

Fachgutachten zur Bewertung der Blendwirkung durch Reflexion an PV-Modulen (Blendgutachten)

für die

FF-PVA Eisenbach 3, 79871 Eisenbach



Angaben zur Auftragsbearbeitung

Auftraggeber: iAccess
Oltmannstraße 3
79100 Freiburg

Auftragsnummer: MR240521-01

Auftragnehmer: Maibach & Ronig Architekt + Beratender Ingenieur
PartGmbB
Karthäuserhofweg 31
56075 Koblenz

Projektleiter: Herr Steven Maibach, M.Eng.
Mobil: 0172/91 50 930
E-Mail: steven.maibach@mr-ai.de

Herr Peter Ronig, M.Sc., M.BC.
Mobil: 0171/69 70 630
E-Mail: peter.ronig@mr-ai.de

Bearbeitungsstand	Datum	Änderung
-------------------	-------	----------

Erstellt am:	29.05.2024	
--------------	------------	--

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	4
2. Grundlagen der Strahlentheorie	6
2.1. Geometrische Reflexionssituation	6
2.2. Geometrische Reflexionssituation	8
2.3. Technische Parameter der PV-Anlage	8
3. Beurteilungsgrundlagen	11
3.1. Bewertungsgrundlage	11
3.2. Simulationskriterien und Modellierung	13
3.3. Geländemodell	14
4. Beschreibung der Umgebung	16
5. Beschreibung der PV-Anlage	18
6. Zu betrachtende Immissionsorte	19
6.1. Die Oberbränder Straße	19
6.2. Wohnbebauung	20
6.3. In d. Gass Straße	20
6.4. Jägerweg	20
6.5. Sommerhalde Straße	20
7. Mögliche Maßnahmen zur Verminderung und Vermeidung von Blendwirkungen	21
7.1. Auswahl und Anordnung von Maßnahmen zur Minderung oder Vermeidung von Blendungen	21
8. Simulationsergebnisse	24
8.1. Berechnungsergebnis für die Oberbränder Straße	26
8.2. Berechnungsergebnisse Wohnbebauung	27
8.3. Berechnungsergebnis für die In d. Gass Straße	27
8.4. Berechnungsergebnis für der Jägerweg	28
8.5. Berechnungsergebnis für die Sommerhalde Straße	29
9. Maßnahmen zur Gefahrenabwehr	31
9.1. Maßnahmen zur Blendreduzierung auf der Oberbränder Straße, Sommerhalde Straße und der In d.Gass Straße	31
9.2. Maßnahmen zur Blendreduzierung der Wohnbebauung	33
10. Gefahrenabwägung der Oberbränder Straße	34
10.1. Gefahrenabwägung für die Oberbränder Straße in beide Fahrtrichtungen	38
11. Fazit	42
12. Literaturverzeichnis	44

1. Einleitung

Im folgenden Gutachten wird die durch Reflexionen verursachte Lichtemission einer PV-Freiflächenanlage (- nachfolgend FF-PVA genannt -) und die damit einhergehende durch Blendung ausgelöste Beeinträchtigung der Umgebung untersucht.

Gelegen ist die FF-PVA in der Gemarkung der Gemeinde Eisenbach im Landkreis Breisgau-Hochschwarzwald in Baden-Württemberg. Die Gemeinde Eisenbach (Hochschwarzwald) besteht aus den ehemals selbstständigen Gemeinden Bubenbach, Eisenbach, Oberbränd und Schollach. Die ehemaligen Gemeinden Eisenbach und Oberbränd bestehen nur aus den Dörfern gleichen Namens. Die Lage der FF-PVA ist in Abbildung 1 dargestellt

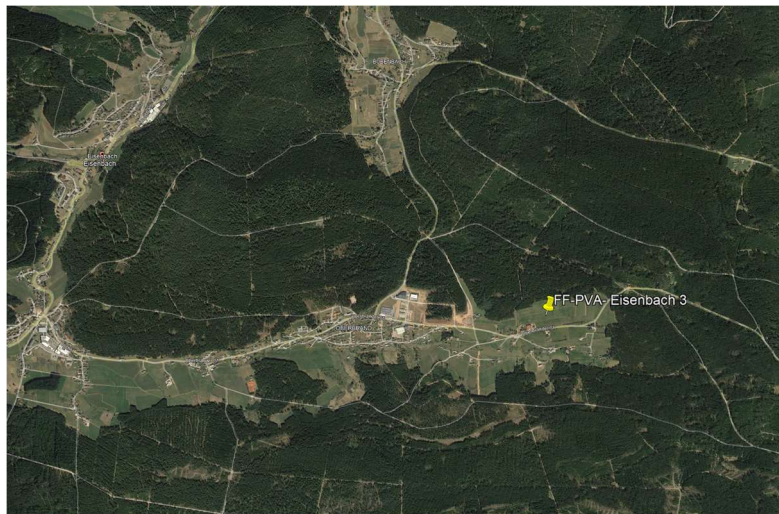


Abb. 1: Lage der PV-Anlage

Die Analyse erfolgt auf Basis der vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Informationen.

Südlich der vorgesehenen Anlage verläuft die Oberbränder Straße. Westlich der geplanten Anlage sowie nördlich und südlich der Oberbränder Straße befinden sich Wohngebäude. Westlich der geplanten Anlage treffen der Jägerweg und die Straße "In der Gass" auf die Oberbränder Straße. Die Straße "In der Gass" endet an der Sommehalde, die sich weiter ausdehnt und am östlichen Ende des geplanten Solarparks in die Oberbränder Straße mündet.

Die Lage der geplanten FF-PVA ist in der nachfolgenden Abbildung 2 dargestellt:

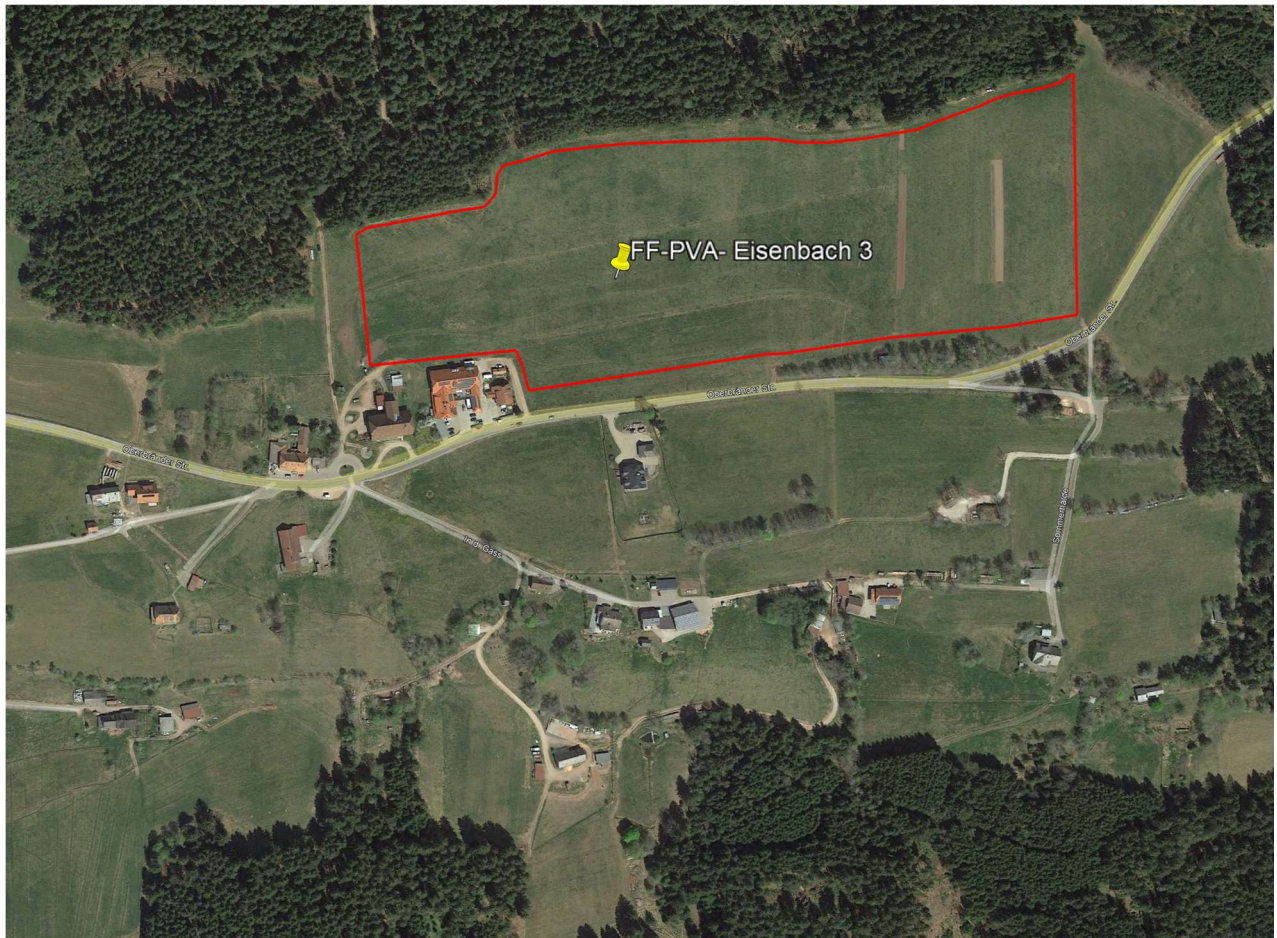


Abb. 2: Lage der geplanten FF-PVA

Die etwaigen Koordinaten des Mittelpunktes der Freifläche im Gesamten sind 47°56'59.23"N und 8°18'34.22"E

2. Grundlagen der Strahlentheorie

In diesem Abschnitt werden die physikalischen Grundlagen zur Berechnung der Lichtemission und die daraus resultierenden Reflexionen bzw. Blendwirkungen erläutert.

2.1. Geometrische Reflexionssituation

Nach dem Reflexionsgesetz ist der Winkel des einfallenden Lichtstrahles bezogen auf die Flächennormale (Senkrecht, Lot zur Fläche) gleich dem Winkel des reflektierenden Strahls zur Normalen ($\alpha=\beta$) (Abbildung 3).

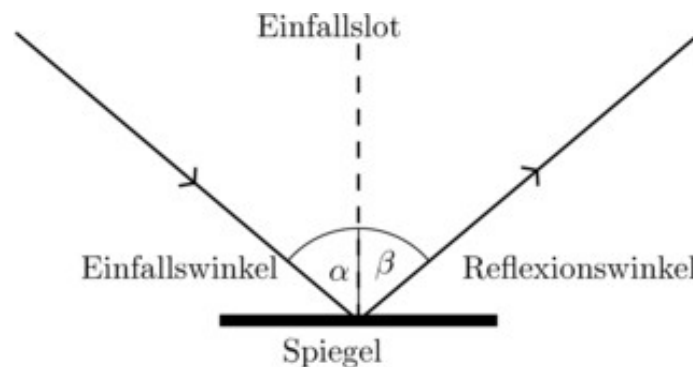


Abb. 3: Reflexion eines Lichtstrahles

Das Reflexionsgesetz gilt grundsätzlich bei Reflexion von Lichtstrahlen, auch wenn die reflektierende Oberfläche nicht eben ist oder diffuses Licht einfällt. In der Realität existiert keine ideale spiegelnde Reflexion. Ein Lichtstrahl wird bei einer realen spekularen Reflexion oder einer unvollkommenen spiegelnden Reflexion aufgespalten und in verschiedene Richtungen gestreut. Dabei entsteht ein vom Betrachtungswinkel v abhängiger Reflexionskegel. Ein weiteres physikalisches Reflexionsmodell ist die ideale oder vollkommene diffuse Reflexion. Dieses Reflexionsmodell beschreibt die perfekte gleichmäßige Streuung eines einfallenden Lichtstrahls in alle Richtungen mit gleicher Intensität. Die folgenden Abbildungen zeigen die Reflexionsphänomene in einer 2D- Ansicht.

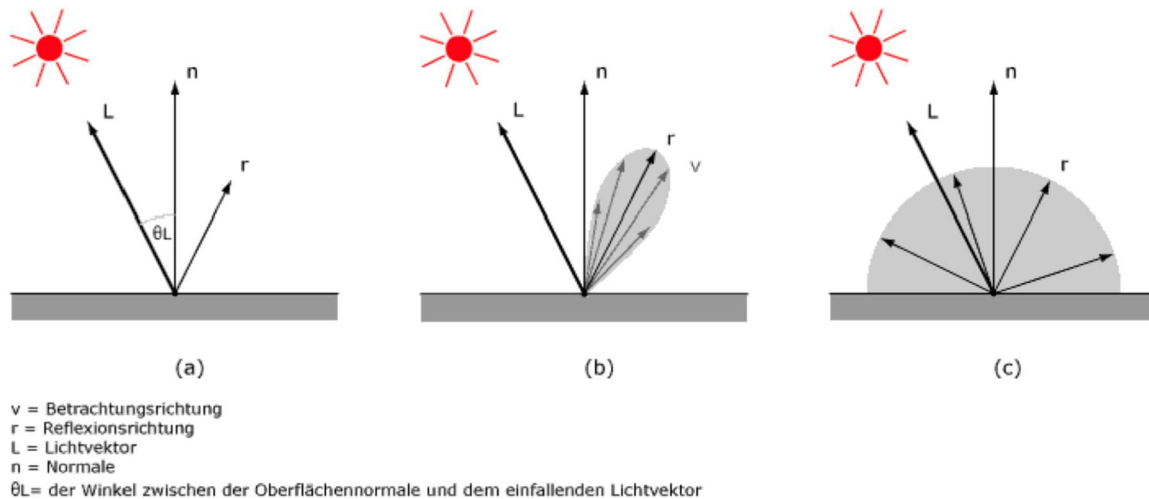


Abb. 4: (a) Ideale spekulare Reflexion, (b) Reale spekulare Reflexion, (c) Ideale diffuse Reflexion

Bei der realen spekularen Reflexion gilt für jeden einzelnen Lichtstrahl am jeweiligen Auftreffpunkt auf der Oberfläche individuell das Reflexionsgesetz.

Trifft das Licht auf eine schwarze und undurchsichtige Oberfläche, so wird es (zum größten Teil) absorbiert. Es wird nur ein sehr geringer Teil des Lichtes reflektiert. So erscheint das Modul, welches mit schwarzen (monokristallinen) bzw. blauen (polykristallinen) Zellen als dunkle Fläche bestückt ist.

Die Streuung der reflektierten Strahlung ist relativ hoch, so dass eine Blendwirkung durch gerichtete (Sonnen-)Strahlung mit zunehmendem Abstand im Allgemeinen nicht als Blendung, sondern als Aufhellung („heller Fleck“) der bestrahlten Oberfläche wahrgenommen wird. Der Kernbereich eines „Strahlenbündels“ (von der Sonne kommende, parallele Lichtstrahlen) ist als helle Fläche auf dem übrigen Bereich des dunklen Moduls wahrzunehmen, die zu keiner Blendung führt. Verschmutzung durch Staub etc. kann zu einer zusätzlichen Streuung des reflektierenden Lichtes führen.

Neben der idealen Reflexion (a), entsprechend dem Brechungsgesetz, ergeben sich durch strukturierte Glasoberflächen weitere Strahlrichtungen. Dabei bildet sich nach dem Lambertschen Gesetz ein weiterer Schwerpunkt in Richtung der Normalen, d.h. senkrecht zur Glasoberfläche verlaufend, aus. Im Falle von aufgeständerten PV-Anlagen ist diese Strahlrichtung nicht relevant, da diese in den Himmel gerichtet sind. Die nichtideale Reflexion (b) beschreibt die Form der Bündelaufweitung. Mit steigendem Differenzwinkel zwischen Reflexionswinkel und Richtung des Betrachters nimmt die Intensität der reflektierten Strahlung stark ab. Für die Untersuchung der Blendwirkung ist daher nur die Richtung der ideal reflektierten Strahlung relevant.

Im Rahmen der vorliegenden Analyse wird die Moduloberfläche entsprechend den Vorgaben der Licht-Leitlinie (Ministerium für Umwelt, 2012) als ideal reflektierend betrachtet.

2.2. Geometrische Reflexionssituation

Zum Aufbau des Deckmaterials der PV-Module liegen keine gesonderten Informationen vor. Photovoltaikmodule zeigen im Hinblick auf Reflexion andere Eigenschaften als alltägliche Glasoberflächen (z.B. PKW-Scheiben, Glasfassaden, Fenster, Gewächshäuser) oder z.B. Oberflächen von Gewässern. Direkt einfallendes Sonnenlicht wird von der Moduloberfläche diffus reflektiert (Abb. 5). Typischerweise kommen bei kristallinen Modulen leicht strukturierte (matt/matt) Einscheibensicherheitsgläser als Frontabdeckung zum Einsatz.

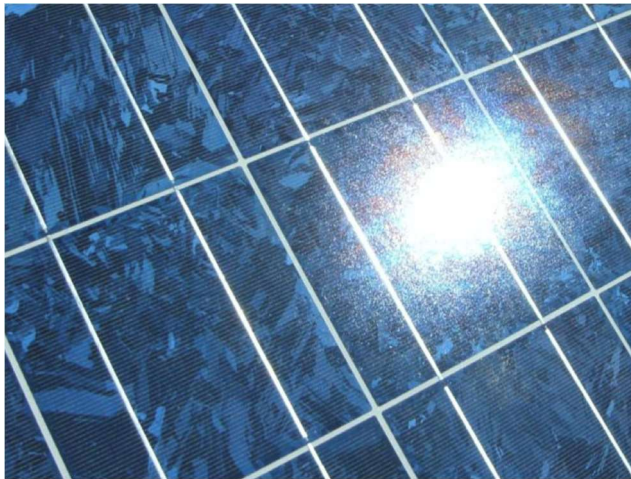


Abb. 5: Diffuse Reflexion von direktem Sonnenlicht

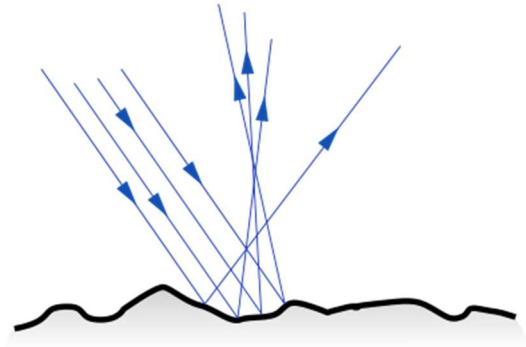


Abb. 6: Streuung der gerichteten Oberfläche

Vereinfacht ausgedrückt nutzen PV-Module das Sonnenlicht zur Erzeugung von Strom. Hersteller von PV-Modulen sind daher bestrebt, dass möglichst viel Licht im PV-Modul absorbiert wird, da nach Möglichkeit das gesamte Licht für die Stromproduktion genutzt werden soll. Um dies zu erreichen, werden Gläser mit möglichst hoher Transmission und niedriger Reflexion verwendet. Die Transmission der Solargläser liegt typischerweise bei 90 – 96%, so dass die Reflexions- und Streuverluste maximal 10% betragen. Allerdings kommt es bei Einfallswinkeln von mehr als 50° zu höheren Reflexionen bis hin zur vollständigen Reflexion bei mehr als 88°.

Die Materialforschung hat mit speziell strukturierten Glasoberflächen (Texturen) und Antireflexionsfolien den Anteil des reflektierten Lichtes bei marktüblichen PV-Modulen auf 1–4% reduzieren können.

2.3. Technische Parameter der PV-Anlage

Die optischen Eigenschaften und die Installation der PV-Module, insbesondere die Ausrichtung und Neigung der PV-Module, sind wesentliche Faktoren für die Berechnung der Reflexion. Die folgenden Zeichnungen (Abb. 7 & 8) zeigen die schematische Konstruktion der Modulinstallation sowie das Verhalten der Sonnenstrahlen bzw. der Reflexionen. Abbildung 7 zeigt den schematischen Aufbau von Modultischen, welche nach Osten bzw. Westen ausgerichtet sind.

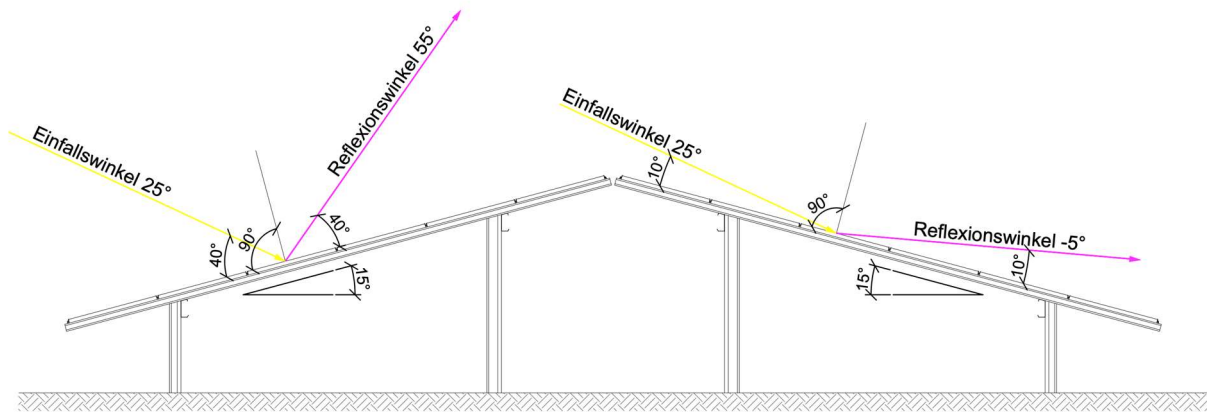


Abb. 7: Konstruktionszeichnung einer Ost-West FF-PVA mit einem Beispiel Sonnenstand von 25°

Abbildung 7 zeigt zeichnerisch, dass der eintreffende Sonnenstrahl (Gelb) orthogonal (rechtwinklig) zur Modulneigung reflektiert wird (Magenta). Dies ist unabhängig vom Einfallswinkel. Je nach Sonnenstand, Modulausrichtung und Modulneigung kann ein eintreffender Sonnenstrahl nach oben oder auch nach unten reflektiert werden. Bei dem oben gezeigten Beispiel wird veranschaulicht, dass ein Sonnenstrahl, welcher aus Westen mit einem Einfallswinkel von 25° (Horizontalen) auf die nach Westen ausgerichtete Modulflächen trifft, mit 55° (Horizontalen) nach oben reflektiert wird. Gleichzeitig wird jedoch ein Sonnenstrahl, der ebenfalls mit einem Einfallswinkel von 25° (Horizontale) auf die nach Osten ausgerichtete Modulfläche trifft, mit einem negativen Winkel von -5° (Horizontale) bzw. nach unten reflektiert wird.

Die folgende Abbildung 8 zeigt die o.g. Eigenschaft bei Modultischen, welche nach Süden ausgerichtet sind. Jedoch ist hier zu beachten, dass es sich hier um unterschiedliche Tageszeiten und damit unterschiedlichen Sonnenständen handelt.

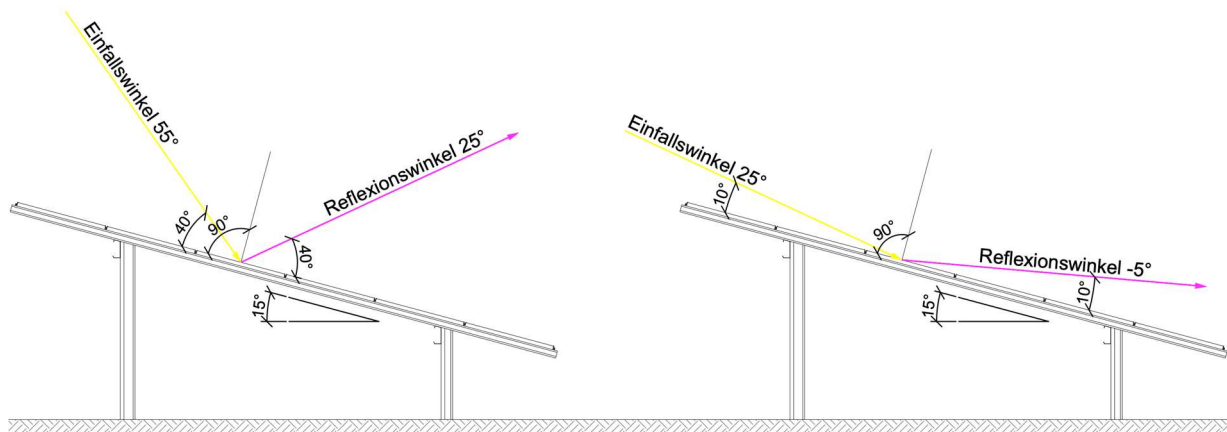


Abb. 8: Konstruktionszeichnung einer Süd FF-PVA mit einem beispielhaften Sonnenstand von 55° und 25°

Zur Untersuchung der Reflexionssituation an den Modulen sind demnach die geometrischen Daten von Bedeutung, die sich aus der Sonnenbahn und der Modulausrichtung ergeben. Die Lage der Modulfläche ist definiert durch die Geländeneigung und die Orientierung und Neigung der Module. Diese geometrischen Daten werden in einem Berechnungsprogramm eingegeben und für den Standort über die Sonnenstände von Sonnenaufgang bis Sonnenuntergang in 1-Minutenschritten über den PV-Modulen ermittelt. Anhand der Azimut- und Höhenwinkel der Sonne über der Modulfläche werden die Azimut- und Höhenwinkel der reflektierten Strahlung berechnet.

Folgende Winkeldefinitionen werden dabei verwendet:

Azimut: 0° = Norden $\rightarrow 90^\circ$ = Osten $\rightarrow 180^\circ$ = Süden $\rightarrow 270^\circ$ = Westen

Höhe: $-90^\circ \rightarrow 0^\circ$ (Horizontlinie) $\rightarrow 90^\circ$

Beispiele hierfür:

- Eine Einstrahlung aus Richtung 270° bedeutet eine Einstrahlung aus Osten
 $\rightarrow$ in der nördlichen Hemisphäre = Abendsonne
- Eine Reflexion aus 135° bedeutet eine Reflexion aus Südosten
- Ein Reflexionswinkel von -5° bedeutet eine Reflexion unterhalb der Horizontlinie
 $\rightarrow$ bei einer auf einem Plateau liegenden PV-Anlage

3. Beurteilungsgrundlagen

3.1. Bewertungsgrundlage

In der Fachliteratur sind hinsichtlich der Beurteilung von Blendeinwirkungen keine belastungsfähigen Beurteilungskriterien validiert und festgelegt. Als Grundlage werden Kriterien von verschiedenen Verwaltungsbehörden wie die Entfernung zwischen FF-PVA und den Immissionspunkten sowie die Dauer der Reflexionen und Einwirkungen, genannt. Für die Beurteilung der Blendungen auf Gebäude und anschließenden Außenflächen wird in Fachkreisen die von der Bund-/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) veröffentlichte Richtlinie „Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen“ vom 13.09.2012 herangezogen. Die Auswirkung einer Blendung auf die Nachbarschaft kann demnach, wie der periodische Schattenwurf von Windenergieanlagen betrachtet werden. Schwellenwerte für eine entsprechende Einwirkdauer der Blendungen auf Gebäude und anschließende Außenflächen werden entsprechend der WEA-Schattenwurf-Hinweise festgelegt.

Schutzwürdige Räume im Sinne dieser Hinweise sind:

- Wohnräume, einschließlich Wohndielen
- Schlafräume, einschließlich Übernachtungsräume in Beherbergungsstätten und Bettenräume in Krankenhäusern und Sanatorien
- Unterrichtsräume in Schulen, Hochschulen und ähnlichen Einrichtungen
- Büroräume, Praxisräume, Schulungsräume und ähnliche Arbeitsräume

An Gebäuden anschließende Außenflächen (z.B. Terrassen und Balkone) sind schutzwürdigen Räumen zwischen 6:00 Uhr und 22:00 Uhr gleichgestellt. Zusätzlich sind unbebaute Flächen in einer Bezugshöhe von 2 m über Grund an dem am stärksten betroffenen Rand der Flächen, auf denen nach Bau- oder Planungsrecht Gebäude mit schutzwürdigen Räumen zugelassen sind, schützenswert.

Ob es an einem Immissionsort im Jahresverlauf überhaupt zu einer Blendung kommt, hängt von der Lage des Immissionsorts zur Photovoltaikanlage ab. Dadurch lassen sich nach der LAI einige Immissionsorte ohne genauere Prüfung schon im Vorfeld ausklammern:

- Immissionsorte, die sich weiter als ca. 100 m von einer Photovoltaikanlage entfernt befinden (Abbildung 9), erfahren erfahrungsgemäß nur kurzzeitige Blendwirkungen. Lediglich bei ausgedehnten Photovoltaikparks könnten auch noch weiter entfernte Immissionsorte relevant sein.
- Immissionsorte, die überwiegend nördlich von einer Photovoltaikanlage gelegen sind (Abbildung 10), sind in der Regel ebenfalls unproblematisch. Eine genauere Betrachtung ist im Wesentlichen nur dann erforderlich, wenn der Immissionsort vergleichsweise hoch liegt (z. B. bei Hochhäusern) und/oder die Photovoltaikmodule besonders flach angeordnet sind.
- Immissionsorte, die vorwiegend südlich von einer Photovoltaikanlage gelegen sind (Abbildung 11), brauchen nur bei Photovoltaik-Fassaden (senkrecht angeordnete Photovoltaikmodule) berücksichtigt zu werden.

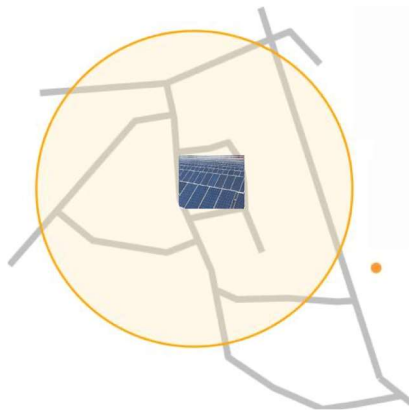


Abb. 9: Immissionsort weiter als 100 m



Abb. 10: Immissionsort nördlich der PVA



Abb. 11: Immissionsort südlich der PVA

Hinsichtlich einer möglichen Blendung kritisch sind Immissionsorte, die in erster Linie westlich oder östlich einer Photovoltaikanlage liegen und nicht weiter als ca. 100 m von dieser entfernt sind. Hier kann es im Jahresverlauf zu ausgedehnten Immissionszeiträumen kommen, die als erhebliche Belästigung der Nachbarschaft aufgefasst werden können.

Wenn anzunehmen ist, dass einer der o.g. Räume oder Außenflächen von Blendung betroffen sein können, muss überprüft werden, ob die Beeinträchtigung bzw. Belästigung in einem übermäßigen Maße stattfindet. Wie bereits zuvor erwähnt, bestehen hierfür noch keine speziellen gesetzlichen Regelungen. Der Gesetzgeber leitet die LAI-Richtlinie aus den Bewertungsgrößen aus dem Hinweispapier für Windenergieanlagen ab, welche derzeit wie folgt formuliert ist:

*„Gegenwärtig wird davon ausgegangen, dass eine erhebliche Belästigung im Sinne des BImSchG durch die maximale mögliche astronomische Blenddauer unter Berücksichtigung aller umliegenden Photovoltaikanlagen vorliegt, wenn diese **mindestens 30 Minuten am Tag oder 30 Stunden pro Kalenderjahr** beträgt.“*

Liegt die Blenddauer unterhalb dieser Grenzwerte, gilt die Belästigung als allgemein hinnehmbar.

Neben den schutzwürdigen Räumen muss überprüft werden, ob die auftretende Blendung die Sicherheit von folgenden Bereichen gefährdet:

- Straßenverkehr
- Schienenverkehr
- Schifffahrtsverkehr
- Verkehrssicherheit (Luft)

Tritt in einem dieser Bereiche eine Blendung auf, können selbst wenn sie nur kurzzeitig stattfindet, schwerwiegende Folgen auftreten.

Es sollte deshalb beim Auftreten von Blendung im Verkehrsbereich mit der Behörde und den Beteiligten eine Risikoanalyse und Gefährdungsbeurteilung vorgenommen werden, um ggf. Blendschutzmaßnahmen vorzunehmen.

3.2. Simulationskriterien und Modellierung

Das verwendete Simulationstool berechnet aus den lokalen Sonnenständen die Einfallswinkel auf die Module, bzw. Modulreihen. Aus den in Kapitel 4 dargestellten Grundlagen errechnet die Software zu jedem Emissionsort die maximal tägliche und die gesamte jährliche Immission. Hierbei wird lediglich die ideale Reflexion berücksichtigt. Durch die relative Lage im Raum von PV-Modulen und zur untersuchenden Fläche/Position kann geprüft werden, ob der reflektierende Sonnenstrahl eine Beeinträchtigung von schutzwürdigen Räumen oder eine Gefährdung der Verkehrssicherheit zur Folge hat.

Bei den Berechnungen wurden gemäß LAI folgende Annahmen berücksichtigt:

- Die Sonne ist punktförmig
- Die Auflösung der Simulation ist minütlich
- Für spiegelnde Oberflächen kann das Reflexionsgesetz „Einfallswinkel gleicht Ausfallwinkel“ angewendet werden
- Die Sonne scheint von ihrem Aufgang bis zu ihrem Untergang
- Bewölkung und bedeckter Himmel sind hierbei nicht berücksichtigt. Die Berechnung liefert somit die astronomisch maximal möglichen Immissionszeiträume
- Bei streifendem Lichteinfall auf die spiegelnde Fläche dominiert der direkte Blick in die Sonne die Blendwirkung. Erst ab einem Differenzwinkel von mehr als 10° kommt es zu einer zusätzlichen Blendung durch die Blendlichtquelle

Eine wesentliche Voraussetzung für das Auftreten einer Blendung ist eine Sichtverbindung zwischen dem Beobachter und der Blendlichtquelle.

Sollten sicherheitsrelevante Bereiche wie z.B. der Straßen-, Schienen- oder Schiffsverkehr in Sichtverbindung zu der geplanten FF-PVA liegen, ist die zusätzliche Betrachtung von unterschiedlichen Verkehrsteilnehmern notwendig. Hierzu kann die oben erwähnte Software unterschiedliche Teilnehmer bzw. unterschiedlich hohe Immissionsorte simulieren. Zum Beispiel ermöglicht die Software die Differenzierung zwischen Personenkraftfahrzeugen (PKW) und Lastkraftwagen (LKW). Zum besseren Verständnis zeigen die Abbildungen 12 und 13 unterschiedliche Verkehrsteilnehmer.

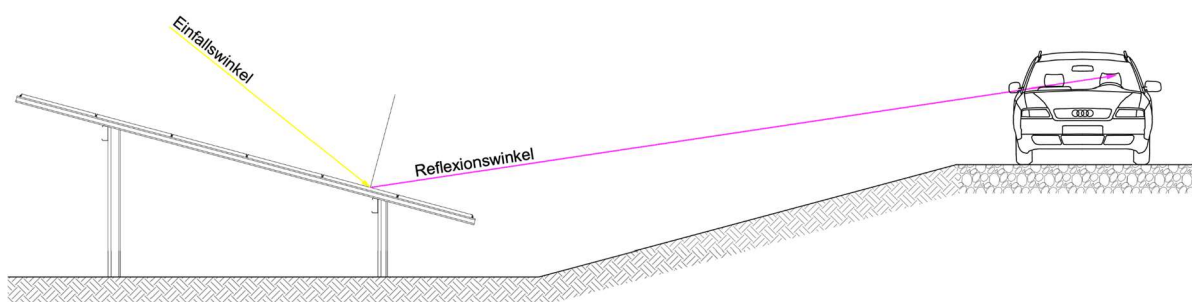


Abb. 12: Blendung eines PKW-Führers (Quelle: Maibach & Ronig)

Abbildung 12 zeigt die Blendung eines PKW-Führers bei einem flachen Sonneneinfallswinkel. Mit steigendem Sonnenwinkel ist jedoch davon auszugehen, dass die Reflexionsstrahlen über das Fahrzeug hinweg abstrahlen und somit keine Gefahr für PKW-Führer bestehen wird. Jedoch zeigt Abbildung 13, wie sich ein steigender Sonnenwinkel auf LKW-Führer auswirkt.

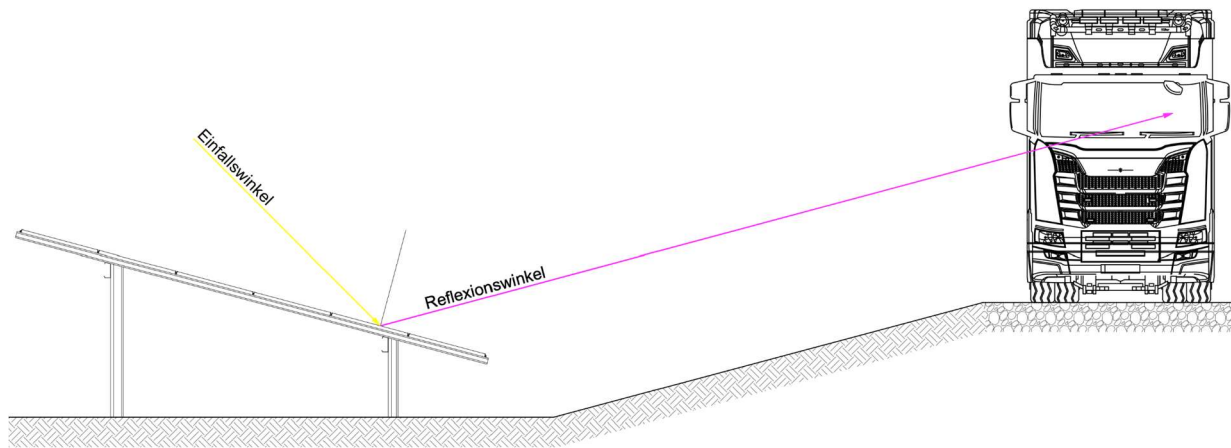


Abb. 13: Blendung eines LKW-Führers (Quelle: Maibach & Ronig)

Die Abbildung veranschaulicht, dass ein Reflexionsstrahl, welcher für PKW-Führer nicht störend ist, für andere Verkehrsteilnehmer, in diesem Fall einem LKW-Führer, sehr wohl Gefahrenpotential birgt.

3.3. Geländemodell

Um die Topografie des Geländes in der Simulationssoftware korrekt darzustellen, werden je nach Gefährdungspotential und Anforderung unterschiedliche topografische Datensätze verwendet:

- Bei dem Geländemodell von **Google-Earth** liegen die wirklich ermittelten Geländehöhen in einem Raster von mehr als 30 m. Die Fläche zwischen den Messpunkten wird interpoliert, was zu starken Abweichungen zwischen CAD-Modell und Realität führen kann. Diese Daten sind frei zugänglich. → Diese Datensätze kommen lediglich dann zur Anwendung, wenn von keiner oder einer nur sehr geringen Blendung von schutzwürdigen Räumen auszugehen ist (z.B. ist dies der Fall, wenn ein Solarpark von hohen Bäumen/ Sträuchern umgeben ist und/oder die Entfernung zu schutzwürdigen Räumen größer als 100 m ist). Zusätzlich muss eine Bilddokumentation vorliegen, welche aufzeigt, dass mit keinen großen Geländesprüngen zu rechnen ist.
- Bei den **SRTM-Daten** von National Aeronautics and Space Administration (NASA) handelt es sich um Fernerkundungsdaten der Erdoberfläche, welche bei der STS-99 Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) im Februar 2000 aus dem Weltraum aufgezeichnet wurden. Die kompletten Daten mit einer Auflösung von einer Bogensekunde (ca. 30 m) sind frei verfügbar. → Diese Datensätze kommen zur Anwendung, wenn von einer geringen bis mittleren Blendung von schutzwürdigen Räumen auszugehen ist und im Vorfeld eine Begehung des Geländes erfolgt ist, oder eine aussagekräftige Bilddokumentation vorliegt.

- Höhenkoordinaten aus dem **UTM-Koordinatensystem** der Kataster- und Vermessungsämter sind Datensätze, die in einer Auflösung von 1m x 1m bei dem jeweiligen Kataster- und Vermessungsamt käuflich erworben werden können → Diese Daten kommen zur Anwendung, wenn die Möglichkeit besteht, dass Gefahrensituationen durch auftretende Blendungen verursacht werden. Dies ist z.B. der Fall, wenn der Solarpark in der Nähe von Verkehrswegen jeglicher Art liegt. Außerdem werden diese Daten verwendet, wenn sich schutzwürdige Räume in unmittelbarer Nähe zum Solarpark befinden. Zusätzlich erfolgt eine Begehung des Geländes oder es liegt eine ausführliche und aussagekräftige Bilddokumentation vor.

4. Beschreibung der Umgebung

Im Folgenden werden die für die Begutachtung relevanten Gegebenheiten der Umgebung näher erläutert.



Abb. 14 Blick auf die Solarparkfläche von der Oberbränder Straße in Richtung Nord-Ost

Die Abbildung 14 zeigt die für die Planung vorgesehene Freifläche für die FF-PVA Eisenbach 3 mit Blick Richtung Westen und die Oberbränder Straße. Die Solarparkfläche befindet sich auf gleichem Höhenniveau wie die Oberbränder Straße.



Abb. 15: Blick auf die FF-PVA in westliche Richtung

Abbildung 15 zeigt die für die Planung vorgesehene Freifläche für die FF-PVA Eisenbach 3, die Oberbränder Straße mit Verlauf nach Westen so wie die westlich zur Freifläche angesiedelte Wohnbebauung. Auch die südlich zur Freifläche liegende Wohnbebauung und der Knotenpunkt, auf den Straße „In der Gass“, der Jägerweg und die Oberbränder Straße zusammentreffen, sind auf der Abbildung 15 ersichtlich und weist das Gefälle Richtung Süden auf.



Abb. 16: Blick auf die Solarparkfläche von der Oberbränder Straße in Richtung Osten

Abbildung 16 zeigt die etwa 10 Meter hohe Baumreihe. Da es sich bei der Abbildung um eine Aufnahme in den Wintermonaten handelt, sind die Bäume kahl. In der Abbildung ist ebenfalls die Sommerhalde Straße zu sehen, die sich parallel verlaufend bis zum östlichen Ende des Solarparks erstreckt und in die Oberbränder Straße mündet.

5. Beschreibung der PV-Anlage

Im folgenden Kapitel werden der Aufbau und die verwendeten Komponenten der geplanten PV-Anlage, welche für eine Bewertung der Blendemissionseigenschaften notwendig sind, näher erläutert. Die nachfolgende Abbildung 17 zeigt das PV-Layout.



Abb. 17: PV-Layout der geplanten Photovoltaikanlage

Zu sehen ist die Lage der Modulreihen, dessen PV-Module mit einem Azimutwinkel von 173° (Süd) ausgerichtet sind. Die Traufhöhe des geplanten Modultisches liegt bei 0,80 m über der Geländeoberkante (GOK), während die Firsthöhe des Modultisches bei 2,47m über Geländeoberkante liegt.

Die für die Untersuchung der Reflexion wesentlichen Parameter der FF-PVA sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

Unterkonstruktion	Modultische, fest aufgeständert
Traufhöhe	0,80 m
Firsthöhe	2,47 m
Ausrichtung (Azimut)	173° (Süd)
Horizontale Ausrichtung	20°
Standort	47°56'59.23"N/ 8°18'34.22"E

6. Zu betrachtende Immissionsorte

Für die Erstellung des Blendgutachtens sind fünf wesentliche Immissionsbereiche zu berücksichtigen und zu bewerten. einer dieser Bereiche (Die Wohnbebauung) kann nach den Vorgaben der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) geprüft bzw. bewertet werden. Die Bereiche sind jedoch von entscheidender Bedeutung, um potenzielle Blendwirkungen angemessen zu bewerten und geeignete Maßnahmen zur Vermeidung von Blendung zu entwickeln. Die Berücksichtigung und Bewertung dieser fünf Bereiche (Abb. 18, blau, grün, gelb Magenta, Hellblau umrandet) ist von entscheidender Bedeutung, um sicherzustellen, dass die geplante Photovoltaikanlage (Abb. 18, rot umrandet) keine schädlichen Blendwirkungen verursacht und die Interessen aller betroffenen Parteien angemessen berücksichtigt werden.

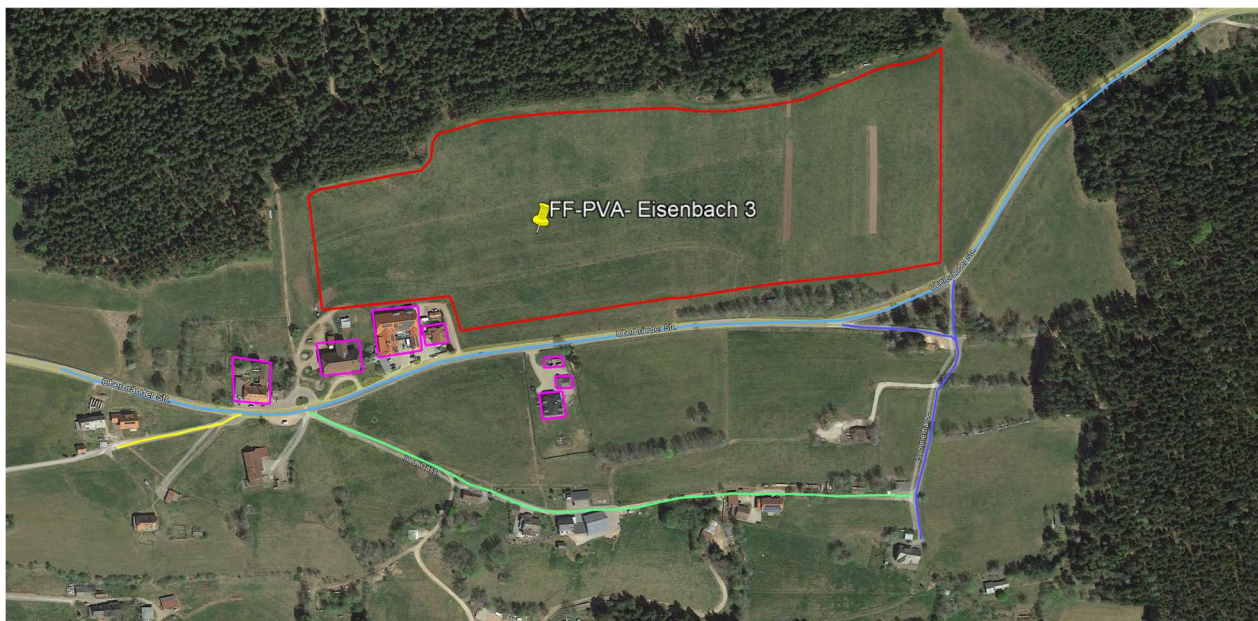


Abb.18: Lage FF-PVA und Immissionsort

6.1. Die Oberbränder Straße

Der erste zu untersuchende Bereich ist die Oberbränder Straße (vgl. Abbildung 18, Hellblau), welche südlich der geplanten FF-PVA verläuft. Hierbei handelt es sich um eine wichtige Verkehrsverbindung, deren Blendwirkungen aufgrund von vorbeifahrenden Fahrzeugen oder direkter Sonneneinstrahlung auf die Straße von Relevanz sein können. Die Analyse dieses Bereichs wird es ermöglichen, geeignete Maßnahmen zur Blendminderung im Straßenverkehr zu entwickeln und so die Sicherheit der Verkehrsteilnehmer zu gewährleisten, falls Blendungen auftreten.

6.2. Wohnbebauung

Der zweite Bereich betrifft die Wohnbebauung (vgl. Abbildung 18, Magenta), die im Westen und Süden des zukünftigen Solarparks liegt. Hier werden lediglich die Gebäude betrachtet, welche der Wohnnutzung dienen und schützenswerte Räume aufweisen.

Hierbei sind insbesondere die Auswirkungen der Sonnenreflexion auf angrenzende Gebäude, Straßen und Arbeitsplätze von Bedeutung. Die Bewertung dieses Bereichs ermöglicht es, geeignete Maßnahmen zur Blendminderung für die dort tätigen bzw. wohnenden Personen und die umliegende Infrastruktur zu entwickeln.

6.3. In d. Gass Straße

Der dritte zu untersuchende Bereich ist die Straße "In der Gass" (vgl. Abbildung 18, grün), die auf den Knotenpunkt hinter der am Ende des Solarparks liegenden Wohnbebauung zuläuft und auf den Jägerweg so wie die Oberbränder Straße trifft. Diese Straße stellt eine wichtige Verkehrsverbindung dar, bei der Blendwirkungen durch vorbeifahrende Fahrzeuge oder direkte Sonneneinstrahlung relevant sein können. Die Analyse dieses Bereichs wird es ermöglichen, geeignete Maßnahmen zur Minderung von Blendwirkungen im Straßenverkehr zu entwickeln und so die Sicherheit der Verkehrsteilnehmer zu gewährleisten, falls Blendungen auftreten.

6.4. Jägerweg

Der vierte zu untersuchende Bereich ist der Jägerweg (vgl. Abbildung 18, gelb), der ebenfalls am westlichen Ende des geplanten Solarparks auf die Straße "In der Gass" und die Oberbränder Straße trifft. Diese Straße stellt ebenfalls eine wichtige Verkehrsverbindung dar, bei der Blendwirkungen durch vorbeifahrende Fahrzeuge oder direkte Sonneneinstrahlung relevant sein können. Die Untersuchung dieses Bereichs wird es ermöglichen, geeignete Maßnahmen zur Minderung von Blendwirkungen im Straßenverkehr zu entwickeln und so die Sicherheit der Verkehrsteilnehmer zu gewährleisten, falls Blendungen auftreten.

6.5. Sommerhalde Straße

Der fünfte zu untersuchende Bereich ist die Sommerhalde Straße (vgl. Abbildung 18, blau), die südlich der geplanten FF-PVA verläuft. Die Straße "In der Gass" endet an der Sommerhalde, welche weiter verläuft und am östlichen Ende des geplanten Solarparks in die Oberbränder Straße mündet. Hierbei handelt es sich ebenfalls um eine wichtige Verkehrsverbindung, bei der Blendwirkungen durch vorbeifahrende Fahrzeuge oder direkte Sonneneinstrahlung relevant sein können. Die Analyse dieses Bereichs wird es ermöglichen, geeignete Maßnahmen zur

Minderung von Blendwirkungen im Straßenverkehr zu entwickeln und so die Sicherheit der Verkehrsteilnehmer zu gewährleisten, falls Blendungen auftreten.

7. Mögliche Maßnahmen zur Verminderung und Vermeidung von Blendwirkungen

Nach dem LAI gibt es bei der Maßnahmenplanung kein allgemein gültiges Vorgehen. Art und Umfang geeigneter Maßnahmen hängen immer von der konkreten Standortsituation vor Ort ab. In jedem Fall ist eine sorgsame Planung im Vorfeld sinnvoll, da Maßnahmen im Nachhinein - beispielsweise die Veränderung des Neigungswinkels oder die Installation einer Abschirmung - kostenaufwendig sind.

Maßnahmen zur Minderung oder Vermeidung von Blendungen können neben baulichen Änderungen an der FF-PVA selbst, folgende Maßnahmen beinhalten:

- Unterbindung der Sicht auf das Photovoltaikmodul in Form von Wällen oder blickdichtem Bewuchs in Höhe der Moduloberkante
- Optimierung von Modulaufstellung bzw. Ausrichtung oder Neigung
- Einsatz von Modulen mit geringem Reflexionsgrad

7.1. Auswahl und Anordnung von Maßnahmen zur Minderung oder Vermeidung von Blendungen

Wie bereits erwähnt ist die Lage der Immissionsorte ein entscheidender und nicht zu vernachlässigender Faktor. Im Zusammenspiel mit dem Sonnenstand, Ausrichtung der Modultische und Position im Gelände können unterschiedliche Gefahrenpotentiale entstehen. Abbildung 19 stellt die Blendung (Roter Strahl) eines vorbeifahrenden PKWs dar.

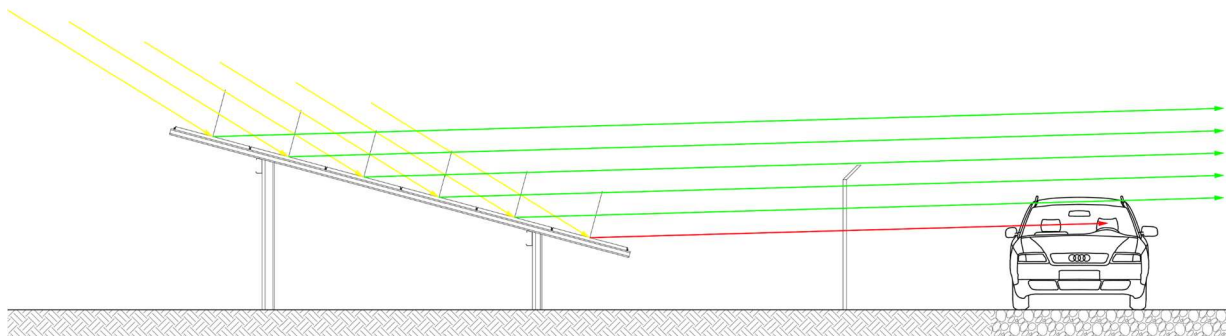


Abb.19: Darstellung Blendung eines PKWs

Als Gegenmaßnahme wird in Abbildung 20 ein blickdichtes, luftdurchlässiges textiles Gewebe an dem Zaun des Solarparks angebracht.

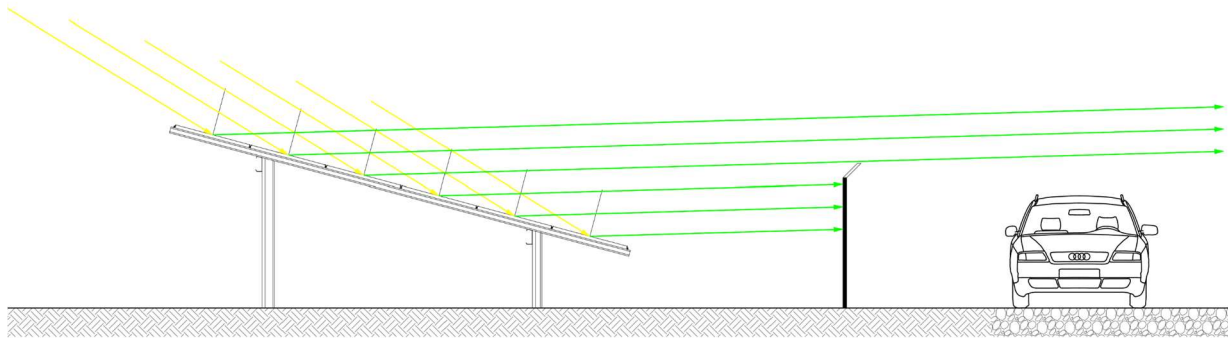


Abb.20: Geplante Gegenmaßnahme zu Abb. 19

Die in Abbildung 20 getroffene Maßnahme führt dazu, dass Führer von PKWs nicht mehr geblendet werden. Jedoch berücksichtigt diese Maßnahme nicht alle Verkehrsteilnehmer. Daher Betrachtet Abbildung 21 die gleiche Situation jedoch hinsichtlich eines vorbeifahrenden LKW.

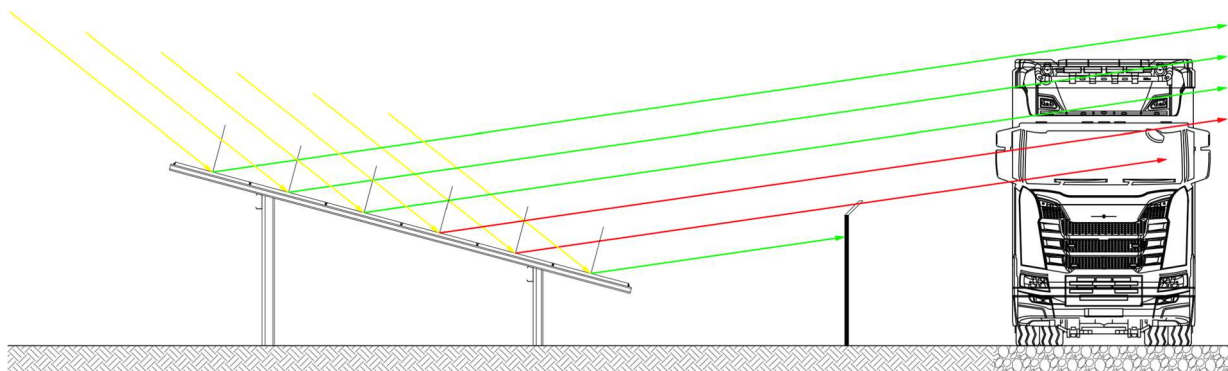


Abb.21: Gegenmaßnahme aus Abb. 20 für LKW wirkungslos

Die Abbildung 21 zeigt, dass die getroffene Maßnahme keine ausreichende Wirkung zeigt, da weiterhin Verkehrsteilnehmer einer Gefahrensituation ausgesetzt sein können. Daher wird in Abbildung 22 eine andere Gegenmaßnahme gezeigt.

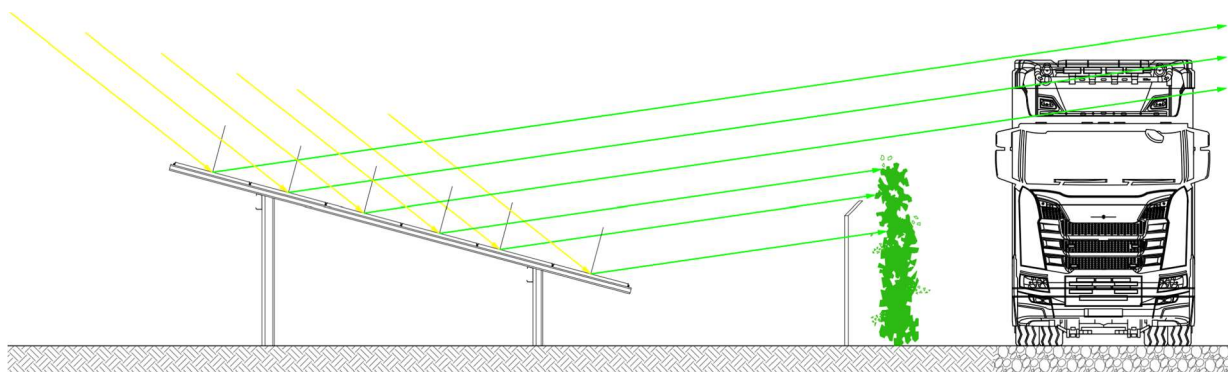


Abb.22: Erfolgreiche Gegenmaßnahme aus Abb. 21 für LKW

Durch die Verwendung von textilen Geweben am Solarparkzaun können Gefahrensituationen vermieden werden. Da Einfriedungen im Normalfall nicht höher als 2,0 m ausgeführt werden, ist in dieser Situation jedoch ein anderer Lösungsansatz notwendig. Daher wurden in Abbildung 22 Gehölzstrukturen angebracht bzw. simuliert, welche höher sein müssen als der

geplante Zaun. Diese Maßnahme führt dazu, dass keine Reflexionsstrahlen auf die Verkehrsteilnehmer treffen.

Die Abbildungen 23 bis 24 zeigen eine ähnliche Situation wie zuvor. Jedoch besteht in dieser Situation ein Höhenunterschied zwischen Solarpark und Immissionsorten. Diese weitere Darstellung soll verdeutlichen, mit welcher Komplexität die Software unterschiedliche Gefahrensituation ermittelt.

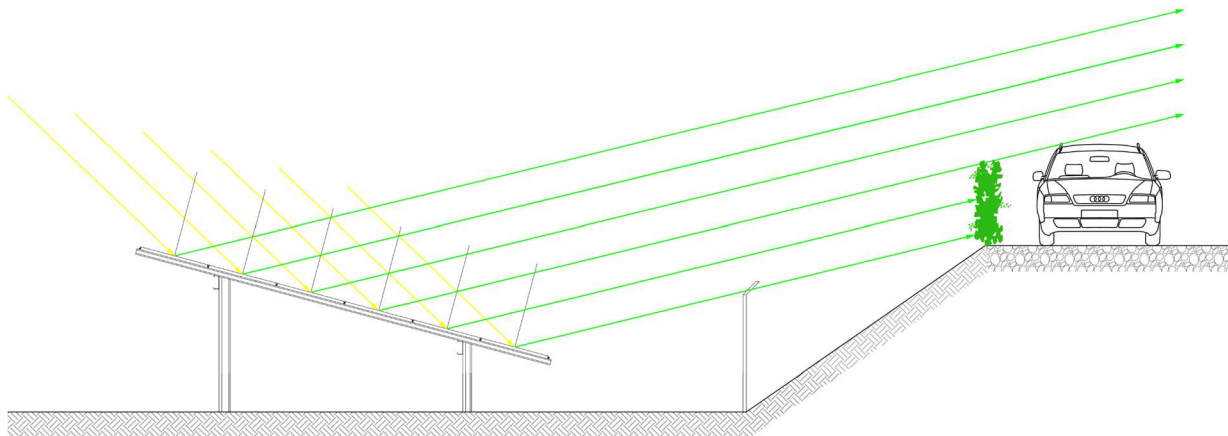


Abb.23: Gegenmaßnahme für PKWs

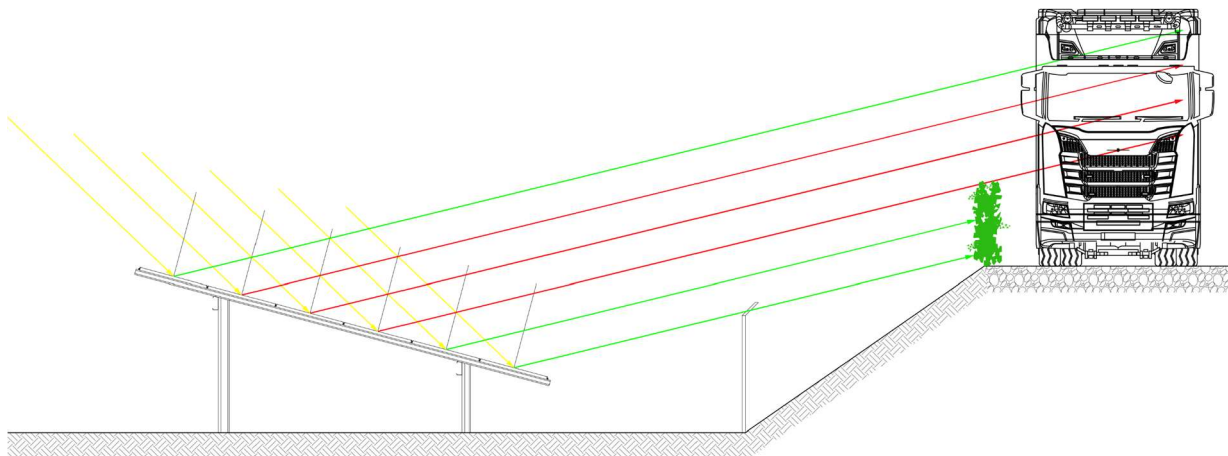
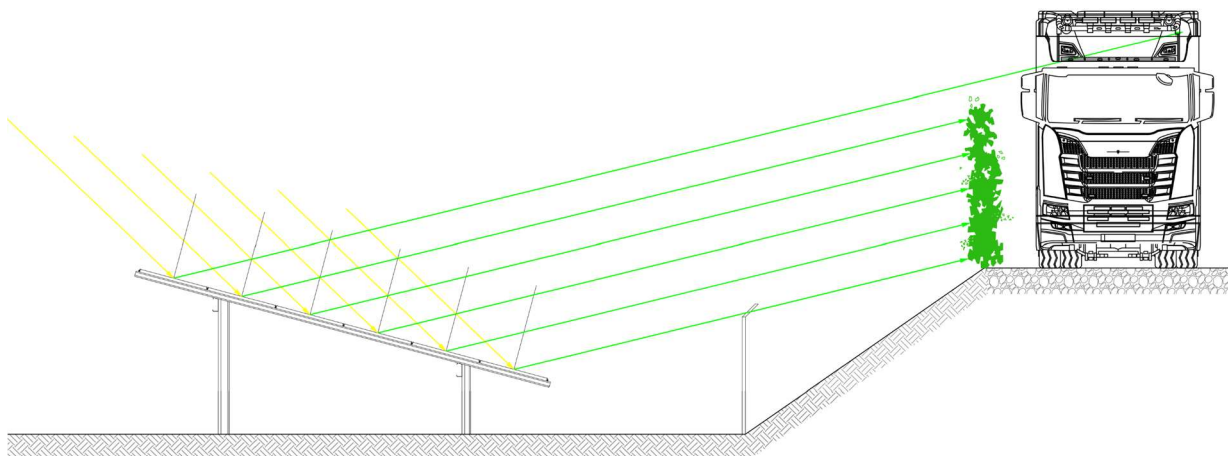


Abb.24: Wirkung der Gegenmaßnahme aus Abb. 23 bei LKW



Durch die Aufnahme des Geländemodells sowie der FF-PVA in die Simulationssoftware wird exakt ermittelt, wie hoch Gegenmaßnahmen ausgeführt werden müssen, damit keine Gefahrensituationen entstehen.

8. Simulationsergebnisse

Die vorliegende Untersuchung basiert auf umfangreichen Simulationsergebnissen, die mithilfe der Software IMMI 2023 erzielt wurden. Ergeben sich aus der Simulation Zeiten mit Blendung, erfolgt eine detaillierte Aussage zur maximalen Einwirkdauer sowie Datum und Uhrzeit der Blendwirkung. Die Betroffenheit innerhalb des ermittelten Blendintervalls ist dabei jedoch nicht kontinuierlich. Sie beschreibt die Grenzen des frühest- bzw. spätestmöglichen Auftretens von Minuten mit einer potenziellen Blendwirkung. Außerhalb der ermittelten Intervalle kann daher von Blendfreiheit auf Basis des Reflexionsgesetzes und des astronomischen Sonnenstandes ausgegangen werden.

Die Ergebnisse für die jeweiligen Messpunkte sind in Minuten pro Jahr angegeben und werden in drei Kategorien unterteilt:

- Grün = keine bis geringe Blendung
- Gelb = geringe Blendung
- Rot = mittlere bis starke Blendung

Das Simulationsergebnis bzgl. der Blendwirkung des PV-Anlagenlayouts aus Abbildung 17 wird in Abbildung 26 und Abbildung 27 aufgezeigt.

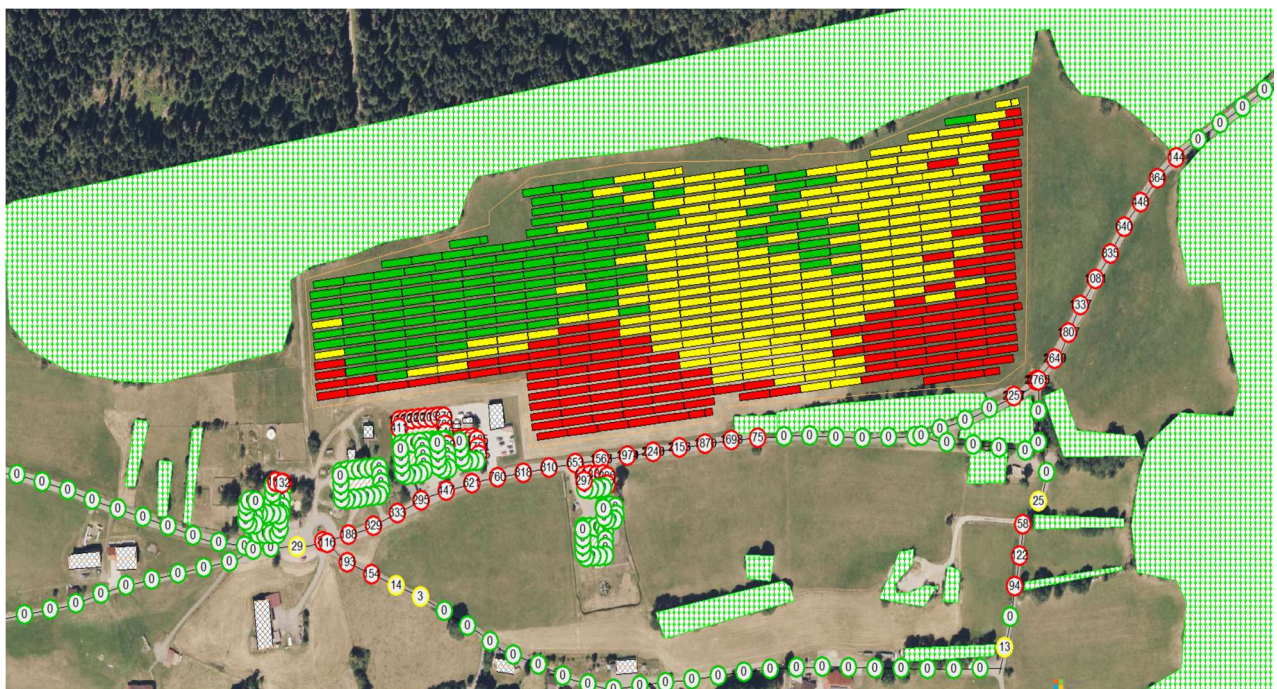


Abb. 26: Ergebnis der Blendberechnung

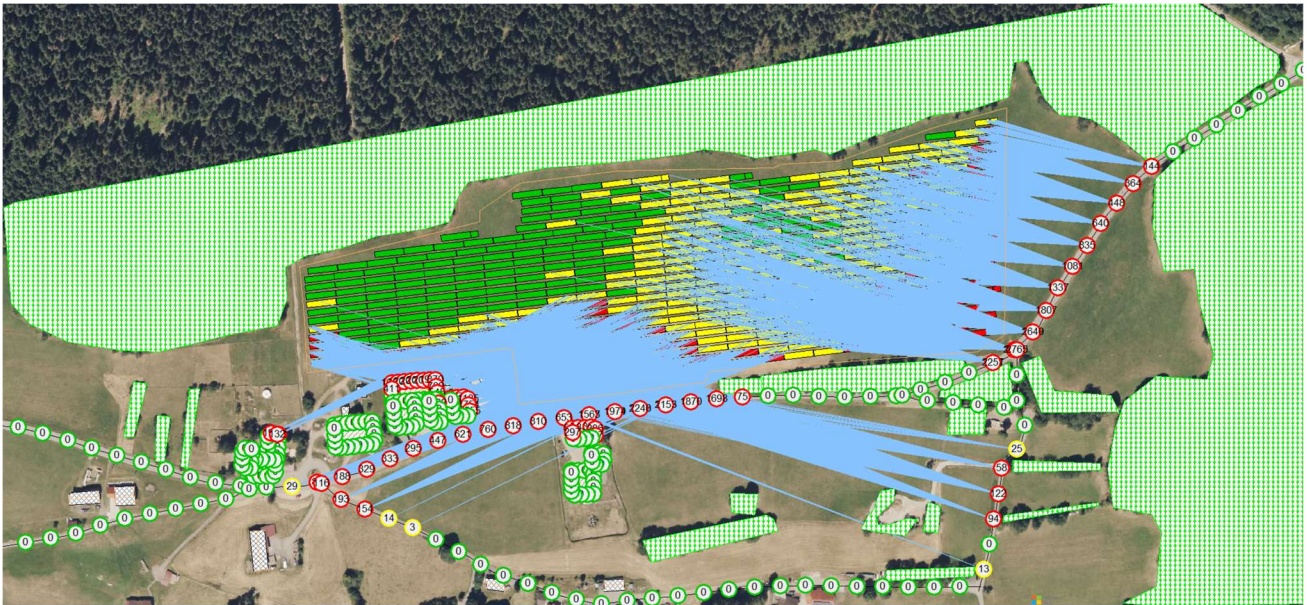


Abb. 27: Ergebnis der Reflexionsstrahlenberechnung

In Abbildung 26 und Abbildung 27 ist sowohl der geplante Solarpark als auch die Positionen der Messstandorte für die Emissionswerte dargestellt. Die farbliche Kennzeichnung in dieser Abbildung dient dazu, Informationen über Blendwirkungen aufzuzeigen, und zwar sowohl bezogen auf die Position und Ausrichtung der Solarmodule als auch bezogen auf die Emissionsstandorte.

Position und Ausrichtung der Solarmodule:

- Solarmodule, deren Position und Ausrichtung keine Blendungen verursachen, sind in grüner Farbe gekennzeichnet
- Solarmodule, die potenziell zu geringfügigen bis mäßigen Blendungen führen können, sind in gelber Farbe gekennzeichnet
- Solarmodule, die zu erheblichen Blendungen führen können, sind in roter Farbe markiert

Emissionsstandorte:

- Messstandorte, an denen keine Blendung festgestellt wurde, sind ebenfalls grün markiert
- Messstandorte, an denen leichte bis mäßige Blendungen errechnet wurden, sind gelb gekennzeichnet
- Messstandorte, an denen erhebliche Blendungen festgestellt wurden, sind in rot markiert

Die farbliche Abstufung ermöglicht eine schnelle und klare Identifizierung von Bereichen, in denen Blendungsprobleme auftreten können, so wie von Bereichen, die unauffällig sind. Sie erleichtert die gezielte Entwicklung von Blendminderungsmaßnahmen und unterstützt die Planung und Umsetzung des Solarparks in Übereinstimmung mit den Blendrichtlinien und -vorgaben.

8.1. Berechnungsergebnis für die Oberbränder Straße

Die durchgeführte Blendberechnung, welche in Form von Simulationen, Analysen, Testläufen und deren Auswertung erfolgt, zeigt, dass mit Blendungen in beiden Fahrtrichtungen der Oberbränder Straße zu rechnen ist.

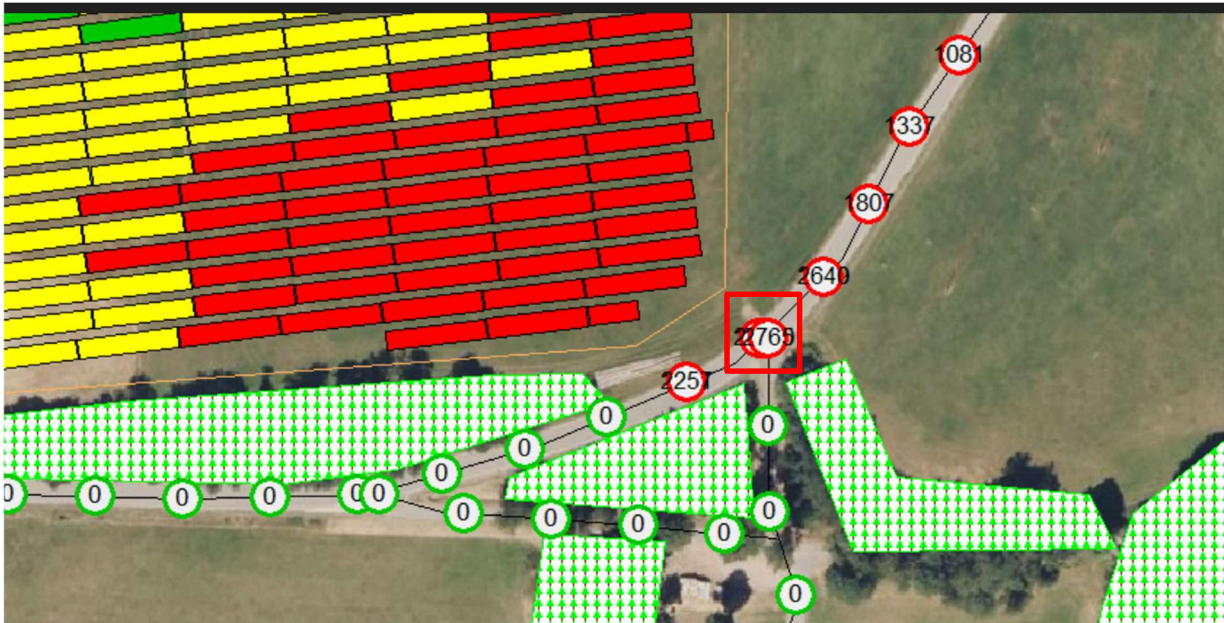


Abb. 28: Detailansicht der kritischsten Emissionsstandorte entlang der Oberbränder Straße

Die Abbildung 28 zeigt eine Detailansicht der Berechnungsergebnisse am kritischsten Emissionsstandort entlang der Oberbränder Straße. Es ist ersichtlich, dass am kritischsten Emissionsstandort bis zu 2.772 Minuten pro Jahr potenzielle Blendungen auftreten können.

Abbildung 26 und 27 und die in Abbildung 28 dargestellten Ergebnisse weisen auf potenzielle Blendwirkungen hin, welche die Verkehrssicherheit und den Komfort der Verkehrsteilnehmer beeinträchtigen können.

Es ist jedoch wichtig zu beachten, dass die Berechnungen auf der Annahme eines kontinuierlich wolkenfreien Himmels basieren. In der Realität ist ein wolkenfreier Himmel selten der Fall, und die tatsächliche Sonneneinstrahlung kann stark variieren. Wolken, Nebel und andere atmosphärische Bedingungen können die Blendwirkungen erheblich beeinflussen. Daher sollten die ermittelten Blendberechnungsergebnisse als theoretische Höchstwerte betrachtet werden. In der Praxis können die tatsächlichen Blendeffekte je nach Wetterbedingungen und Tageszeit variieren.

Um sicherzustellen, dass die Verkehrssicherheit auf der Oberbränder Straße unter allen Bedingungen gewährleistet ist. Daher erfolgt in Kapitel 9 eine Gefahrenabschätzung für Verkehrsteilnehmer der Oberbränder Straße.

8.2. Berechnungsergebnisse Wohnbebauung

Im Rahmen dieses Gutachtens wurde die mögliche Blendung der geplanten Photovoltaik-Freiflächenanlage, auf die westlich und südlich zum Solarpark gelegene Wohnbebauung sorgfältig simuliert und analysiert. Als Bewertungsgrundlage dient die oben erwähnte LAI. Basierend auf den durchgeführten Analysen, Simulationen und Testläufen kann festgehalten werden, dass mit Beeinträchtigungen in Form von Blendungen zu rechnen ist. Die Abbildung 29 zeigt die Berechnungsergebnisse für die angrenzende Wohnbebauung.

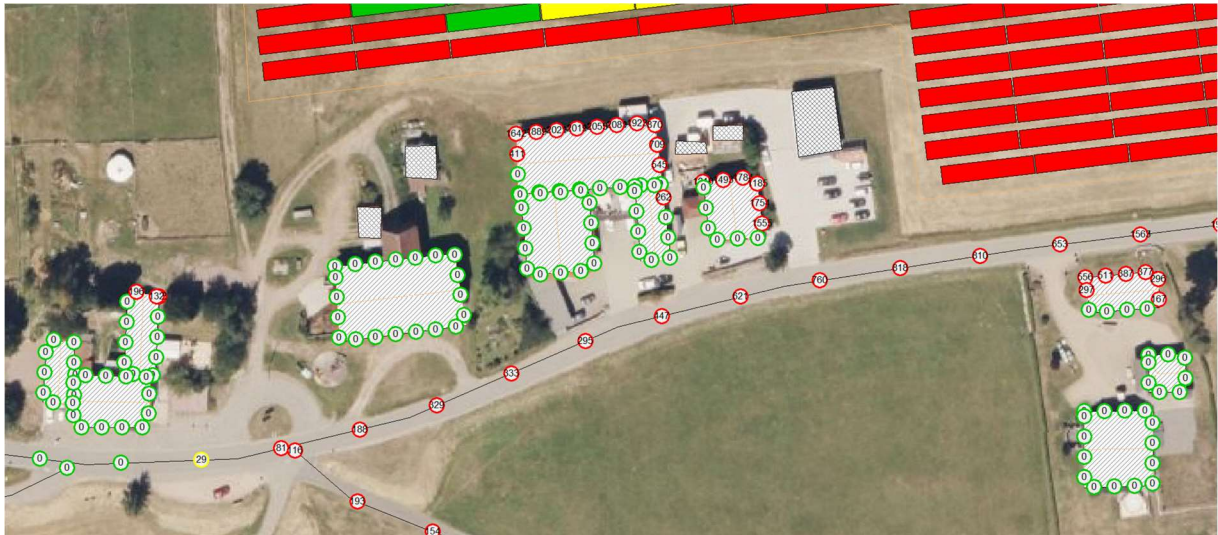


Abb.29: Simulation Wohnbebauung – Maximale Blenddauer in einem Jahr

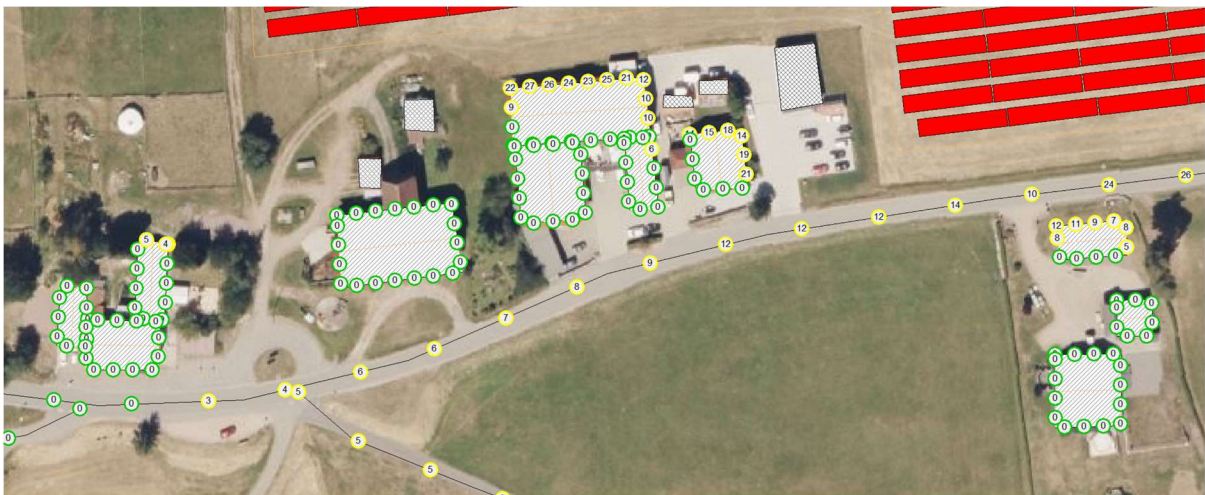


Abb.30: Simulation Wohnbebauung – Maximale Blenddauer an einem Tag

Die Ergebnisse zeigen potenzielle Blendungen in schutzwürdigen Räumen auf. Da die Blendungen die zulässigen Jahreshöchstwerte von 30 Stunden pro Jahr bzw. 30 Minuten pro Tag nach LAI überschreiten, sind hier Maßnahmen erforderlich. Die Maßnahmen werden in Kapitel 9 aufgeführt.

8.3. Berechnungsergebnis für die In d. Gass Straße

Die durchgeführte Blendberechnung, welche in Form von Simulationen, Analysen, Testläufen und deren Auswertung erfolgt, zeigt, dass mit Blendungen in beiden Fahrtrichtungen der In d. Gass zu rechnen ist.

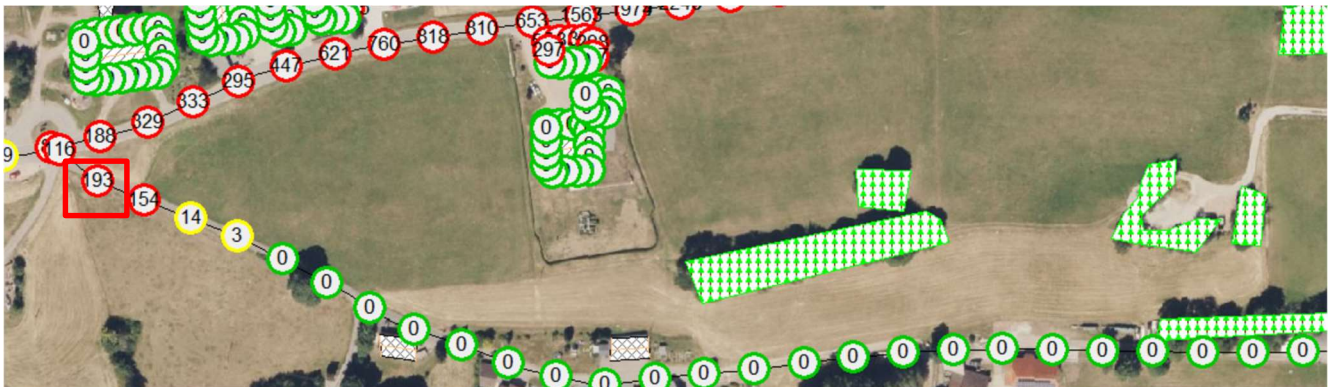


Abb. 31: Detailansicht der kritischsten Emissionsstandorte entlang der In d. Gass Straße

Die Abbildung 31 zeigt eine Detailansicht der Berechnungsergebnisse am kritischsten Emissionsstandort entlang der In d. Gass Straße. Es ist ersichtlich, dass am kritischsten Emissionsstandort bis zu 193 Minuten pro Jahr potenzielle Blendungen auftreten können.

Die in Abbildung 31 dargestellten Ergebnisse weisen auf potenzielle Blendwirkungen hin, welche die Verkehrssicherheit und den Komfort der Verkehrsteilnehmer beeinträchtigen können.

Es ist jedoch wichtig zu beachten, dass die Berechnungen auf der Annahme eines kontinuierlich wolkenfreien Himmels basieren. In der Realität ist ein wolkenfreier Himmel selten der Fall, und die tatsächliche Sonneneinstrahlung kann stark variieren. Wolken, Nebel und andere atmosphärische Bedingungen können die Blendwirkungen erheblich beeinflussen. Daher sollten die ermittelten Blendberechnungsergebnisse als theoretische Höchstwerte betrachtet werden. In der Praxis können die tatsächlichen Blendeffekte je nach Wetterbedingungen und Tageszeit variieren.

Um sicherzustellen, dass die Verkehrssicherheit auf der In d. Gass Straße unter allen Bedingungen gewährleistet ist. Daher erfolgt in Kapitel 9 eine Gefahrenabschätzung für Verkehrsteilnehmer der In d. Gass Straße.

8.4. Berechnungsergebnis für der Jägerweg

Die durchgeführten Blendsimulationen entlang der Jägerweg, wie in Abbildung 32 dargestellt, zeigen keine potenziellen Blendwirkungen, die die Verkehrssicherheit und den Komfort der Verkehrsteilnehmer beeinträchtigen könnten.

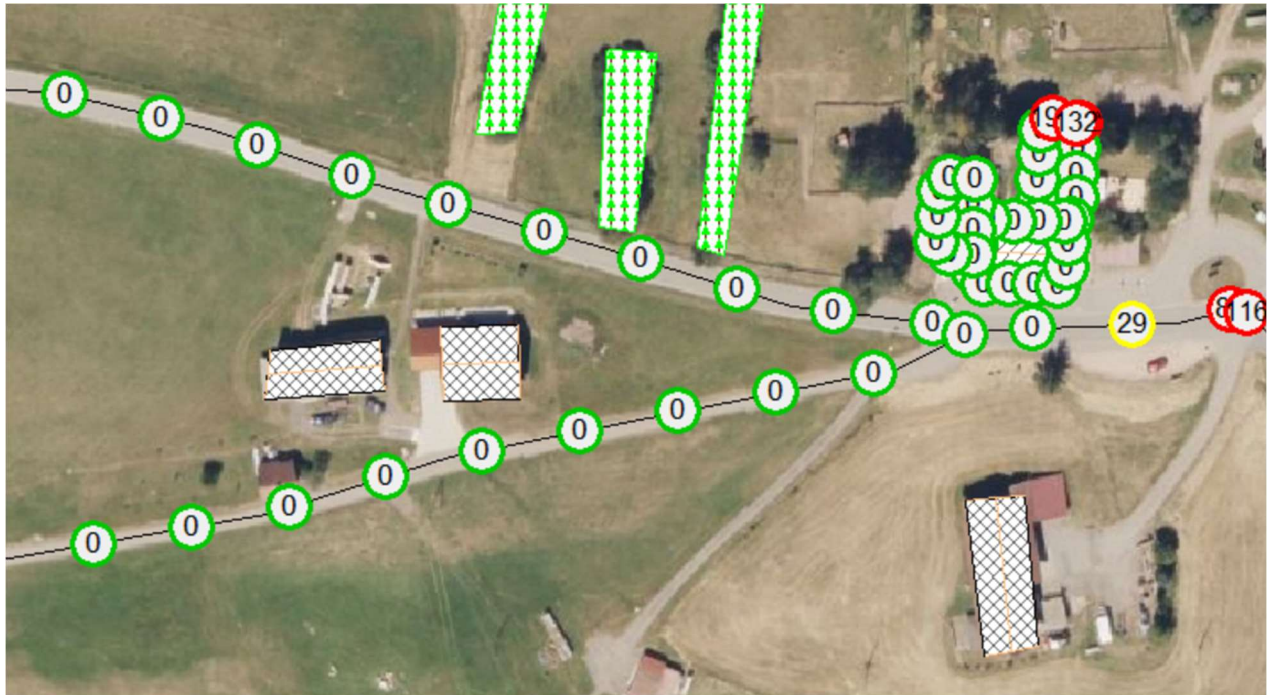


Abb. 32: Detailansicht der kritischsten Emissionsstandorte entlang der Jägerweg

Diese Ergebnisse weisen auf keine potenzielle Blendwirkungen hin, die die Verkehrssicherheit und den Komfort der Verkehrsteilnehmer beeinträchtigen können.

8.5. Berechnungsergebnis für die Sommerhalde Straße

Die durchgeführte Blendberechnung, welche in Form von Simulationen, Analysen, Testläufen und deren Auswertung erfolgt, zeigt, dass mit Blendungen in beiden Fahrtrichtungen der Sommerhalde Straße zu rechnen ist.

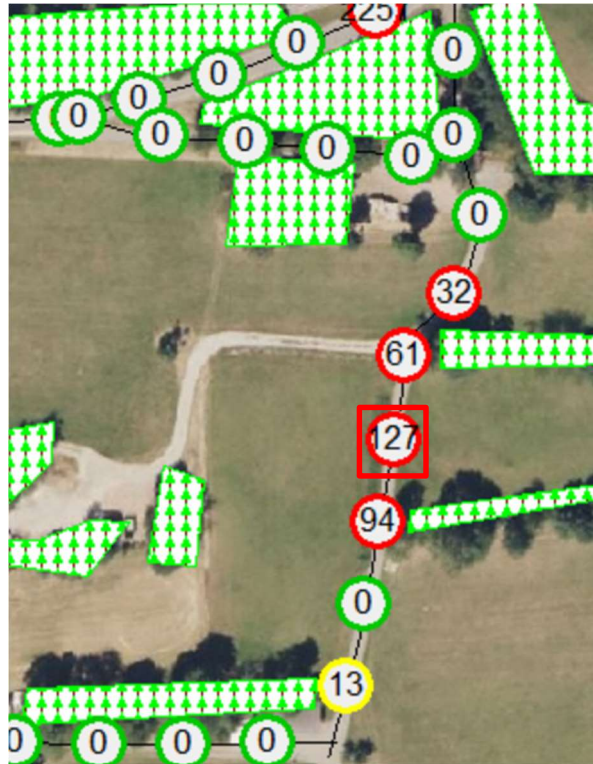


Abb. 33: Detailansicht der kritischsten Emissionsstandorte entlang der Sommerhalde Straße

Die Abbildung 33 zeigt eine Detailansicht der Berechnungsergebnisse am kritischsten Emissionsstandort entlang der In.d Gass Straße. Es ist ersichtlich, dass am kritischsten Emissionsstandort bis zu 127 Minuten pro Jahr potenzielle Blendungen auftreten können.

Die in Abbildung 33 dargestellten Ergebnisse weisen auf potenzielle Blendwirkungen hin, welche die Verkehrssicherheit und den Komfort der Verkehrsteilnehmer beeinträchtigen können.

Es ist jedoch wichtig zu beachten, dass die Berechnungen auf der Annahme eines kontinuierlich wolkenfreien Himmels basieren. In der Realität ist ein wolkenfreier Himmel selten der Fall, und die tatsächliche Sonneneinstrahlung kann stark variieren. Wolken, Nebel und andere atmosphärische Bedingungen können die Blendwirkungen erheblich beeinflussen. Daher sollten die ermittelten Blendberechnungsergebnisse als theoretische Höchstwerte betrachtet werden. In der Praxis können die tatsächlichen Blendeffekte je nach Wetterbedingungen und Tageszeit variieren.

Um sicherzustellen, dass die Verkehrssicherheit auf der Sommerhalde Straße unter allen Bedingungen gewährleistet ist. Daher erfolgt in Kapitel 9 eine Gefahrenabschätzung für Verkehrsteilnehmer der Sommerhalde Straße.

9. Maßnahmen zur Gefahrenabwehr

Die Untersuchungen der in Kapitel 8 aufgeführten Straßen in unmittelbarer Umgebung der zukünftigen FF-PVA-Fläche zeigen auf, dass Blendungen entstehen können.

Diese dürfen im Rahmen der Verkehrssicherheit nicht zustande kommen, weswegen in den folgenden Punkten dieses Kapitels ein Maßnahmenkatalog zur Gefahrenabwehr bzw. Blendreduzierung der einzelnen Bereiche erarbeitet wird.

9.1. Maßnahmen zur Blendreduzierung auf der Oberbränder Straße, Sommerhalde Straße und der In d.Gass Straße

Die erste Maßnahme, die aufgrund von Blendungen auf der Oberbränder Straße ergriffen werden soll, besteht aus der Kombination von Gehölzstrukturen (Hecken) mit einer Mindesthöhe von 4 Metern außerhalb des Zaunes, wie in Abbildung 34 dargestellt. Zusätzlich wird ein Blendschutz am Zaun im Bereich der kritischen Immissionspunkte angebracht. Diese Hecken sollten eine Mindestbreite von 3 Metern aufweisen. Dadurch wird die potenzielle Blenddauer von ursprünglich maximal 2257 Minuten auf 0 Minuten reduziert. Die Ergebnisse der Simulation und die Positionierung dieser Maßnahmen sind in Abbildung 34 dargestellt.

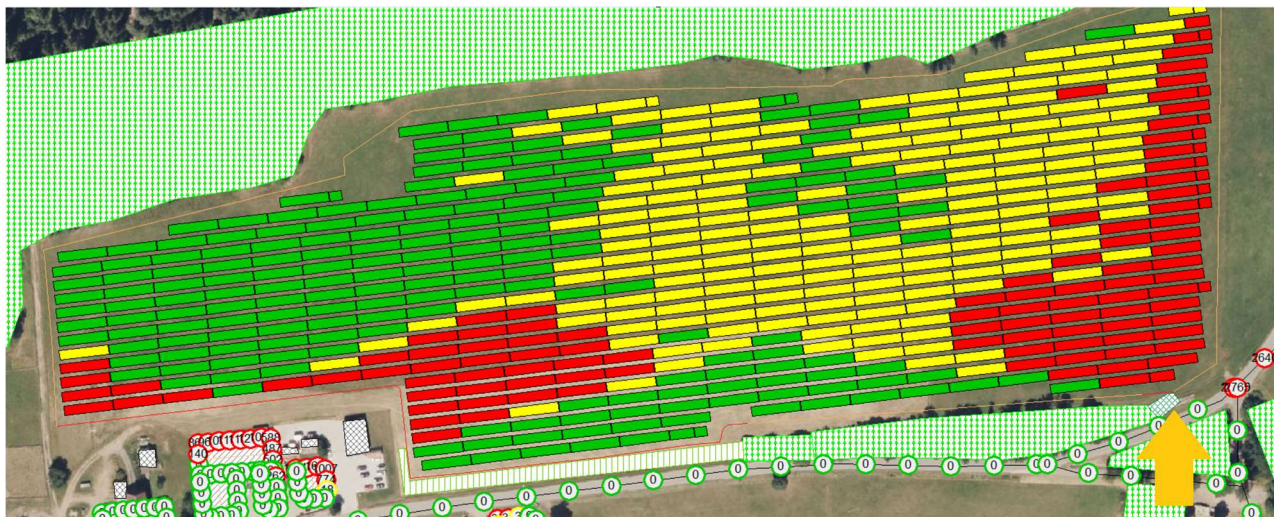


Abb. 34: Maßnahme Blendung Oberbränder Straße

Eine zweite Maßnahme, die aufgrund von Blendungen auf der Oberbränder Straße, der Sommerhalde Straße und der Straße "In der Gass" ergriffen werden soll, besteht aus der Kombination von Gehölzstrukturen (Hecken) mit einer Mindesthöhe von 4 Metern außerhalb des Zauns im Bereich F4: Feldhecke, wie in Abbildung 35 dargestellt. Zusätzlich wird ein Blendschutz am Zaun im Bereich der kritischen Immissionspunkte angebracht. Diese Hecken sollten eine Mindestbreite von 3 Metern aufweisen. Die Ergebnisse der Simulation und die Positionierung dieser Maßnahmen sind in Abbildung 35 dargestellt.

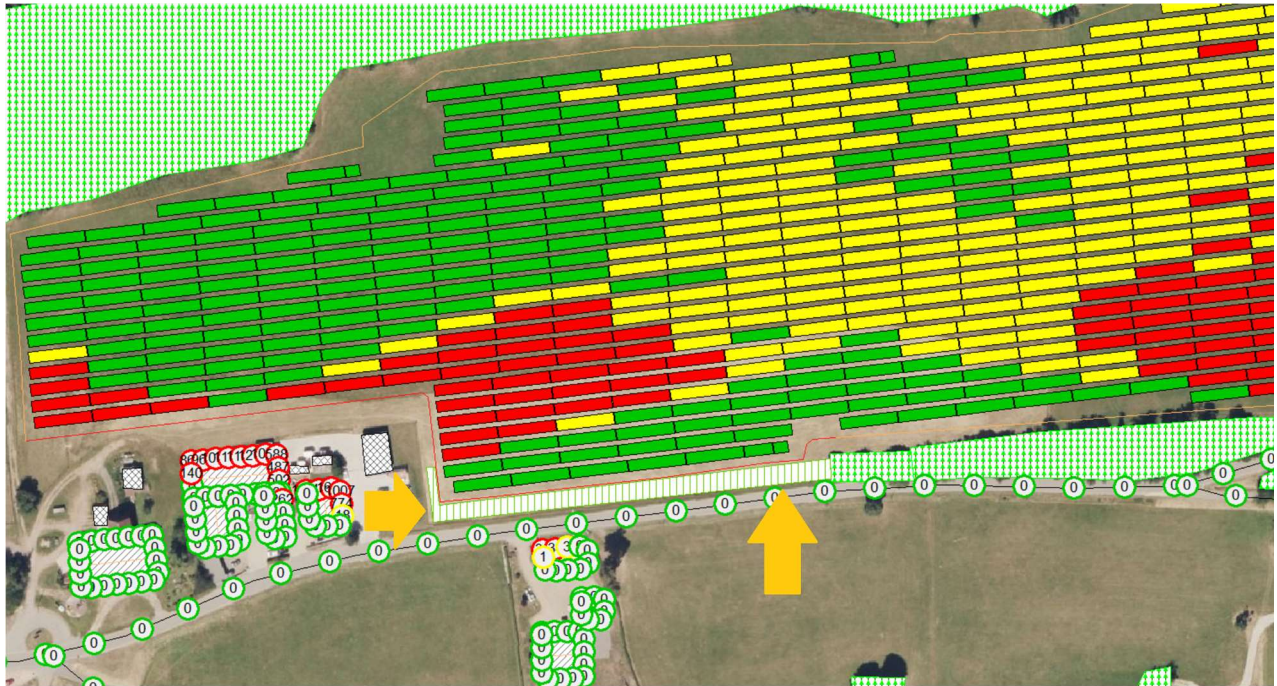


Abb. 35: Maßnahme Blendung Oberbränder Straße, der Sommerhalde Straße und der Straße "In der Gass"

Die Ergebnisse nach den durchgeführten Maßnahmen weisen keine potenziellen Blendwirkungen mehr auf, die die Verkehrssicherheit auf der Sommerhalde Straße und In d.Gass Straße beeinträchtigen oder den Komfort der Verkehrsteilnehmer mindern könnte.

Nach wie vor ist allerdings die **Oberbränder Straße** stellenweise von potenziellen Blendeinwirkungen betroffen.

Es ist jedoch wichtig zu beachten, dass die Berechnungen auf der Annahme eines kontinuierlich wolkenfreien Himmels basieren. In der Realität ist ein wolkenfreier Himmel selten der Fall und die tatsächliche Sonneneinstrahlung kann stark variieren. Wolken, Nebel und andere atmosphärische Bedingungen können die Blendwirkungen erheblich beeinflussen. Daher sollten die ermittelten Blendberechnungsergebnisse als theoretische Höchstwerte betrachtet werden. In der Praxis können die tatsächlichen Blendeffekte je nach Wetterbedingungen und Tageszeit variieren. Es ist ratsam, zusätzliche Untersuchungen und Maßnahmen zur Blendminderung in Erwägung zu ziehen, um sicherzustellen, dass die Verkehrssicherheit auf der Oberbränder Straße unter allen Bedingungen gewährleistet ist. Nach erster Einschätzung treffen die durch die FF-PVA ausgelösten Reflexionsstrahlen jedoch **nicht** in das Blickfeld der Verkehrsteilnehmer. An dieser Stelle ist jedoch eine detaillierte und fundierte Gefahrenabwägung erforderlich, welche in Kapitel 10 erfolgt.

Zusätzlich ist es wichtig zu erwähnen, dass alle bereits vorhandenen Gehölzstrukturen in die Berechnung der Blendung und demnach auch in das Berechnungsergebnis mit eingeflossen sind und somit auch weiterhin erhalten bleiben müssen.

Um einen ganzjährigen Blendschutz für die Verkehrsteilnehmer durch Gehölzstrukturen zu erreichen, ist es wichtig, dass immergrüne Gehölzstrukturen oder Gehölzstrukturen mit

dichtem Geäst bei der Anpflanzung ausgewählt werden. Der NABU empfiehlt in Deutschland folgende Heckenpflanzen:

- Weißdorn (*Crataegus monogyna/laevigata*)
 - Kornelkirsche (*Cornus mas*)
- Gewöhnliche Berberitze (*Berberis vulgaris*)
- Gewöhnlicher Schneeball (*Viburnum opulus*)
 - Roter Hartriegel (*Cornus sanguineum*)
 - Schwarzer Holunder (*Sambucus nigra*)
 - Liguster (*Ligustrum vulgare*)

Bei der Verwendung der o.g. Gehölzstrukturen ist darauf zu achten, dass entweder Gehölzstrukturen mit dichtem Geäst ausgewählt werden oder durch spezielle Pflegemaßnahmen ein dichtes Geäst an diesen erzeugt wird. Außerdem ist die Breite der Gehölzstrukturen von entscheidender Bedeutung. Es sollte eine Mindestbreite von 3,0 m gewählt werden.

9.2. Maßnahmen zur Blendreduzierung der Wohnbebauung

Die erste Maßnahme, die aufgrund von Blendungen der Wohnbebauung ergriffen werden soll, besteht aus dem Anbringen eines 2,0 m hohen Zauns mit Blendschutz, welcher die potenzielle Blenddauer von ursprünglich maximal 2081 Minuten lediglich auf 1210 Minuten reduziert. Die Ergebnisse der Simulation und die Positionierung dieser Maßnahmen sind in Abbildung 36 dargestellt



Abb.36: Simulation Wohnbebauung – Maximale Blenddauer in einem Jahr



Abb.37: Simulation Wohnbebauung – Maximale Blenddauer an einem Tag

Die Abbildungen 36 und 37 zeigen, dass nach der Umsetzung der Maßnahmen Blendungen auftreten. Die maximale Blenddauer in einem Jahr liegt unter 1800 Stunden und demnach unter 30 Stunden pro Jahr bzw. 30 Minuten pro Tag.

Blendungen, deren Jahreshöchstwerte gemäß LAI bei 30 Stunden pro Jahr bzw. 30 Minuten pro Tag nicht überschreiten, stellen keine Beeinträchtigung bzw. Belästigung in einem übermäßigen Maße dar.

10. Gefahrenabwägung der Oberbränder Straße

Im Rahmen der Verkehrssicherheit in Bezug auf FF-PVA kommt es vor allem auf die physiologische Blendung an, welche die Sehleistung herabsetzen kann. Die psychologische Blendung spielt in diesem Zusammenhang eine vernachlässigbare Rolle, da ein kurz auftretendes subjektives Unbehagen aufgrund von kurzzeitiger Blendung beim Vorbeifahren zu keiner Beeinträchtigung der Fahrleistung führt.

Für die physiologische Blendung bewegter Beobachter, die in der Regel nicht direkt in die Blendquelle hineinsehen, spielt deren Leuchtdichte nur im Zusammenhang mit ihrer Größe im Blickfeld eine Rolle.

Für die Gefährdungsbeurteilung entscheidend ist die Beleuchtungsstärke am Auge von Verkehrsteilnehmern, die sich aus dem Produkt von Leuchtdichte und Blendquellengröße im Blickfeld und dem Winkel zwischen Blickrichtung und Blendquelle ergibt, in Relation zur Beleuchtungsstärke am Auge durch direktes, gestreutes und diffus von der Umgebung reflektiertem Sonnenlicht. Darüber hinaus sind die jeweils mögliche Einwirkzeit und die Position der Blendquelle im Blickfeld zu berücksichtigen.

Für die Bewertung der möglichen Blendung durch Reflexionen auf Verkehrsteilnehmer sind dementsprechend das Blickfeld und die räumliche Lage der Blendquelle darin wesentlich.

Beim Menschen unterscheidet man folgende Arten von Blickfeldern:

- das monokulare Blickfeld, das sich aus der Exkursionsfähigkeit (maximale Beweglichkeit) des jeweils rechten und linken Auges ergibt

- das binokulare Blickfeld, der Bereich, in dem beide Augen gemeinsam mit maximaler Sehschärfe (foveolar) fixieren können
- das Fusionsblickfeld, in dem binokulares Einfachsehen möglich ist
- das Umblickfeld, das die Summe der Wahrnehmungen ergibt, die bei unveränderter Standposition mit allen Blickbewegungen und maximalen Kopf- und Körperdrehungen erzielt werden können
- das Gebrauchsblickfeld als Bereich innerhalb des binokularen Blickfeldes, innerhalb dessen Objekte ohne zusätzliche, unterstützende Kopfbewegungen fixiert werden können; in der Literatur wird dieser Bereich mit $+25^{\circ}/-40^{\circ}$ vertikal und 30° Rechts- und Linksblick definiert.

Außerhalb des Gebrauchsblickfeldes werden im menschlichen binokularen Blickfeld Objekte nicht unmittelbar wahrgenommen, vielmehr wird das Umgebungsbild im Kurzzeitgedächtnis eingefroren und nur bei starken Veränderungen bewusst erneuert. Bei sog. „Sehaufgaben“ („visual tasks“), z.B. Autofahren, Arbeit am Computer etc., verengt sich dieses bewusst wahrgenommene Blickfeld weiter. Hier werden Änderungen im Umgebungsblickfeld bis zu einer Blickrichtungsänderung von 10° nicht aktiv wahrgenommen und vom Gehirn verarbeitet. Dies entspricht einem bewusst wahrgenommenen Blickfeld von 20° auf der horizontalen Ebene.

Das maximale Gebrauchsblickfeld (im Allgemeinen hier einfach als „Blickfeld“ oder „maximales Blickfeld“ benannt) und das eingeschränkte für Sehaufgaben („zentrales Blickfeld“) werden in Tabelle 1 und in Abbildung 38 einander betragsmäßig und grafisch gegenübergestellt.

Funktion	Benennung im Text	horizontal	vertikal
Für Sehaufgaben	Zentrales Blickfeld	$\pm 10^{\circ}$	$+25^{\circ}, -35^{\circ}$
Maximaler Fixierungsbereich	Blickfeld	$\pm 30^{\circ}$	$+30^{\circ}, -45^{\circ}$

Tab. 1: Menschliches Gebrauchsblickfeld

Die Abbildung 38 zeigt grafisch das maximale Blickfeld sowie das eingeschränkte Blickfeld. Der Achsenschnittpunkt $0^{\circ}/0^{\circ}$ stellt dabei einen Punkt auf der Blickachse dar, auf den die Augen fokussieren.

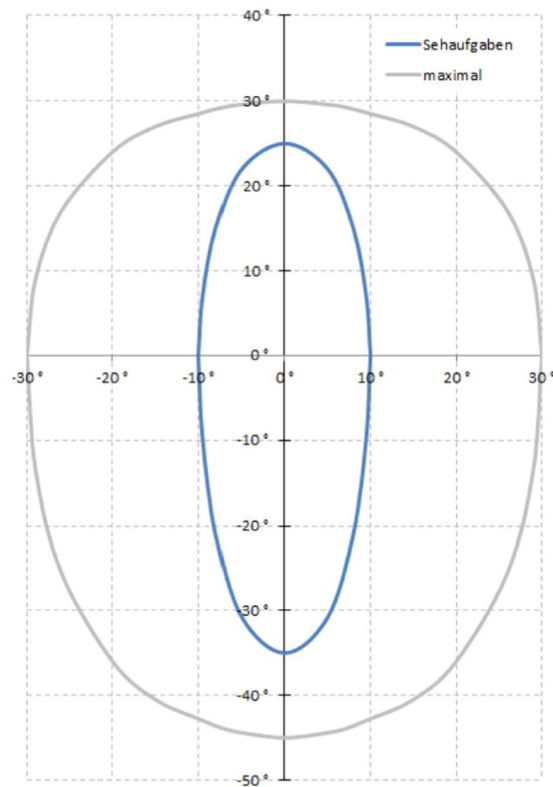


Abb.38: Blickfelder aus Tabelle 1

Für die Beurteilung des Bereichs, in dem auftretende Reflexion als Blendung empfunden wird, wird typischerweise das maximale Gebrauchsblickfeld mit je 30° rechts und links der Blickrichtung als Blickfeld herangezogen. Diese Eingrenzung basiert auf umfangreichen Untersuchungen zu nächtlicher Blendung. Nächtliches, sog. skotopisches Sehen oder Stäbchensehen wird ermöglicht durch die große Lichtempfindlichkeit der Fotorezeptoren im Auge, die als Stäbchen bezeichnet werden. Sie sind ausschließlich außerhalb der Foveola (oder Sehgrube) angeordnet, die im zentralen Bereich der Netzhaut rund um die Sehachse liegt. Die beim photopischen Sehen (Tages- oder Zapfensehen) aktivierten farbempfindlichen Zapfen haben ihre größte Dichte in der Foveola. Ihre hohe Dichte ermöglicht auch die höchste Sehschärfe nahe der Sehachse bei ausreichender Helligkeit. Zu Blendung unter Tageslichtbedingungen gibt es so gut wie keine Untersuchungen. Die Unterschiedlichkeit der Sehvorgänge, eigene Beobachtungen, Informationen von Betroffenen und Diskussionen mit anderen Sachverständigen in diesem Bereich legen es nahe, unter Tageslichtbedingungen nicht den gesamten Bereich des maximalen Blickfeldes gleich stark zu bewerten.

Bei der Gefährdungsbeurteilung bzgl. Blendung von Fahrzeugführenden bei Tageslicht wird deshalb der Bereich im zentralen Blickfeld von $\pm 5^\circ$ neben der Blickachse als höchst kritisch und derjenige von $\pm 10^\circ$ als kritisch angesehen (zentrales Blickfeld). Zwischen $\pm 10^\circ$ und $\pm 20^\circ$ werden abgestufte Anforderungen an das Verhältnis der Beleuchtungsstärken zwischen den Sonnenlichtreflexionen der PV-Anlage und direktem, gestreutem oder diffusem Sonnenlicht gestellt, da sich die Schleierleuchtdichte, die im Auge durch Streuung eindringenden Lichts erzeugt wird und die Sehleistung beeinträchtigen kann, reziprok zum Quadrat des Abstandswinkels zwischen Strahlungsquelle und Blickrichtung verhält. Zwischen $\pm 20^\circ$ und $\pm 30^\circ$ kann es nur bei einem abrupten Anstieg der Helligkeit zu einer Adaptionsblendung der Fahrzeugführenden kommen.

Neben den vorstehend beschriebenen dominierenden Blendungen durch die direkte Sonneneinstrahlung können bei Verkehrsflächen (Straßen, Bahnstrecken) auch jene anlagenbedingten Reflexionen unberücksichtigt bleiben, bei denen der Reflexionsstrahl um mehr als 30° von der Hauptblickrichtung des Fahrzeugführers abweicht.

Immissionsorte	Grundlage	Abweichwinkel	Richtwert
Verkehrsstraßen, Bahnstrecke	LfU, 2012 (In Anlehnung)	$>30^\circ$	---

Tab. 2: Allgemeine Beurteilungskriterien

Der Reflexionsstrahl wird bei einer Abweichung von mehr als 30° von der Hauptblickrichtung nur peripher am Rande des Sichtfeldes wahrgenommen und bedingt i.d.R. keine störende oder gar gefährdende Blendung des Fahrzeugführers. Wahrnehmbare Reflexionen außerhalb von $\pm 30^\circ$ werden generell als physiologisch unerheblich bewertet.

Die folgende Abbildung 39 zeigt zum besseren Verständnis die Hauptblickrichtung eines Fahrzeugführers.

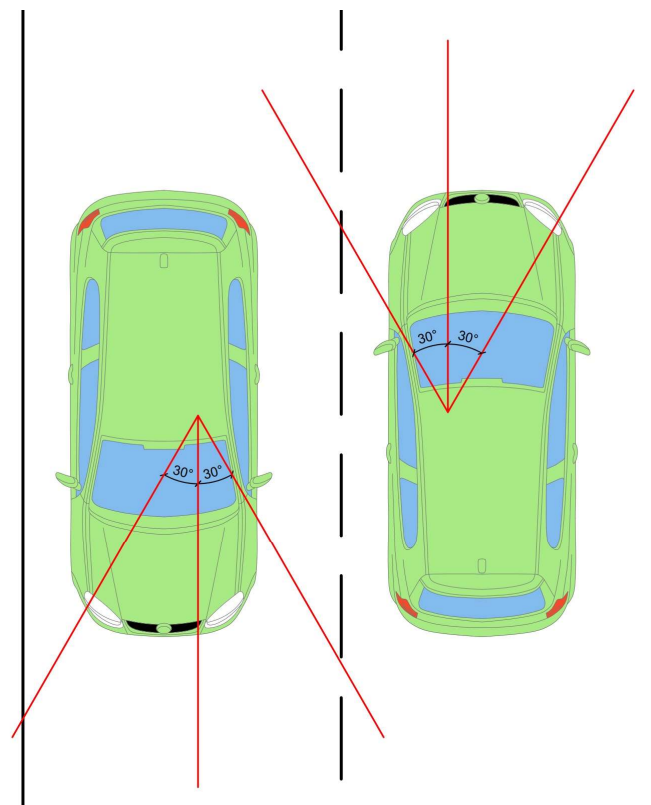


Abb. 39: Darstellung des 30° Hauptblickfeldes des Fahrzeugführenden

10.1. Gefahrenabwägung für die Oberbränder Straße in beide Fahrtrichtungen

Die folgende Abbildung 40 zeigt einen Teil des Solarparks mit den durch das IMMI 2023 Programm ermittelten Reflexionsstrahlen. Zusätzlich ist der Straßenverlauf der Oberbränder Straße mit einzelnen Immissionspunkten dargestellt.

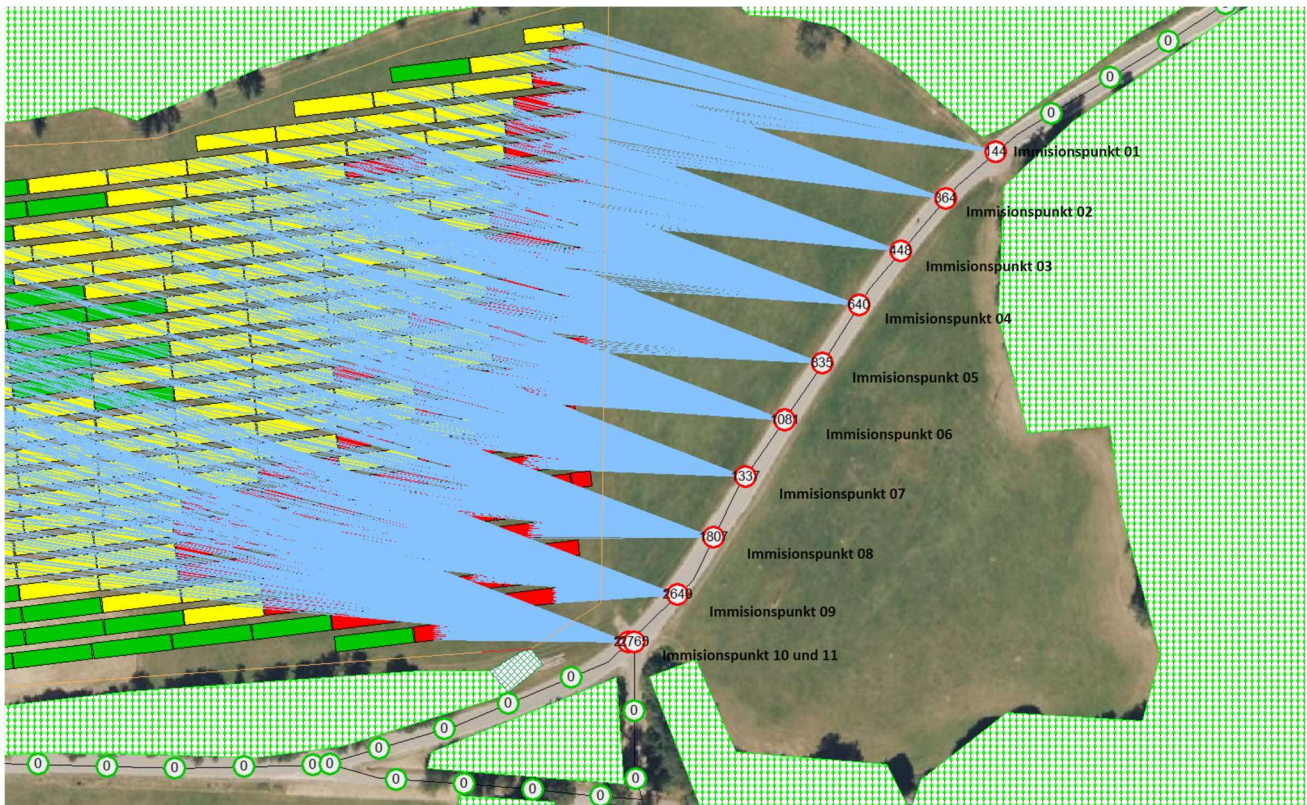


Abb. 40: Ergebnisse Blendwinkel Oberbränder Straße in beide Fahrtrichtungen

Um zu ermitteln, ob Blendungen innerhalb des maximalen Fixierungsbereichs des Fahrzeugführenden vorliegen, wurde das maximale Blickfeld in beide Fahrtrichtung zeichnerisch dargestellt.

In den folgenden Abbildungen 41 bis 60 wird der auftretende Reflexionswinkel mit der Hauptblickrichtung des Fahrers dargestellt bzw. abgeglichen.

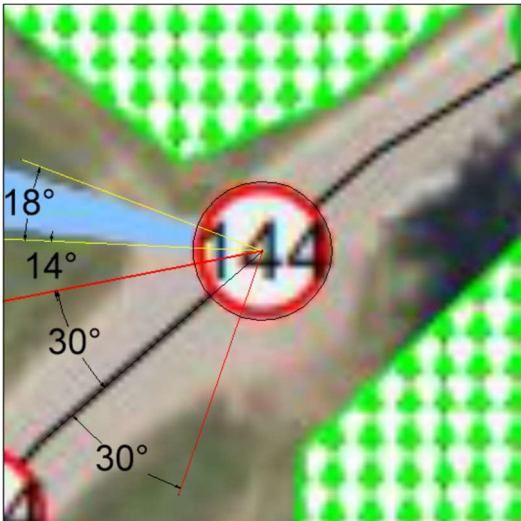


Abb. 41: Immissionspunkt 01 in Fahrtrichtung Südwest

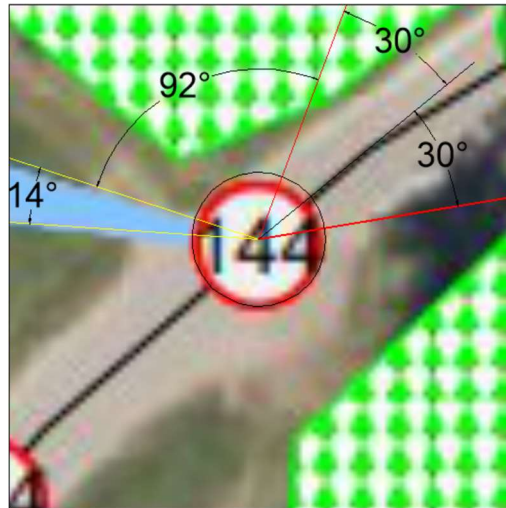


Abb. 42: Immissionspunkt 01 in Fahrtrichtung Nordost

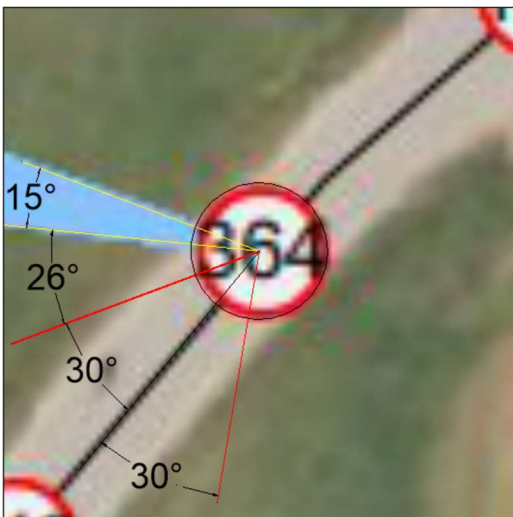


Abb. 43: Immissionspunkt 02 in Fahrtrichtung Südwest

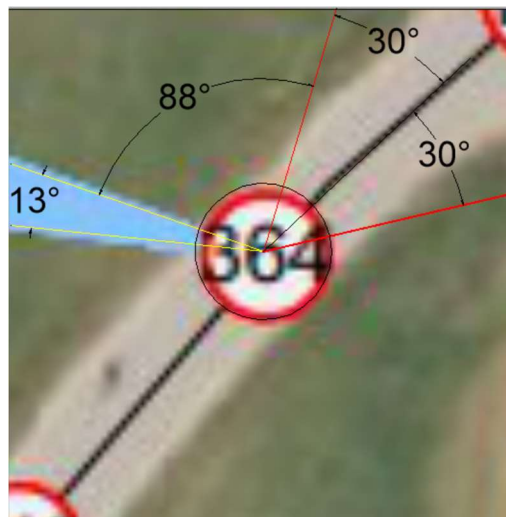


Abb. 44: Immissionspunkt 02 in Fahrtrichtung Nordost

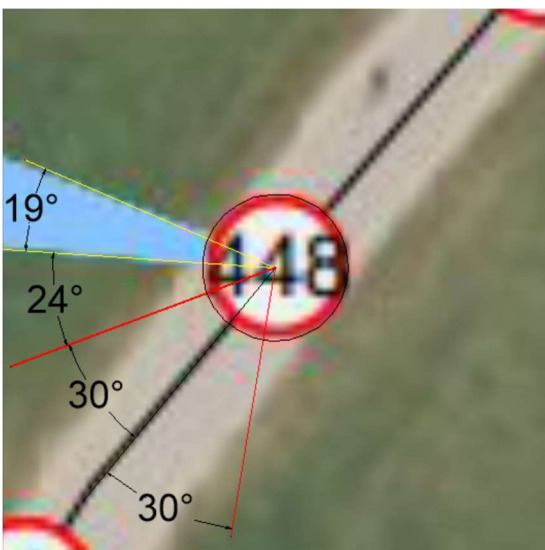


Abb. 45: Immissionspunkt 03 in Fahrtrichtung Südwest

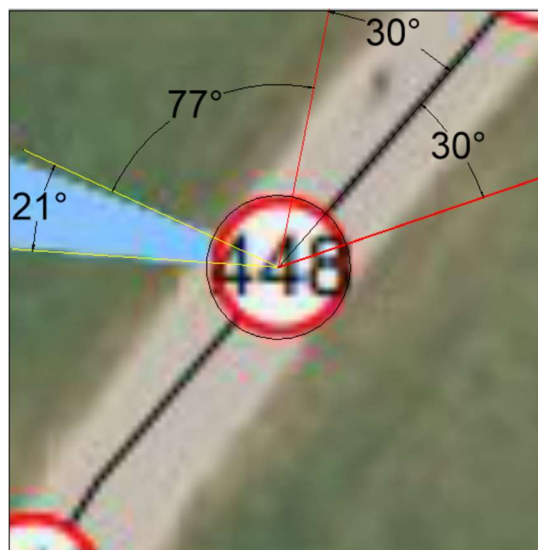


Abb. 46: Immissionspunkt 03 in Fahrtrichtung Nordost

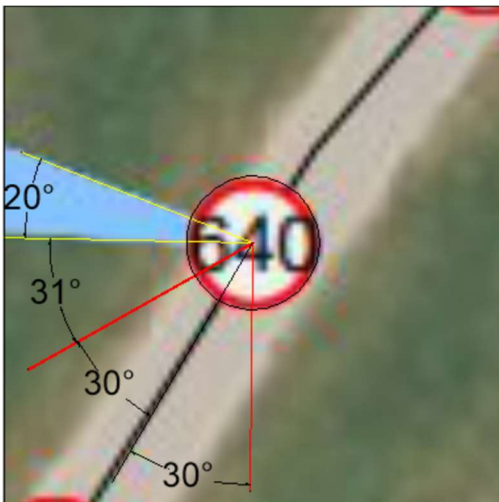


Abb. 47: Immissionspunkt 04 in Fahrtrichtung Südwest

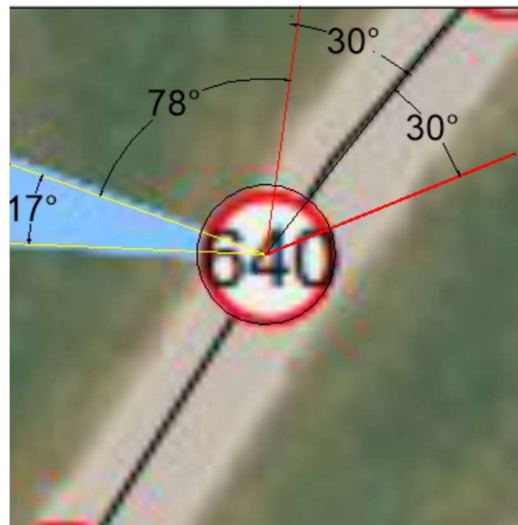


Abb. 48: Immissionspunkt 04 in Fahrtrichtung Nordost

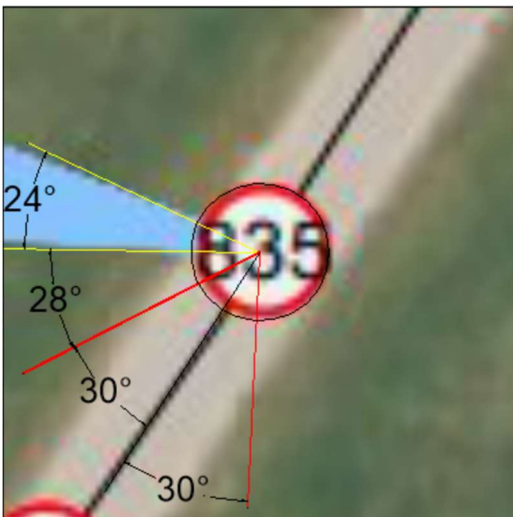


Abb. 49: Immissionspunkt 05 in Fahrtrichtung Südwest

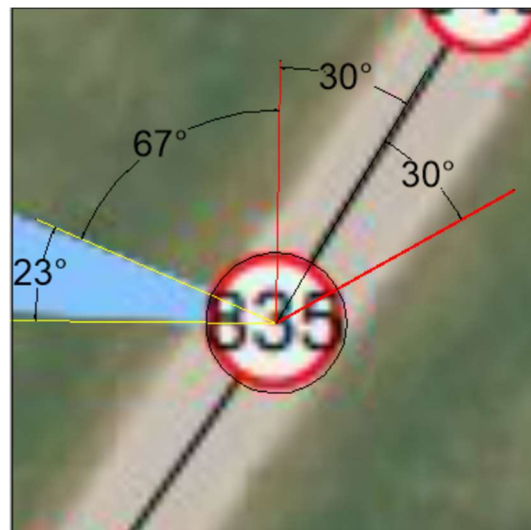


Abb. 50: Immissionspunkt 05 in Fahrtrichtung Nordost

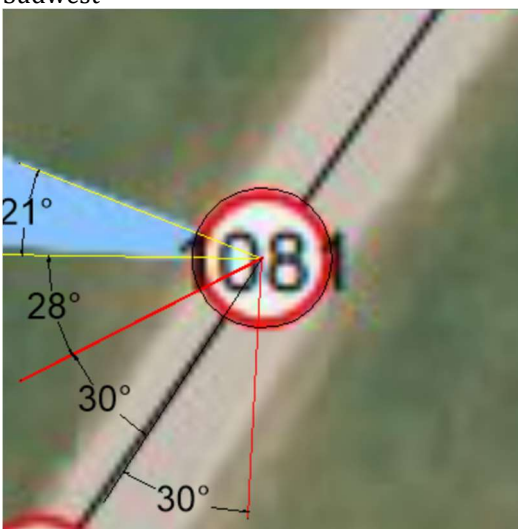


Abb. 51: Immissionspunkt 06 in Fahrtrichtung Südwest

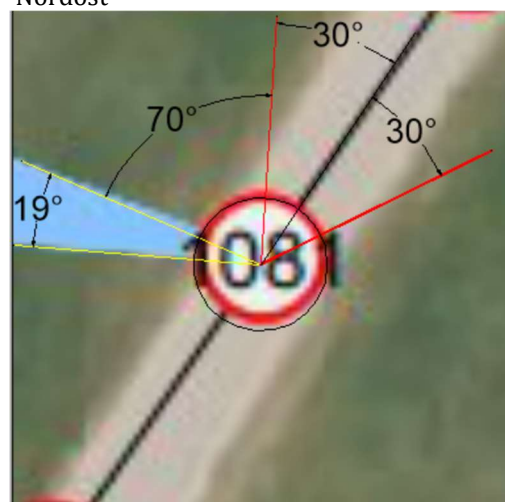


Abb. 52: Immissionspunkt 06 in Fahrtrichtung Nordost

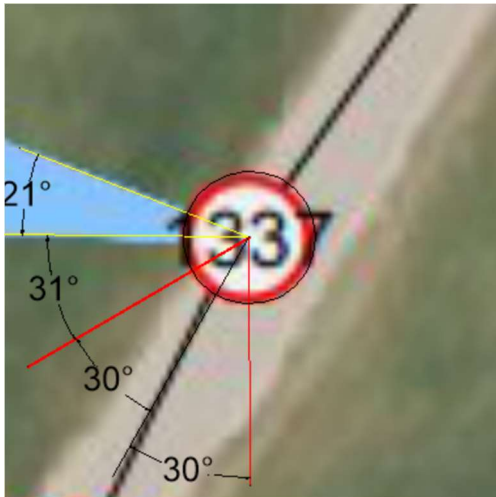


Abb. 53: Immissionspunkt 07 in Fahrtrichtung Südwest

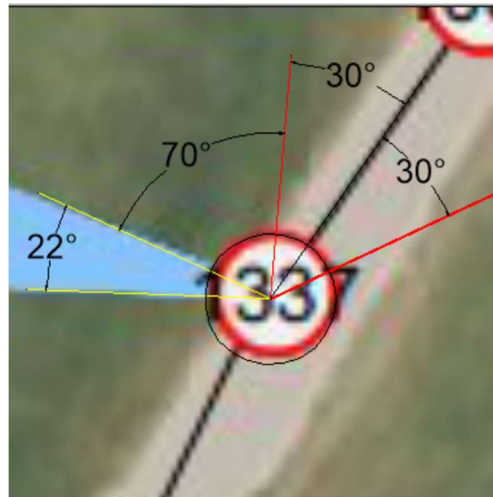


Abb. 54: Immissionspunkt 07 in Fahrtrichtung Nordost

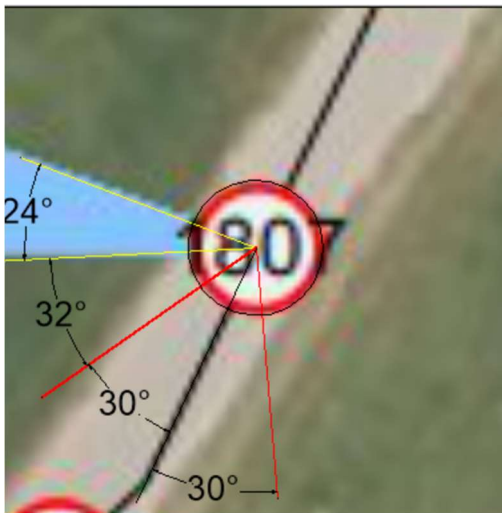


Abb. 55: Immissionspunkt 08 in Fahrtrichtung Südwest

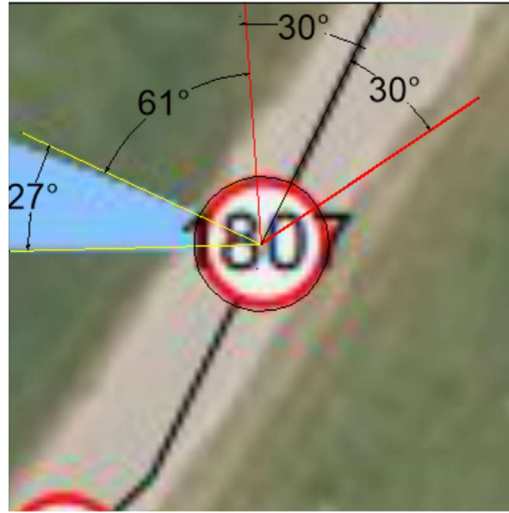


Abb. 56: Immissionspunkt 08 in Fahrtrichtung Nordost

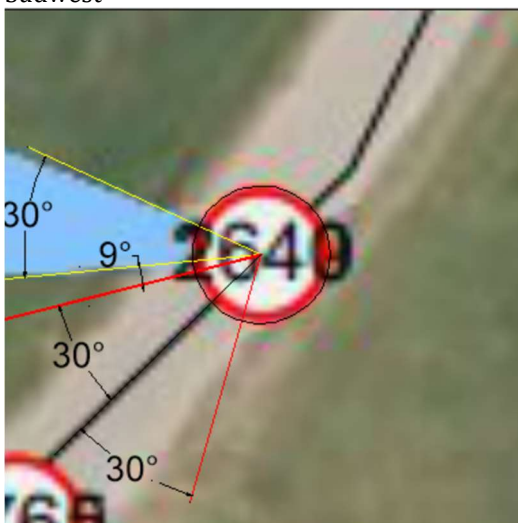


Abb. 57: Immissionspunkt 09 in Fahrtrichtung Südwest

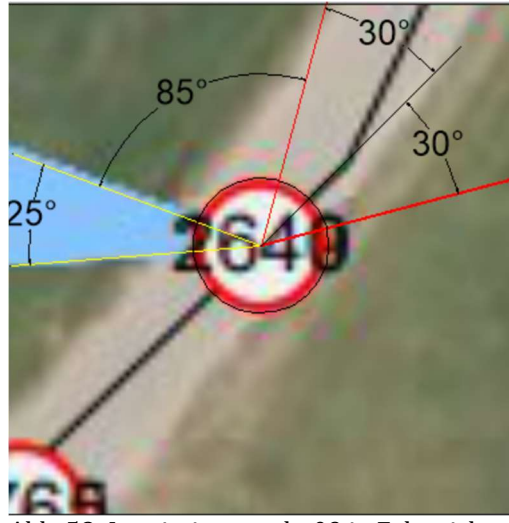


Abb. 58: Immissionspunkt 09 in Fahrtrichtung Nordost

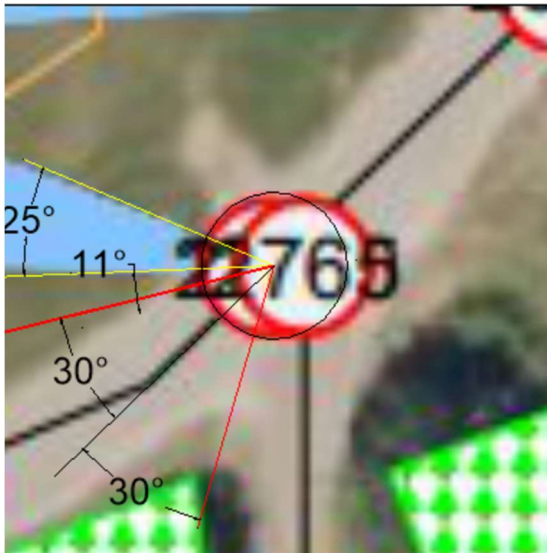


Abb. 59: Immissionspunkt 10 und 11 in Fahrtrichtung Westen

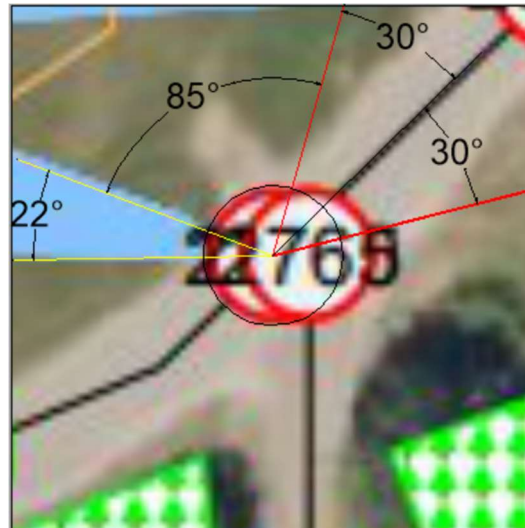


Abb. 60: Immissionspunkt 10 und 11 in Fahrtrichtung Osten

Die zeichnerische Ermittlung hat ergeben, dass keine Reflexionsstrahlen (direkte Blendung) in das maximale Blickfeld des Fahrzeugführers abstrahlen. Die ermittelten Reflexionsblendungen im Bereich der untersuchten Fahrbahn in beiden Fahrtrichtungen treffen mit einem Winkel von $> 30,0^\circ$ auf das Sichtfeld der Fahrer und sind somit für die Sicherheit des Fahrverkehrs von untergeordneter Bedeutung, da die Blendung vom Fahrer nur peripher wahrgenommen wird.

11. Fazit

In der Gemarkung Eisenbach plant der Auftraggeber die Errichtung einer FF-PVA. Mit diesem Gutachten sollte ermittelt werden, ob durch die geplante FF-PVA Beeinträchtigungen für die Verkehrsteilnehmer auf der umliegenden Straße in Form von Blendungen entstehen können. Für die Planung wurden die entsprechenden Berechnungen und Simulationen durchgeführt und die Ergebnisse dargelegt.

Entsprechend der Berechnungsergebnisse aus Kapitel 8 sind Sonnenlichtreflexionen von der geplanten FF-PVA auf die Oberbränder Straße, In d.Gass Straße, Sommerhalde Straße und der Wohnbebauung vorhanden. Da die maximale Blendungsdauer der Wohnbebauung die Jahreshöchstwerte gemäß LAI nicht überschreiten, findet somit keine Beeinträchtigung bzw. Belästigung in einem übermäßigen Maße statt.

Durch die Umsetzung der in Kapitel 9 getroffenen Maßnahmen können die Blendungen auf die Oberbränder Straße erheblich minimiert und die Blendungen auf die In d. Gass Straße und Sommerhalde Straße eliminiert werden. Die übrigen Sonnenlichtreflexionen auf die Oberbränder Straße sind zwar vorhanden, allerdings fallen diese gemäß der Gefahrenabwägung aus Kapitel 10 nicht in das Blickfeld der Fahrzeugführenden.

Der Abweichwinkel zwischen der einfallenden Lichtreflexion und der Hauptblickrichtung der Fahrzeugführer in beiden Fahrtrichtungen liegt bei allen Immissionspunkten bei mehr als 30° . Wie zu Beginn in Kapitel 10 beschrieben, entspricht der Reflexionsstrahl bei einer Abweichung von mehr als 30° keiner wahrnehmbaren Blendung für Teilnehmer des Straßenverkehrs.

Das IMMI-Programm simuliert die Strahlung in minutengenauen Intervallen und ermöglicht so die präzise Bestimmung der Zeiträume, in denen Blendungen auftreten. Mit Blendungen sind im Zeitraum vom 28. Mai bis zum 22. September zu rechnen. In dieser Zeit sind die Bäume in voller Blüte und bieten einen natürlichen Schutz vor Blendungen. Während der laubfreien Perioden (Oktober bis Februar) der Bäume treten keine Blendungen, bedingt des Sonnenstandes und des damit verbundenen Einfallswinkel auf. Daher ist es von großer Bedeutung, die bestehenden Gehölzstreifen zu erhalten.

Sollte es zu Nachpflanzungen kommen, ist darauf zu achten, dass ein ganzjähriger Blendschutz für die Verkehrsteilnehmer durch Gehölzstrukturen zu erreicht wird. Daher ist es wichtig, dass immergrüne Gehölze oder Gehölze mit dichtem Geäst bei der An- bzw. Nachpflanzung ausgewählt werden. Der NABU empfiehlt in Deutschland folgende Heckenpflanzen:

- Weißdorn (*Crataegus monogyna/laevigata*)
 - Kornelkirsche (*Cornus mas*)
- Gewöhnliche Berberitze (*Berberis vulgaris*)
- Gewöhnlicher Schneeball (*Viburnum opulus*)
 - Roter Hartriegel (*Cornus sanguineum*)
 - Schwarzer Holunder (*Sambucus nigra*)
 - Liguster (*Ligustrum vulgare*)

Bei der Verwendung der o.g. Gehölze ist darauf zu achten, dass entweder Gehölze mit dichtem Geäst ausgewählt werden oder durch spezielle Pflegemaßnahmen ein dichtes Geäst an den Gehölzen erzeugt wird. Außerdem ist die Breite der Gehölzstreifen von entscheidender Bedeutung. Es sollte eine Mindestbreite von 3m gewählt werden.

Somit ist aus unserer Sicht eine Belästigung der Verkehrsteilnehmer durch Blendung gemäß § 5 BImSchG ausgeschlossen, da die Sicherheit durch Vermeidung von potenziellen Sonnenlichtreflexionen innerhalb des Blickfeldes der Verkehrsteilnehmer auf die Oberbränder Straße in beide Fahrtrichtungen auf die jederzeit gewährleistet werden kann.



Peter Ronig, M.Sc., M.B.C.



Steven Maibach, M.Eng.

12. Literaturverzeichnis

- [1] Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) „Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen“; Stand 08.10.2012.
- [2] Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU) „Lichtimmissionen durch Sonnenlichtreflexionen – Blendwirkung von Photovoltaikanlagen“; Stand: 17.10.2012.
- [3] Länderausschuss für Immissionsschutz „Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen“ (WEA-Schattenwurf-Hinweise); Stand: Mai 2002.
- [4] Belegungsplan und Aufständigung; erhalten vom Bauherrn
- [5] Bildmaterial vom Immissionsbereich; erhalten durch Google-Streetview
- [6] Strahlenschutzkommission, „Blendung durch natürliche und neue künstliche Lichtquellen und ihre Gefahren, Empfehlung der Strahlenschutzkommission“; 17.02.2006.
- [7] Fachverband für Strahlenschutz e.V.; Rüdiger Borgmann, Thomas Kurz; „Leitfaden “Lichteinwirkung auf die Nachbarschaft“; 10.06.2014.