

Blendgutachten PV-Anlage Winnweiler

Analyse der Reflexionswirkungen einer Photovoltaikanlage

Auftraggeber:

EnBW Solar GmbH
Schelmenwasenstraße 15
70567 Karlsruhe

Erstellt von:

Ralf Schmersahl
Solarpraxis Engineering GmbH
Alboinstraße 36-42
12103 Berlin Germany
Tel. 030/ 726 296-399
E-Mail: ralf.schmersahl@solarpraxis.com
Internet: www.solarpraxis.com



Datum: 18.06.2024

Berichtnummer: P240009-02



Inhalt

1	Zweck und Gegenstand des Gutachtens	4
2	Zusammenfassung der Bewertung	5
3	Einleitung	6
3.1	<i>Gesetzlicher und regulatorischer Rahmen</i>	6
3.1.1	Nutzung erneuerbarer Energien in Raumordnung und Baurecht	6
3.1.2	Immissionsschutz	7
3.1.3	Straßenverkehrsgesetze	7
3.1.4	Richtlinien der FGSV	7
3.2	<i>Sonnenlichtreflexionen an Photovoltaikanlagen</i>	8
3.3	Bewertung der Blendwirkung von Sonnenlichtreflexionen	9
3.3.1	Immissionsschutz (Wohn- und Arbeitsbereich)	9
3.3.2	Verkehrssicherheit	9
4	Berechnungsmethodik	11
4.1	Verwendete Azimut-Winkelangaben	11
4.2	Berechnung der Reflexionsrichtungen	11
4.3	Berechnung der Beleuchtungsstärken	13
4.4	Modellierung der Reflexions- und Blickpunkte	13
4.5	Ergebnisdarstellung durch Reflexionsdiagramme	13
4.5.1	Straßen- und Schienenverkehr	13
4.5.2	Schützenswerte Nutzungen	14
5	Situation vor Ort	16
5.1	PV-Anlage	16
5.2	Potenzielle Blendrichtungen	18
5.3	Zu prüfende Immissionsorte	19
5.3.1	Übersicht	19
5.3.2	Autobahn A 63	19
5.3.3	Landesstraße L 401 (Kaiserstraße)	22
5.3.4	Zellertalbahn (DB 3322)	23
5.3.5	Reflexions- und Blickpunkte	24



6	Berechnungsergebnisse	25
6.1	A 63 aus südlicher Richtung.....	25
6.2	A 63 aus östlicher Richtung.....	27
6.2.1	Belegungsfeld Mitte.....	27
6.2.2	Belegungsfeld Nord	28
6.3	L 401 aus westlicher Richtung.....	29
6.4	L 401 aus östlicher Richtung.....	30
6.5	Schienenverkehr aus westlicher Richtung.....	31
6.6	Schienenverkehr aus östlicher Richtung.....	32
7	Bewertung der Blendrisiken	33
7.1	Autobahn A 63.....	33
7.2	Verkehr auf der L 401 (Kaiserstraße)	33
7.3	Verkehr auf der Kreisstraße K 45.....	34
7.4	Schienenverkehr auf der Zellertalbahn.....	34
8	Blendschutzmaßnahmen.....	36
8.1.1	Sichtschutzzaun	36
8.1.2	Verwendung blendfreier Deckgläser für die straßennahesten PV-Module.....	36
9	Verwendete Materialien.....	38
9.1	Dokumente vom Auftraggeber	38
9.2	Literatur	38
10	Abbildungsverzeichnis.....	39
11	Tabellenverzeichnis	41



1 Zweck und Gegenstand des Gutachtens

Es ist zu prüfen, ob von den PV-Modulen der in den Gemarkungen Imsbach und Börrstadt in Rheinland-Pfalz geplanten Photovoltaik-Freiflächenanlage „Winnweiler“ Sonnenlicht auf die umliegenden Verkehrswege reflektiert werden kann und ob dadurch gegebenenfalls unzumutbare Lichtimmissionen oder die Sicherheit des Schienen- und Straßenverkehrs beeinträchtigende Blendwirkungen auftreten können. Die Lage der geplanten PV-Anlage ist in Abbildung 1 dargestellt.

Die Analyse erfolgt auf Basis der vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Daten und Fotos.

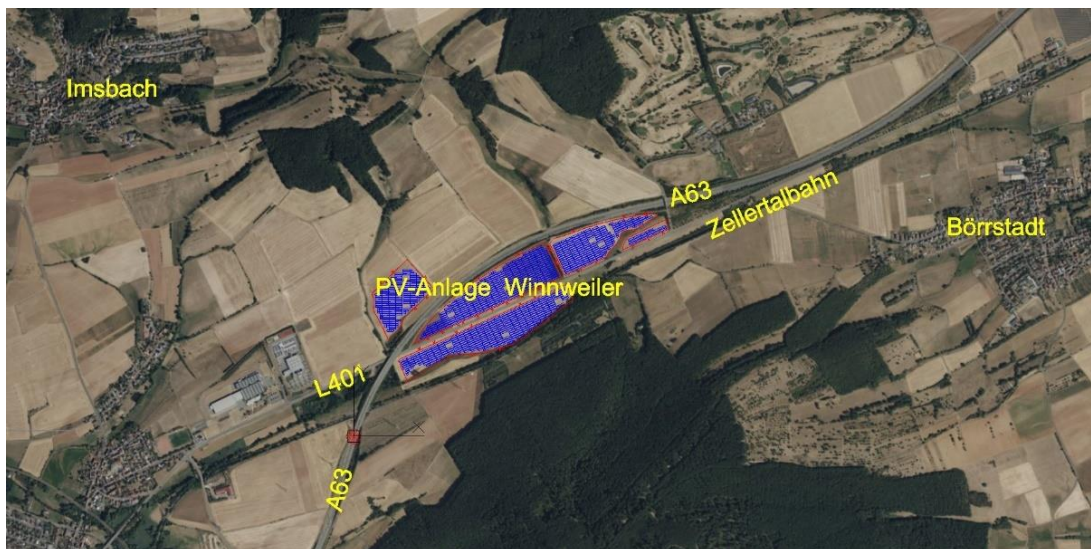


Abbildung 1: Lage der geplanten PV-Anlage Winnweiler (PV-Modultischreihen blau eingezeichnet)



2 Zusammenfassung der Bewertung

Es wird festgestellt, dass der Verkehr auf der Autobahn A 63 in beide Fahrtrichtungen nicht von blendenden Sonnenlichtreflexionen der PV-Anlage Winnweiler betroffen sein kann. Die Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs bleiben jederzeit gewahrt.

Es wird festgestellt, dass die Fahrzeugführenden auf der L 401 (Kaiserstraße) in Richtung Kaiserslautern am Knotenpunkt K45/L401 und auf dem daran anschließenden Streckenverlauf von Sonnenlichtreflexionen der Belegungsfelder „Mitte“ in das Blickfeld betroffen sein können, die die Einsehbarkeit am Knotenpunkt einschränken und im Streckenverlauf eine Blendwirkung entfalten können. Die fortwährende Blendsituation kann die Aufmerksamkeit der Fahrzeugführenden herabsetzen und zu einer Störung der Helligkeitsadaption führen, die eine Minderung der Kontrastwahrnehmung bedingt. Zur Wahrung der Leichtigkeit und Sicherung des Verkehrs sind Blendschutzmaßnahmen erforderlich. Eine hinreichende Blendschutzwirkung kann durch die Gestaltung von Teilabschnitten des Einfriedungszauns der Belegungsfelder Mitte als Sichtschutzzaun mit einer Höhe von 3 m erzielt werden. Alternativ dazu kann ein hinreichender Blendschutz durch die Belegung der straßennahen PV-Tische mit blendfreien PV-Modulen erzielt werden. Bei Umsetzung einer der in Kapitel 8 des Gutachtens beschriebenen Blendschutzmaßnahmen bleiben die Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs auf der L 401 jederzeit gewahrt.

Es wird festgestellt, dass die Fahrzeugführenden auf der Kreisstraße K 45 nicht von blendenden Sonnenlichtreflexionen der geplanten PV-Anlage in das Blickfeld betroffen sein können.

Es wird festgestellt, dass die Sicherheit des Schienenverkehrs auf der Zellertalbahn durch die potenziellen Sonnenlichtreflexionen der PV-Anlage nicht beeinträchtigt wird. Der Streckenverlauf und das Bahnsignal bleiben jederzeit klar erkennbar. Die Sicherheit des Schienenverkehrs bleibt jederzeit gewahrt.

Aus blendgutachterlicher Sicht ist die Photovoltaik-Freiflächenanlage Winnweiler bei Umsetzung einer der beschriebenen Blendschutzmaßnahmen als genehmigungsfähig einzustufen.



3 Einleitung

Der vorliegende Bericht enthält vertrauliche Informationen. Der Bericht dient nur zur Vorlage bei den finanzierenden Banken, beim Errichter der Anlage bzw. dessen Rechtsnachfolger, beim Auftraggeber sowie zur Klärung genehmigungsrechtlicher Fragen bei den entsprechenden Behörden. Darunter fällt auch die Weitergabe des Berichts als Bestandteil des Bebauungsplanes (B-Plan) durch die Gemeinde an berechnigte Interessenten nach dem Informationsfreiheitsgesetz. Eine Weitergabe an sonstige Dritte oder eine Veröffentlichung des Berichtes unabhängig vom B-Plan als Ganzes oder in Teilen ist nur in Absprache mit der Solarpraxis Engineering GmbH zulässig.

3.1 Gesetzlicher und regulatorischer Rahmen

3.1.1 Nutzung erneuerbarer Energien in Raumordnung und Baurecht

Die Ziele der Raumordnung der Bundesrepublik Deutschland liegen in der Sicherung der nachhaltigen Daseinsvorsorge, der Unterstützung von nachhaltigem Wirtschaftswachstum und Innovation, der Sicherung von Entwicklungspotenzialen und dem nachhaltigen Ressourcenschutz. Das Raumordnungsgesetz (ROG) in der seit Februar 2023 wirksamen Fassung beruht u. a. auf dem Grundsatz, den „räumlichen Erfordernissen für eine kostengünstige, sichere und umweltverträgliche Energieversorgung [...] Rechnung zu tragen.“

Das Baugesetzbuch (BauGB) gibt den Rahmen für die Bauleitplanung vor. Bauleitpläne im Sinne des Gesetzes sind nach § 1 Abs. 2 „der Flächennutzungsplan (vorbereitender Bauleitplan) und der Bebauungsplan (verbindlicher Bauleitplan)“. Das Baugesetzbuch (BauGB) definiert die Nutzung erneuerbarer Energien als öffentlichen Belang, der bei der Aufstellung der Bauleitpläne zu berücksichtigen sei. Mit dem Gesetz zur sofortigen Verbesserung der Rahmenbedingungen für die erneuerbaren Energien vom 4. Januar 2023 werden bestimmte Solaranlagen in die Liste der privilegierten Vorhaben des § 35 Abs. 1 BauGB aufgenommen:

- ▶ Solaranlagen in, an und auf Dach- und Außenwandflächen von zulässigerweise genutzten Gebäuden, wenn die Anlage dem Gebäude baulich untergeordnet ist
- ▶ Solaranlagen auf einer Fläche längs von Autobahnen oder Schienenwegen des übergeordneten Netzes im Sinne des § 2b des Allgemeinen Eisenbahngesetzes mit mindestens zwei Hauptgleisen und in einer Entfernung zu diesen von bis zu 200 Metern, gemessen vom äußeren Rand der Fahrbahn
- ▶ Solaranlagen bis zu einer Größe von 25.000 m² im Rahmen eines landwirtschaftlichen, forstwirtschaftlichen oder gartenbaulichen Betriebs

Durch die Privilegierung steht eine bloße Beeinträchtigung öffentlicher Belange dem Vorhaben nicht mehr entgegen und die Realisierung des Vorhabens wird in der Schutzgüterabwägung gegenüber anderen öffentlichen Belangen gestärkt. Durch die Zuweisung eines überragenden öffentlichen Interesses an der Errichtung und dem Betrieb von Erneuerbare-Energien-Anlagen im Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG 2023) setzen sich diese in der Regel gegen andere öffentliche Belange durch.

Die Privilegierung von Solaranlagen entlang von Autobahnen und Schienenwegen führt auch zu einer Beschleunigung des Genehmigungsverfahrens. Im Regelfall ist keine zeitaufwändige Bauleitplanung mehr



erforderlich. Es kann direkt ein Bauantrag gestellt werden, dessen Bewilligung nicht mehr von der Zustimmung des Gemeinderats abhängt. Bei Genehmigungsfähigkeit der Anlage besteht ein Anspruch auf Erteilung der Baugenehmigung. Zur Beurteilung der Genehmigungsfähigkeit fordern die stellungnehmenden Autobahn- und Schienenwegbetreiber im Regelfall ein Blendgutachten ein.

3.1.2 Immissionsschutz

Das Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) soll den Menschen, die natürliche Umwelt sowie Sachgüter vor schädlichen Umwelteinwirkungen, darunter auch Lichtimmissionen, schützen und deren Entstehung vorbeugen. Nach den Vorschriften des BImSchG sind sowohl genehmigungspflichtige als auch nicht genehmigungsbedürftige Anlagen so zu errichten und zu betreiben, dass schädliche Umwelteinwirkungen, sonstige Gefahren sowie erhebliche Nachteile und Belästigungen für die Allgemeinheit und die Nachbarschaft vermieden werden.

Derzeit gibt es keine die Errichtung und den Betrieb von Photovoltaikanlagen regelnde Immissionsschutz-Verordnung. Diese Aufgabe übernimmt die „zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen“ (LAI-Richtlinie) der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Immissionsschutz, einem Arbeitsgremium der Umweltministerkonferenz. Die LAI-Richtlinie gibt im Anhang 2 (Stand 3.11.2015) Empfehlungen zur Ermittlung, Beurteilung und Minderung der Blendwirkung von großflächigen Freiflächen-Photovoltaikanlagen im Rahmen von Baugenehmigungsverfahren.

3.1.3 Straßenverkehrsgesetze

Das Straßenverkehrsrecht ist ein Sicherheitsrecht und darauf ausgerichtet, die Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs zu gewährleisten (§ 6 Abs. 1 StVG). Es dient dem Zweck, die spezifischen Gefahren, Behinderungen und Belästigungen auszuschalten oder wenigstens zu mindern, die mit der Straßenbenutzung verbunden sind und liefert damit die Bewertungsgrundlage für Blendrisiken im Straßenverkehr. Im Bundesfernstraßengesetz (FstrG) regelt §9 Absatz 3, dass die Zustimmung für Baugenehmigungen entlang der Verkehrswege außerhalb der Anbauverbotszonen nur versagt werden darf, wenn die Sicherheit oder Leichtigkeit des Verkehrs dadurch beeinträchtigt wird.

3.1.4 Richtlinien der FGSV

Die Richtlinien für die Anlage von Land- und Stadtstraße der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) sind technische Regelwerke, die unter anderem die Anforderungen an freizuhaltende Sichtfelder im Verkehrswesen regeln.



3.2 Sonnenlichtreflexionen an Photovoltaikanlagen

Auf Grund der großen reflektierenden Fläche kann das von den Deckgläsern der PV-Module reflektierte Sonnenlicht eine Blendung von Anwohnern und Verkehrsteilnehmern bewirken. Da die Leuchtdichte der Sonne bei klarer Sicht bereits kurz über dem Horizont mehr als 10^6 cd/m^2 beträgt, muss auch bei den geringen Reflexionsgraden von Solarmodulen mit dem Eintritt von Blendungserscheinungen bei Beobachtern gerechnet werden. Bei typischen Freiflächen-Photovoltaikanlagen werden die PV-Module auf Tischreihen mit einer festen Azimutausrichtung von Süd bis Ost/West und einem starren Neigungswinkel zwischen 10° und 25° errichtet. In Abhängigkeit von der Topografie des Baufelds und der Umgebung können meistens nur morgens und abends Reflexionen mit geringen Höhenwinkeln auf die Augen von Verkehrsteilnehmer gerichtet sein. Die Sonne steht dabei gleichzeitig auf einer geringen Höhe mit einem geringen horizontalen Versatz über der reflektierenden Fläche. Das reflektierte Sonnenlicht hat eine um mindestens eine Zehnerpotenz geringere Intensität als das direkte Sonnenlicht.

Für Deckgläser von PV-Modulen wird ein spezielles Glas mit hohem Transmissionsgrad verwendet. Mit zunehmendem Einfallswinkel der Sonnenstrahlen sinkt die Transmission und die Reflexion am Glas steigt an. Dies hat nach heutigem Stand der Technik zur Folge, dass bei senkrechter Einstrahlung weniger als 9 % des gesamten eingestrahlt sichtbaren Lichtes reflektiert wird, während bei einem Einfallswinkel von 65° ca. 20 % der auftretenden Strahlung reflektiert wird. Abbildung 2 verdeutlicht den Zusammenhang zwischen dem Einfallswinkel der Sonnenstrahlen und der Transmission des Lichts durch das Glas.

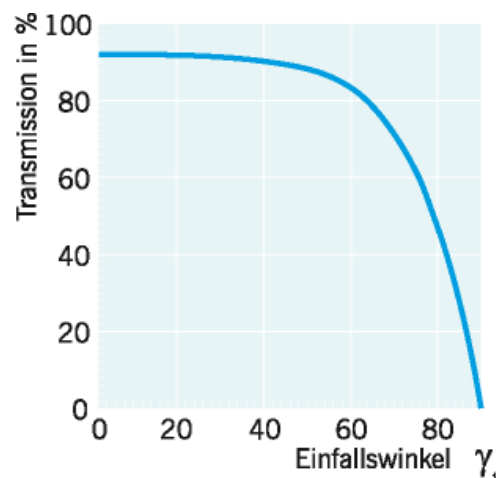


Abbildung 2: Auswirkung des Einfallswinkels auf den Transmissionsgrad für Modulgläser

Antireflexbeschichtungen von Solarmodulen entfalten ihre größte Wirksamkeit bei senkrechtem Lichteinfall. Bei flacheren Einfallswinkeln sinkt die reflexionsmindernde Wirkung, so dass sie bei den potenziell blendwirksamen Reflexionen mit flachen Einfallswinkeln zur reflektierenden Ebene den gewünschten Blendschutz in der Regel nicht erreichen.



3.3 Bewertung der Blendwirkung von Sonnenlichtreflexionen

3.3.1 Immissionsschutz (Wohn- und Arbeitsbereich)

Die „Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen“ der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI), im folgenden LAI-Richtlinie genannt, definiert schutzwürdige Räume und Flächen und beschreibt eine Berechnungsvorschrift zur Ermittlung der astronomisch maximal möglichen Immissionszeiträume unter der Annahme einer punktförmigen Sonne und ideal gerichteter Reflexion. Aufgrund der Größe der Sonnenscheibe mit einem Durchmesser von $0,56^\circ$ können real auftretende Reflexionen etwas länger andauern, als die schematische Berechnung ergibt.

Hinsichtlich der Beurteilung sieht die LAI-Richtlinie einen Anhaltspunkt für eine erhebliche Belästigung im Sinne des BImSchG, wenn die berechneten Immissionszeiten bei mindestens 30 min/d oder 30 h/a liegen. Dabei sind nur Immissionszeiten zu berücksichtigen, in denen sich die Blickrichtung zur Sonne und die auf das reflektierende Modul um $\geq 10^\circ$ unterscheiden. Die Richtlinie schränkt den Wertungsmaßstab insofern ein, dass damit nur ein erster Anhaltspunkt für die Beurteilung gegeben wird, dessen Übertragbarkeit im Einzelfall begründet werden muss. Begründete abweichende Bewertungen sind ausdrücklich zulässig.

In der Rechtsprechung wird die Zumutbarkeit von Lichtimmissionen nach der durch die Gebietsart und die tatsächlichen Verhältnisse zu bestimmenden Schutzwürdigkeit und Schutzbedürftigkeit der betroffenen Nachbarschaft beurteilt, wobei wertende Elemente wie Herkömmlichkeit, soziale Adäquanz und allgemeine Akzeptanz einzubeziehen sind. Zeitdauern von bis zu einer Stunde werden keinesfalls grundsätzlich als unzumutbar angesehen (LG Frankfurt / Main 2/12 O 322/06; OLG Stuttgart 3 U 46/13). Die Zuweisung eines überragenden öffentlichen Interesses an der Errichtung und dem Betrieb von Erneuerbare-Energien-Anlagen im Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG 2023) ist in der veröffentlichten Rechtsprechung bislang nicht berücksichtigt.

3.3.2 Verkehrssicherheit

Zur Bewertung von Blendungen im Straßenverkehr unter Tageslichtbedingungen ist der Bereich des fovealen Sehens im zentralen Blickfeld als besonders kritisch anzusehen. Dieser Bereich wird durch unbewusste Augenbewegungen (Sakkaden) und Fixationen des Blicks aufgespannt. Einflussfaktoren auf die Größe dieses Bereichs sind bspw. die Geschwindigkeit, der Straßenverlauf und die Verkehrssituation. Für Sehaufgaben im Straßen- und Schienenverkehr umfasst das zentrale Blickfeld allgemein den Bereich mit einem horizontalen Differenzwinkel zur Blickachse (= Hauptblickrichtung) von $\leq 10^\circ$. Der vertikale Differenzwinkel beträgt im Allgemeinen weniger als 3° und kann im Rahmen der Betrachtung vernachlässigt werden. An Knotenpunkten und für spezielle Fahrsituationen kann eine abweichende Festlegung des zentralen Blickfelds notwendig sein. Zur Bewertung der potenziellen Blendwirkung der Reflexionen sind neben der Beleuchtungsstärke der Reflexionsstrahlen am Auge auch die Sichtbarkeit und Position der Sonne zu berücksichtigen.

Zusätzlich ist für die Bewertung von Blendrisiken der Bereich des peripheren Sehens zu berücksichtigen, in dem Umgebungsinformationen aufgenommen werden. Das periphere Sehen dient der Orientierung (z.B. Spurhalten) sowie der Wahrnehmung von Veränderungen in der Umgebung (Bewegung, Leuchtdichteunterschiede), die als Distraktoren eine Blickzuwendung auslösen können. Für das periphere Blickfeld ist ein horizontaler Differenzwinkelbereich zur Blickachse von bis zu 30° anzusetzen.



Bei einer Fixation der Augen auf eine Blendquelle mit einer Leuchtdichte von mehr als ca. 10^5 cd/m^2 tritt eine Absolutblendung auf. Dabei wird die Anpassungsfähigkeit des Auges an die Helligkeit überschritten, und es setzen Schutzmechanismen ein, die zu einer Beeinträchtigung der Verkehrstüchtigkeit führen. Dies kann im Straßenverkehr nur im zentralen Blickfeld beim direkten Blick auf die reflektierenden Moduloberflächen geschehen. Haupteinflussfaktoren auf die Absolutblendung sind die Leuchtdichte der Blendquelle und die Dauer des Blicks in die Blendquelle.

Im Rahmen der Verkehrssicherheit kommt es vor allem auf die Relativblendung an, bei der gerichtete Lichtstrahlen durch Streueffekte des Augenapparats eine sogenannte äquivalente Schleierleuchtdichte auf der Netzhaut induzieren, die eine Einschränkung der Sehleistung vor allem durch eine Kontrastminderung und die Ablenkung von der Sehaufgabe hervorruft. Eine weitere Ursache für eine Relativblendung der Fahrzeugführenden kann ein abrupter Anstieg der Helligkeit sein, bei dem sich die Augen nicht schnell genug an die veränderte Umgebungsleuchtdichte anpassen können.

Für die Bewertung einer Relativblendung sind entsprechend der Formeln zur Berechnung der äquivalenten Schleierleuchtdichte der Differenzwinkel der Reflexionen zur Blickachse und deren Beleuchtungsstärke am Auge heranzuziehen, sowie die Sichtbarkeit und Position der Sonne zu berücksichtigen. Die Sonnenhöhe dient als Maß für die Umgebungshelligkeit und damit auch für den Adaptionzustand der Augen. In vielen Situationen steht die Sonne so nah an der reflektierenden Fläche, dass diese überstrahlt wird und keine eigenständige Blendwirkung verursachen kann.

Bei einem horizontalen Differenzwinkel von bis zu 20° zur Blickachse ist auch die Dauer des Reflexionsgeschehens zu berücksichtigen. Eine Blendsituation, die mehrere Sekunden dauert, kann zu Schutzreaktionen führen, die die Erfüllung der Sehaufgabe beeinträchtigen, während eine kurzfristige Relativblendung keinen Einfluss auf deren Erfüllung durch die Fahrzeugführenden hat. Wahrnehmbare Reflexionen außerhalb von $\pm 30^\circ$ sind als unerheblich zu bewerten.



4 Berechnungsmethodik

4.1 Verwendete Azimut-Winkelangaben

Für die Ausrichtung der PV-Module, in den Reflexionsdiagrammen und bei der Beschreibung von Blickrichtungen wird die geodätische Azimutangabe verwendet: Norden = 0°, Osten = 90°, Süden = 180° und Westen = 270°.

4.2 Berechnung der Reflexionsrichtungen

Für die Reflexionsberechnungen wird der im Regelfall in einem UTM-Koordinatensystem erstellte Belegungsplan der geplanten Solaranlage auf eine nach geographisch Nord ausgerichtete Karte mit einem Koordinatensystem in winkeltreuer Lambert-Kegelprojektion übertragen und zum Ausgleich der Meridiankonvergenz gedreht. Auf dieser Plangrundlage werden die Azimutausrichtung und die Neigung der Module unter Berücksichtigung etwaiger Querneigungen bestimmt.

Anschließend werden die Reflexionsrichtungen nach dem Reflexionsgesetz für ideal gerichtete Reflexion (Einfallswinkel = Ausfallswinkel) unter Annahme einer punktförmigen Sonne berechnet. Die Reflexionsberechnung erfolgt mit den Sonneneinfallswinkeln am Standort der Anlage in 6-minütiger Auflösung für 12 Tage im Jahr (jeweils für den 21. jeden Monats)¹. Sie liefert den Azimut und den Höhenwinkel des von der reflektierenden Fläche ausgehenden Lichtstrahls. Die Reflexionsrichtungen werden mit dem Azimut als x-Wert und Höhenwinkel als y-Wert anschaulich in einem Reflexionsdiagramm dargestellt. Abbildung 3 zeigt die geometrischen Beziehungen einschließlich des Abstandswinkels zwischen den Blickrichtungen zur Sonne und zum Reflexionspunkt.

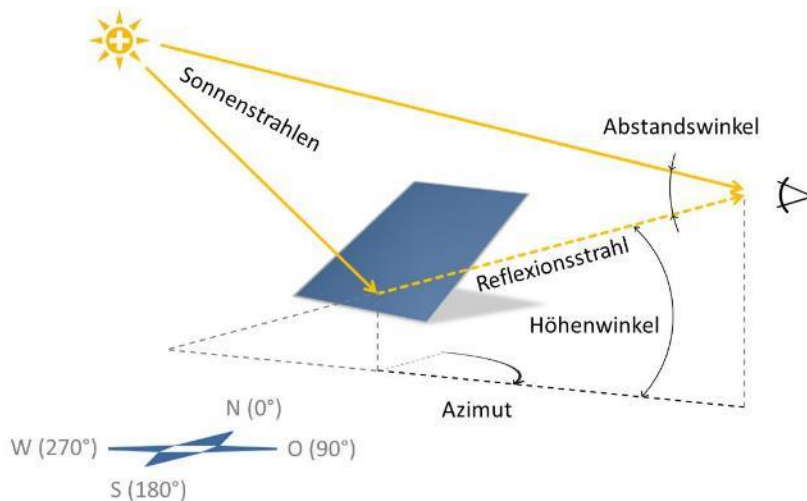


Abbildung 3: Darstellung des Reflexionsstrahls anhand von Azimut und Höhenwinkel wie in den Berechnungen verwendet und des Abstandswinkels zwischen den Blickrichtungen zur Sonne und zum Reflexionspunkt

¹ Berechnung nach Eicker 2001



Abbildung 4 zeigt exemplarisch ein Reflexionsdiagramm für PV-Module an einem gegebenen Standort, die eine Azimutausrichtung (senkrecht zur reflektierenden Ebene) von 180° und einen Neigungswinkel von 18° aufweisen. Der Standort der PV-Anlage, die Bezeichnung der reflektierenden Ebene (hier: Süd, ebenes Gelände), der Zeitabstand zwischen zwei Reflexionspunkten, die Azimutausrichtung und die Modulneigung werden im Kopfbereich des Diagramms dokumentiert. Der potenzielle Blendbereich ist durch eine rote Umrandung gekennzeichnet.

Im Diagramm werden die Reflexionsrichtungen mit ihrem Azimut- und Höhenwinkel als Tagesganglinien für den 21. jeden Monats mit gleichfarbigen Markierungspunkten dargestellt. Die roten Punkte markieren die Reflexionsrichtungen am 21. Juni und die dunkelblauen die am 21. Dezember. Zwischen den Markierungspunkten liegt ein Zeitraum von 6 min. Die graue Umrandung der Markierungspunkte zeigt, dass der Abstandswinkel zwischen Reflexions- und Sonnenstrahlen bei weniger als 6° (Verkehrswege) oder 10° (schutzwürdige Nutzungen) liegt und die Reflexionen damit keine eigenständige Blendwirkung verursachen.

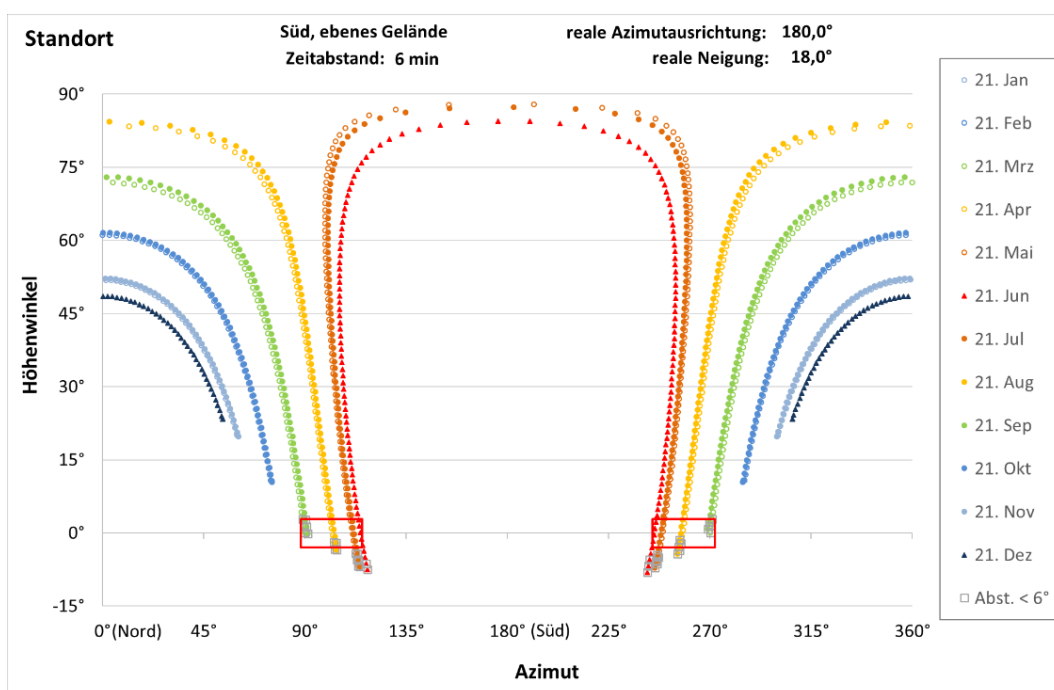


Abbildung 4: Beispielhaftes Reflexionsdiagramm mit roter Umrandung der potenziellen Blendrichtungen und -zeiten

Ein potenzieller Immissionsort kann nur von blendenden Sonnenlichtreflexionen der untersuchten PV-Anlage betroffen sein, wenn gleichzeitig die Azimutrichtung und der Höhenwinkel der Reflexionen auf diesen gerichtet sind. Aus den Höhendifferenzen und der Entfernung zwischen PV-Anlage und Immissionsort lässt sich in einem ersten Schritt der blendrelevante Höhenwinkelbereich eingrenzen. Bei Freiflächenanlagen können in der Regel nur Reflexionen bis zu einem maximalen Höhenwinkel von 3° bis 5° auf die umliegenden Immissionsorte treffen. Aus der Eingrenzung des blendrelevanten Höhenwinkelbereichs ergibt sich der potenzielle Blendbereich der Reflexionen.



4.3 Berechnung der Beleuchtungsstärken

Zur Beurteilung der Blendwirkung auf Verkehrswege werden auch die Beleuchtungsstärken der Sonnenlichtreflexionen und des Umgebungslichts (direktes, gestreutes oder diffus reflektiertes Sonnenlicht) herangezogen.

Zur Ermittlung der Beleuchtungsstärken durch das Umgebungslicht wird der Sonnenhöhenwinkel im untersuchten Reflexionszeitpunkt bestimmt und anschließend die horizontale Beleuchtungsstärke bei klarem Himmel aus direktem Sonnenlicht und Himmelslicht berechnet. Dazu werden die Berechnungsformeln der DIN 5034 Teil 2 Abschnitt 5.3 für die Bedingungen von klarem Himmel verwendet, um sicherheitshalber den für Blendung ungünstigsten Fall zu betrachten. Die horizontale Beleuchtungsstärke beträgt nach DIN 5034 an sonnigen Tag in Mitteleuropa bei einer Sonnenhöhe von 60° (mittags, Sommer) 90.000 lx und bei einer Sonnenhöhe von 16° (mittags, Winter) 20.000 lx.

Die Beleuchtungsstärke der Reflexionsstrahlen am Blickpunkt wird durch die Multiplikation der zum Reflexionszeitpunkt auf das PV-Modul treffenden Beleuchtungsstärke mit dem für den Auftreffwinkel hinterlegten Reflexionsgrad berechnet. Sollten keine modulspezifischen Reflexionsgrade vorliegen, wird der in Abschnitt 3.2 gezeigte Reflexionsgrad herangezogen, der als worst-case anzusehen ist.

4.4 Modellierung der Reflexions- und Blickpunkte

Als Reflexionspunkte werden die für die Blendanalyse ausgewählten Punkte auf der reflektierenden Oberfläche der PV-Module bezeichnet. Diese werden so gewählt, dass sie den gesamten Bereich der PV-Anlage repräsentieren, der in Richtung der im blendrelevanten Azimutbereich liegenden Immissionsorte reflektieren kann. Die x-y-Koordinaten der Reflexionspunkte werden der nach geographisch Nord ausgerichteten Karte mit dem Belegungsplan der PV-Anlage entnommen. Die z-Koordinaten ergeben sich aus der Höhe der Geländeoberkante am Reflexionspunkt und der Höhe über Grund der Unter- und Oberkanten der PV-Module.

Für die zu prüfenden Immissionsorte (Verkehrswege und schützenswerte Nutzungen) werden repräsentative Blickpunkte im potenziellen Blendbereich der PV-Anlage gewählt. Diese werden in die Plangrundlage aufgenommen und mit ihren x-y-Koordinaten in die Berechnungen übernommen. Die z-Koordinaten ergeben sich aus der Höhe der Geländeoberkante zuzüglich der Augenpunkthöhe am Blickpunkt. Dazu werden im Straßenverkehr gemäß den Richtlinien der FGSV 1 m (PKW) und 2,5 m (LKW) angesetzt, im Schienenverkehr 2 m bis 4 m, für unbebaute Grundstücke 2 m und für schützenswerten Räumen die Höhe des Fenstermittelpunkts. Die minimale und maximale Höhe eines Blickpunkts mit gleichen x-y-Koordinaten werden im Reflexionsdiagramm mit „min“ und „max“ markiert. Für Verkehrswege wird eine Blickachse (=Hauptblickrichtung) festgelegt, die im Normalfall der Fahrtrichtung entspricht.

4.5 Ergebnisdarstellung durch Reflexionsdiagramme

4.5.1 Straßen- und Schienenverkehr

Ein Reflexionsdiagramm mit Sichtbeziehung zu den Fahrzeugführenden dient zum Abgleich, ob ein Reflexionspunkt der PV-Anlage im Jahres- und Tagesverlauf Reflexionen auf einen Blickpunkt richten kann. Bei gleicher Azimutausrichtung und Modulneigung weist jeder Punkt der Moduloberfläche die gleiche



Reflexionscharakteristik auf, aber aus Sicht jedes einzelnen Reflexionspunkts unterscheiden sich Azimut- und Höhenwinkel der Reflexionspunkte zu ein und demselben Immissionsort. Deshalb werden die Kugelkoordinaten des Blickpunkts aus Sicht aller modellierten Reflexionspunkte berechnet und in das Reflexionsdiagramm eingetragen. Liegen diese innerhalb des von Reflexionen betroffenen Bereichs, d.h. zwischen den Tagesganglinien für den 21. Juni und den 21. Dezember, dann sind Reflexionen auf diesen Punkt möglich und der Zeitpunkt und die Dauer der potenziell blendenden Reflexionen können abgeschätzt werden. Zusätzlich werden das zentrale Blickfeld (oranges Oval) und das periphere Blickfeld (graues Oval) der Fahrzeugführenden entgegen der Blickrichtung eingezeichnet.

Abbildung 5 zeigt exemplarisch ein Reflexionsdiagramm mit Sichtbeziehungen zu einem Blickpunkt im Straßenverkehr. Der schwarz umrandete Bereich zeigt den maximalen Blendzeitraum, in dem von Mitte April bis Ende August morgens für wenige Minuten Sonnenlichtreflexionen in das zentrale (April und August) oder periphere Blickfeld der Fahrzeugführenden gerichtet sein können. Ob die Reflexionen tatsächlich eine Blendwirkung verursachen können, ist anhand der lichttechnischen Berechnungsergebnisse zu prüfen.

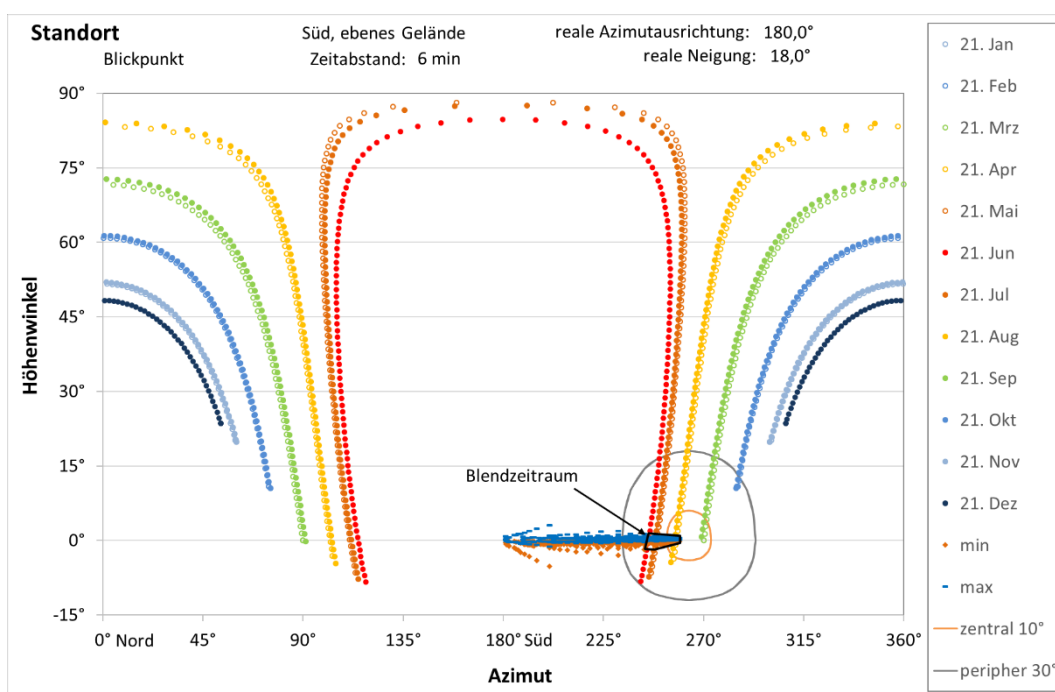


Abbildung 5: Beispielhaftes Reflexionsdiagramm mit Sichtbeziehung zu Fahrzeugführenden

4.5.2 Schützenswerte Nutzungen

Abbildung 6 zeigt exemplarisch ein Reflexionsdiagramm mit Blickbeziehungen zu einem schützenswerten Raum (oberes Diagramm) und eine Detailansicht mit dreiminütiger Auflösung der Tagesganglinien (unteres Diagramm), bei der der potenzielle Immissionszeitraum innerhalb eines Jahres durch eine schwarze Linie umgrenzt wird. Die graue Umrandung der Reflexionspunkte kennzeichnet die Zeitpunkte, zu denen der Abstandswinkel der Reflexionsstrahlen zur Sonne $< 10^\circ$ ist, und die damit nicht als Lichtimmissionen im Sinne der Licht-Richtlinie zu werten sind. Im gezeigten Beispiel beträgt die maximale tägliche Immissionsdauer 3 Minuten (etwas weniger als 2 Reflexionszeitpunkte mit dreiminütigem Abstand auf der Tagesganglinie vom 21. April bzw. August in der Detailansicht). Die maximale jährliche Immissionsdauer, umgrenzt durch die schwarze Linie in der Detailansicht, beträgt weniger als 5 Stunden.

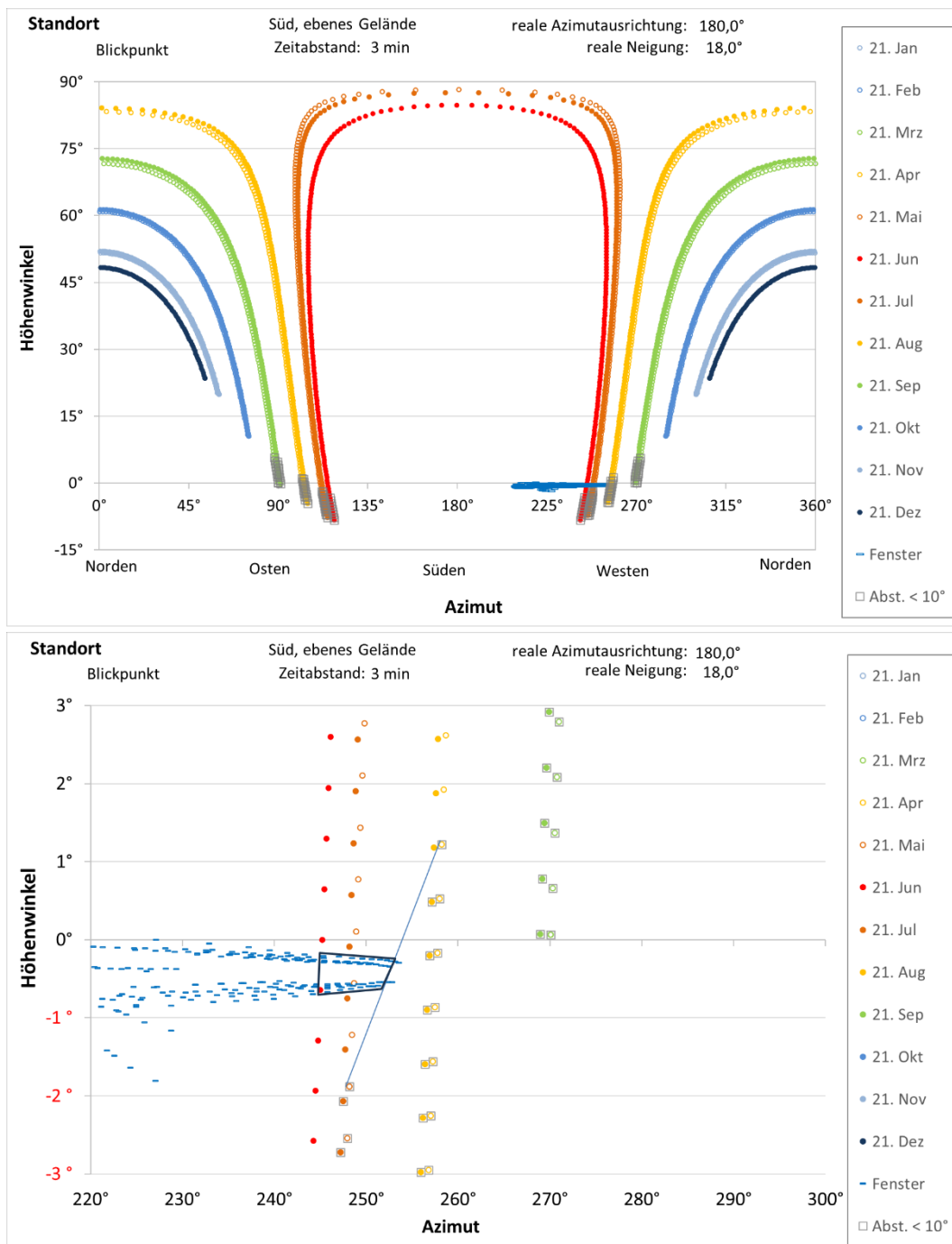


Abbildung 6: Beispielhafte Darstellung eines Reflexionsdiagramms für schützenswerte Nutzungen (oben) mit einer Detailansicht in 3-minütiger Auflösung der Tagesganglinien und schwarzer Umrandung des maximalen Immissionszeitraums (unten)



5 Situation vor Ort

5.1 PV-Anlage

Die PV-Freiflächenanlage Winnweiler soll mit fünf Belegungsfeldern in den Gemarkungen Imsbach und Börrstadt in Rheinland-Pfalz errichtet werden. Abbildung 7 zeigt die Belegungsfelder der PV-Anlage mit den darauf geplanten PV-Tischreihen, die Position des Einfriedungszauns und die umliegenden Verkehrswege.

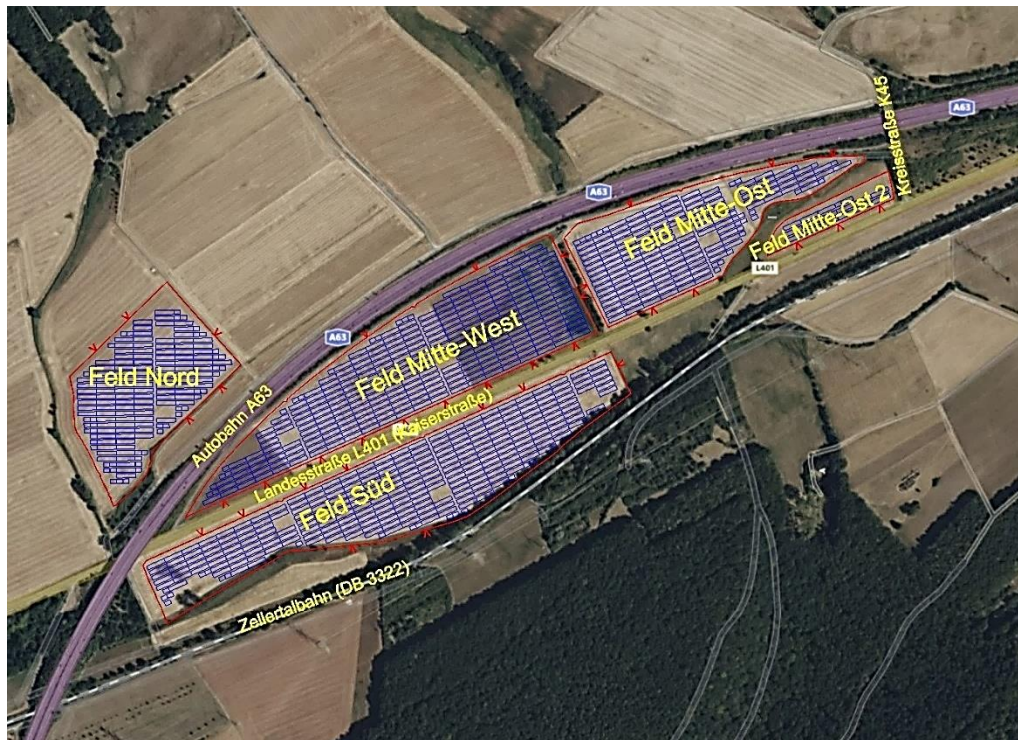


Abbildung 7: Belegungsplan der PV-Anlage Winnweiler (Modultischreihen in blau, Einfriedungszaun in rot)

Das Belegungsfeld Nord liegt nördlich der Autobahn A 63 und weist eine umzäunte Fläche von 5,2 ha auf. Das Baufeld liegt auf einer Höhe von 259 m üNN bis 281 m üNN mit Exposition nach Südsüdost. Die PV-Tische sind mit einer Azimutausrichtung nach Süden geplant. Die Hangneigung parallel zu den Tischreihen liegt zwischen -1° und -3° (positive Werte: Anstieg nach Osten).

Die Belegungsfelder Mitte-West mit 9,5 ha umzäunter Fläche, Mitte-Ost mit 5,7 ha und Mitte-Ost 2 mit 1 ha werden im Folgenden als Belegungsfelder Mitte zusammengefasst. Die Belegungsfelder Mitte befinden sich zwischen der A 63 und der L 401. Die Baufelder liegt auf eine Höhe von 260 m üNN bis 276 m üNN mit Exposition nach Süd. Die PV-Tische sind mit einer Azimutausrichtung von $155,8^\circ$ geplant. Die Hangneigung parallel zu den Tischreihen liegt zwischen $-1,3^\circ$ und $+1,2^\circ$ (positive Werte: Anstieg nach Osten).

Das Belegungsfeld Süd liegt zwischen der L 401 und der Bahnlinie und weist eine umzäunte Fläche von 9,6 ha auf. Das Baufeld liegt auf einer Höhe von 254 m üNN bis 264 m üNN mit Exposition nach Süd. Die PV-Tische sind mit einer Azimutausrichtung von $155,8^\circ$ nach geografisch Süd geplant. Die Hangneigung parallel zu den Tischreihen liegt zwischen $-0,5^\circ$ und $+1^\circ$ (positive Werte: Anstieg nach Osten).



Der Belegungsplan ist in einem UTM-Koordinatensystem mit einer Meridiankonvergenz von $-0,8^\circ$ zu geographisch Nord erstellt. Damit ergibt sich eine Azimutausrichtung von $179,2^\circ$ für auf ebenem Gelände errichtete PV-Tische des Belegungsfelds Nord und von $155,8^\circ$ für die anderen Belegungsfelder. Die Querneigungsunterschiede innerhalb der Belegungsfelder liegen bei weniger als 3° , so dass für das Belegungsfeld Nord die mittlere Querneigung von -2° und für die anderen Belegungsfelder von $+0,5^\circ$ angesetzt werden kann. Die Unter- und Oberkanten der mit einer Planneigung von 18° geplanten PV-Module liegen 0,8 m respektive 3,1 m über dem Gelände. Tabelle 1 zeigt die für die Blendanalyse genutzten Systemangaben der PV-Anlage.

Tabelle 1: Systemangaben Freiflächen-Photovoltaikanlage Winnweiler

PV-Anlage:	Winnweiler
Standort:	Gemarkungen Imsbach und Börrstadt (Breite.: $49,57^\circ$, Länge: $7,91^\circ$)
Azimutausrichtung (eben):	Feld Nord: $179,2^\circ$, Felder Mitte und Süd: $155,8^\circ$
Höhe des Baugrunds:	254 m üNNH bis 281 m üNNH
Planneigung der Module:	18°
Querneigung der Tischreihen:	Feld Nord: -2° , Felder Mitte und Süd: $+0,5^\circ$
Höhe der PV-Module	0,8 m bis 3,1 m über Geländeoberkante



5.2 Potenzielle Blendrichtungen

Das Reflexionsdiagramm für die PV-Tische des Belegungsfelds Nord in Abbildung 8 oben zeigt, dass potenziell blendende Reflexionen (rote Umrandung) mit geringen Höhenwinkeln und einem Abstandswinkel zur Sonne von $> 6^\circ$ abends in einen östlichen Azimutbereich von 82° bis 113° und morgens in einen westlichen Azimutbereich von 242° bis 266° gerichtet sein können.

Das Reflexionsdiagramme in Abbildung 8 unten zeigt den potenziellen Blendbereich für die Belegungsfelder Mitte und Süd. Er umfasst die Azimutrichtungen von 67° bis 108° und 237° bis 250° .

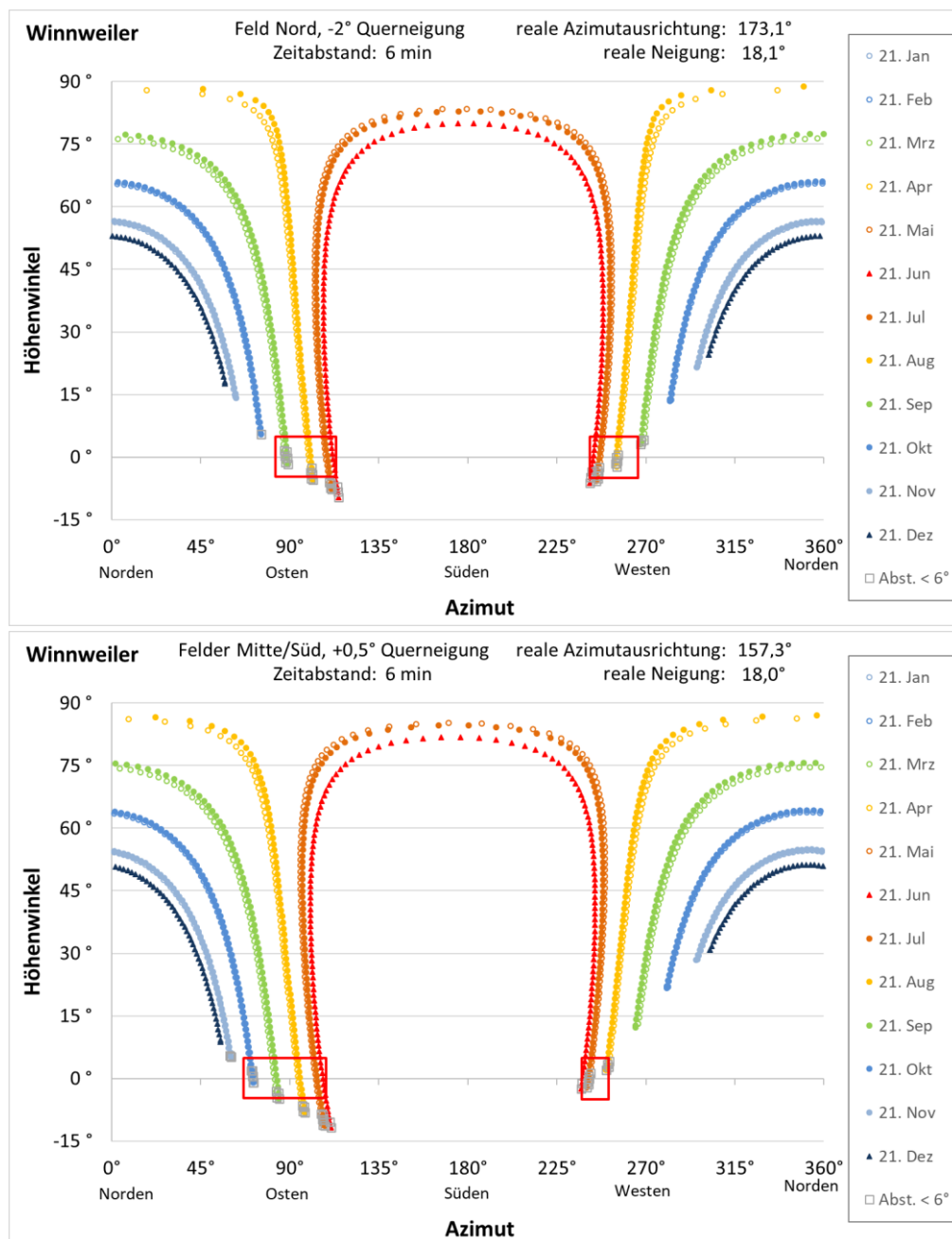


Abbildung 8: Reflexionsdiagramm für PV-Tische der Belegungsfelder Nord (oben) und Mitte/Süd (unten) mit roter Umrandung des potenziellen Blendbereichs



5.3 Zu prüfende Immissionsorte

5.3.1 Übersicht

Abbildung 9 zeigt die potenziellen Blendbereiche der PV-Anlage. Die gelben Winkel mit 200 m Schenkellänge zeigen die möglichen Blendrichtungen, in die Sonnenlichtreflexionen mit geringen Höhenwinkeln möglich sind.

Der Verkehr auf der A 63 aus östlicher Richtung kann von den potenziell blendenden Sonnenlichtreflexionen der Belegungsfelder Nord und Mitte (Mitte-Ost) in das Blickfeld der Fahrzeugführenden betroffen sein und der Verkehr aus südwestlicher Richtung von denen des Belegungsfelds Mitte.

Der Verkehr auf der L 401 kann in beiden Fahrtrichtungen von den potenziell blendenden Sonnenlichtreflexionen der Belegungsfelder Mitte in das Blickfeld der Fahrzeugführenden betroffen sein.

Der Verkehr auf der K 45 kann nicht von potenziell blendenden Sonnenlichtreflexionen in das Blickfeld der Fahrzeugführenden betroffen sein. Der Winkelabstand zur Hauptblickrichtung der Fahrzeugführenden aus südlicher Richtung beträgt mehr als 50°.

Der Schienenverkehr auf der Zellertalbahn (DB 3322) kann in beide Fahrtrichtungen von den Sonnenlichtreflexionen des Belegungsfelds Süd betroffen sein.



Abbildung 9: Mögliche Blendrichtungen (gelb), angezeichnet an ausgewählte Eckpunkte der PV-Anlage

5.3.2 Autobahn A 63

Die Autobahn A 63 führt von der Anschlussstelle Winnweiler abfallend aus südsüdwestlicher Richtung mit einer Fahrtrichtung von 16° Azimut auf die Baufelder der geplanten PV-Anlage zu und in einer Rechtskurve zwischen den Belegungsfeldern Nord und Mitte hindurch. Ausgangs der Kurve liegt die Fahrtrichtung bei



78° Azimut. Die Höhe der Fahrbahndecke beträgt an der Überführung über die L 401 265 m üNN. Im Verlauf der Rechtskurve steigt die Höhe der Fahrbahndecke nach den Höhenangaben aus Google Earth Pro bis auf 275 m üNN (Kilometermarke 55,0) um dann bis zur Unterführung unter der K 45 auf 273 m üNN abzusinken. Kurz vor der Überführung über die L 401 kommt der Verkehr aus südlicher Richtung in den potenziellen Blendbereich der Belegungsfelder Mitte (Blickpunkt A63vSüd_01). Im weiteren Verlauf bleiben die Belegungsfelder Mitte bis zum Beginn der rechtsseitigen Böschung (A63vSüd_02) sichtbar. Anschließend verhindert die Böschung bis zum Verlassen des potenziellen Blendbereichs die Sicht auch hochsitzender Fahrer auf die PV-Module der Belegungsfelder Mitte. Abbildung 10 zeigt die Sicht auf die Belegungsfelder Süd und Mitte an den gewählten Blickpunkten.



Abbildung 10: Blick in Fahrtrichtung an den Blickpunkte A63vSüd_01 (oben) und A63vSüd_02 (unten) aus 2,9 m Höhe über der Fahrbahn; Quelle: Google Street View



Für den Verkehr auf der A 63 aus östlicher Richtung kommen die Belegungsfelder Mitte mit dem Absenken der linksseitigen Böschung kurz hinter der Unterführung unter der K 45 (Blickpunkt A63vOst_01) für einen 200 m langen Streckenabschnitt in den Blick, bis erneut eine Böschung die Sichtverbindung unterbindet (A63vOst_02). Die PV-Module des Belegungsfelds Nord kommen erst ab Kilometer 55,5 mit dem Absinken der rechtsseitigen Böschung langsam in den Blick der Fahrzeugführenden (A63vOst_03). Abbildung 11 zeigt die Sicht auf das Belegungsfeld Mitte am Blickpunkt A63vOst_01 und das Belegungsfeld Nord am Blickpunkt A63vOst_03.

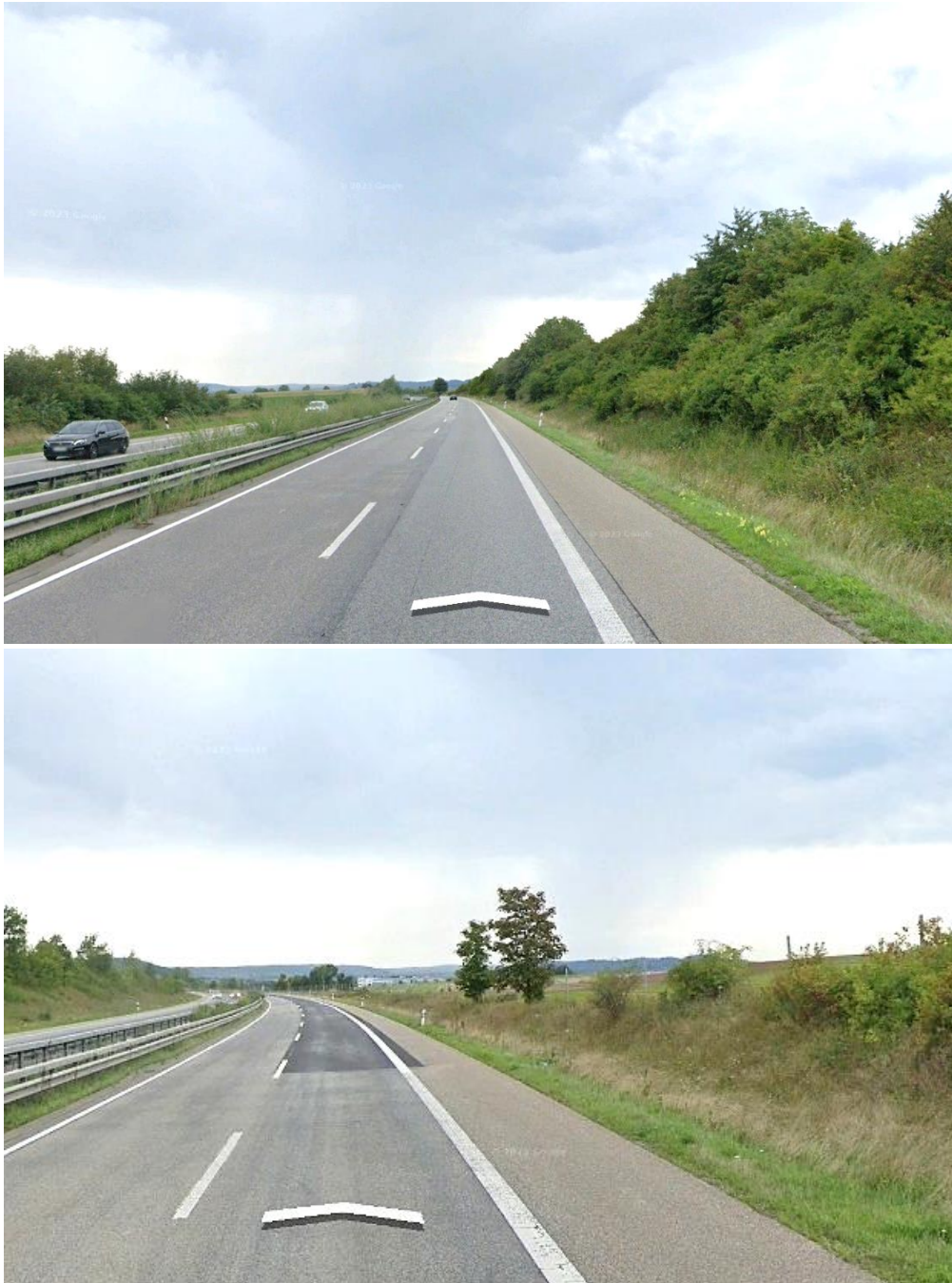


Abbildung 11: Blick in Fahrtrichtung an den Blickpunkte A63vOst_01 (oben) und A63vOst_03 (unten) aus 2,9 m Höhe über der Fahrbahn; Quelle: Google Street View



5.3.3 Landesstraße L 401 (Kaiserstraße)

Die Landesstraße L 401 führt aus Richtung Westen mit einer Azimutrichtung von 66° gradlinig, leicht ansteigend ($0,6^\circ$), zwischen den Belegungsfeldern Süd und Mitte hindurch. Das Belegungsfeld Süd der geplanten PV-Anlage kommt kurz vor der Unterführung unter der A 63 in den Blick der Fahrzeugführenden (Blickpunkt L401vOst), die Belegungsfelder Mitte kurz danach. Die Höhe der Fahrbahndecke steigt während der Passage der Anlage von 259 m üNNH auf 272 m üNNH. Abbildung 12 zeigt den Blick in Fahrtrichtung an den gewählten Blickpunkten.



Abbildung 12: Blick in Fahrtrichtung PV-Anlage an den Blickpunkten L401vWest (oben) und L401vOst (unten) aus 2,9 m Höhe über der Fahrbahn; Quelle: Google Street View



5.3.4 Zellertalbahn (DB 3322)

Die Zellertalbahn führt von Westen mit einer Richtung von 69° Azimut erst unter der A 63 hindurch, passiert ein Bahnsignal (Abbildung 13) und führt dann ca. 500 m am südlichen Rand des Belegungsfelds Süd entlang. Dann setzt eine Linkskurve ein. Kurz nach dem vollständigen Passieren des Belegungsfelds Süd wird die Bahnstrecke mit einer Rechtskurve parallel zur L 401 in einem Abstand von 40 m weitergeführt. Die Höhe des Bahndamms steigt von 260 m üNNH auf Höhe des westlichen Rands des Belegungsfelds auf 267 m üNNH am östlichen Rand. Die Sichtverbindung zwischen den Zugführenden und der PV-Anlage ist durch einen einreihigen Baumbestand eingeschränkt. Abbildung 13 zeigt die Lage des Bahnsignals und den Verlauf des Bahndamms südlich des Belegungsfelds Süd.

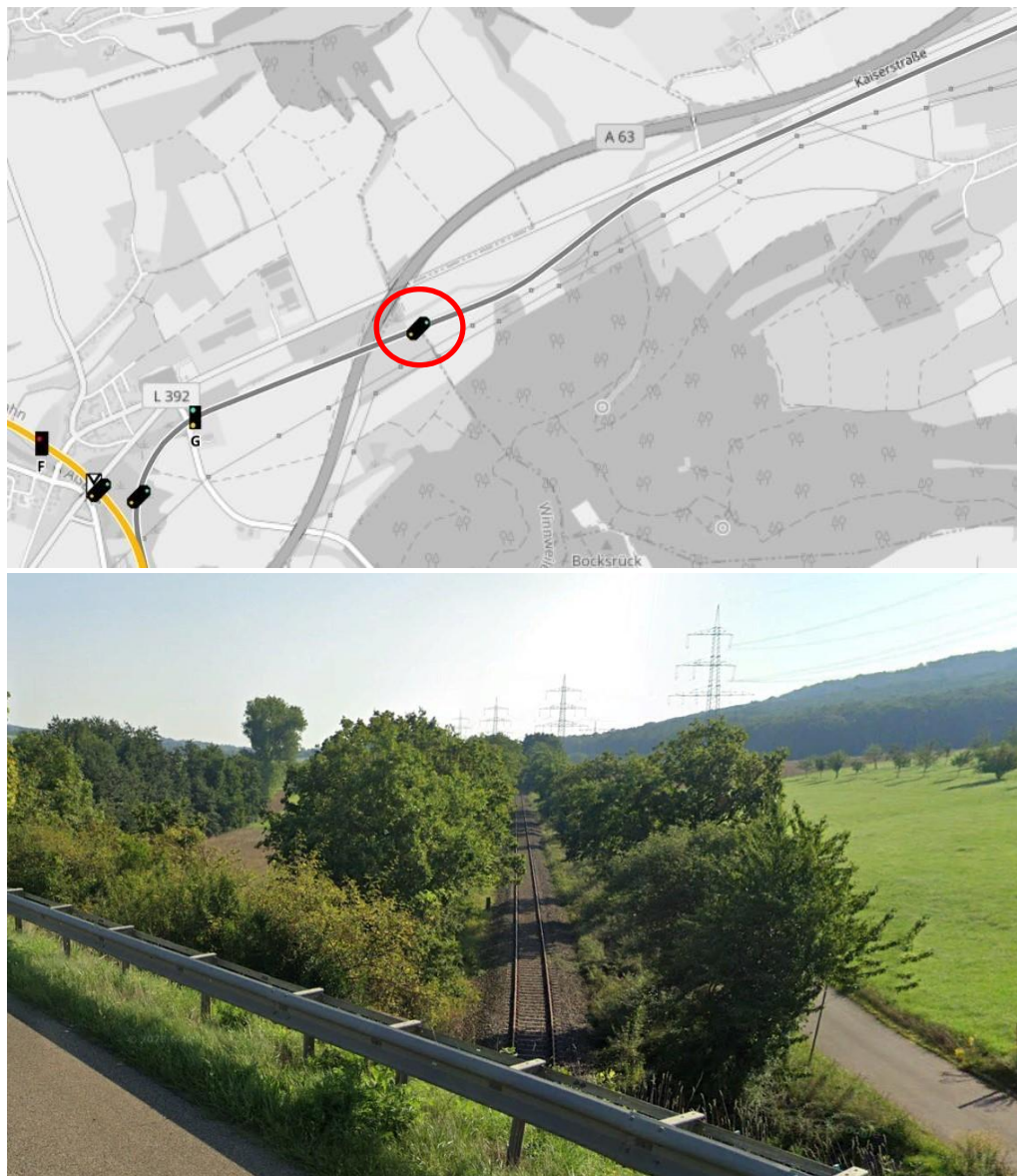


Abbildung 13: Oben: Lage des Bahnsignals (rot umrandet) der Zellertalbahn im Bereich der geplanten PV-Anlage; Quelle: <https://openrailwaymap.org/>; unten: Blick von der A 63 in östliche Richtung auf den Bahndamm; Quelle: Google Street View



5.3.5 Reflexions- und Blickpunkte

Als Reflexionspunkte werden die östlichen Unter- und Oberkanten aller PV-Tische modelliert und im Bereich des Knotenpunkts K45/L401 um die westlichen Unter- und Oberkanten ergänzt. Abbildung 14 zeigt die modellierten Reflexionspunkte der PV-Anlage und die Blickpunkte der zu prüfenden Immissionsorte in der x-y-Ebene mit Angabe der Augenpunkthöhe und Hauptblickrichtung am Blickpunkt.

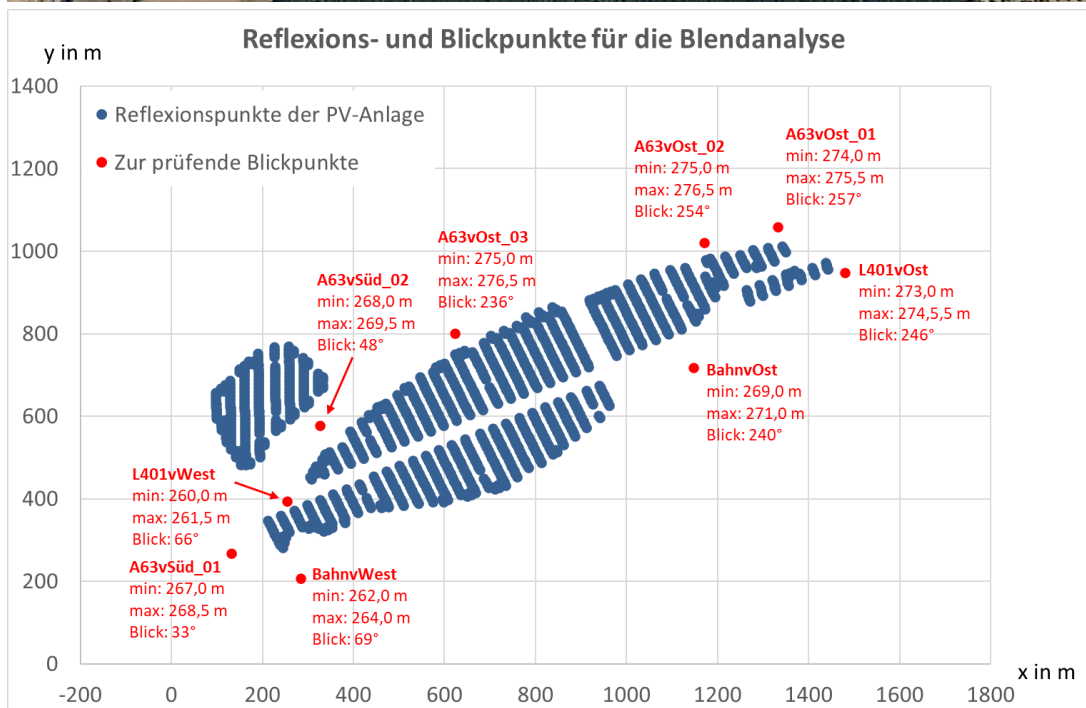
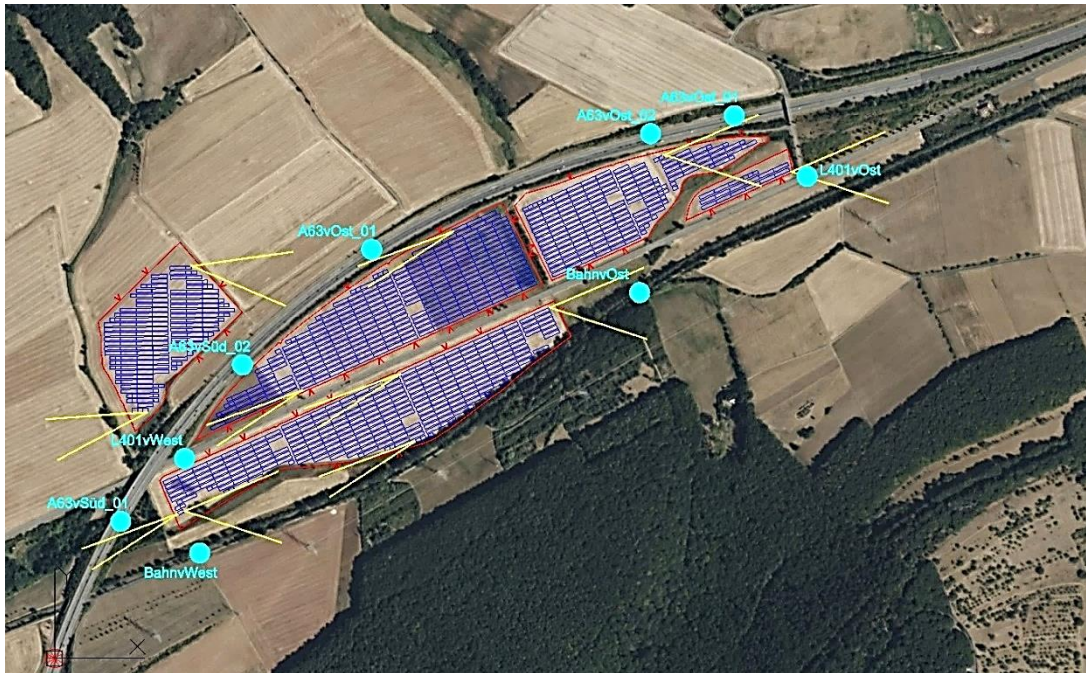


Abbildung 14: Für die Blendanalyse modellierte Reflexions- und Blickpunkte vor dem Hintergrund eines Luftbilds aus Bing Maps (oben) und in der x-y-Ebene mit Angabe der Augenpunkthöhen in m üNNH und Blickrichtung am Blickpunkt (unten)



6 Berechnungsergebnisse

6.1 A 63 aus südlicher Richtung

Am Blickpunkt A63vSüd_01 können ausschließlich Sonnenlichtreflexionen der Belegungsfelder Mitte und Süd auf die Fahrzeugführenden gerichtet sein. Das Reflexionsdiagramm in Abbildung 15 zeigt, dass von Mitte Mai bis Ende August morgens nach oben gerichtete Sonnenlichtreflexionen in das periphere Blickfeld der Fahrzeugführenden gerichtet sein können.

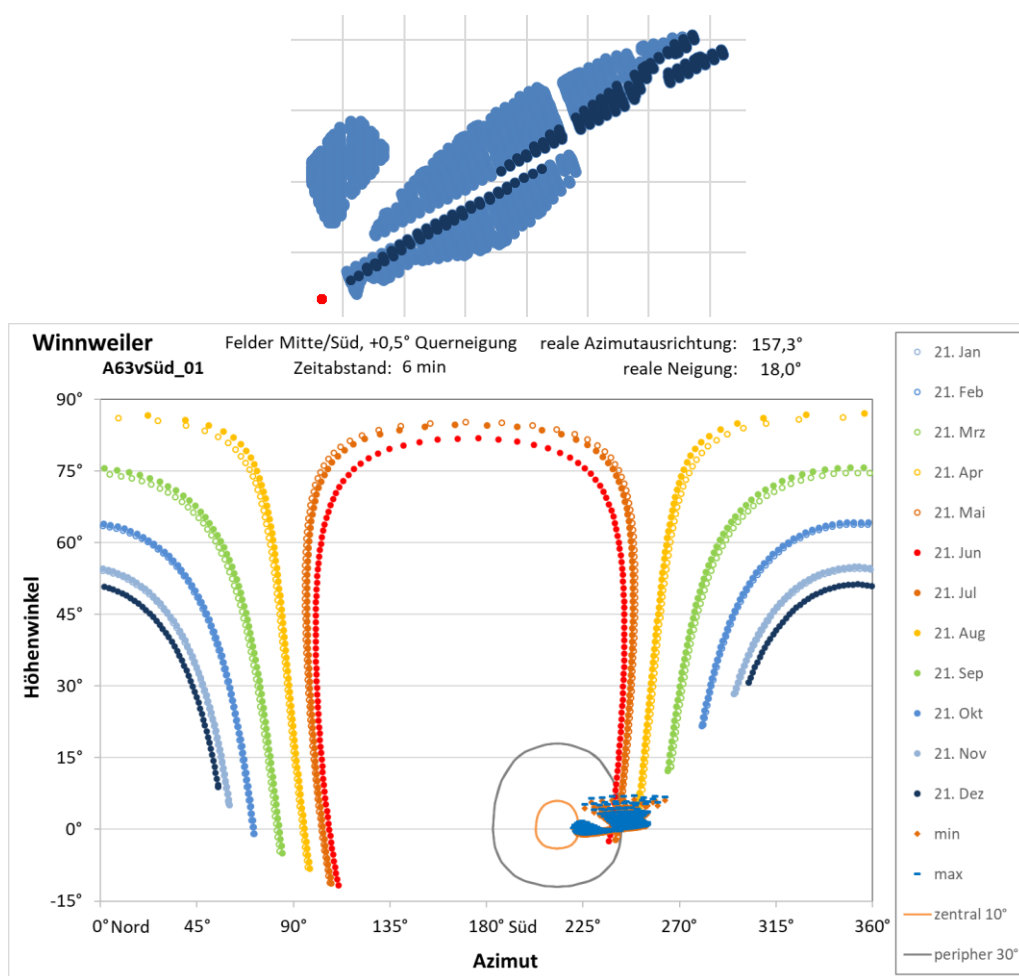


Abbildung 15: Reflexionsdiagramm am Blickpunkt A63vSüd_01 mit Visualisierung der PV-Tische (dunkelblau hervorgehoben), die in das periphere Blickfeld reflektieren können

Tabelle 2 zeigt die Ergebnisse der Berechnung für die der Blickachse am nächsten gelegen (A63vSüd_01_R1) und die lichtstärkste Reflexion (A63vSüd_01_R2), die in das periphere Blickfeld gerichtet sein kann.

Tabelle 2: Ergebnisse der Reflexionsberechnung am Blickpunkt A63vSüd_01

Reflexion	Abstand zu Blickachse	Höhenwinkel	Bel.-stärke am Auge in lx	Sonnenhöhe	Abstand Sonne zu Blickachse	Bel.-stärke Sonne (senkrecht) in lx
A63vSüd_01_R1	25,3°	0°	249	5,4°	27,0°	10.326
A63vSüd_01_R2	27,1°	5,7°	777	8,3°	31,9°	17.070



Am Blickpunkt A63vSüd_02 hat sich die Hauptblickrichtung der Fahrzeugführenden weiter nach Osten gewendet. Das Reflexionsdiagramm in Abbildung 16 zeigt, dass die Reflexionen an dieser Stelle von Mai bis Juli kurz nach Sonnenaufgang in das periphere Blickfeld gerichtet sein können.

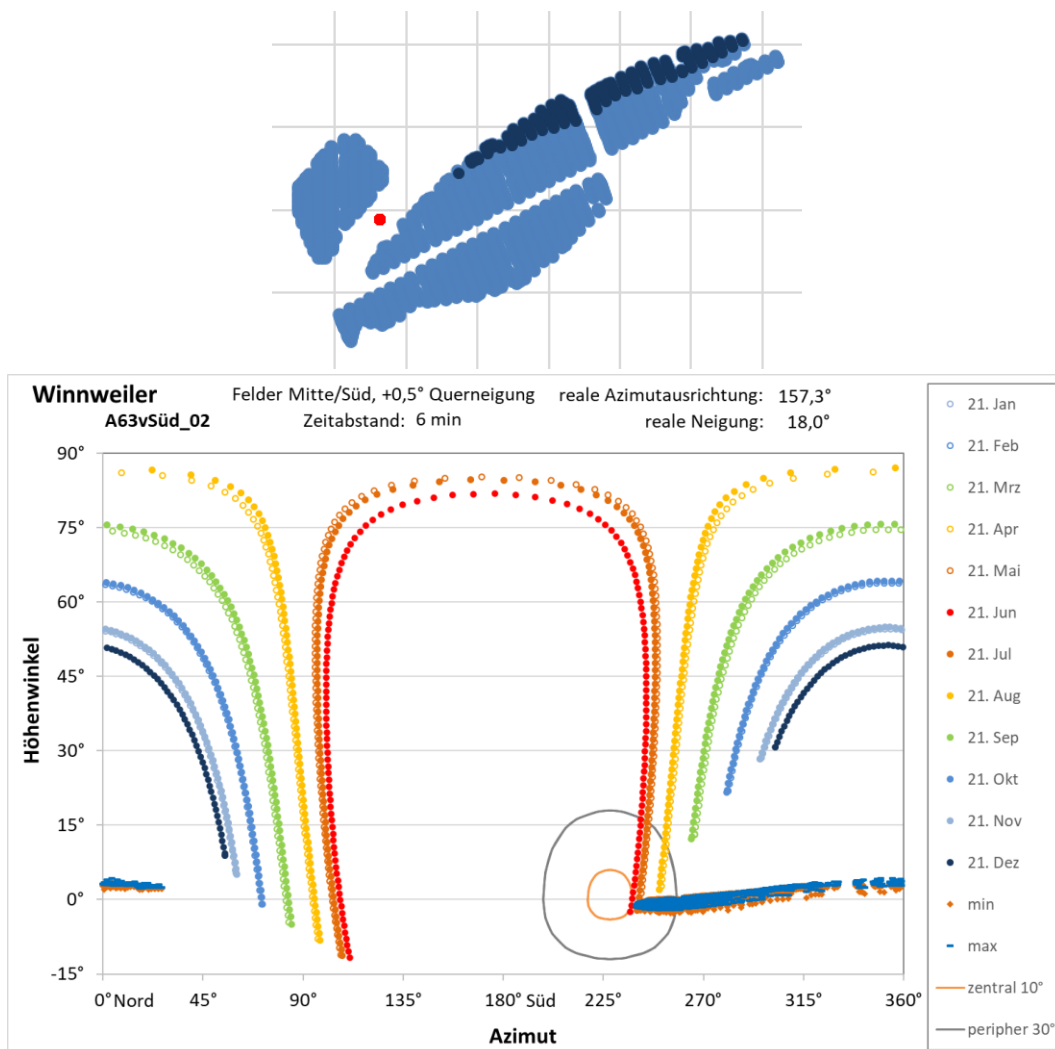


Abbildung 16: Reflexionsdiagramm am Blickpunkt A63vSüd_02 mit Visualisierung der PV-Tische (dunkelblau hervorgehoben), die in das periphere Blickfeld reflektieren können

Tabelle 3 zeigt die bewertungsrelevanten Ergebnisse der Reflexionsberechnung.

Tabelle 3: Ergebnisse der Reflexionsberechnung am Blickpunkt A63vSüd_02

Reflexion	Abstand Blickachse	Beleuchtungsstärke am Auge in lx	Sonnenhöhe	Abstand Sonne zu Blickachse	Beleuchtungsstärke Sonne (senkrecht) in lx
A63vSüd_02_R1	11,8°	56	3,2°	12,4°	6.230
A63vSüd_02_R2	12,6°	97	3,5°	13,4°	6.796



6.2 A 63 aus östlicher Richtung

6.2.1 Belegungsfeld Mitte

An den Blickpunkten A63vOst_01 und A63vOst_02 können ausschließlich Sonnenlichtreflexionen der Belegungsfelder Mitte auf die Fahrzeugführenden gerichtet sein. Das Reflexionsdiagramm in Abbildung 22 zeigt, dass Mitte Februar und Ende Oktober zum Sonnenuntergang Sonnenlichtreflexionen in den Randbereich des zentralen Blickfelds der Fahrzeugführenden gerichtet sein können.

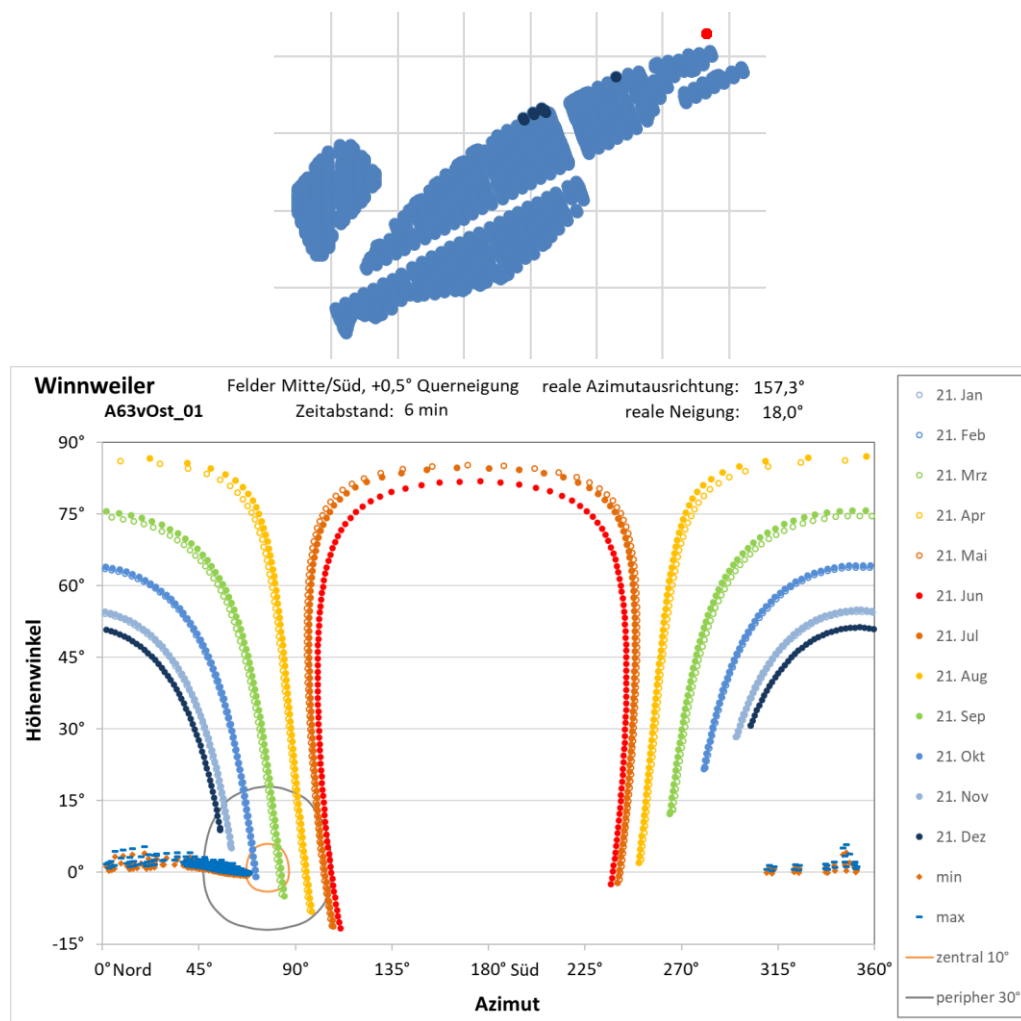


Abbildung 17: Reflexionsdiagramm am Blickpunkt A63vOst_01 mit Visualisierung der PV-Tische (dunkelblau hervorgehoben), die in das Blickfeld reflektieren können

Tabelle 4 zeigt die Ergebnisse der Berechnung für die der Blickachse am nächsten gelegene und gleichzeitig lichtstärkste Reflexion, die in das Blickfeld gerichtet sein kann.

Tabelle 4: Ergebnisse der Reflexionsberechnung am Blickpunkt A63vOst_01

Reflexion	Abstand zu Blickachse	Höhenwinkel	Bel.-stärke am Auge in lx	Sonnenhöhe	Abstand Sonne zu Blickachse	Bel.-stärke Sonne (senkrecht) in lx
A63vOst_01_R1	8,2°	-0,1°	6	0,8°	8,5°	1.514



Das Reflexionsdiagramm in Abbildung 23 zeigt, dass am Blickpunkt A63vOst_02 keine Sonnenlichtreflexionen mehr auf die Fahrzeugführenden gerichtet sein können.

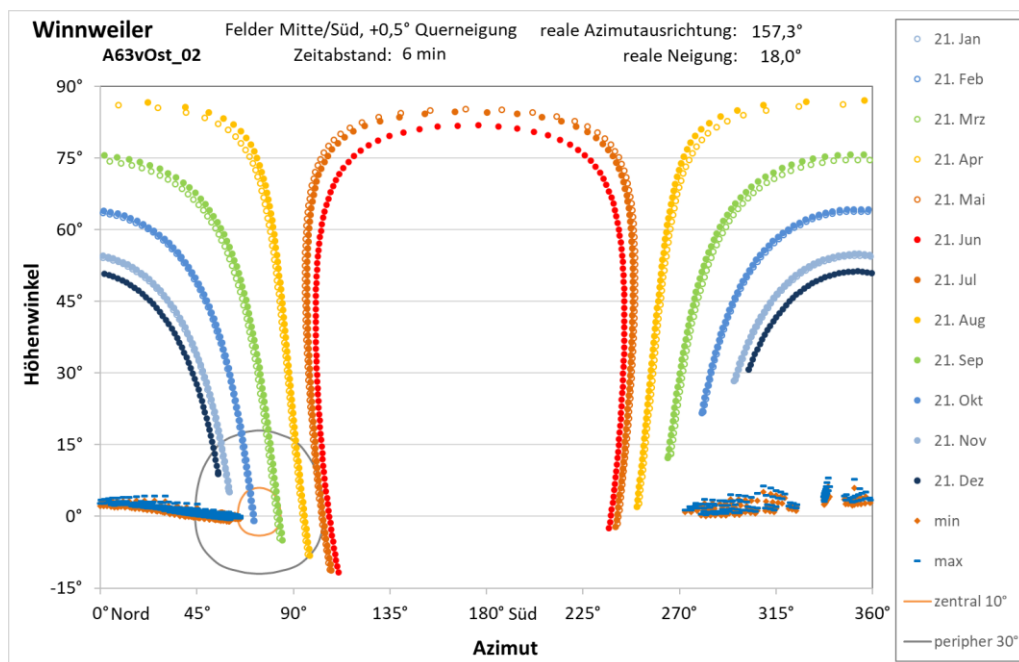


Abbildung 18: Reflexionsdiagramm am Blickpunkt A63vOst_02

6.2.2 Belegungsfeld Nord

Das Reflexionsdiagramm in Abbildung 19 zeigt, dass keine Sonnenlichtreflexionen in das Blickfeld der Fahrzeugführenden gerichtet sein können.

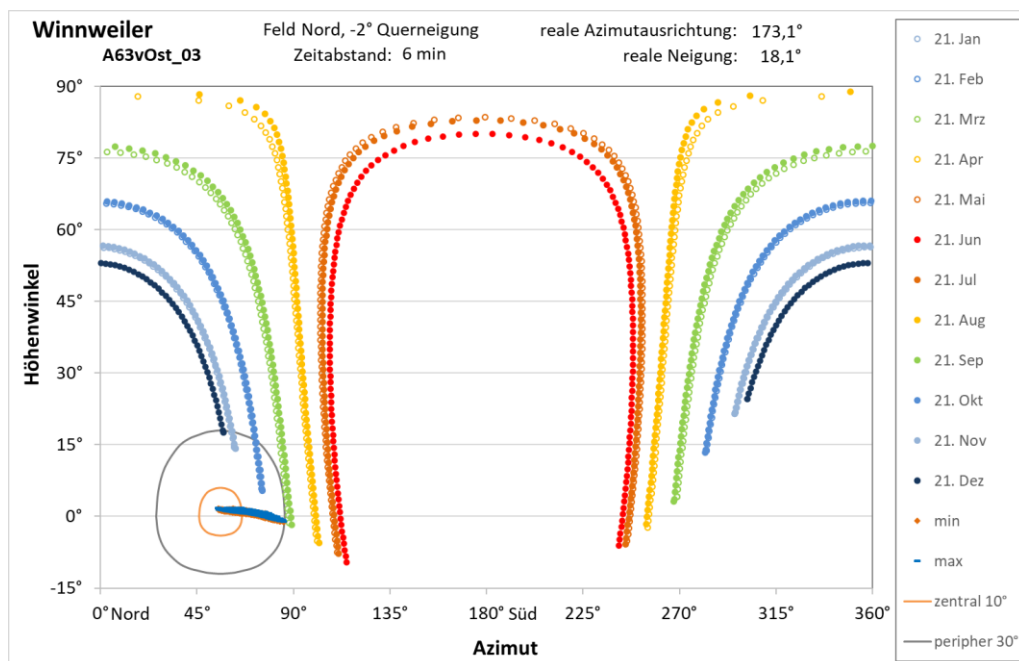


Abbildung 19: Reflexionsdiagramm am Blickpunkt A63vOst_03



6.3 L 401 aus westlicher Richtung

Das Reflexionsdiagramm in Abbildung 20 zeigt die Reflexionspunkte der Belegungsfelder Mitte links des Mittelpunkts der Blickfelder und die des Belegungsfelds Süd rechts davon. Die Sonnenlichtreflexionen des Belegungsfelds Mitte können von Mai bis Juli kurz nach Sonnenaufgang in das zentrale Blickfeld der Fahrzeugführenden gerichtet sein.

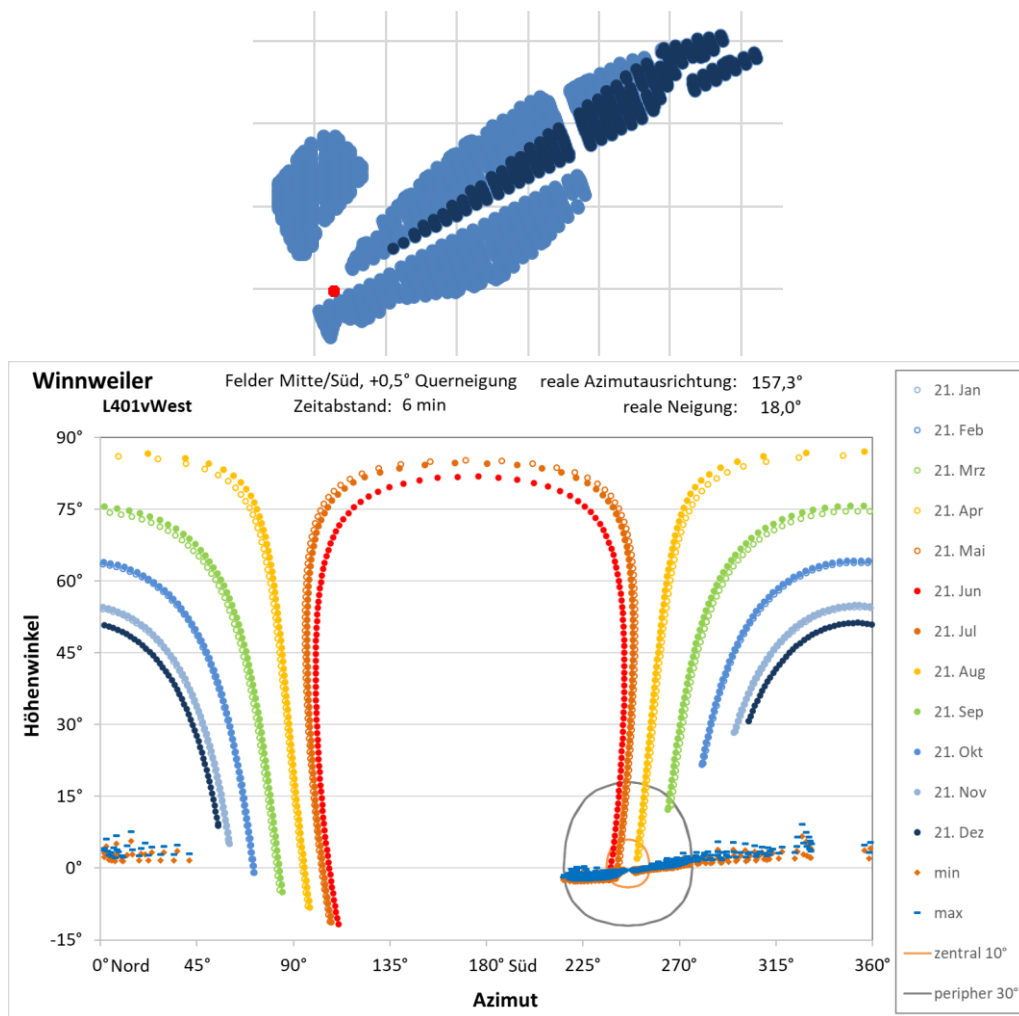


Abbildung 20: Reflexionsdiagramm am Blickpunkt L401vWest mit Visualisierung der PV-Tische (dunkelblau hervorgehoben), die in das Blickfeld reflektieren können

Tabelle 6 zeigt die Ergebnisse der Berechnung für die der Blickachse am nächsten gelegene (L401vWest_R1) und die lichtstärkste (L401vWest_R2) Reflexion, die in das Blickfeld gerichtet sein kann.

Tabelle 5: Ergebnisse der Reflexionsberechnung am Blickpunkt L401vWest

Reflexion	Abstand zu Blickachse	Höhenwinkel	Bel.-stärke am Auge in lx	Sonnenhöhe	Abstand Sonne zu Blickachse	Bel.-stärke Sonne (senkrecht) in lx
L401vWest_R1	1,3°	-0,5°	9	1,2°	1,1°	2.280
L401vWest_R2	8,3°	-0,6°	218	5,2°	6,8°	10.073



6.4 L 401 aus östlicher Richtung

Das Reflexionsdiagramm in Abbildung 21 zeigt die Reflexionspunkte der Belegungsfelder Mitte rechts des Mittelpunkts der Blickfelder und die des Belegungsfelds Süd links davon. Die Sonnenlichtreflexionen des Belegungsfelds Mitte können von Mitte Februar bis Ende April und von Mitte August bis Ende Oktober abends in das zentrale oder periphere Blickfeld der Fahrzeugführenden gerichtet sein.

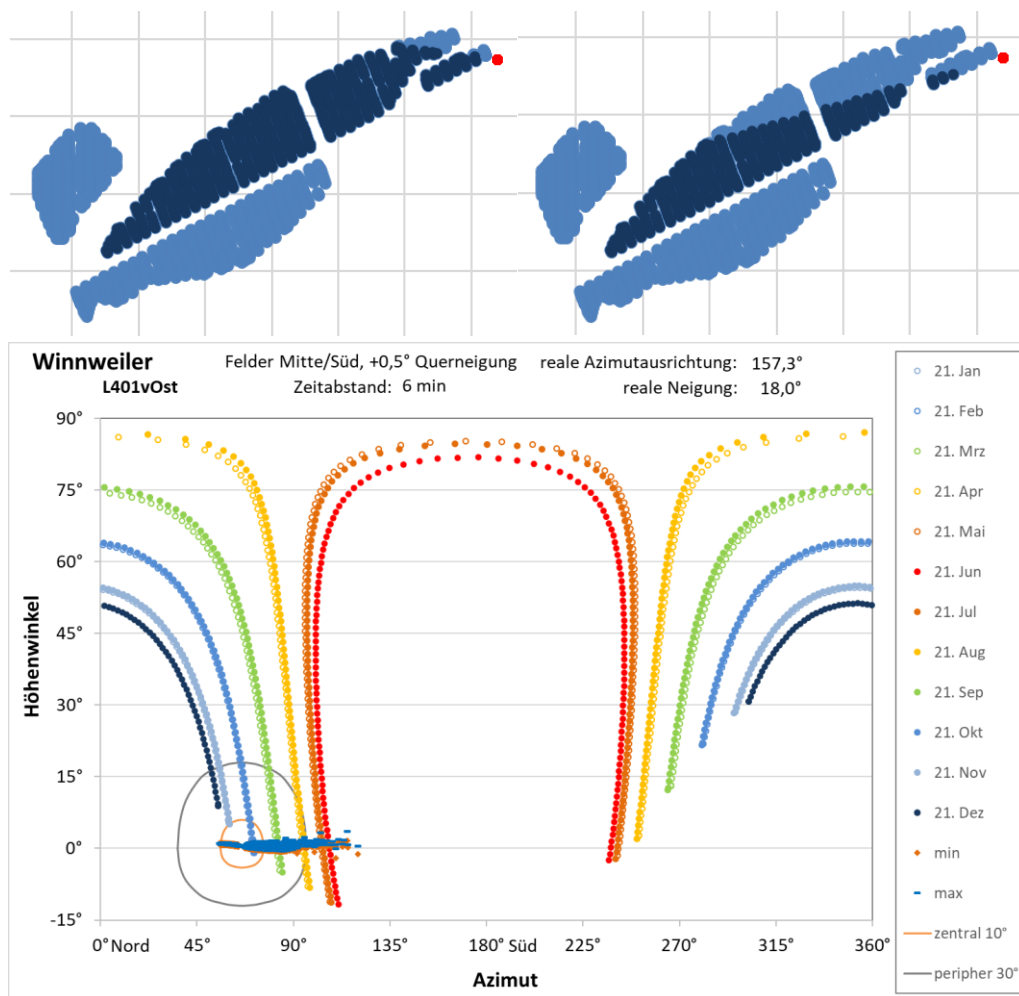


Abbildung 21: Reflexionsdiagramm am Blickpunkt L401vOst mit Visualisierung der PV-Tische (dunkelblau hervorgehoben), die in das zentrale (oben rechts) oder das gesamte (oben links) Blickfeld reflektieren können

Tabelle 6 zeigt die Ergebnisse der Berechnung für die der Blickachse am nächsten gelegene (L401vOst_R1) und die lichtstärkste (L401vOst_R2) Reflexion in das zentrale Blickfeld und die lichtstärkste in das periphere Blickfeld (L401vOst_R3).

Tabelle 6: Ergebnisse der Reflexionsberechnung am Blickpunkt L401vOst

Reflexion	Abstand zu Blickachse	Höhenwinkel	Bel.-stärke am Auge in lx	Sonnenhöhe	Abstand Sonne zu Blickachse	Bel.-stärke Sonne (senkrecht) in lx
L401vOst_R1	0,9°	0,6°	2	1,2°	0,2°	446
L401vOst_R2	9,8°	1,3°	352	6,0°	7,4°	11.581
L401vOst_R3	29,1°	2,3°	1.683	17,9°	23,1°	33.292



6.5 Schienenverkehr aus westlicher Richtung

Das Reflexionsdiagramm in Abbildung 22 zeigt, dass von Mitte Mai bis Ende Juli kurz nach Sonnenaufgang für wenige Minuten Reflexionen in den Randbereich des zentralen Blickfelds oder in das periphere Blickfeld der Fahrzeugführenden gerichtet sein können.

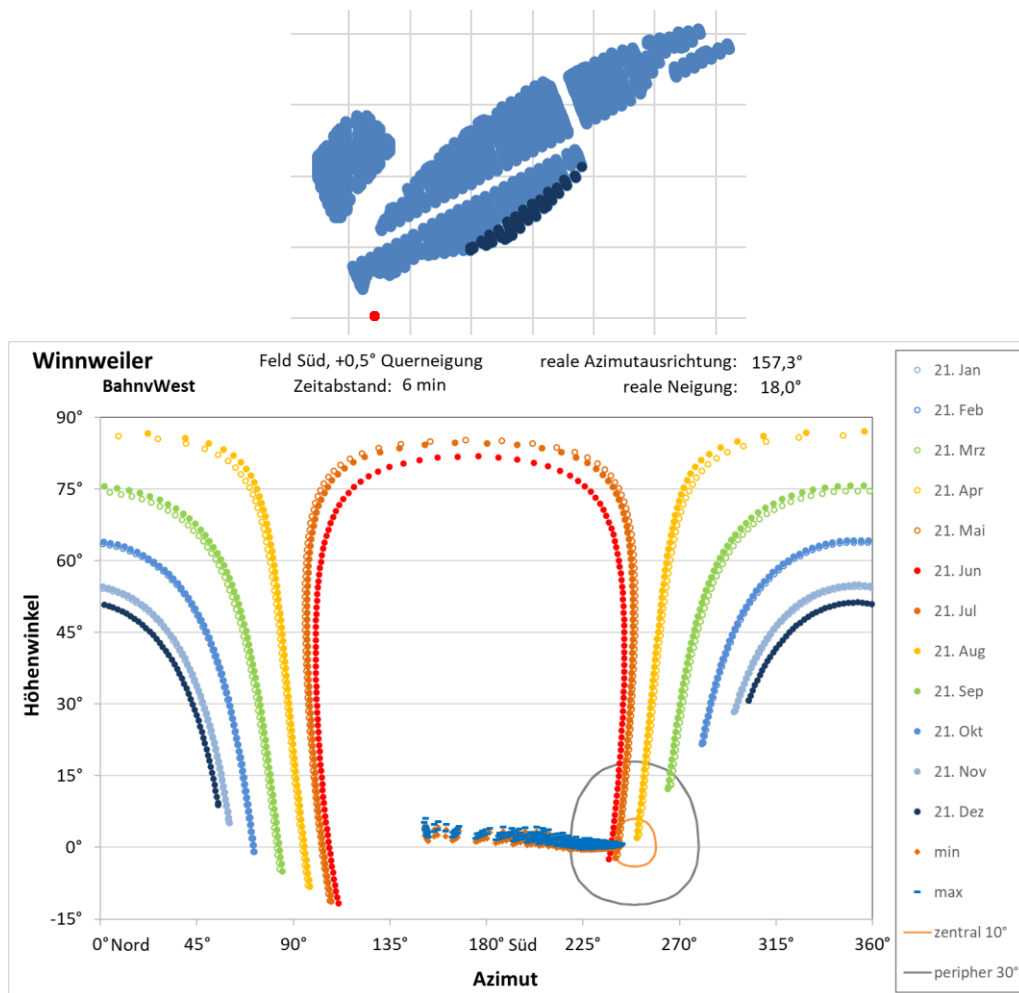


Abbildung 22: Reflexionsdiagramm am Blickpunkt BahnWest mit Visualisierung der PV-Tische (dunkelblau hervorgehoben), die in das zentrale oder periphere Blickfeld reflektieren können

Tabelle 7 zeigt die bewertungsrelevanten Ergebnisse der Reflexionsberechnung am Blickpunkt BahnWest_01 für die der Blickachse am nächsten gelegenen Reflexion (BahnWest_R1), die lichtstärkste Reflexion in das zentrale Blickfeld (BahnWest_R2) und die lichtstärkste Reflexion in das periphere Blickfeld (BahnWest_R3).

Tabelle 7: Ergebnisse der Reflexionsberechnung am Blickpunkt BahnWest

Reflexion	Abstand Blickachse	Beleuchtungsstärke am Auge in lx	Sonnenhöhe	Abstand Sonne zu Blickachse	Beleuchtungsstärke Sonne (senkrecht) in lx
BahnWest_R1	5,6°	100	2,9°	4,4°	5.669
BahnWest_R2	9,7°	320	5,7°	7,5°	10.990
BahnWest_R3	10,8°	338	6,0°	8,6°	11.620



6.6 Schienenverkehr aus östlicher Richtung

Das Reflexionsdiagramm in Abbildung 23 zeigt, dass im Februar/März und September/Oktober abends für wenige Minuten Sonnenlichtreflexionen in das zentrale oder periphere Blickfeld gerichtet sein können.

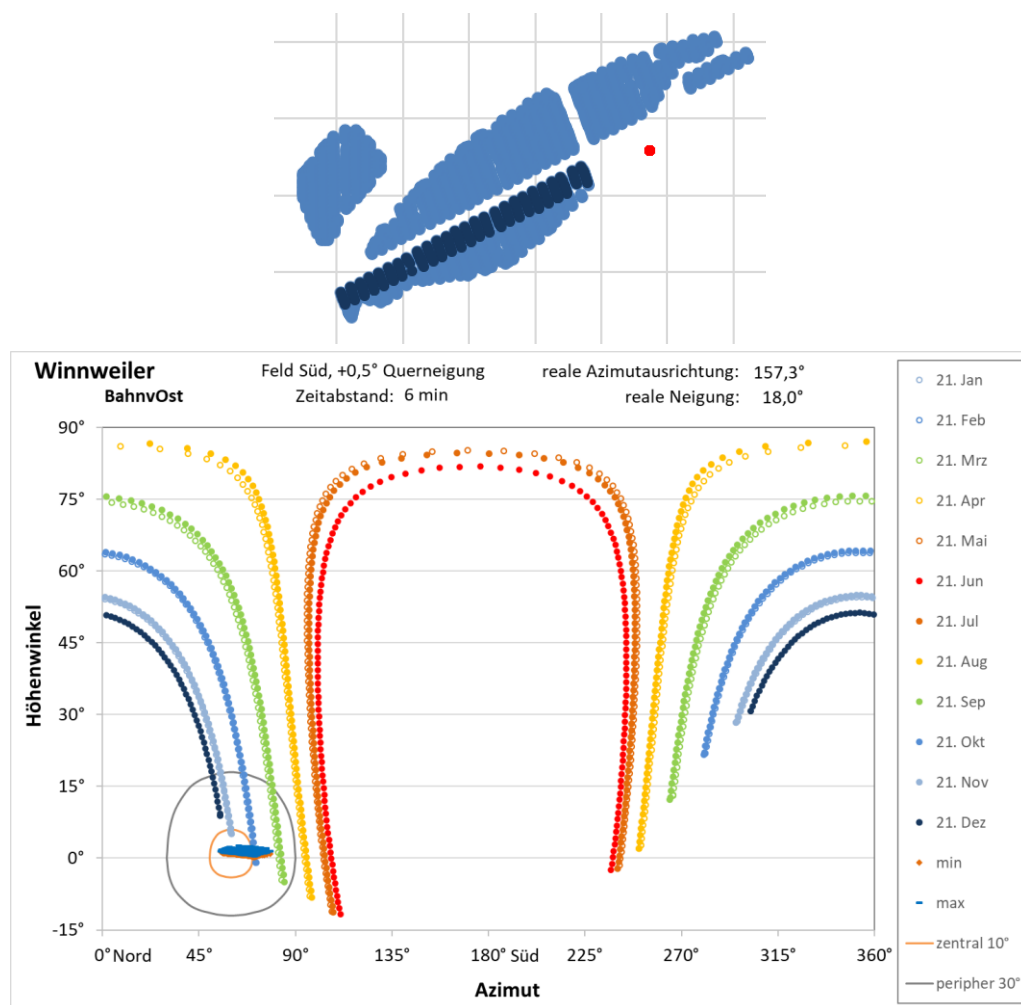


Abbildung 23: Reflexionsdiagramm am Blickpunkt BahnVost mit Visualisierung der PV-Tische (dunkelblau hervorgehoben), die in das zentrale oder periphere Blickfeld reflektieren können

Tabelle 8 zeigt die Ergebnisse der Reflexionsberechnung für die der Blickachse am nächsten gelegene Reflexion (BahnVost_R1), die lichtstärkste Reflexion in das zentrale Blickfeld (BahnVost_R2) und die lichtstärkste Reflexion in das periphere Blickfeld (BahnVost_R3).

Tabelle 8: Ergebnisse der Reflexionsberechnung am Blickpunkt BahnVost

Reflexion	Abstand Blickachse	Beleuchtungsstärke am Auge in lx	Sonnenhöhe	Abstand Sonne zu Blickachse	Beleuchtungsstärke Sonne (senkrecht) in lx
BahnVost_R1	5,5°	11	0,5°	4,7°	905
BahnVost_R2	8,8°	127	2,8°	7,1°	5.391
BahnVost_R3	18,3°	511	7,6°	15,4°	14.592



7 Bewertung der Blendrisiken

7.1 Autobahn A 63

Der Verkehr in Richtung Mainz führt aus südsüdwestlicher Richtung auf die Belegungsfelder der PV-Anlage Winnweiler zu. Mit der Überführung über die Zellertalbahn (km 56,0) setzt eine langgezogene Rechtskurve ein, die PV-Module werden beidseits der Autobahn sichtbar und die Fahrzeugführenden geraten über einen Streckenverlauf von gut 400 m in den Reflexionsbereich der Belegungsfelder Süd und Mitte. Deren Sonnenlichtreflexionen können von Mitte Mai bis Ende August frühmorgens für einen kurzen Teilabschnitt wenige Sekunden auf die Fahrzeugführenden gerichtet sein.

Der Winkelabstand der Reflexionen zur Hauptfahrtrichtung beträgt zu Beginn des von Reflexionen betroffenen Abschnitts mehr als 25° und die Beleuchtungsstärke von weniger als 800 lx kann bei diesem Winkelabstand an den bereits vollständig tageslichtadaptierten Augen der Fahrzeugführenden keine Blendung hervorrufen. Gleichzeitig steht die Sonne auf einer maximalen Höhe von 8,3° über der reflektierenden Fläche.

Auf Grund der sich im Kurvenverlauf verändernden Winkelbeziehung zwischen Fahrzeugführenden und PV-Anlage findet das Reflexionsgeschehen mit zunehmenden Kurvenverlauf zu einem etwas früheren Zeitpunkt am Morgen statt. Dabei verringert sich der Winkelabstand der Reflexionen zur Hauptblickrichtung, während gleichzeitig auch die Beleuchtungsstärke wegen der zum jeweiligen Reflexionszeitpunkt geringeren Sonnenhöhe abnimmt. Kurz bevor die PV-Anlage wegen einer rechtsseitigen Böschung aus dem Blick gerät, liegt der Winkelabstand der Reflexionen zur Hauptblickrichtung bei 12°. Die Reflexionen bewirken dabei eine Beleuchtungsstärke von weniger als 100 lx an den Augen der Fahrzeugführenden. Die gleichzeitig auf einer Höhe von weniger als 4° stehende Sonne lässt sich durch eine Sonnenblende nicht mehr aussperren und dominiert den Helligkeitseindruck. Die Reflexionen können keine Blendung bewirken.

Der Verkehr in Richtung Kaiserslautern führt aus östlicher Richtung auf die PV-Anlage zu. Kurz hinter der Unterführung unter der K 45 (km 54,3) werden mit dem Ende der linksseitigen Böschung Teile des Belegungsfelds Mitte für eine Strecke von gut 200 m für die Fahrzeugführenden sichtbar, ehe eine erneute Böschung die Sichtverbindung wieder unterbindet. In diesem Streckenabschnitt können von Mitte Februar und Ende Oktober zum Sonnenuntergang Lichtreflexionen mit einer Beleuchtungsstärke von weniger als 10 lx in den Randbereich des zentralen Blickfelds der Fahrzeugführenden gerichtet sein, die auf Grund der geringen Beleuchtungsstärke keine Blendung verursachen können.

Im weiteren Streckenverlauf wird das Belegungsfeld Nord der PV-Anlage ab km 55,0 mit dem Absinken der rechtsseitigen Böschung für die Fahrzeugführenden in Richtung Kaiserslautern sichtbar, ohne dass Sonnenlichtreflexionen in das Blickfeld der Fahrzeugführenden gerichtet sein können.

Der Verkehr auf der A 63 kann in beiden Fahrtrichtungen nicht von blendenden Sonnenlichtreflexionen der PV-Anlage Winnweiler betroffen sein. Die Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs bleiben jederzeit gewahrt.

7.2 Verkehr auf der L 401 (Kaiserstraße)

Der Verkehr auf der Kaiserstraße in Richtung Kirchheimbolanden nähert sich der PV-Anlage aus westlicher Richtung. Kurz vor der Unterquerung der A 63 geraten die PV-Module der Belegungsfelder Mitte und Süd



in den Blick der Fahrzeugführenden. Bei der weiteren Annäherung und während der 1.400 m langen Passage der PV-Anlage können von Mai bis Juli kurz nach Sonnenaufgang Lichtreflexionen in das zentrale Blickfeld der Fahrzeugführenden gerichtet sein, die bei einer Sonnenhöhe von maximal 5° eine Beleuchtungsstärke von weniger als 250 lx an den Fahreraugen bewirken. Auf Grund der geringen Beleuchtungsstärke und der gleichzeitig auf geringer Höhe zwischen der jeweils reflektierenden Fläche und dem Straßenverlauf stehenden Sonne, die nicht mehr durch eine Sonnenblende ausschirmbar ist, können die Reflexionen keine Blendung der Fahrzeugführenden in Richtung Kirchheimbiodanden bewirken.

Der Verkehr auf der Kaiserstraße in Richtung Kaiserslautern nähert sich der PV-Anlage aus östlicher Richtung. Kurz vor der Abzweigung der K 45 nach Röderhof geraten die PV-Module der Belegungsfelder Mitte und Süd in den Blick der Fahrzeugführenden. Im Einmündungsbereich der K 45 können von Mitte Februar bis Ende April und von Mitte August bis Ende Oktober abends Sonnenlichtreflexionen der Belegungsfelder Mitte in das zentrale oder periphere Blickfeld der Fahrzeugführenden gerichtet sein, die bei Gradeausfahrt im zentralen Blickfeld eine Beleuchtungsstärke bis zu 300 lx und im peripheren Blickfeld von bis zu 1.700 lx bewirken können. Zum Zeitpunkt der Reflexionen in das zentrale Blickfeld steht die Sonne auf einer Höhe von maximal 6° zwischen der Hauptblickrichtung der Fahrzeugführenden und der jeweilig reflektierenden Fläche. Zum Zeitpunkt der in das periphere Blickfeld gerichteten Reflexionen lässt sich die Sonne hingegen auf einer Winkelhöhe von bis zu 18° durch eine Sonnenblende nicht abschirmen. Der Einmündungsbereich der K 45 erfordert ein Überblicken der Verkehrssituation, bei der sich der Blick der Fahrzeugführenden auf der L 401 in Richtung Norden wendet und damit in Richtung der lichtstärkeren Reflexionen. Zur Wahrung der Verkehrssicherheit sind Blendschutzmaßnahmen erforderlich, die die Sichtverbindung zu den reflektierenden PV-Modulen einschränken.

Auf Grund des gradlinigen Streckenverlaufs besteht die Blendsituation auf der L 401 in Richtung Kaiserslautern über einen Streckenverlauf von mehr als einem Kilometer und damit über einen Zeitraum von mindestens 60 s. Auch wenn die Sonnenlichtreflexionen von Ihrer Position im Blickfeld und Beleuchtungsstärke her bei kurzzeitiger Einwirkung keine unmittelbare Blendung hervorrufen können, baut sich durch die lange Einwirkungszeit eine Blendwirkung auf, die durch einen ständigen Zuwendungsreiz und eine gestörte Helligkeitsadaptation auf Grund der großen Leuchtdichteunterschiede im peripheren Blickfeld hervorgerufen wird. Zur Wahrung der Leichtigkeit und Sicherheit des Verkehrs sind Blendschutzmaßnahmen erforderlich, um die Helligkeitsbelastung zu mindern.

Durch die in Kapitel 8 dieses Gutachtens beschriebene Gestaltung eines Teilabschnitts des Einfriedungszauns als Sichtschuttszaun mit einer Höhe von 3 m kann eine hinreichende Blendschutzwirkung erzielt werden, um die Leichtigkeit und Sicherheit des Verkehrs am Knotenpunkt L401/K45 und im Streckverlauf der L 401 zu wahren.

7.3 Verkehr auf der Kreisstraße K 45

Der Verkehr auf der Kreisstraße K 45 kann nach dem Einbiegen von der L 401 nicht von blendenden Sonnenlichtreflexionen in das Blickfeld der Fahrzeugführenden betroffen sein.

7.4 Schienenverkehr auf der Zellertalbahn

Der Schienenverkehr auf der Zellertalbahn in Richtung Mannheim nähert sich der PV-Anlage aus westlicher Richtung. Ab der Unterführung unter der A 63 sind die PV-Module des Belegungsfelds Süd links des



Bahndamms sichtbar und können von Mitte Mai bis Ende Juli kurz nach Sonnenaufgang für wenige Minuten Reflexionen mit einer Beleuchtungsstärke von weniger als 350 lx in den Randbereich des zentralen Blickfelds oder in das periphere Blickfeld der Fahrzeugführenden richten. Die Sonne steht gleichzeitig auf einer Höhe von weniger als 6° im zentralen Blickfeld. Auf Grund der geringen Beleuchtungsstärke der Reflexionsstrahlen an den Augen der Zugführenden und der gleichzeitig nicht abschirmbaren Sonne können die Reflexionen keine Blendung der Zugführenden bewirken. Auch die Signaleinrichtung bleibt jederzeit klar erkennbar. Im Verlauf der anschließenden Kurve ändern sich die Winkelbeziehungen zwischen PV-Modulen und Zugführenden, so dass es nur zu kurzzeitigem, nicht blendenden Lichteinfall auf die Augen der Zugführenden kommen kann.

Der Schienenverkehr auf der Zellertalbahn in Richtung des Knotenpunkts Langmeil (Pfalz) nähert sich der PV-Anlage aus östlicher Richtung. Dabei können im Februar/März und September/Okttober abends für wenige Minuten Sonnenlichtreflexionen in das zentrale oder periphere Blickfeld der Zugführenden gerichtet sein, die an den Augen eine Beleuchtungsstärke von weniger als 150 lx im zentralen und bis zu 500 lx im peripheren Blickfeld bewirken können. Gleichzeitig steht die Sonne zu den Reflexionszeiträumen in das zentrale Blickfeld auf einer Höhe von weniger als 3° und im Zeitraum der Reflexionen in das periphere Blickfeld von weniger als 8° zwischen den reflektierenden Flächen und der Hauptblickrichtung der Zugführenden, so dass eine Blendwirkung der Reflexionen ausgeschlossen ist.

Die Sicherheit des Schienenverkehrs wird durch die potenziellen Sonnenlichtreflexionen der PV-Anlage nicht beeinträchtigt. Der Streckenverlauf und das Bahnsignal bleiben jederzeit klar erkennbar. Die Sicherheit des Schienenverkehrs bleibt jederzeit gewahrt.



8 Blendschutzmaßnahmen

8.1.1 Sichtschutzzaun

Um den Knotenpunkt K45/L401 und die Passage der L 401 entlang der Belegungsfeldern Mitte vor blendenden Reflexionen abzuschirmen, können Teile der Einfriedungszäune als Blendschutz mit einer erforderlichen Höhe von 0,8 m bis 3,0 m über GOK gestaltet werden. Die Gestaltung als Sichtschutzzaun kann bspw. durch textile Einflechtungen oder eingehängte Matten erreicht werden. Entsprechend auszustatten sind:

- ▶ der südliche Teil des Einfriedungszauns des Belegungsfelds Mitte-West in dem Bereich von 50 m Entfernung von der südwestlichen Ecke bis zur südöstlichen Ecke
- ▶ der südliche Teil des Einfriedungszauns des Belegungsfelds Mitte-Ost sowie die daran anschließenden 50 m des südöstlichen Teils des Zauns
- ▶ der südliche und östliche Bereich des Einfriedungszauns des Belegungsfelds Mitte-Ost 2 sowie die daran anschließenden 20 m des östlichen Einfriedungszauns

Abbildung 24 visualisiert die als Sichtschutzzaun zu gestaltenden Abschnitte.



Abbildung 24: Position des erforderlichen Sichtschutzzauns (schwarze Linien über dem rot dargestellten Einfriedungszaun) für die Belegungsfelder Mitte

Bei einer Sichtschutzhöhe von 0,8 m bis 3,0 m werden PKW-Führende vollständig vor den potenziellen Sonnenlichtreflexionen der PV-Module der Belegungsfelder Mitte abgeschirmt. Für LKW-Führende werden die Sonnenlichtreflexionen hinreichend gemindert, damit keine Blendwirkung mehr auftritt.

8.1.2 Verwendung blendfreier Deckgläser für die straßennahesten PV-Module

Durch eine strukturierende Oberflächengestaltung können die Reflexionseigenschaften der Deckgläser der PV-Module so beeinflusst werden, dass die auftreffenden Sonnenstrahlen im Unterschied zu einer glatten Glasoberfläche nicht mehr als ein gerichtetes Strahlenbündel reflektiert werden, sondern durch eine Vielzahl



unterschiedlicher Reflexionsrichtungen zu einer diffus anmutenden Reflexion werden. Bei diffuser Reflexion einer angestrahlten großen Fläche entscheidet ausschließlich deren Leuchtdichte über die Blendwirkung. Da in diesem Bereich bislang wenig Erfahrungen und keine normierten Grenzwerte vorliegen, sollte die maximale Leuchtdichte des Himmels – bei Betrachtung weg von der Sonne – von 25.000 cd/m^2 als Zielgröße herangezogen werden, bei der unter den gegebenen Bedingungen von einer Blendfreiheit auszugehen ist. Ein Nachweis der erforderlichen Reflexionseigenschaften kann durch eine BRDF-Messung (engl. bidirectional reflectance distribution function) erfolgen.

Um einen hinreichenden Blendschutz zu erzielen, können alternativ zu einem Sichtschutzzaun die der L 401 nächstgelegenen PV-Tische der Belegungsfelder Mitte mit blendfreien PV-Modulen belegt werden.



9 Verwendete Materialien

9.1 Dokumente vom Auftraggeber

- ▶ Modulbelegungsplan als Datei „20240102_Belegungsplan_Imsbach&Börrstadt_20m.dwg“
- ▶ Systemangaben in der Datei „20240102_Modulbelegungsplan_Imsbach_Börrstadt_20m.pdf“

9.2 Literatur

- ▶ Raumordnungsgesetz vom 22. Dezember 2008 (BGBl. I S. 2986), zuletzt geändert durch Gesetz vom 20.07.2022 (BGBl. I S. 1353)
- ▶ Baugesetzbuch In der Fassung der Bekanntmachung vom 23.09.2004 (BGBl. I S. 2414), zuletzt geändert durch Art. 1 G v. 28.7.2023 I Nr. 221
- ▶ BMWK: Entwurf eines Gesetzes zu Sofortmaßnahmen für einen beschleunigten Ausbau der erneuerbaren Energien und weiteren Maßnahmen im Stromsektor, Bearbeitungsstand 4.3.2022
- ▶ Erneuerbare-Energien-Gesetz vom 21. Juli 2014 (BGBl. I S. 1066), das zuletzt durch Artikel 4 des Gesetzes vom 26. Juli 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 202) geändert worden ist
- ▶ Bundes-Immissionsschutzgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274; 2021 I S. 123), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 24. September 2021 (BGBl. I S. 4458) geändert worden ist
- ▶ Straßenverkehrsgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 5. März 2003 (BGBl. I S. 310, 919), das zuletzt durch Artikel 16 des Gesetzes vom 2. März 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 56) geändert worden ist
- ▶ Bundesfernstraßengesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 28. Juni 2007 (BGBl. I S. 1206), das zuletzt durch Artikel 6 des Gesetzes vom 22. März 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 88) geändert worden ist
- ▶ RAL R1 – Richtlinie für die Anlage von Landstraßen, FGSV 2012
- ▶ RAL R1 – Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen RAS 06, FGSV 2006
- ▶ Licht und Beleuchtung - Grundlegende Begriffe und Kriterien für die Festlegung von Anforderungen an die Beleuchtung; Deutsche Fassung EN 12665:2018, Ausgabe 2018-08
- ▶ Wittlich, M.: Blendung – Theoretischer Hintergrund, Informationen des Instituts für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA); Sankt Augustin 2010
- ▶ Hinweise der LAI (Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz) zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen (LAI-Richtlinie); Stand 3.11.2015
- ▶ Leitlinie des Brandenburger Ministeriums für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz zur Messung und Beurteilung von Lichtimmissionen (Licht-Leitlinie) vom 16. April 2014
- ▶ Eicker, U.: Solare Technologien für Gebäude; 1. Aufl. B. G. Teubner GmbH Stuttgart/Leipzig/Wiesbaden, 2001
- ▶ Reidenbach H.-D., Dollinger K., Ott G., Janßen M., Brose M. (2008): Blendung durch optische Strahlungsquellen. Bericht der BAUA, Forschung Projekt 2185
- ▶ Empfehlungen der Strahlenschutzkommission: Blendung durch natürliche und neue künstliche Lichtquellen und ihre Gefahren, Februar 2006
- ▶ DIN 5034-2:2021-08 Tageslicht in Innenräumen – Teil 2: Grundlagen



10 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lage der geplanten PV-Anlage Winnweiler (PV-Modultischreihen blau eingezeichnet)	4
Abbildung 2: Auswirkung des Einfallwinkels auf den Transmissionsgrad für Modulgläser	8
Abbildung 3: Darstellung des Reflexionsstrahls anhand von Azimut und Höhenwinkel wie in den Berechnungen verwendet und des Abstandswinkels zwischen den Blickrichtungen zur Sonne und zum Reflexionspunkt.....	11
Abbildung 4: Beispielhaftes Reflexionsdiagramm mit roter Umrandung der potenziellen Blendrichtungen und -zeiten.....	12
Abbildung 5: Beispielhaftes Reflexionsdiagramm mit Sichtbeziehung zu Fahrzeugführenden.....	14
Abbildung 6: Beispielhafte Darstellung eines Reflexionsdiagramms für schützenswerte Nutzungen (oben) mit einer Detailansicht in 3-minütiger Auflösung der Tagesganglinien und schwarzer Umrandung des maximalen Immissionszeitraums (unten)	15
Abbildung 7: Belegungsplan der PV-Anlage Winnweiler (Modultischreihen in blau, Einfriedungszaun in rot)	16
Abbildung 8: Reflexionsdiagramm für PV-Tische der Belegungsfelder Nord (oben) und Mitte/Süd (unten) mit roter Umrandung des potenziellen Blendbereichs	18
Abbildung 9: Mögliche Blendrichtungen (gelb), angezeichnet an ausgewählte Eckpunkte der PV-Anlage	19
Abbildung 10: Blick in Fahrtrichtung an den Blickpunkte A63vSüd_01 (oben) und A63vSüd_02 (unten) aus 2,9 m Höhe über der Fahrbahn; Quelle: Google Street View	20
Abbildung 11: Blick in Fahrtrichtung an den Blickpunkte A63vOst_01 (oben) und A63vOst_03 (unten) aus 2,9 m Höhe über der Fahrbahn; Quelle: Google Street View	21
Abbildung 12: Blick in Fahrtrichtung PV-Anlage an den Blickpunkten L401vWest (oben) und L401vOst (unten) aus 2,9 m Höhe über der Fahrbahn; Quelle: Google Street View	22
Abbildung 13: Oben: Lage des Bahnsignals (rot umrandet) der Zellertalbahn im Bereich der geplanten PV-Anlage; Quelle: https://openrailwaymap.org/ , unten: Blick von der A 63 in östliche Richtung auf den Bahndamm; Quelle: Google Street View	23
Abbildung 14: Für die Blendanalyse modellierte Reflexions- und Blickpunkte vor dem Hintergrund eines Luftbilds aus Bing Maps (oben) und in der x-y-Ebene mit Angabe der Augenpunkthöhen in m üNN und Blickrichtung am Blickpunkt (unten).....	24
Abbildung 15: Reflexionsdiagramm am Blickpunkt A63vSüd_01 mit Visualisierung der PV-Tische (dunkelblau hervorgehoben), die in das periphere Blickfeld reflektieren können.....	25
Abbildung 16: Reflexionsdiagramm am Blickpunkt A63vSüd_02 mit Visualisierung der PV-Tische (dunkelblau hervorgehoben), die in das periphere Blickfeld reflektieren können.....	26



Abbildung 17: Reflexionsdiagramm am Blickpunkt A63vOst_01 mit Visualisierung der PV-Tische (dunkelblau hervorgehoben), die in das Blickfeld reflektieren können.....	27
Abbildung 18: Reflexionsdiagramm am Blickpunkt A63vOst_02	28
Abbildung 19: Reflexionsdiagramm am Blickpunkt A63vOst_03	28
Abbildung 20: Reflexionsdiagramm am Blickpunkt L401vWest mit Visualisierung der PV-Tische (dunkelblau hervorgehoben), die in das Blickfeld reflektieren können.....	29
Abbildung 21: Reflexionsdiagramm am Blickpunkt L401vOst mit Visualisierung der PV-Tische (dunkelblau hervorgehoben), die in das zentrale (oben rechts) oder das gesamte (oben links) Blickfeld reflektieren können.....	30
Abbildung 22: Reflexionsdiagramm am Blickpunkt BahnvWest mit Visualisierung der PV-Tische (dunkelblau hervorgehoben), die in das zentrale oder periphere Blickfeld reflektieren können.....	31
Abbildung 23: Reflexionsdiagramm am Blickpunkt BahnvOst mit Visualisierung der PV-Tische (dunkelblau hervorgehoben), die in das zentrale oder periphere Blickfeld reflektieren können.....	32
Abbildung 24: Position des erforderlichen Sichtschutzzauns (schwarze Linien über dem rot dargestellten Einfriedungszaun) für die Belegungsfelder Mitte	36



11 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Systemangaben Freiflächen-Photovoltaikanlage Winnweiler	17
Tabelle 2: Ergebnisse der Reflexionsberechnung am Blickpunkt A63vSüd_01	25
Tabelle 3: Ergebnisse der Reflexionsberechnung am Blickpunkt A63vSüd_02	26
Tabelle 4: Ergebnisse der Reflexionsberechnung am Blickpunkt A63vOst_01	27
Tabelle 5: Ergebnisse der Reflexionsberechnung am Blickpunkt L401vWest	29
Tabelle 6: Ergebnisse der Reflexionsberechnung am Blickpunkt L401vOst	30
Tabelle 7: Ergebnisse der Reflexionsberechnung am Blickpunkt BahnvWest	31
Tabelle 8: Ergebnisse der Reflexionsberechnung am Blickpunkt BahnvOst	32