektiertes Licht mit dem Verlust von Energie wieder abzugeben. Die Module sind daher von dunkler Farbe mit niedriger Albedo (Rückstrahlvermögen). Blendwirkungen können jedoch durch die verglaste Oberfläche entstehen.

Die auf Ständern zu installierenden Module werden in Reihen mit einem Winkel von 15° gegen die Ebene und (ca. 195° und 201° gegen Nord) berücksichtigt (siehe Abbildung 2).

Der mittlere halbe Abstand der Moduloberkante zur Geländeoberfläche beträgt im vorliegenden Fall ca. 1,7 m (siehe Abbildung 3). Die Modulreihen werden gemäß aktuellem Belegungsplan /1/ berücksichtigt.

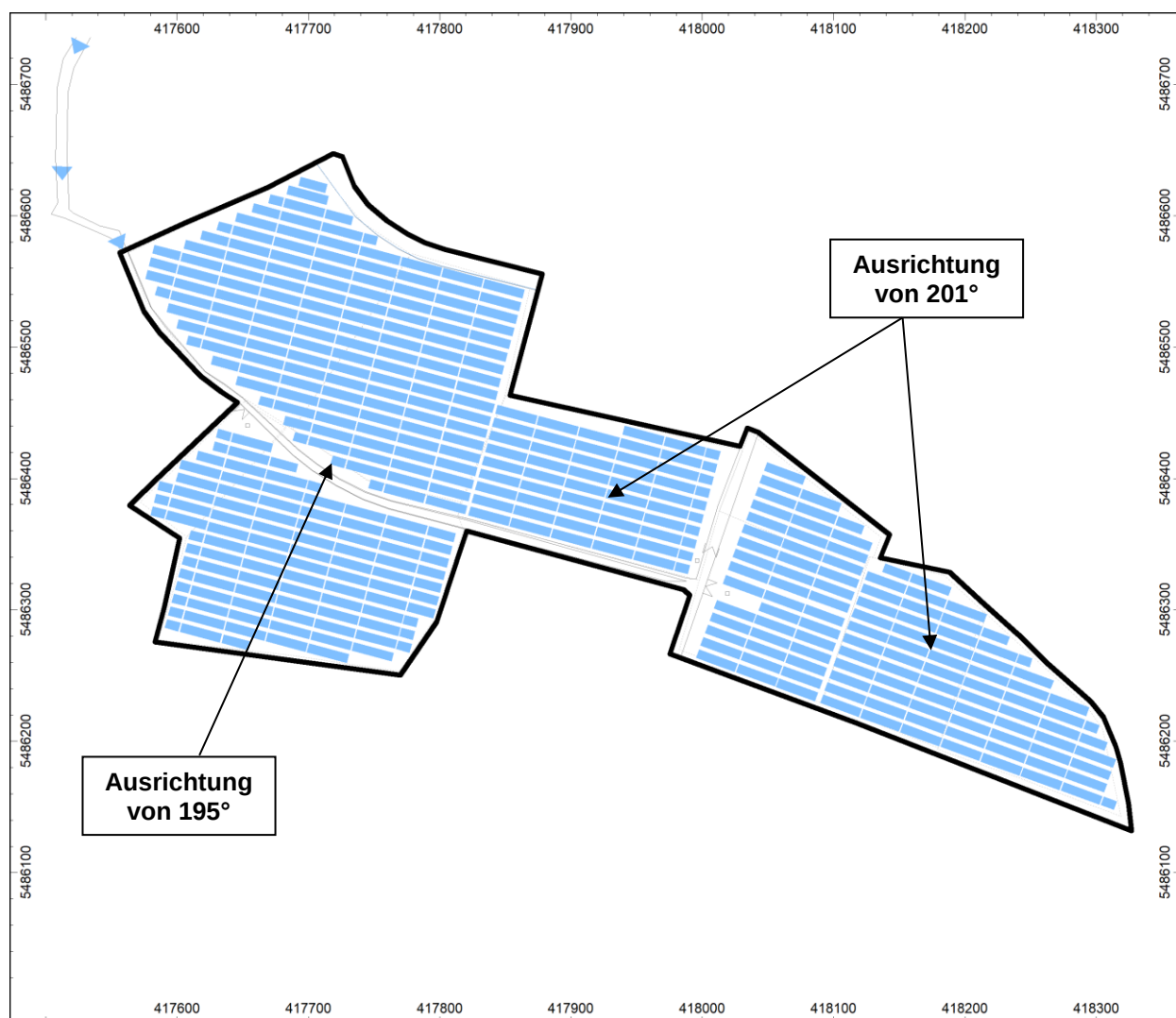


Abbildung 2: Modulbelegungsplan der geplanten Freiflächen-PV-Anlage gemäß aktuellem Planungsstand /1/

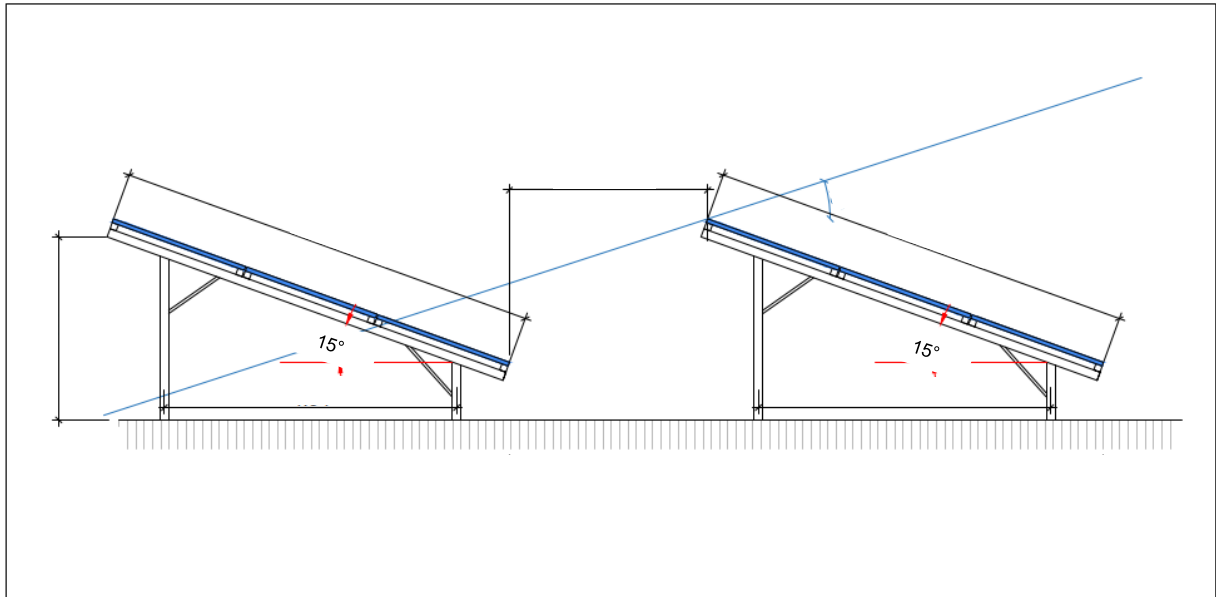


Abbildung 3: Skizze einer typischen Aufständering zur Aufstellung der Module /1/

4 Sonnenbahndiagramm Wartenberg-Rohrbach

Die folgenden Abbildungen zeigen ein polares Diagramm (Abbildung 4) sowie ein kartesisches Diagramm (Abbildung 5) des jährlichen Sonnenverlaufes im Bereich der geplanten Freiflächen-PV-Anlage /2/.

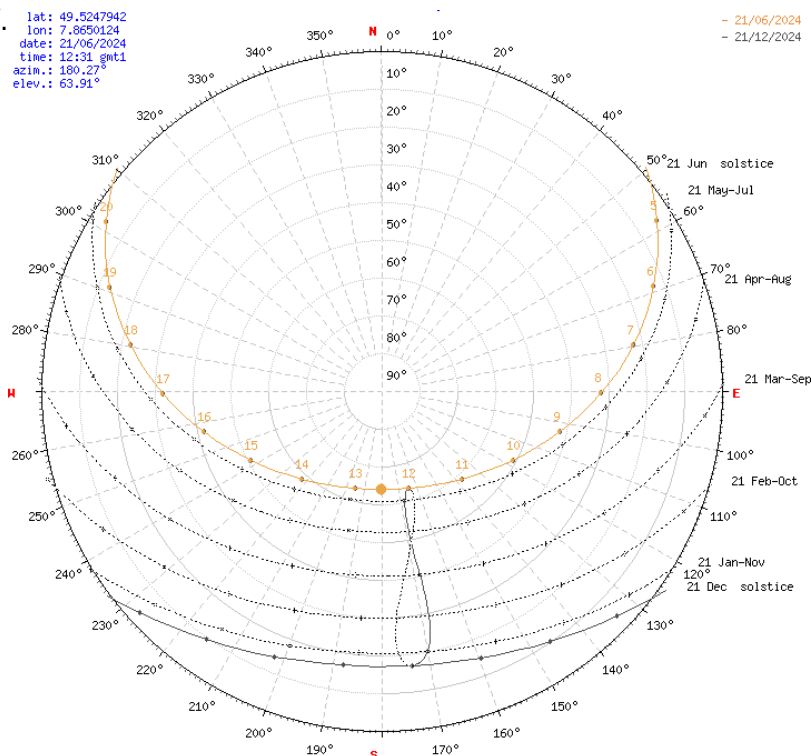


Abbildung 4: Polares Sonnenbahndiagramm für den Bereich der geplanten Freiflächen-PV-Anlage (Äquinoktien in orange) /2/

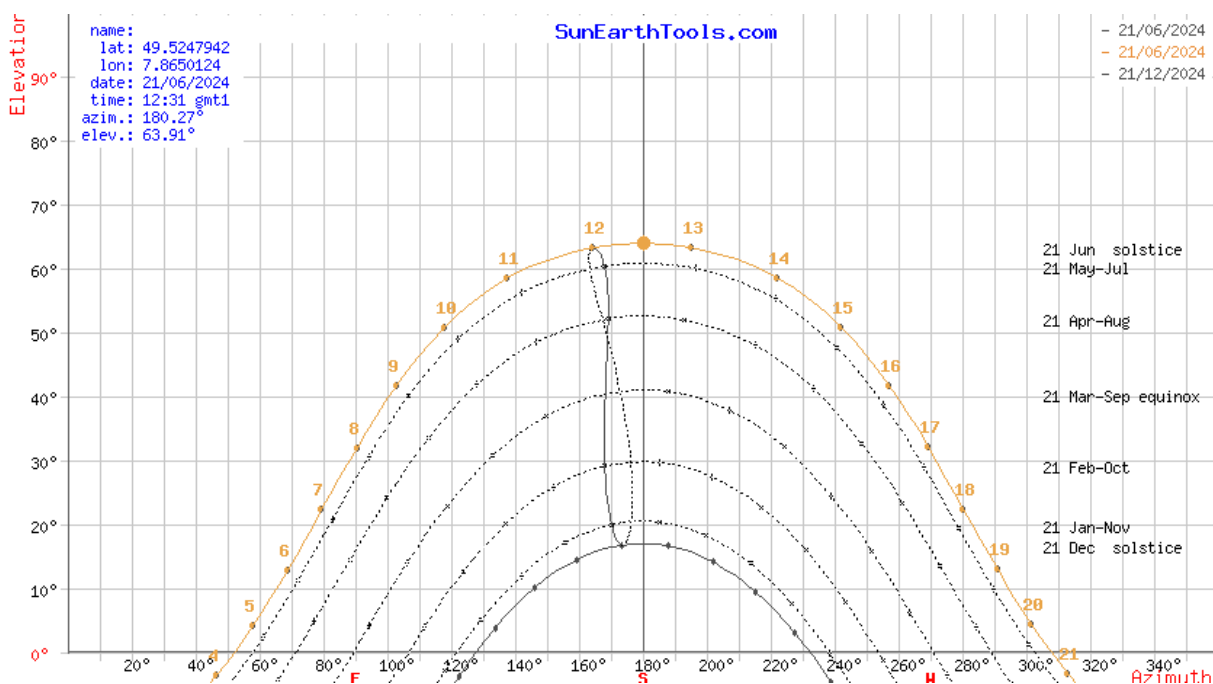


Abbildung 5: Kartesisches Sonnenbahndiagramm für den Bereich der geplanten Freiflächen-PV-Anlage (Äquinoktien in orange) /2/

Aus den Abbildungen wird ersichtlich:

- Der Sonnenhöchststand am 21.06. eines jeden Jahres erreicht knapp 64° über dem Horizont.
- Der Sonnentiefststand am 21.12. eines jeden Jahres erreicht ca. 17° über dem Horizont.
- Mit tiefstehender Sonne direkt aus Richtung Ost bzw. West ist in den frühen Morgenstunden um das Frühlings- bzw. Herbst-Äquinoktium zu rechnen. Im Winter geht die Sonne erst in Ostsüdost (ca. 127°) auf und bereits bei Westsüdwest (ca. 233°) wieder unter.

Beim Höchststand der Sonne im Sommer dagegen werden durch den früheren Sonnenaufgang bzw. späteren Sonnenuntergang Sonnenstände direkt aus Ost (90°) bzw. West (270°) erst bei deutlich größeren Winkeln über dem Horizont ($> 30^\circ$) erreicht. Tiefe Sonnenstände aus Südwest (200°) werden vor allem im Winter am frühen Nachmittag erreicht.

5 Modellierung möglicher Blendwirkungen

5.1 Modell und Parametrisierung

Für die Analyse der Blendwirkungen der Freiflächen-PV-Anlage wurde das Programmpaket Glare Gauge /7/ genutzt. Dieses basiert auf dem Solar Glare Hazard Analysis Tool (SGHAT) /6/. Es ist konform mit den Blendschutzrichtlinien der amerikanischen Luftfahrtbehörde (Federal Aviation Administration, FAA) /3/.

Vergleichbare Regelungen zur Blendwirkung in Bezug zur (Flug-)Verkehrssicherheit gibt es in Europa bspw. durch European Union Aviation Safety Agency (EASA) /4/. Zusätzlich können hilfsweise die „Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI), Beschluss der LAI vom 13.09.2012“ verwendet werden /9/. Diese zielt jedoch – im Sinne des BImSchG – auf den Belästigungsgrad dieser Umwelteinwirkung ab und nicht auf den Aspekt der Verkehrssicherheit. Damit sind die Hinweise des LAI jedoch für die Bewertung einer möglichen Belästigung in Hinblick auf die Wohn- und Gewerbenutzungen im Umfeld relevant.

Die Ermittlung einer Blendwirkung erfordert Kenntnisse über die folgenden Parameter: Sonnenposition, Beobachterstandort und die Neigung, Orientierung, Lage, Ausdehnung und optischen Eigenschaften der Module im Modulfeld. Die Vektoralgebra wird dann verwendet, um festzustellen, ob Blendung an den vorgeschriebenen Beobachtungspunkten eintreten kann.

Generell ermöglicht das Modell mehrere Arten von möglichen Rezeptoren. Im vorliegenden Fall werden Beobachter an Fahrstrecken (route receptors) für die Landesstraße und die Zufahrt zur Kaserne verwendet. Für die Pferdepension sowie die Bebauung am Ortsrand vom Sembach werden einzelne punktuelle Beobachtungspunkte verwendet. Im Modell wird das Geländemodell verwendet, welches auch Google Earth® zugrunde liegt (SRTM /12/). Zusätzlich werden hochaufgelöste DGMs, topographische Karten sowie Fotos herangezogen.

Die Parametrisierung der Modulfelder und der Beobachter wird im Folgenden dargestellt.

Parametrisierung des Freiflächen-PV-Anlage

Die Freiflächen-PV Anlage wurde wie oben angegeben parametrisiert:

- Modulfelder aufgeständert mit einer Südaufständigung (195° und 201° gegen Nord)
- Neigung gegen die Horizontalebene von 15°

Die Gesamtfläche der PV-Anlage wurde nach einer Geländeanalyse für die Modellierung möglicher Blendwirkungen in Teilflächen gleicher Ausrichtung und Hangneigung aufgeteilt.

Parametrisierung der Beobachter

Für die Parametrisierung der Beobachter bzw. Kraftfahrer werden folgende Streckenabschnitte gewählt:

- Fahrstrecke auf der L 393 südlich der geplanten PV-Fläche (beide Fahrrichtungen),
- Fahrstrecke auf der Straße Heuberg (Zufahrtsstraße Kaserne)
- Beobachtungspunkte am Ortsrand von Sembach und im Bereich der Kaserne
- Beobachtungspunkte auf dem Gelände der Pferdepension

Für die Fahrer wird jeweils ein Blickfeld von beidseits $\theta = 35^\circ$ zur Fahrtrichtung veranschlagt. Dies ergibt ein Blickfeld von in Summe 70° (siehe Abbildung 6 und Abbildung 7).

Weiterhin wurde der unterschiedlichen absoluten Höhe des Beobachters in den Fahrzeugen Rechnung getragen, in dem die Analysen je für Pkw (Augenhöhe des Fahrers ca. 1,2 m) und für Lkw (Augenhöhe des Fahrers ca. 2,3 m) durchgeführt wurden. Für Beobachtungspunkte an Wohnhäusern wurde eine Höhe von 8,5 m veranschlagt und für die Pferdekoppel eine Höhe von 1,7 m. Die Beobachtungspunkte im Bereich der Kaserne wurden je nach Nutzung mit 8,5 m, 1,75 m oder 2 m berücksichtigt. Hierbei wurde das Sichtfeld nicht in die Blendwirkungen deutlich überschätzender Weise nicht eingeschränkt. Weiterhin ist zu bedenken, dass gemäß LAI /9/ Die wesentlichen Streckenabschnitte zeigt Abbildung 8. Die Abschnitte wurden im Modell als Fahrten in beide Richtungen zusammengefasst.

Sichtfelder

Ohne Kopfbewegung überblickt der Mensch einen Bereich von etwa ± 35 Grad.

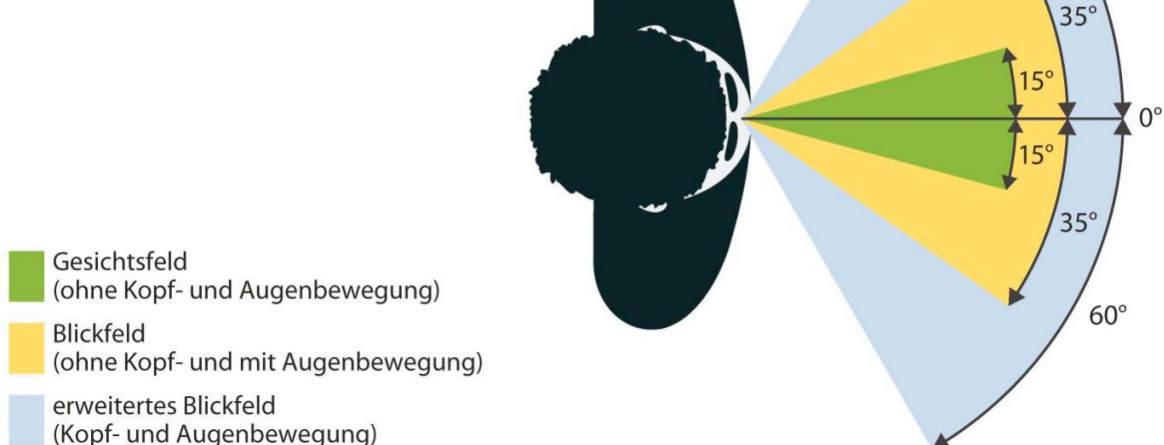


Abbildung 6: Schematische Darstellung von Gesichts-, Sicht- und Blickfeld /11/

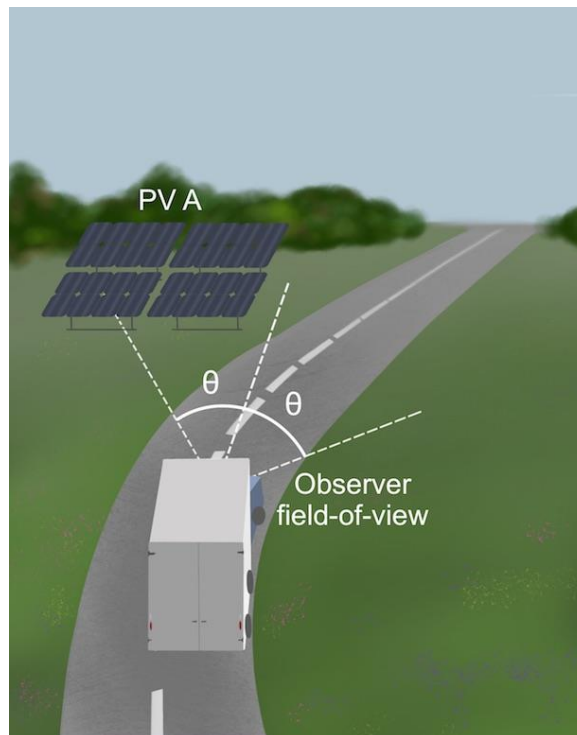


Abbildung 7: Schematische Darstellung des Blickfeldes (siehe Abbildung 6) und der Module/ Beobachter-Beziehung /7/

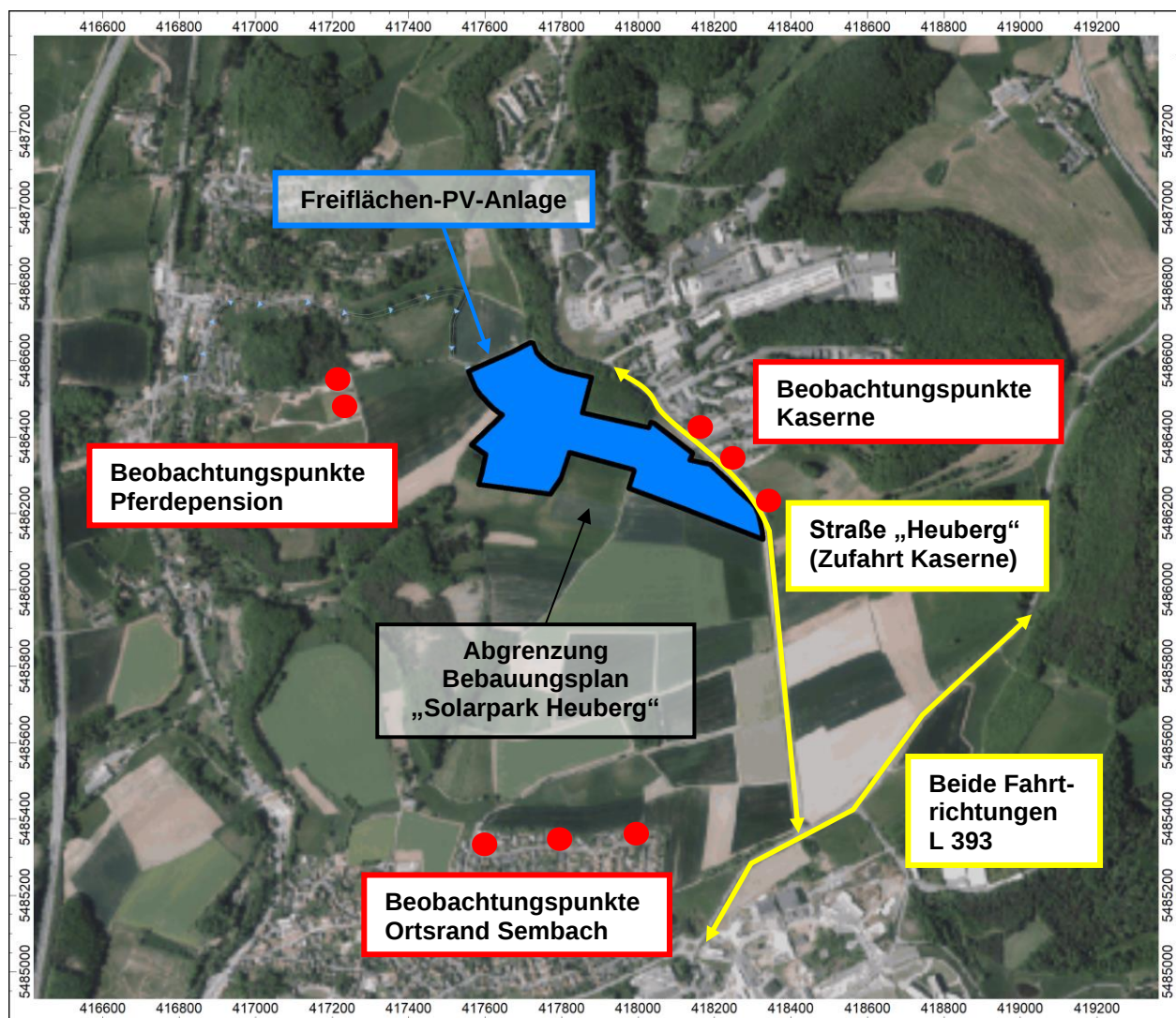


Abbildung 8: Wesentliche Fahrstrecken und Beobachtungspunkte in Umfeld der geplanten Freiflächen-PV-Anlage

5.2 Beurteilung der Blendwirkungen

Verbindliche Erhebungs- und Beurteilungskriterien für die Bewertung der Lichtreflexionen, insbesondere die Blendwirkung an Flughäfen, Straßen oder Schienenwegen, bestehen in Deutschland derzeit nicht. So verweist die Planungshilfe z.B. der US-amerikanischen Luftfahrtbehörde FAA /3/ auf das Erfordernis von Einzelfalluntersuchungen für den Aufstellungsort und das geplante Photovoltaiksystem und gibt keine konkreten Beurteilungskriterien an. Die European Union Aviation Safety Agency (EASA) /4/ gibt folgende relevante Situationen für eine Bewertung an:

- Während des Endanflugs
- Beim Aufsetzen auf der Landebahn

- Bei der Navigation am Boden auf dem Rollfeld

Letztere ist vergleichbar mit dem Führen von Kraftfahrzeugen auf öffentlichen Straßen.

Als geeignete Untersuchungsmethode wird eine geometrische Analyse des Strahlengangs des reflektierten Sonnenlichts in Abhängigkeit des Sonnenstands am Tag und im Jahresgang benannt.

Die Blendwirkung in Bezug auf Fahrzeugführer wird gegenüber der Blendwirkung auf einen ortsfesten Beobachter weniger kritisch eingeschätzt, da ein Lichtreflex einen Fahrzeug- oder Flugzeugführer bei seiner Bewegung in der Regel nur sehr kurz betreffen und demzufolge in seiner Orientierung nur sehr kurze Zeit beeinträchtigen kann.

Die Blendwirkung von reflektiertem Licht ist im Vergleich zu natürlicher unreflektierter Sonneneinstrahlung und dem Sichtfeld von Betroffenen zu bewerten.

Das verwendete Modell /6/ erstellt für Beobachtungspunkte und Bewegungsspuren und Diagramme, die das Auftreten und die Intensität der Blendung darstellen und in die drei Kategorien

- geringes Potential für Nachbild (green glare)
- Potential für Nachbild (yellow glare)
- Potential für permanenten Netzhautschaden (red glare)

einteilen (siehe Abbildung 9).

Nachbilder im Auge sind „Phantombilder“, die auch dann noch wahrgenommen werden, wenn der verursachende Reiz nicht mehr besteht (z.B. Blick in die Sonne oder andere Lichtquelle). Nachbilder können kurzzeitig für Irritationen sorgen, da für wenige Sekunden bestimmte Teile des Blickfelds nur eingeschränkt wahrnehmbar sind. Das sog. green glare ist daher als unproblematisch anzusehen, da hier Quellgröße und Energie zu gering sind. Hier besteht lediglich der Eindruck einer Lichtquelle ohne Blendwirkung. Im Bereich des yellow glare kann es zu mehr oder weniger intensiven bzw. wenige Sekunden andauernden Nachbildern kommen. Der Bereich des red glare wird beispielsweise erreicht, wenn optische Konzentrationswirkungen bspw. durch Gläser oder gewölbte Spiegel hinzukommen /7/.

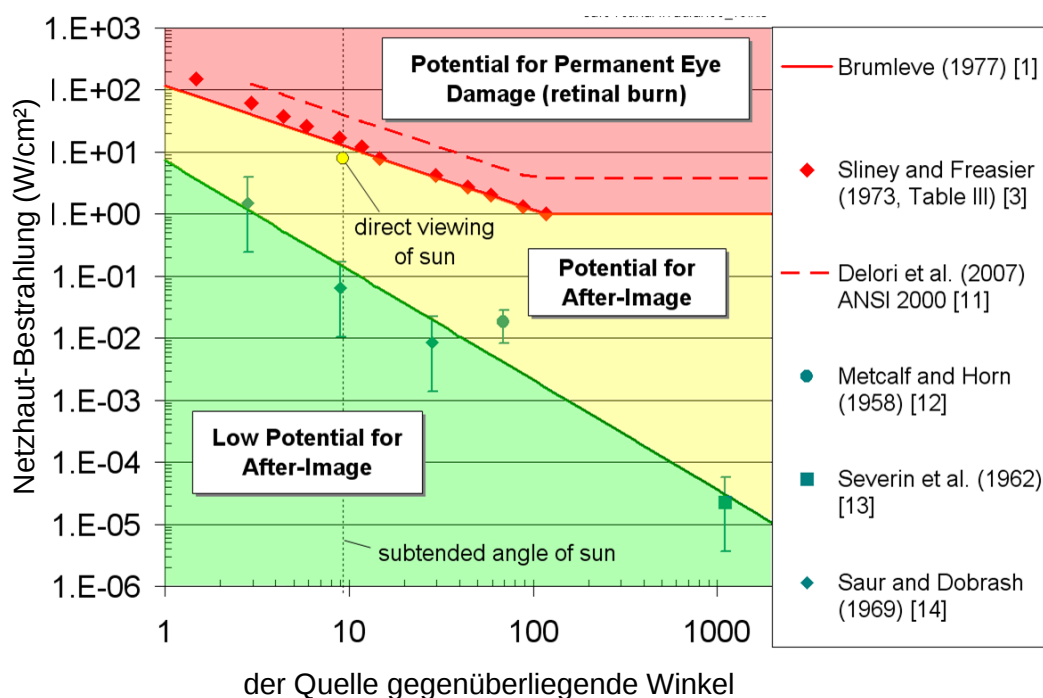


Abbildung 9: Zusammenhang zwischen Größe des blendenden Objektes (repräsentiert durch „subtended source angle“) und der Intensität der Netzhaut-Bestrahlung /5/

Der der Quelle gegenüber liegende Winkel (subtended source angle) (x-Achse) (siehe auch Abbildung 10) repräsentiert die Größe der blendenden Fläche innerhalb des Blickfeldes des Beobachters. Die Netzhautbestrahlung bestimmt die Energiemenge (W/cm^2), die auf die Netzhaut des Beobachters wirkt (Retinal Irradiance) (y-Achse). Große Winkel θ (also große Anteile blendender Flächen im Blickfeld) können demnach zu starker Blendung führen, auch wenn die Energie der blendenden Quelle niedrig ist. Je größer eine blendende Quelle ist, desto geringer kann ihre Energie sein, um eine Blendwirkung zu verursachen.

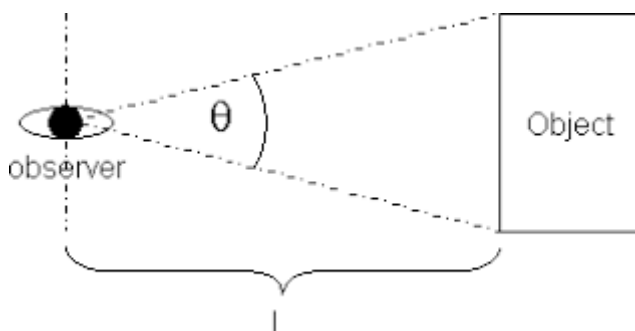


Abbildung 10: Schematische Darstellung des "subtended source angle" (hier: θ)

6 Mögliche Blendwirkungen durch die geplante Freiflächen-PV-Anlage

6.1 Geländeanalyse – Aufteilung der Gesamtfläche in Teilflächen

Die Gesamtfläche der PV-Anlage wurde nach einer GIS-gestützten Geländeanalyse für die Modellierung möglicher Blendwirkungen in Teilflächen möglichst gleicher (Hang-)Ausrichtung und (Hang-)Neigung aufgeteilt.

In der folgenden Abbildung 11 sind die Teilflächen, die für die Ermittlung der Blendwirkung herangezogen wurden, dargestellt.

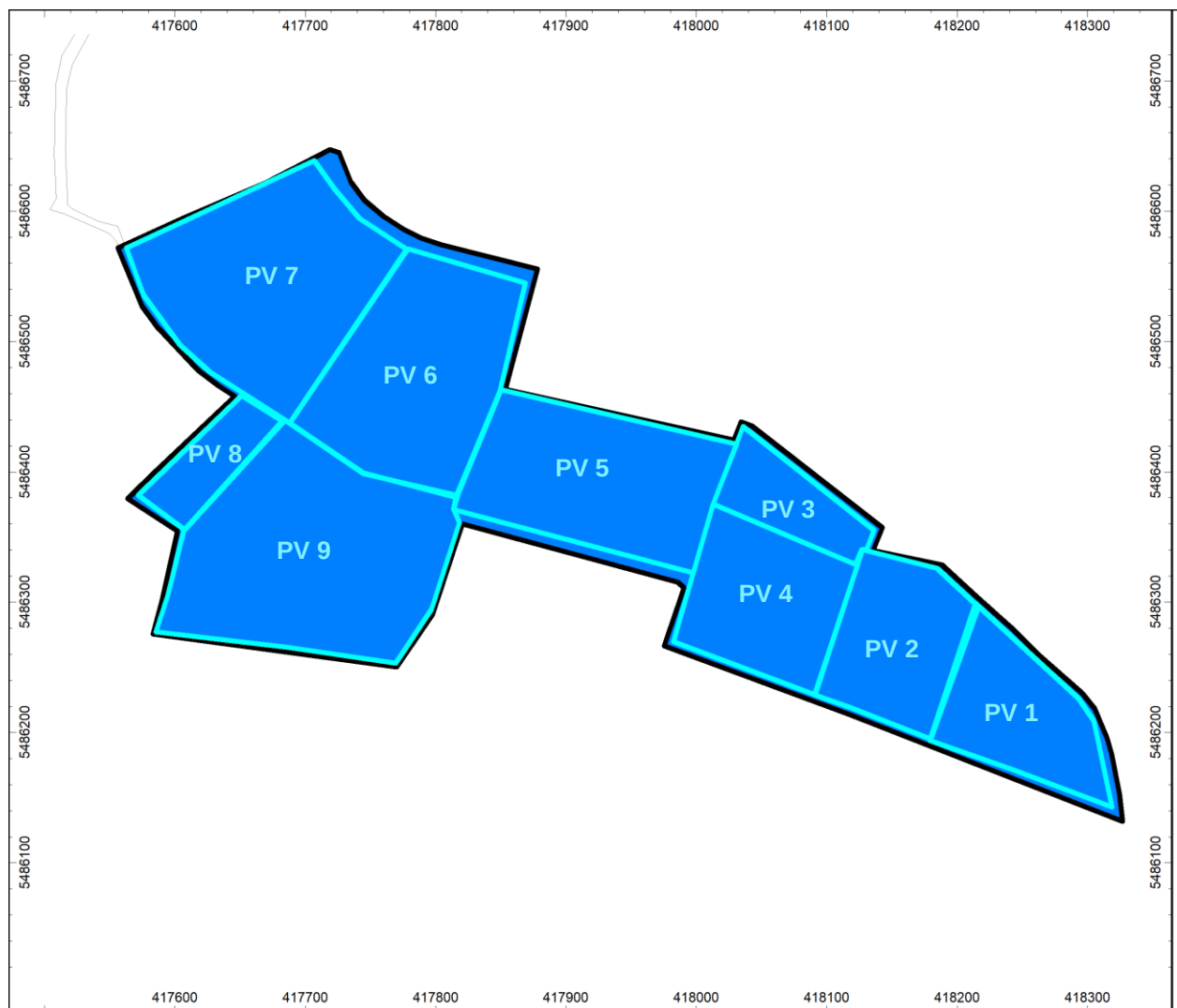


Abbildung 11: Teilflächen für die Modellierung möglicher Blendwirkungen gemäß Geländeanalyse /1/

6.2 Sichtbarkeitsanalyse – Sichtbeziehung zwischen den Beobachtungspunkten und der PV-Fläche

Mit Hilfe einer GIS basierten Sichtbarkeitsanalyse wurde zunächst geprüft, ob zwischen den ausgewählten Beobachtungspunkten (in verschiedenen Höhen) und der Freiflächen-PV-Anlage überhaupt eine Sichtbeziehung, die zu einer Blendwirkung führen kann, besteht. Beispielhaft wird im Folgenden das Ergebnis der Sichtbarkeitsanalyse der Beobachtungspunkte am Ortsrand von Sembach dargestellt.

Von den Wohnnutzungen am Ortsrand von Sembach besteht aus der untersten Geschosslage keine Sichtbeziehung zur Freiflächen-PV-Anlage. Aus den höheren Stockwerken (hier bspw. 8,5 m) besteht eine Sichtbeziehung zu den nördlichen Flächen (siehe Abbildung 12). Folglich wurde für die weitere Analyse der Blendwirkung nur eine Höhe von 8,5 m geprüft.

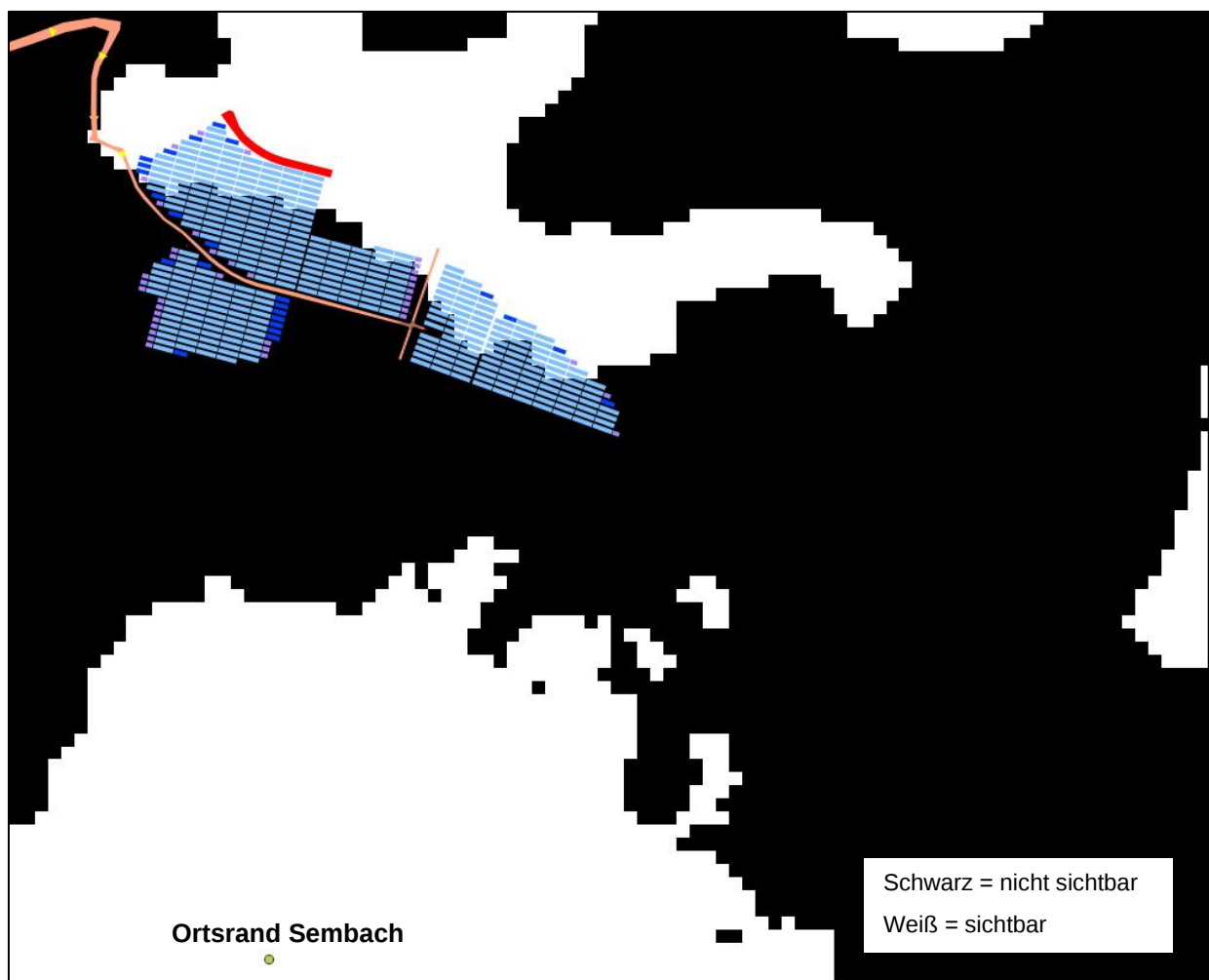


Abbildung 12: Sichtbarkeitsanalyse Ortsrand Sembach

6.3 Landesstraße L 393 (Pkw und Lkw)

Für die Landesstraße L 393 wurden Pkw-Fahrer (Augenhöhe des Fahrers ca. 1,2 m) und Lkw-Fahrer (Augenhöhe des Fahrers ca. 2,3 m) im Rahmen der Analyse berücksichtigt.

Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse zum Auftreten verschiedener Arten der Blendwirkung auf der L 393 für Pkw und Lkw. Die Gesamtfläche wurde aufgrund der Ergebnisse der Geländeanalyse in 9 Teilflächen aufgeteilt.

Tabelle 1: Auftreten der verschiedenen Arten der Blendwirkung auf der L 393 für Pkw und Lkw (durch die nach 195° bzw. 201° ausgerichteten Module)

	Neigung	Ausrichtung	Green Glare	Yellow Glare
Fläche(nteil)	Grad	Grad	min	min
Pkw-Fahrer				
PV 1	15	201	0	0
PV 2	15	201	0	0
PV 3	15	201	0	0
PV 4	15	201	0	0
PV 5	15	195	0	0
PV 6	15	195	0	0
PV 7	15	195	0	0
PV 8	15	195	0	0
PV 9	15	195	0	0
Lkw-Fahrer				
PV 1	15	201	0	0
PV 2	15	201	0	0
PV 3	15	201	0	0
PV 4	15	201	0	0
PV 5	15	195	0	0
PV 6	15	195	0	0
PV 7	15	195	0	0
PV 8	15	195	0	0
PV 9	15	195	0	0

Für eine Aufständerung mit einer Ausrichtung von 195° bzw. 201° und einer Neigung der Module von 15° gegen die Ebene konnten im Verlauf der L 393 keine Blendwirkungen für Lkw und Pkw ermittelt werden.

6.4 Zufahrt Kaserne (Pkw und Lkw)

Für die Zufahrt zur Kaserne wurden Pkw-Fahrer (Augenhöhe des Fahrers ca. 1,2 m) und Lkw-Fahrer (Augenhöhe des Fahrers ca. 2,3 m) im Rahmen der Analyse berücksichtigt.

Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse zum Auftreten verschiedener Arten der Blendwirkung auf der Zufahrt zur Kaserne für Pkw und Lkw. Die Gesamtfläche wurde aufgrund der Ergebnisse der Geländeanalyse in 9 Teilflächen aufgeteilt.

Tabelle 2: Auftreten der verschiedenen Arten der Blendwirkung auf der Zufahrt zur Kaserne für Pkw und Lkw (durch die nach 195° bzw. 201° ausgerichteten Module)

	Neigung	Ausrichtung	Green Glare	Yellow Glare
Fläche(nteil)	Grad	Grad	min	min
Pkw-Fahrer				
PV 1	15	201	0	0
PV 2	15	201	60	144
PV 3	15	201	466	610
PV 4	15	201	1.208	0
PV 5	15	195	2.195	755
PV 6	15	195	1.229	0
PV 7	15	195	1.686	2
PV 8	15	195	507	0
PV 9	15	195	523	0
Lkw-Fahrer				
PV 1	15	201	0	0
PV 2	15	201	724	1.930
PV 3	15	201	597	1.769
PV 4	15	201	1.234	0
PV 5	15	195	2.389	917
PV 6	15	195	1.219	2
PV 7	15	195	1.743	9
PV 8	15	195	542	0
PV 9	15	195	522	0

Für die PV-Flächen 1,4 und 6 bis 9 mit einer Ausrichtung von 201° bzw. 195° und einer Neigung der Module von 15° gegen die Ebene konnten im Verlauf der Zufahrt zur Kaserne keine Blendwirkungen (green Glare) für Lkw und Pkw ermittelt werden. Das sog. **green glare** ist als unproblematisch anzusehen, da hier Quellgröße und Energie zu gering sind. Hier besteht lediglich der Eindruck einer Lichtquelle ohne Blendwirkung.

Für die PV-Flächen 2,3 und 5 mit einer Ausrichtung von 201° bzw. 195° und einer Neigung der Module von 15° gegen die Ebene konnten im Verlauf der Zufahrt zur Kaserne hingegen eine Blendwirkung (Yellow Glare) für Lkw und Pkw ermittelt werden

Auswertung PV-Fläche 2

Im Folgenden sind die Blendwirkungen im Jahres- sowie Tagesverlauf (Abbildung 13 und Abbildung 14) für PKW und LKW für die **Zufahrt zur Kaserne** durch die PV-Flächen 2 dargestellt.

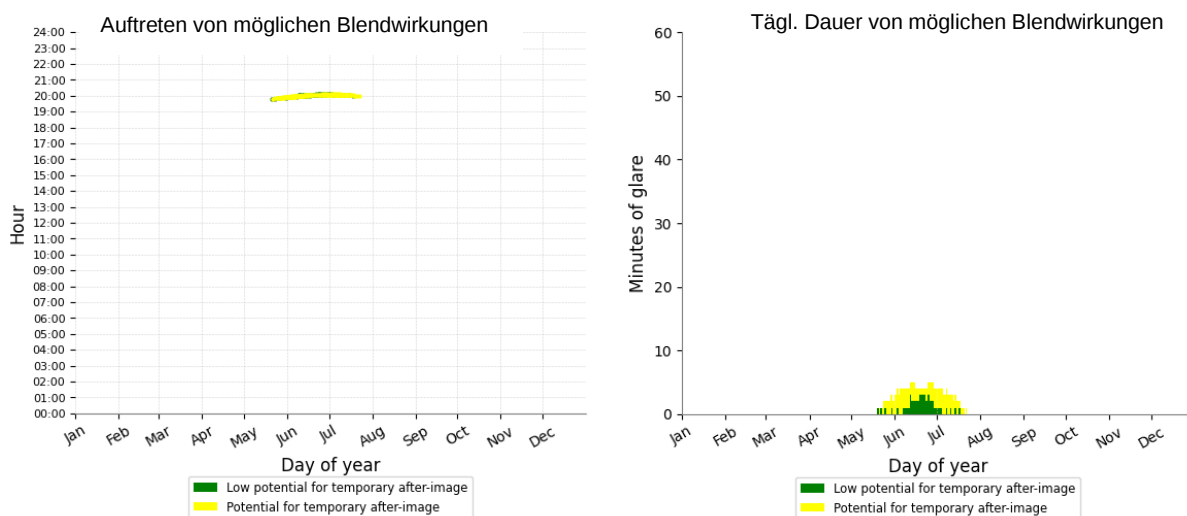


Abbildung 13: Mögliche Blendwirkungen im Jahres- und Tagesverlauf (links) sowie tägliche Dauer (rechts) im Jahresverlauf für PKW für die Zufahrt zur Kaserne durch PV-Fläche 2

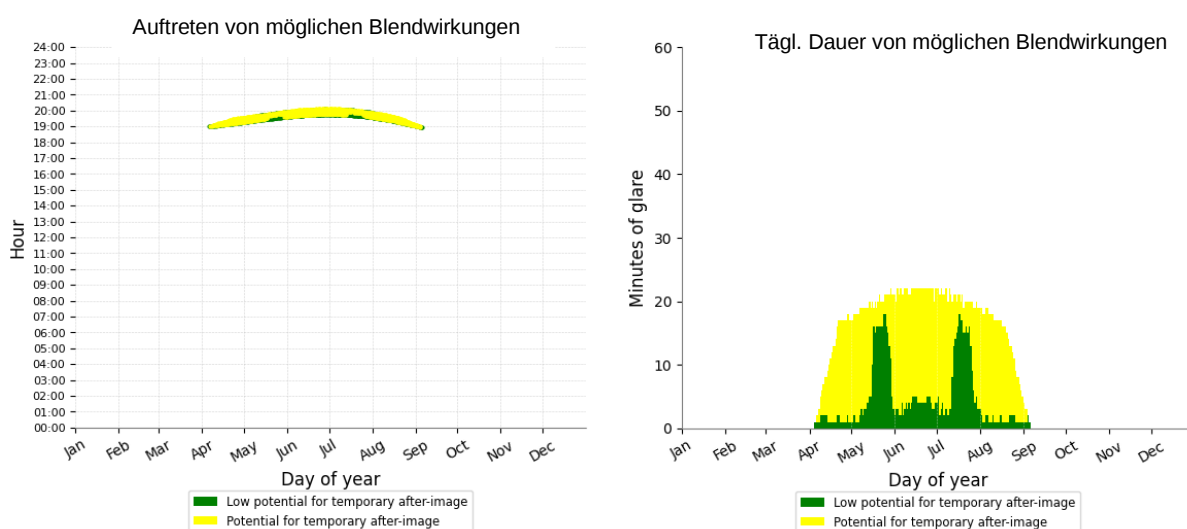


Abbildung 14: Mögliche Blendwirkungen im Jahres- und Tagesverlauf (links) sowie tägliche Dauer (rechts) im Jahresverlauf für LKW für die Kaserne durch PV-Fläche 2

Mögliche Blendwirkungen durch PV-Fläche 2 treten insbesondere bei LKW durch die erhöhte Sitzposition mit bis zu ca. 20 min/ Tag auf. Diese wurden für einen begrenzten Zeitraum zwischen 19:00 Uhr und 21:00 Uhr (UTC+1) von Anfang April bis Anfang September berechnet.

Die folgende Abbildung zeigt die Streckenabschnitte, auf denen Blendwirkungen auftreten können (Abbildung 15).

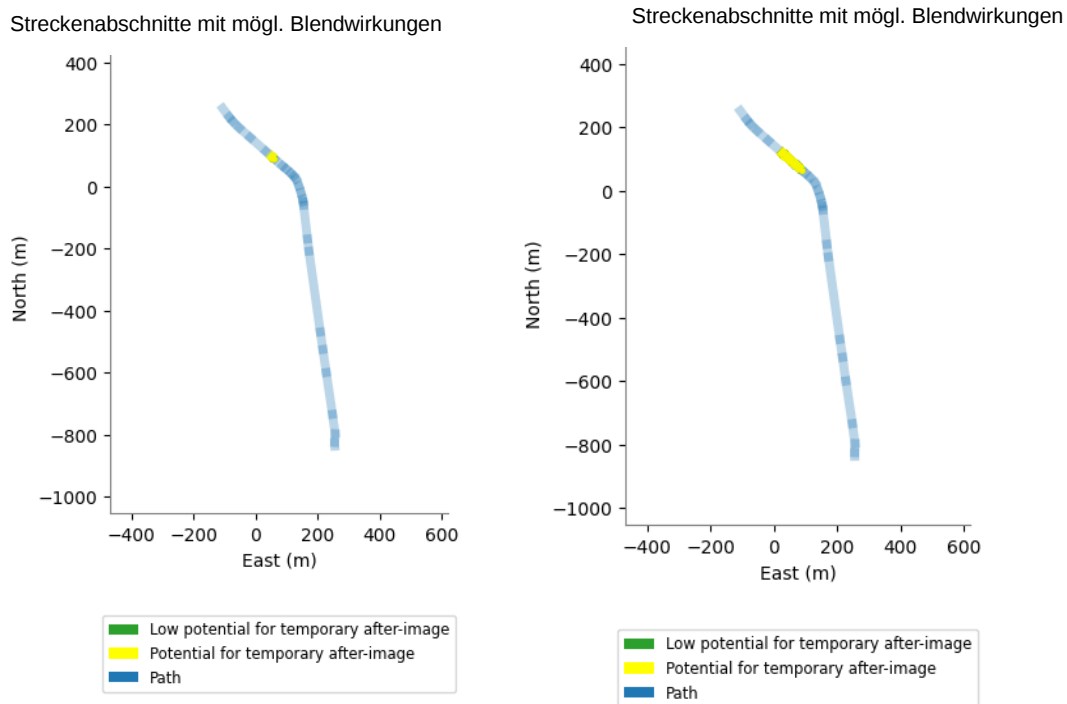


Abbildung 15: Lage der Straßenabschnitte, in denen es zur Blendung kommen kann, entlang der Fahrt Richtung Nordwesten auf der Zufahrt zur Kaserne für PKW (links) und LKW (rechts)

Die möglichen Blendwirkungen treten jedoch nur auf einem sehr kurzen Streckenabschnitt auf, weshalb diese im vorliegenden Fall als unproblematisch anzusehen sind. Durch die kurze Dauer der Blendwirkungen bei der Vorbeifahrt sind diese nicht geeignet, die Fahrer in ihrer Orientierung wesentlich zu beeinträchtigen. Darüber hinaus besteht die Blendwirkung nur in Fahrtrichtung Westen. In dieser Richtung steht in diesem Zeitraum auch die untergehende Sonne, welche ohnehin üblicherweise Anpassungsmaßnahmen seitens der Fahrer erfordert.

Gemäß LAI-Lichtrichtlinie dominiert bei einem streifenden Einfall der Sonne auf ein PV-Modul der direkte Blick in die Sonne die Blendwirkung. Erst ab einem Differenzwinkel von 10° kommt es zu einer zusätzlichen Blendwirkung durch das Modul /9/. Eine Auswertung des Differenzwinkels ergibt im vorliegenden Fall maximal $8,9^\circ$, weswegen die ermittelte Blendwirkung nicht zu berücksichtigen ist.

Auswertung PV-Fläche 3

Im Folgenden sind die Blendwirkungen im Jahres- sowie Tagesverlauf (Abbildung 16 und Abbildung 17) für PKW und LKW für die **Zufahrt zur Kaserne** durch die PV-Flächen 3 dargestellt.

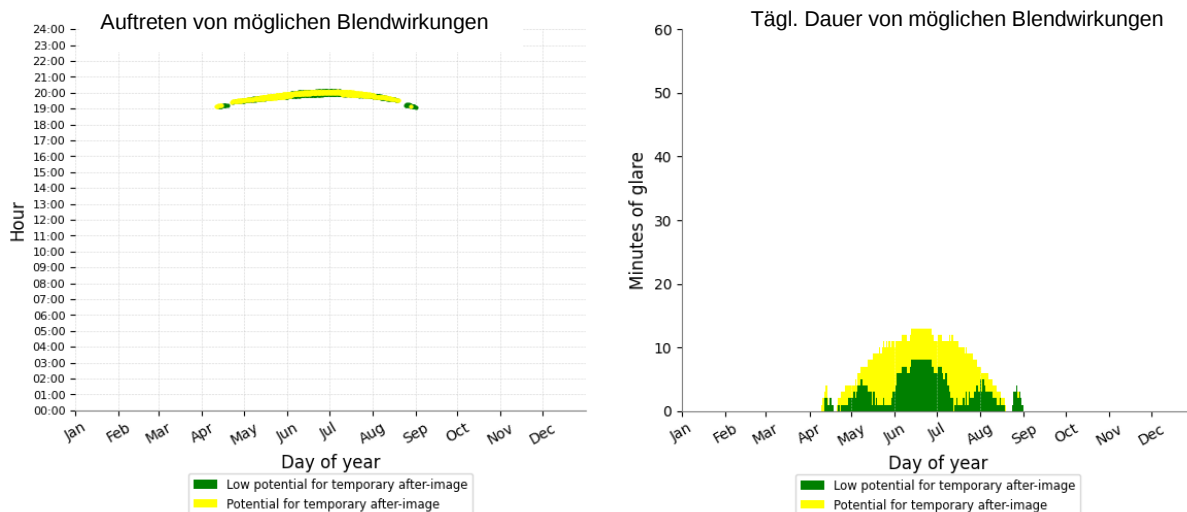


Abbildung 16: Mögliche Blendwirkungen im Jahres- und Tagesverlauf (links) sowie tägliche Dauer (rechts) im Jahresverlauf für PKW für die Zufahrt zur Kaserne durch PV-Fläche 3

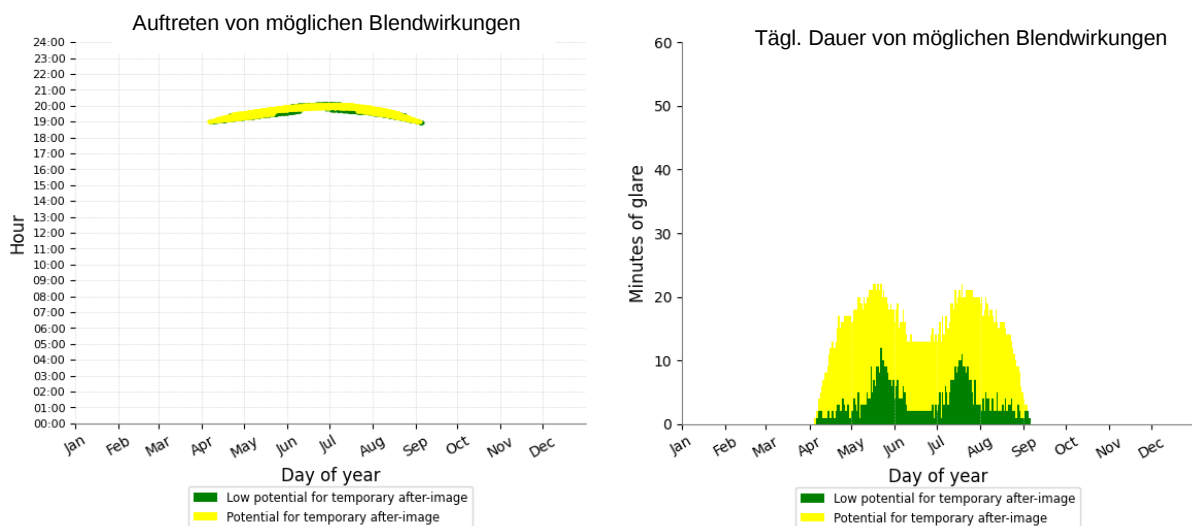


Abbildung 17: Mögliche Blendwirkungen im Jahres- und Tagesverlauf (links) sowie tägliche Dauer (rechts) im Jahresverlauf für LKW für die Kaserne durch PV-Fläche 3

Mögliche Blendwirkungen durch PV-Fläche 3 treten insbesondere bei LKW und PKW mit bis zu ca. 20 min/ Tag auf. Diese wurden für einen begrenzten Zeitraum zwischen 19:00 Uhr und 21:00 Uhr (UTC+1) von Anfang April bis Anfang September berechnet.

Die folgenden Abbildung zeigt die Streckenabschnitte, auf denen Blendwirkungen auftreten können (Abbildung 18).

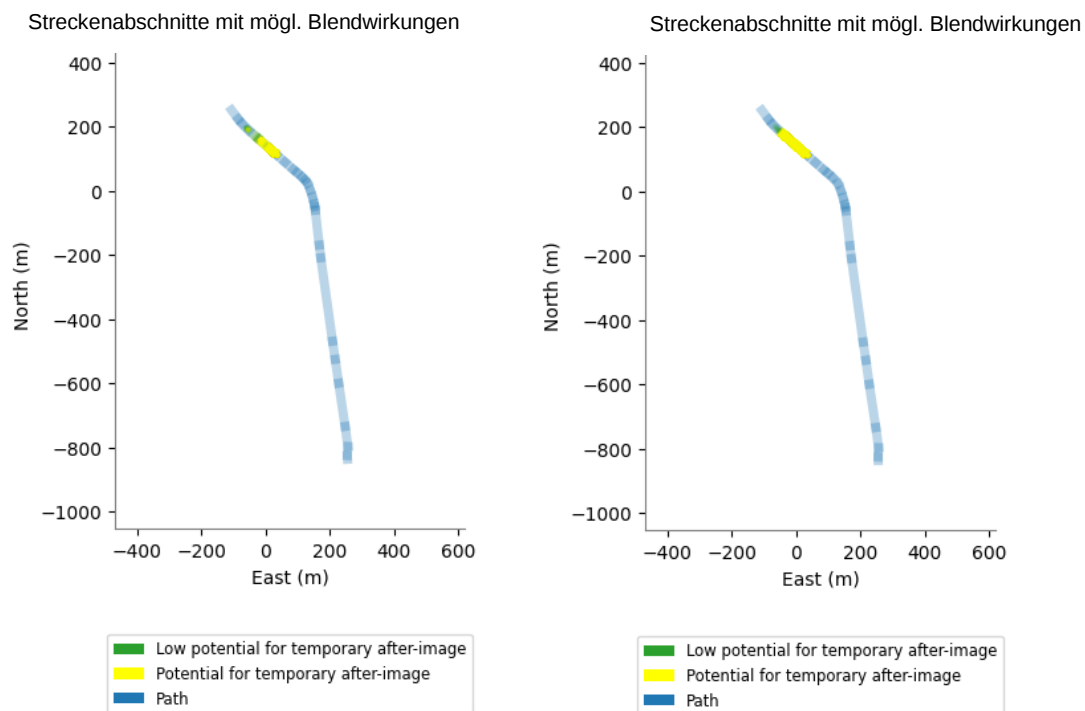


Abbildung 18: Lage der Straßenabschnitte, in denen es zur Blendung kommen kann, entlang der Fahrt Richtung Nordwesten auf der Zufahrt zur Kaserne für PKW (links) und LKW (rechts)

Die möglichen Blendwirkungen treten jedoch nur auf einem sehr kurzen Streckenabschnitt auf, weshalb diese im vorliegenden Fall als unproblematisch anzusehen sind. Durch die kurze Dauer der Blendwirkungen bei der Vorbeifahrt sind diese nicht geeignet, die Fahrer in ihrer Orientierung wesentlich zu beeinträchtigen. Darüber hinaus besteht die Blendwirkung nur in Fahrtrichtung Westen. In dieser Richtung steht in diesem Zeitraum auch die untergehende Sonne, welche ohnehin üblicherweise Anpassungsmaßnahmen seitens der Fahrer erfordert.

Gemäß LAI-Lichtrichtlinie dominiert bei einem streifenden Einfall der Sonne auf ein PV-Modul der direkte Blick in die Sonne die Blendwirkung. Erst ab einem Differenzwinkel von 10 ° kommt es zu einer zusätzlichen Blendwirkung durch das Modul /9/. Eine Auswertung des Differenzwinkels ergibt im vorliegenden Fall maximal 10°, **weswegen die ermittelte Blendwirkung nicht zu berücksichtigen ist.**

Auswertung PV-Fläche 5

Im Folgenden sind die Blendwirkungen im Jahres- sowie Tagesverlauf (Abbildung 19 und Abbildung 20) für PKW und LKW für die **Zufahrt zur Kaserne** durch die PV-Flächen 5 dargestellt.

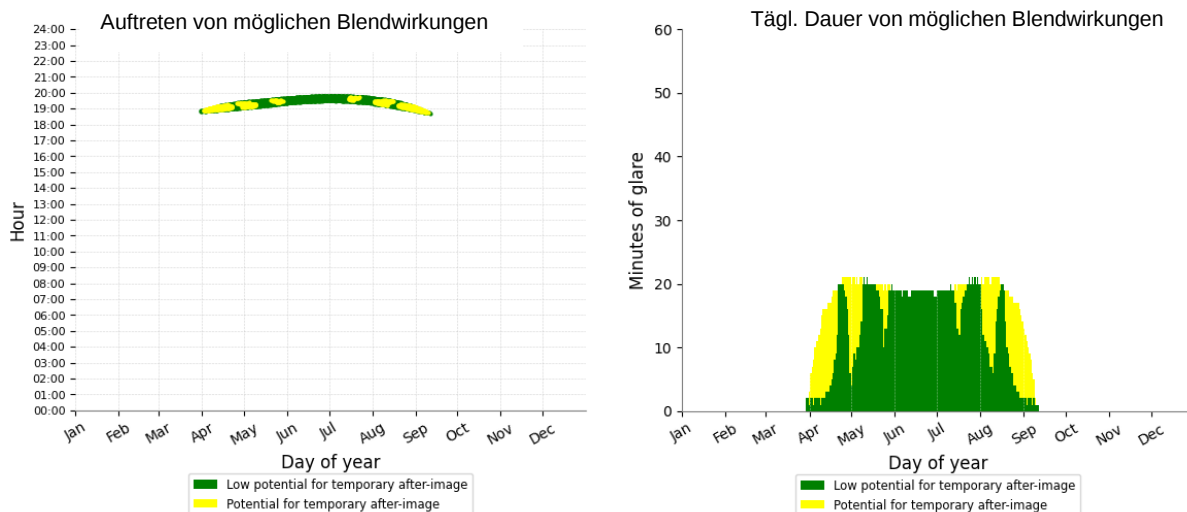


Abbildung 19: Mögliche Blendwirkungen im Jahres- und Tagesverlauf (links) sowie tägliche Dauer (rechts) im Jahresverlauf für PKW für die Zufahrt zur Kaserne durch PV-Fläche 2

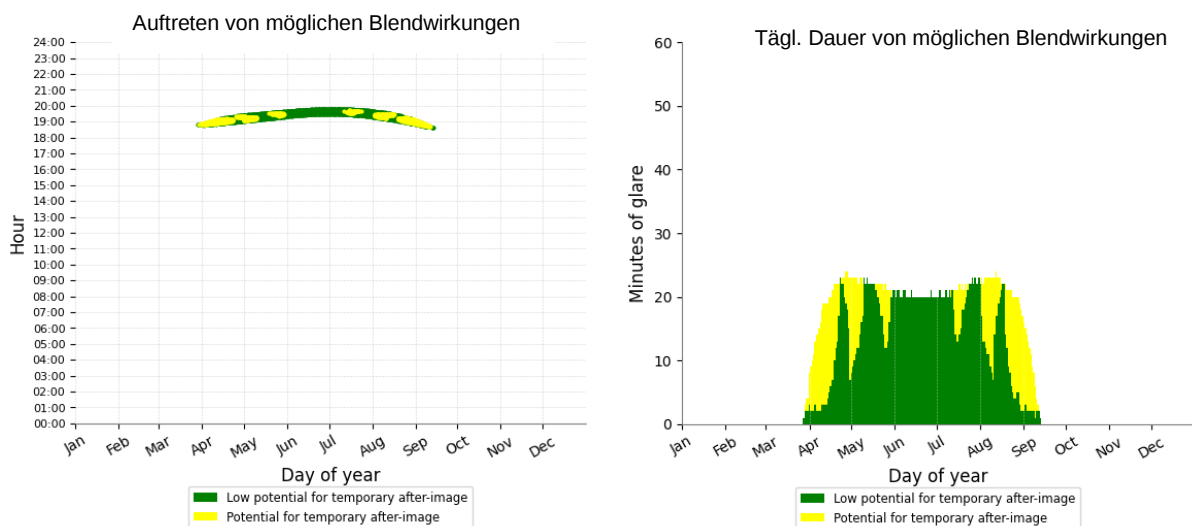


Abbildung 20: Mögliche Blendwirkungen im Jahres- und Tagesverlauf (links) sowie tägliche Dauer (rechts) im Jahresverlauf für LKW für die Kaserne durch PV-Fläche 5

Mögliche Blendwirkungen durch PV-Fläche 5 treten insbesondere bei LKW und PKW mit bis zu ca. 20 min/ Tag auf. Diese wurden für einen begrenzten Zeitraum zwischen 19:00 Uhr und 21:00 Uhr (UTC+1) von Anfang April bis Anfang September berechnet.

Die folgende Abbildung zeigt die Streckenabschnitte, auf denen Blendwirkungen auftreten können (Abbildung 18).

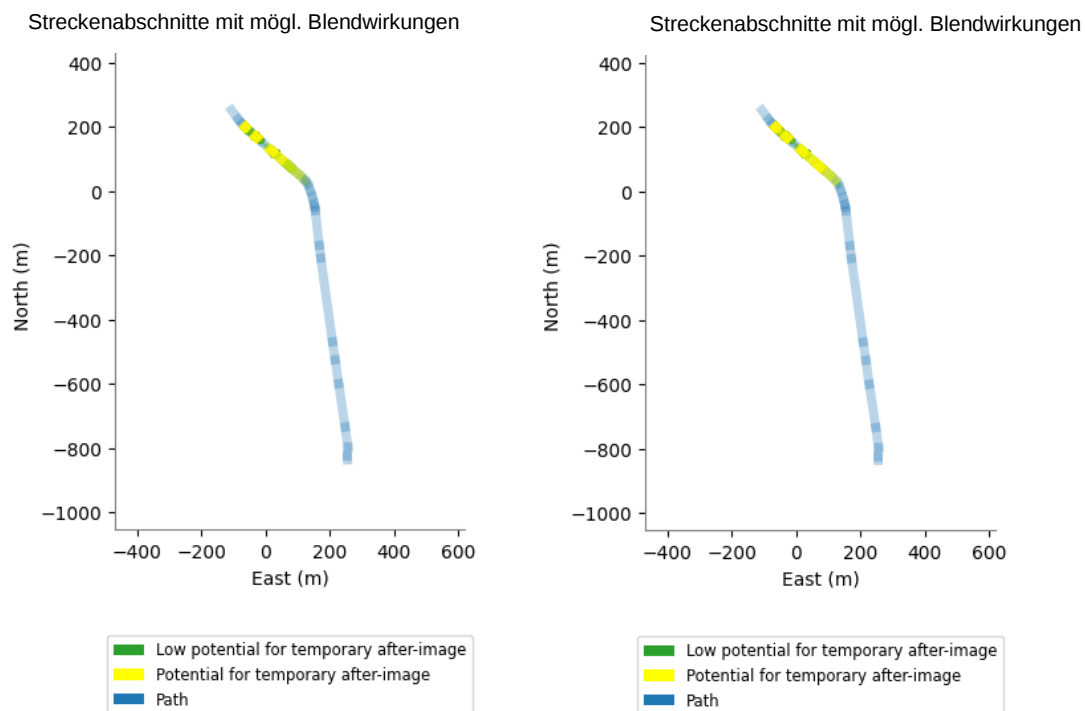


Abbildung 21: Lage der Straßenabschnitte, in denen es zur Blendung kommen kann, entlang der Fahrt Richtung Nordwesten auf der Zufahrt zur Kaserne für PKW (links) und LKW (rechts)

Die möglichen Blendwirkungen treten jedoch nur auf einem sehr kurzen Streckenabschnitt auf, weshalb diese im vorliegenden Fall als unproblematisch anzusehen sind. Durch die kurze Dauer der Blendwirkungen bei der Vorbeifahrt sind diese nicht geeignet, die Fahrer in ihrer Orientierung wesentlich zu beeinträchtigen. Darüber hinaus besteht die Blendwirkung nur in Fahrtrichtung Westen. In dieser Richtung steht in diesem Zeitraum auch die untergehende Sonne, welche ohnehin üblicherweise Anpassungsmaßnahmen seitens der Fahrer erfordert.

Gemäß LAI-Lichtrichtlinie dominiert bei einem streifenden Einfall der Sonne auf ein PV-Modul der direkte Blick in die Sonne die Blendwirkung. Erst ab einem Differenzwinkel von 10° kommt es zu einer zusätzlichen Blendwirkung durch das Modul /9/. Eine Auswertung des Differenzwinkels ergibt im vorliegenden Fall maximal $11,4^\circ$. **Aufgrund der sehr geringen Überschreitung des Differenzwinkels von 10° ist die ermittelte Blendwirkung vernachlässigbar.**

6.5 Beobachtungspunkte Pferdepension

Im Bereich der Pferdepension wurden 4 repräsentative Beobachtungspunkte ausgewählt. Generell ist zu beachten, dass es sich lediglich bei Beobachtungspunkt 1 (IO 1; Wohngebäude Pferdepension) um einen Immissionsort handelt, welcher nach LAI-Lichtrichtlinie zu bewerten ist. Die übrigen Punkte befinden sich auf der Pferdekoppel und werden nur informativ dargestellt.

Die folgenden Tabellen zeigen für die unterschiedlichen PV-Flächen:

- die maximale Anzahl der Minuten pro Tag, an denen am jeweiligen Immissionsort mit Blendwirkungen $> 10^5$ cd/m² zu rechnen ist, also die *Tagessumme der Blenddauer*
- die maximale Anzahl der Stunden pro Jahr, an denen am jeweiligen Immissionsort mit Blendwirkungen $> 10^5$ cd/m² zu rechnen ist, also die *Jahressumme der Blenddauer*

Tabelle 3: Berechnete maximale Tagessumme und Jahressumme der Blenddauer (Leuchtdichte $> 10^5$ cd/m²) je Immissionsort - Pferdepension

IO	min pro Tag mit $> 10^5$ cd/m ²	h pro Jahr mit $> 10^5$ cd/m ²
PV Fläche 1		
1	6	2
2	7	2
3	8	3
4	8	3
PV Fläche 2		
1	4	1
2	6	2
3	7	3
4	8	3
PV Fläche 3		
1	16	5
2	16	5
3	17	6
4	16	6
PV Fläche 4		
1	15	8
2	15	8
3	17	10
4	16	9
PV Fläche 5		
1	6	2
2	8	4
3	10	6
4	10	5
PV Fläche 6		
1	17	21
2	16	22
3	18	27
4	16	22
PV Fläche 7		
1	13	24
2	13	25
3	16	41
4	12	22
PV Fläche 8		
1	11	4

2	13	7
3	17	15
4	14	10
PV Fläche 9		
1	8	1
2	11	3
3	14	10
4	11	6

Gemäß Tabelle 3 ergeben sich keine beurteilungsrelevanten Blendwirkungen an den umgebenden Immissionsorten im Bereich der Pferdepension durch die 9 PV-Fläche, die jeweils eine Ausrichtung von 201° bzw. 195° aufweisen und 15° gegen die Ebene geneigt sind. Die berechneten Blenddauern verbleiben unterhalb der Erheblichkeitsschwellen für die Blenddauern nach Anlage 2 der LAI-Lichtrichtlinie.

Im Fall der Blendwirkungen der PV-Fläche 7 gegenüber dem – streng genommen nicht zu bewertenden – IO 3 sind diese jedoch als geringfügig zu bezeichnen. Die Blendwirkung an IO 03 besteht täglich für maximal 16 Minuten und jährlich für maximal 41 Stunden. Da es sich um einen bestimmten definierten Punkt auf der Pferdekoppel handelt, kann durch eine Änderung des Standortes unmittelbar und einfach Abhilfe gegen die Blendwirkung geschaffen werden. Auch tritt die Blendwirkung nicht plötzlich auf und die Lichtstärke ist zusätzlich um mehrere Größenordnungen geringer als die der Sonne.

Dementsprechend ist mit keinen relevanten Blendwirkungen im Bereich der Pferdepension zu rechnen.

6.6 Beobachtungspunkte Ortsrand Sembach

Für den Ortsrand Sembach wurden 3 repräsentative Beobachtungspunkte ausgewählt.

Die folgenden Tabellen zeigen für die unterschiedlichen PV-Flächen:

- die maximale Anzahl der Minuten pro Tag, an denen am jeweiligen Immissionsort mit Blendwirkungen $> 10^5 \text{ cd/m}^2$ zu rechnen ist, also die *Tagessumme der Blenddauer*
- die maximale Anzahl der Stunden pro Jahr, an denen am jeweiligen Immissionsort mit Blendwirkungen $> 10^5 \text{ cd/m}^2$ zu rechnen ist, also die *Jahressumme der Blenddauer*

Tabelle 4: Berechnete maximale Tagessumme und Jahressumme der Blenddauer (Leuchtdichte $> 10^5 \text{ cd/m}^2$) je Immissionsort – Ortsrand Sembach

IO	min pro Tag mit $> 10^5 \text{ cd/m}^2$	h pro Jahr mit $> 10^5 \text{ cd/m}^2$
PV Fläche 1		
5	0	0
6	0	0
7	0	0
PV Fläche 2		
5	0	0
6	0	0

7	0	0
PV Fläche 3		
5	0	0
6	0	0
7	0	0
PV Fläche 4		
5	0	0
6	0	0
7	0	0
PV Fläche 5		
5	0	0
6	0	0
7	0	0
PV Fläche 6		
5	0	0
6	0	0
7	0	0
PV Fläche 7		
5	0	0
6	0	0
7	0	0
PV Fläche 8		
5	0	0
6	0	0
7	0	0
PV Fläche 9		
5	0	0
6	0	0
7	0	0

Gemäß Tabelle 3 ergeben sich keine beurteilungsrelevanten Blendwirkungen an den umgebenden Immissionsorten im Bereich des Ortsrands Sembach durch die 9 PV-Fläche, die jeweils eine Ausrichtung von 201° bzw. 195° aufweisen und 15° gegen die Ebene geneigt sind. Die berechneten Blenddauern verbleiben unterhalb der Erheblichkeitsschwellen für die Blenddauern nach Anlage 2 der LAI-Lichtrichtlinie.

6.7 Beobachtungspunkte Kaserne

Für den Ortsrand Sembach wurden 3 repräsentative Beobachtungspunkte ausgewählt.

Die folgenden Tabellen zeigen für die unterschiedlichen PV-Flächen:

- die maximale Anzahl der Minuten pro Tag, an denen am jeweiligen Immissionsort mit Blendwirkungen $> 10^5 \text{ cd/m}^2$ zu rechnen ist, also die *Tagessumme der Blenddauer*
- die maximale Anzahl der Stunden pro Jahr, an denen am jeweiligen Immissionsort mit Blendwirkungen $> 10^5 \text{ cd/m}^2$ zu rechnen ist, also die *Jahressumme der Blenddauer*

Tabelle 5: Berechnete maximale Tagessumme und Jahressumme der Blenddauer (Leuchtdichte > 10⁵ cd/m²) je Immissionsort – Kaserne

IO	min pro Tag mit > 10 ⁵ cd/m ²	h pro Jahr mit > 10 ⁵ cd/m ²
PV Fläche 1		
8	0	0
9	0	0
10	0	0
PV Fläche 2		
8	2	1
9	0	0
10	0	0
PV Fläche 3		
8	13	13
9	0	0
10	14	5
PV Fläche 4		
8	4	1
9	0	0
10	0	0
PV Fläche 5		
8	14	25
9	14	7
10	23	11
PV Fläche 6		
8	12	13
9	2	0,2
10	12	7
PV Fläche 7		
8	13	13
9	7	2
10	5	4
PV Fläche 8		
8	0	0
9	0	0
10	0	0
PV Fläche 9		
8	10	1
9	0	0
10	0	0

Gemäß Tabelle 3 ergeben sich keine beurteilungsrelevanten Blendwirkungen an den umgebenden Immissionsorten im Bereich der Kaserne durch die 9 PV-Fläche, die jeweils eine Ausrichtung von 201° bzw. 195° aufweisen und 15° gegen die Ebene geneigt sind. Die berechneten Blendauern verbleiben unterhalb der Erheblichkeitsschwellen für die Blendauern nach Anlage 2 der LAI-Lichtrichtlinie.

Bei der Errichtung der vorgesehenen Freiflächen-PV-Anlage auf Grundlage der gemäß aktueller Planung berücksichtigten Ausrichtung und Neigung bestehen aus Sicht des Schutzes von Blendwirkungen durch den geplanten PV-Park gegenüber Nutzern der Landesstraße und der Zufahrt zur Kaserne keine Bedenken. Auch „störende Blendwirkungen“ in Bezug auf die umliegende Wohnnutzungen und gewerbliche Nutzungen (Pferdepension) konnten durch das vorliegende Gutachten ausgeschlossen werden.

7 Zusammenfassung

Die WVE GmbH Kaiserslautern plant östlich von Wartenberg-Rohrbach und unmittelbar südlich der Sembach-Kaserne (ehemals Sembach Air Base der United States Air Force) im Umgriff des Bebauungsplans „Solarpark Heuberg“ eine Freiflächen-PV-Anlage. Südlich befindet sich zudem die Landesstraße L 393 und die Zufahrtsstraße „Heuberg“ zur Sembach-Kaserne. Das Baufeld befindet sich in welligem Gelände und umfasst ca. 18 ha (Fläche des Bebauungsplanumgriffs).

Die Module sollen in Südaufständigung (ca. 195° und 201° gegen Nord) mit einer Neigung von 15° gegen die Ebene aufgestellt werden.

Die WVE GmbH Kaiserslautern plant östlich von Wartenberg-Rohrbach und unmittelbar südlich der Sembach-Kaserne (ehemals Sembach Air Base der United States Air Force) im Umgriff des Bebauungsplans „Solarpark Heuberg“ eine Freiflächen-PV-Anlage. Südlich befindet sich zudem die Landesstraße L 393 und die Zufahrtsstraße „Heuberg“ zur Sembach-Kaserne. Das Baufeld befindet sich in welligem Gelände und umfasst ca. 18 ha (Fläche des Bebauungsplanumgriffs).

Die Module sollen in Südaufständigung (ca. 195° und 201° gegen Nord) mit einer Neigung von 15° gegen die Ebene aufgestellt werden.

Zur Bewertung der Auswirkungen des aktuellen Vorhabens auf die Verkehrssicherheit auf der L 393 und der Zufahrt zur Sembach-Kaserne sollen mit dem vorliegenden Fachgutachten aus Gründen der Verkehrssicherheit mögliche Blendwirkungen durch die Freiflächen-PV-Anlage auf die Führer von Kraftfahrzeugen ermittelt, beschrieben und bewertet werden. Die Bewertung erfolgt anhand vergleichbarer Betroffenheiten (z.B. Flugverkehr).

Weiterhin sind neben diesen möglichen verkehrsgefährdenden Blendwirkungen auch „störende Blendwirkungen“ in Bezug auf die Kaserne auszuschließen. Diese sind nach LAI-Lichtrichtlinie Anlage 2 zu bewerten wie mögliche Blendwirkungen auf die umgebende Bebauung, insbesondere dabei die nahegelegene Pferdepension und den nördlichen Ortsrand von Sembach.

Die Untersuchung der möglichen Blendwirkungen durch die im Geltungsbereich des Bebauungsplans „Solarpark Heuberg“ vorgesehene Freiflächen-PV-Anlage in Wartenberg-Rohrbach ergab:

Bei der Errichtung der vorgesehenen Freiflächen-PV-Anlage auf Grundlage der gemäß aktueller Planung berücksichtigten Ausrichtung und Neigung bestehen aus Sicht des Schutzes von Blendwirkungen durch den geplanten PV-Park gegenüber Nutzern der Landesstraße und der Zufahrt zur Kaserne keine Bedenken. Auch „störende Blendwirkungen“ in Bezug auf die umliegende Wohnnutzungen und gewerbliche Nutzungen (Pferdepension) konnten durch das vorliegende Gutachten ausgeschlossen werden.

Ingenieurbüro Dr. Dröscher

Dr.-Ing. Frank Dröscher

Dr. rer. nat. Christian Geißler

Nina Pohl, M. Eng.

8 Literaturverzeichnis

- /1/ WVE GmbH Kaiserslautern (2023): PVA Wartenberg-Rohrbach: Modulbelegungsplan Photovoltaik - Anlage, Stand November 2023.
- /2/ Sunearthtools (2023): Sonnenstandsberechnungen und -diagramme.
- /3/ Technical Guidance for Evaluating Selected Solar Technologies on Airports Federal Aviation Administration Office of Airports Office of Airport Planning and Programming Airport Planning and Environmental Division (APP-400) 800 Independence Avenue, SW Washington, DC 20591 November 2010/April 2018.
- /4/ European Union Aviation Safety Agency (EASA): Certification Specifications and Guidance Material for Aerodrome Design (CS-ADR-DSN), Issue 6, 29 March 2022 (ED Decision 2022/006/R).
- /5/ Ho, C., Sims, C., Yellowhair, J., Bush, E. (2015:) Solar Glare Hazard Analysis Tool (SGHAT) Technical Reference Manual, Sandia National Laboratories.
- /6/ Ho, C., Sims, C., Yellowhair, J. (2016): Solar Glare Hazard Analysis Tool (SGHAT) User's Manual v. 3.0.
- /7/ Forge Solar (2023): Programm Glare Gauge www.forgesolar.com
- /8/ SSK Strahlenschutzkommission: Blendung durch natürliche und neue künstliche Lichtquellen und ihre Gefahren – Empfehlungen der Strahlenschutzkommission. Bonn 2006.
- /9/ Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) (2012/2015): Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen (LAI Lichtrichtlinie).
- /10/ BAuA – Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, H.-D. Reidenbach, K. Dollinger, G. Ott, M. Janßen, M. Brose: Blendung durch optische Strahlungsquellen. Dortmund/Berlin/Dresden 2008.
- /11/ <https://www.heise.de/ct/artikel/Ergonomie-am-Arbeitsplatz-So-stellen-Sie-Ihren-Monitor-richtig-ein-4449795.html>
- /12/ USGS (2000): Daten der Shuttle Radar Topography Mission.