

## ***Blendgutachten PV-Anlage Kadelburg***

### *Analyse der Reflexionswirkungen einer Photovoltaikanlage*

**Auftraggeber:**

Naturstrom K pfer GmbH & Co. KG  
Soolweg 32  
79790 Küssaberg

**erstellt von:**

Ralf Schmersahl  
Solarpraxis Engineering GmbH  
Manteuffelstr. 74  
12103 Berlin Germany  
Tel. 030/ 726 296-399  
E-Mail: [ralf.schmersahl@solarpraxis.com](mailto:ralf.schmersahl@solarpraxis.com)  
Internet: [www.solarpraxis.com](http://www.solarpraxis.com)



Datum: 10. Oktober 2024

Berichtsnummer: P240086-01



## 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	Blendrichtungen .....	18
5.2.1	Belegungsfeld A .....	18
5.2.2	Belegungsfeld B .....	21
5.3	Immissionsorte .....	21
5.4	Übersicht der modellierten Reflexions- und Blickpunkte .....	23
6	Berechnungsergebnisse .....	25
6.1	Verkehr auf Untere Riedäcker in Richtung Recyclinghof .....	25



---

6.2	Verkehr auf Untere Riedäcker aus Richtung Recyclinghof .....	26
7	Bewertung der Blendrisiken .....	27
7.1	Belegungsfeld A - Trackersystem.....	27
7.2	Belegungsfeld B - Südausrichtung .....	27
7.3	Variante: Belegungsfeld B mit Trackersystem .....	28
8	Verwendete Materialien .....	29
8.1	Dokumente vom Auftraggeber .....	29
8.2	Literatur .....	29
9	Abbildungsverzeichnis.....	30
10	Tabellenverzeichnis .....	32



## 1 Zweck und Gegenstand des Gutachtens

Es ist zu prüfen, ob von den PV-Modulen der in der Gemarkung Kadelburg der Gemeinde Küssaberg im Landkreis Waldshut in Baden-Württemberg geplanten Photovoltaik-Freiflächenanlage Sonnenlicht auf Verkehrswege oder schutzwürdige Nutzungen reflektiert werden kann und ob dadurch gegebenenfalls unzumutbare Lichtimmissionen oder die Sicherheit des Straßenverkehrs beeinträchtigende Blendwirkungen auftreten können.

Die Errichtung der PV-Freiflächenanlage Kadelburg ist mit zwei Belegungsfeldern mit unterschiedlichen solaren Ausrichtungen (Feld A: Trackersystem Ost/West, Feld B: Südausrichtung) geplant. Zusätzlich ist eine Variante zu prüfen, bei der beide Belegungsfelder mit Trackersystemen belegt werden. Die Lage der geplanten PV-Anlage mit den beiden Belegungsfeldern A und B ist in Abbildung 1 dargestellt.

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

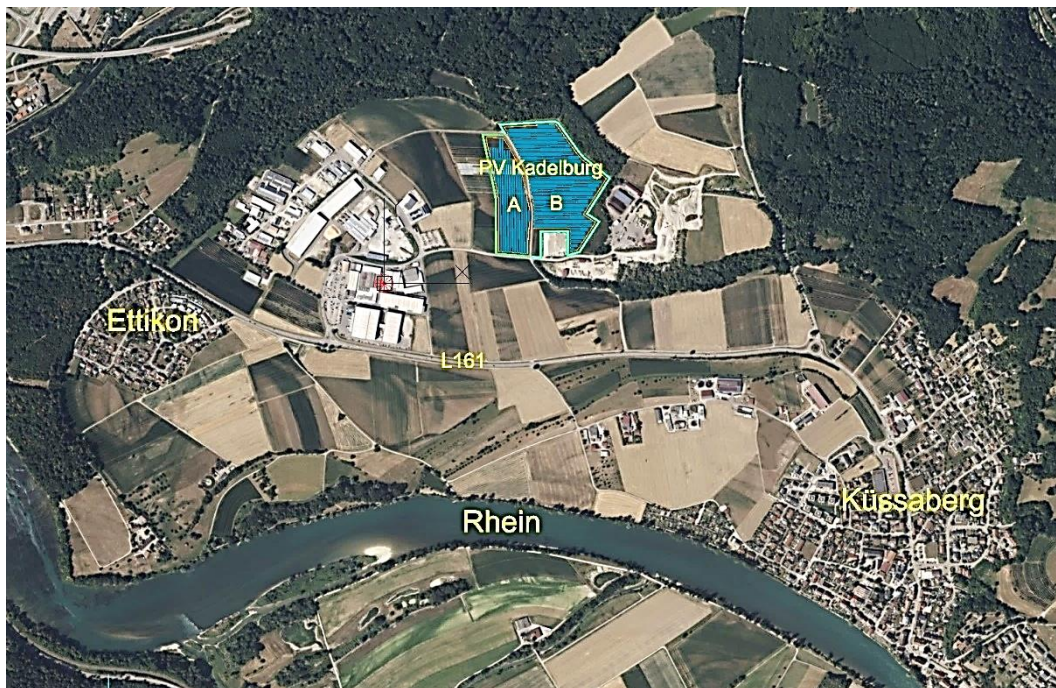


Abbildung 1: Lage der geplanten PV-Anlage Kadelburg (PV-Modultischreihen blau eingezeichnet)



## 2 Zusammenfassung der Bewertung

Es wird festgestellt, dass die PV-Module des Belegungsfelds A bei der Wahl einer der vorgeschlagenen Parkpositionen des Trackersystems keine die Verkehrssicherheit beeinträchtigenden Sonnenstrahlreflexionen verursachen können. Auch die Beeinträchtigung schützenswerter Nutzungen von Anliegern durch Lichtimmissionen ist ausgeschlossen.

Es wird festgestellt, dass die PV-Module des Belegungsfelds B keine die Verkehrssicherheit beeinträchtigenden Sonnenstrahlreflexionen verursachen können. Auch die Beeinträchtigung schützenswerter Nutzungen von Anliegern durch Lichtimmissionen ist ausgeschlossen.

Es wird festgestellt, dass auch bei einer Belegung des Felds B mit dem für das Feld A vorgesehene Trackersystem bei der Wahl einer der vorgeschlagenen Parkpositionen des Trackersystems keine die Verkehrssicherheit beeinträchtigenden Sonnenstrahlreflexionen auftreten können. Auch die Beeinträchtigung schützenswerter Nutzungen von Anliegern durch Lichtimmissionen ist ausgeschlossen.

Es wird empfohlen, für geplante (Mäharbeiten, Sturm, Wartungsarbeiten) und außerplanmäßige Anlagenstillstände das Trackersystem auf die Positionen Horizontal, 40° Ost, oder 40° West zu stellen.

Aus blendgutachterlicher Sicht ist die Photovoltaik-Freiflächenanlage Kadelburg bei Beachtung der empfohlenen Parkpositionen des Trackersystems als genehmigungsfähig einzustufen. Zusätzliche Blendschutzmaßnahmen sind nicht erforderlich.



## 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 m<sup>2</sup> 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<sup>2</sup> 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 eingestrahlteten 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.

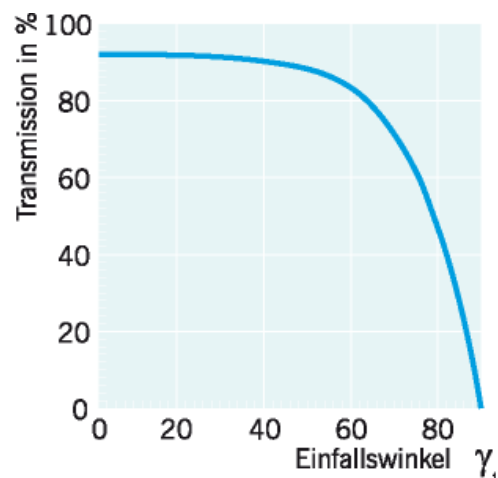


Abbildung 2: Auswirkung des Einfallswinkels auf den Transmissionsgrad für Modulgläser

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  $3^\circ$  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  $30^\circ$  anzusetzen.



Bei einer Fixation der Augen auf eine Blendquelle mit einer Leuchtdichte von mehr als ca.  $10^5$  cd/m<sup>2</sup> 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. Und auch wenn die Sonne zum Reflexionszeitpunkt tiefer als 6° über dem Horizont steht und an flach geneigten Flächen reflektiert werden, sind die Reflexionen – unabhängig von ihrer Lage im Blickfeld – als nicht blendrelevant anzusehen, da die Sonne nicht durch Blendschutzeinrichtungen im Fahrzeug abgeschirmt werden kann, ohne gleichzeitig die erforderliche Sicht auf Verkehrssignale einzuschränken.



## 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)<sup>1</sup>. 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.

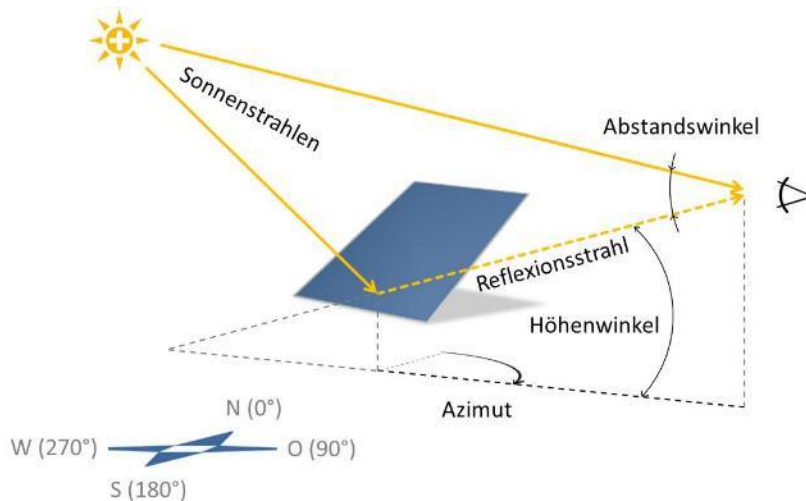


Abbildung 3: Darstellung des Reflexionsstrahls anhand von Azimut und Höhenwinkel wie in den Berechnungen verwendet und des Abstandswinkels zwischen den Blickrichtungen zur Sonne und zum Reflexionspunkt

<sup>1</sup> 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.

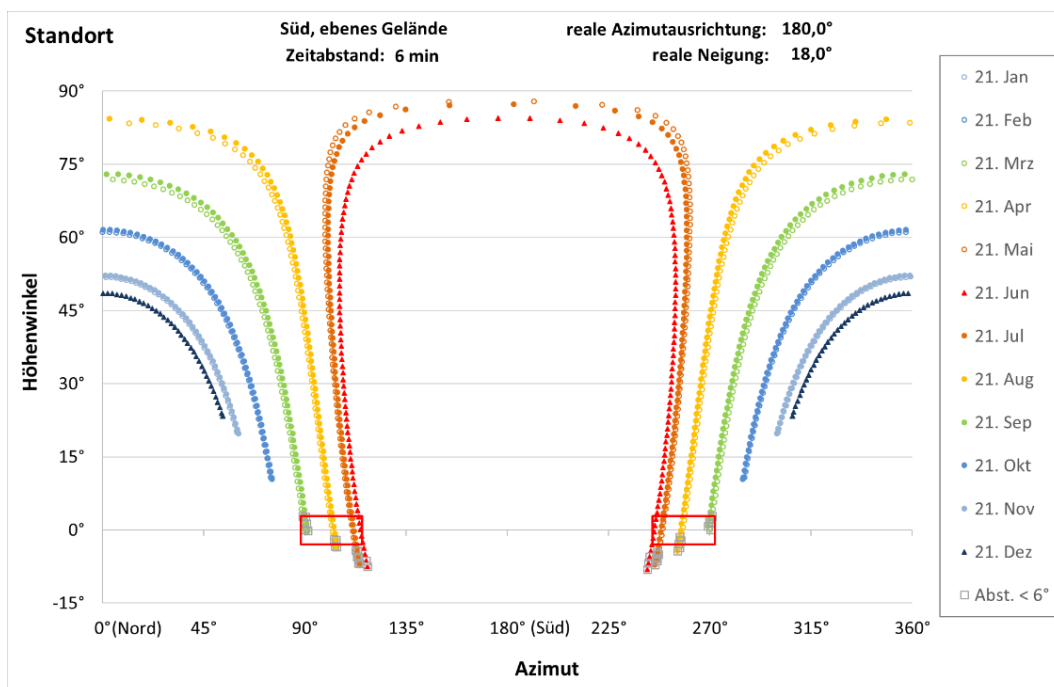


Abbildung 4: Beispielhaftes Reflexionsdiagramm mit roter Umrandung der potenziellen Blendrichtungen und -zeiten

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 (orangefes 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.

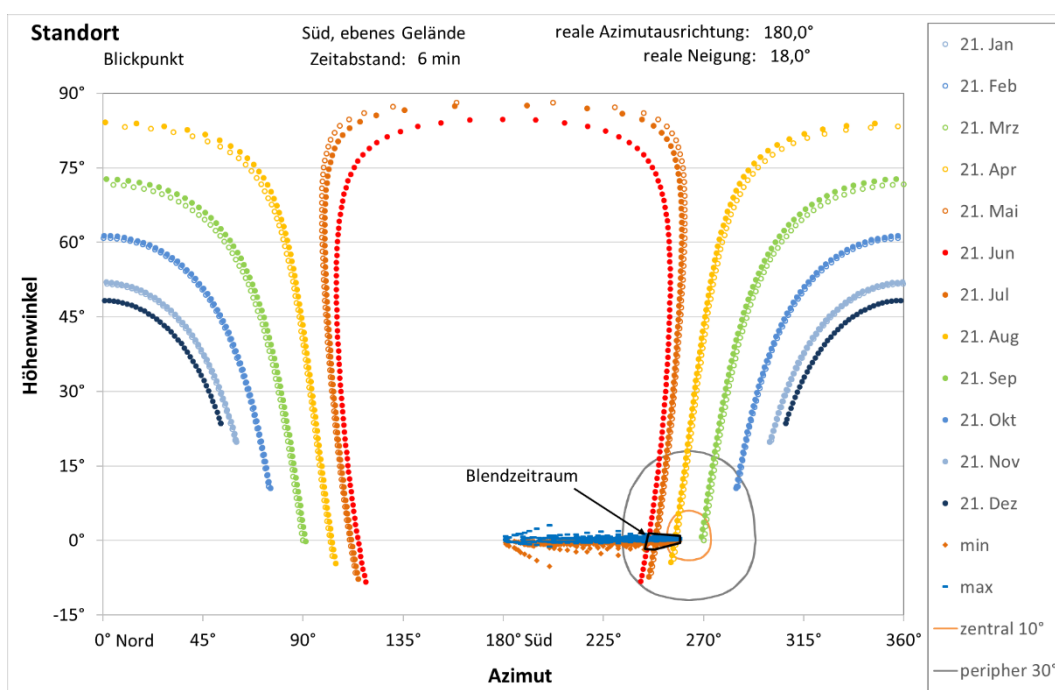


Abbildung 5: Beispielhaftes Reflexionsdiagramm mit Sichtbeziehung zu Fahrzeugführenden

#### 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° 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.

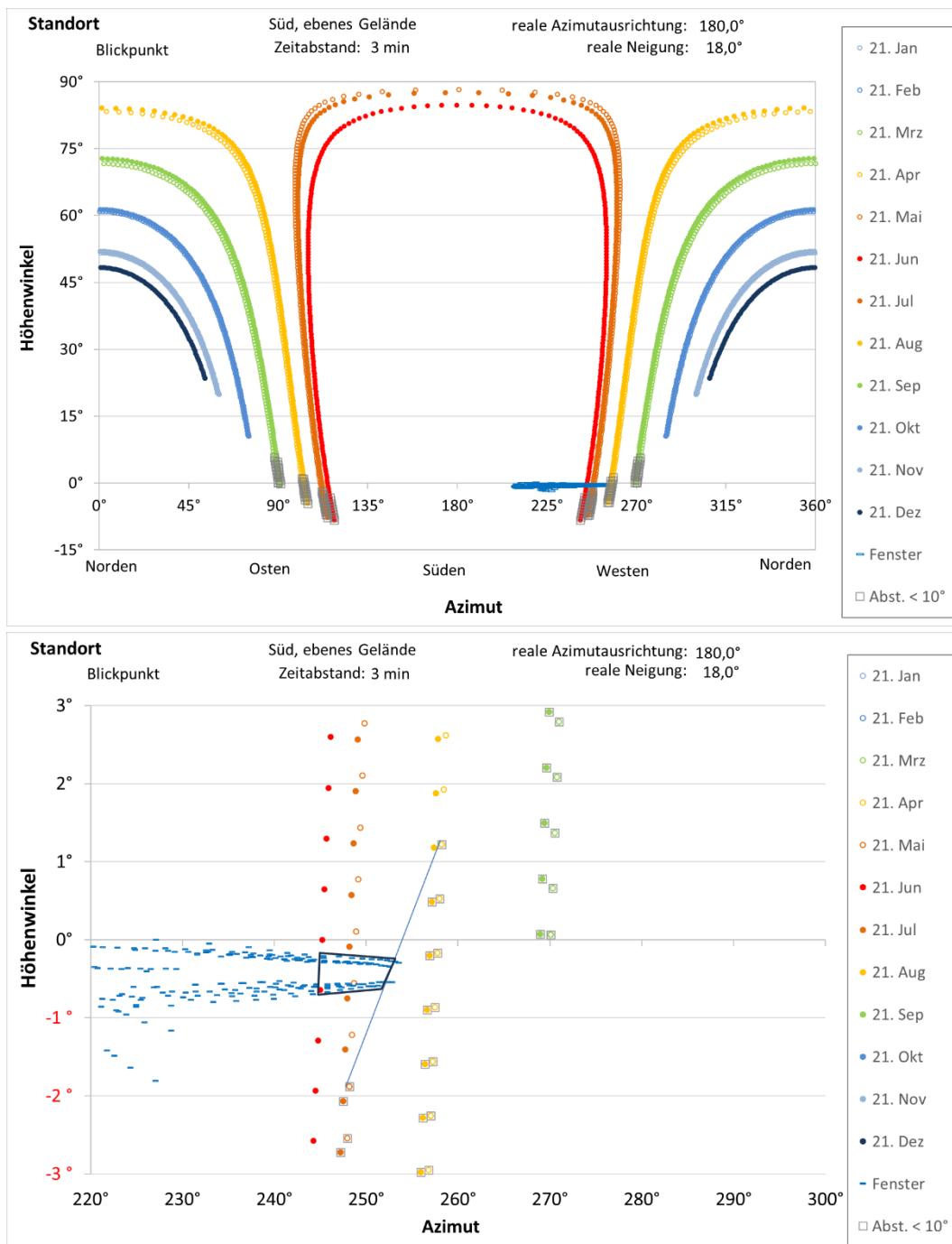


Abbildung 6: Beispielhafte Darstellung eines Reflexionsdiagramms für schützenswerte Nutzungen (oben) mit einer Detailansicht in 3-minütiger Auflösung der Tagesganglinien und schwarzer Umrandung des maximalen Immissionszeitraums (unten)





## 5 Situation vor Ort

### 5.1 PV-Anlage

Die PV-Freiflächenanlage Kadelburg mit einer Gesamtleistung von bis zu 10 MWp soll auf einer Fläche von ca. 9,5 ha (Flurstücke 492/1, 758/1, 758/2, 758/3 und 758/4) der Gemarkung Kadelburg in der Gemeinde Küssaberg im Landkreis Waldshut in Baden-Württemberg errichtet werden.

Das Plangebiet liegt ca. 200 m nordöstlich des Gewerbegebiets „Obere Riedäcker“ und direkt neben der westlich angrenzenden Kompostieranlage des Recyclinghofs Küssaberg. Es liegt auf einer Höhe von 325 m üNN bis 332 m üNN mit geringer Exposition nach Südsüdwest und ohne Geländesprünge. Die Hangneigung beträgt weniger als 0,5°. Das Gebiet wird derzeit landwirtschaftlich genutzt. Angrenzend an das Plangebiet sind weiterhin Waldflächen, Hecken und Sträucher. Südlich der Baugrenze verläuft die Untere Riedäcker als Zufahrtstraße zum Recyclinghof und dem angrenzenden Kieswerk.

Abbildung 7 zeigt die PV-Tischreihen der beiden Belegungsfelder der PV-Anlage, den Verlauf der Einfriedung sowie die angrenzenden Bebauungen und Verkehrswege.

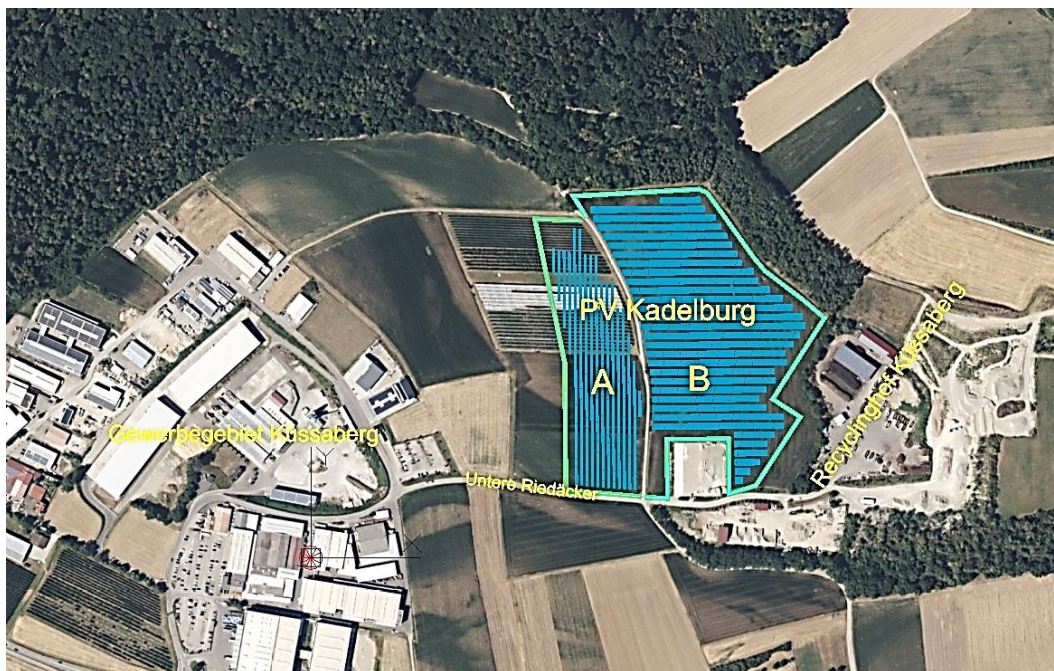


Abbildung 7: Belegungsplan der PV-Anlage Kadelburg (Modultischreihen in blau) mit Darstellung der Einfriedung (grün)

Der Belegungsplan der PV-Anlage weist eine Meridiankonvergenz von  $-0,53^\circ$  zu geographisch Nord auf. Diese führt zu einer realen Azimutausrichtung von  $179,5^\circ$  für auf ebenem Gelände errichtete PV-Tische des Belegungsfelds B. Auf Grund der geringen Hangneigung von weniger als  $0,5^\circ$  kann der Querneigungseinfluss im Rahmen der Blendanalyse vernachlässigt werden. Die Unter- und Oberkanten der mit einer Planneigung von  $15^\circ$  zu errichtenden PV-Module liegen 0,8 m respektive 3,0 m über der Geländeoberkante. Abbildung 8 (linke Seite) zeigt eine bemaßte Seitenansicht eines PV-Tisches.



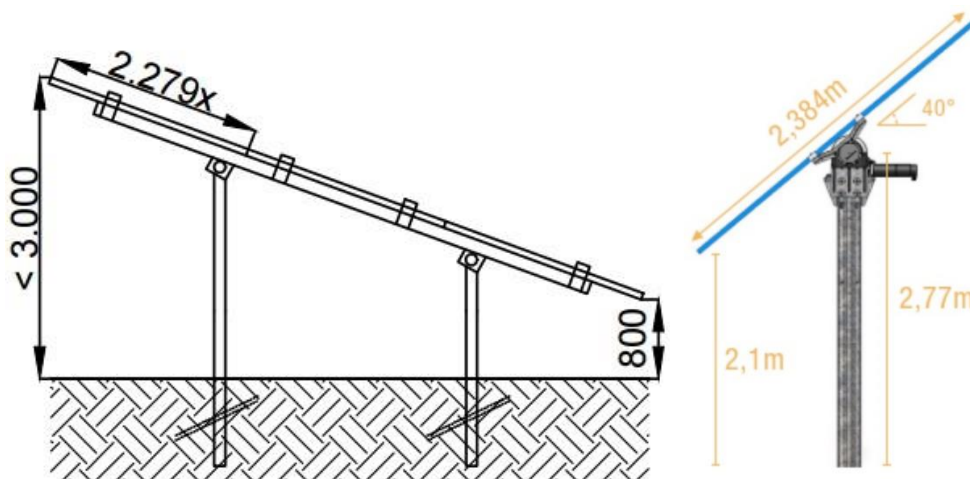


Abbildung 8: bemaßte Seitenansicht der südausgerichteten PV-Tische (linke Seite) und des Trackersystems (rechte Seite);  
Quelle: Kundenmaterial

Nach den Systemangaben werden die PV-Module für das Belegungsfeld A auf einachsige horizontale Trackersysteme montiert. Die Achse des Nachführsystems verläuft in Nord-Süd-Richtung, so dass die Module vormittags nach Osten und nachmittags nach Westen gerichtet sind. Auf Grund der Meridiankonvergenz des Belegungsplans ergeben sich für die Ausrichtung der Module die realen Azimutrichtungen 89,5° (Ost) und 269,5° (West). Die Nachführung des Trackersystems kann kurz nach Sonnenaufgang und kurz vor Sonnenuntergang durch einen Backtracking-Algorithmus geregelt werden, um die gegenseitige Verschattung der Module zu begrenzen. Die Module werden dann morgens aus annähernd horizontaler Neigung bis auf die maximale Neigung von 40° bei Ostausrichtung gedreht. Spätestens ab einem Höhenwinkel der Sonne von 30° wird die Neigung der PV-Module durch die Nachführung wieder vermindert, bis die Module nach dem Erreichen des höchsten Sonnenstandes im weiteren Tagesverlauf nach Westen gedreht werden. Nachmittags werden die Module über die Nachführung der Sonnenhöhe folgend bis auf maximal 40° Neigung bei Westausrichtung gedreht. Zum Sonnenuntergang hin kann dann wieder ein Backtracking erfolgen. Im Zuge von Wartungsarbeiten, für Mäharbeiten und bei Sturm und bei Störungen der Anlage wird das Trackersystem in eine vorab definierte Parkposition gedreht. Für die Blendanalyse wird die Höhe der Drehachse mit 2,77 m über GOK angesetzt, die minimale Höhe der Modulunterkante mit 2,1 m und die der Oberkante mit 3,5 m.

Tabelle 1 fasst die für die Blendanalyse genutzten Systemangaben der PV-Anlage zusammen.

Tabelle 1: Systemangaben Freiflächen-Photovoltaikanlage Kadelburg

PV-Anlage:	Kadelburg
Standort:	Gemarkung Kadelburg (Breite: 47,62°, Länge: 8,28°)
Reale Azimutausrichtung:	Belegungsfeld A: 89,5° (Ost) und 269,5° (West) Belegungsfeld B: 179,5°
Höhe des Baugrunds:	325 m üNN bis 332 m üNN
Planneigung der Module:	Belegungsfeld A: 0° bis 60° Belegungsfeld B: 15°
Querneigung der PV-Tische:	< 0,5°
Höhe der Modulkanten:	Belegungsfeld A: 2,1 bis 3,5 m über GOK Belegungsfeld B: 0,8 m bis 3,0 m über GOK



## 5.2 Blendrichtungen

### 5.2.1 Belegungsfeld A

#### Vorbetrachtung

Auf Grund der Topografie der Umgebung können alle potenziellen Immissionsorte nur von Sonnenlichtreflexionen mit geringen Höhenwinkeln getroffen werden. Die PV-Module des Felds A sind mit einem einachsigen Trackersystem ausgestattet, welches die Neigung der PV-Module dem Sonnenstand nachführt. Die Nachführung verhindert, dass potenziell blendende Reflexionen mit geringen Höhenwinkeln entstehen. Deshalb können nur Betriebszustände außerhalb des astronomischen Nachführungsregimes zu potenziell blendenden Reflexionen führen. Diese Zustände umfassen die Parkposition des Trackersystems und ggf. die Backtrackingregelung zu Sonnenaufgang und -untergang. Es ist dementsprechend zu prüfen, ob bei geringen Neigungen der PV-Module blendrelevante Reflexionsrichtungen auftreten können, um Vorgaben für die Parkposition des Trackersystems oder dessen Backtracking-Algorithmus ableiten zu können, die das Auftreten von blendenden Sonnenlichtreflexionen ausschließen.

#### Blendrichtungen bei Ausrichtung nach Osten

Das Reflexionsdiagramm für PV-Module mit einer Ausrichtung nach Osten und einer Neigung von 5° in Abbildung 13 zeigt, dass im Regelbetrieb des Trackersystems der geplanten Anlage keine potenziell blendenden Reflexionen auf Verkehrswege oder Anlieger gerichtet sein können. Die PV-Module können bei dieser Ausrichtung bodennahe Reflexionen nur abends in einen östlichen Azimutbereich von 36° bis 115° richten. Ein solcher Betriebszustand kann nur außerhalb des Nachführungsregimes auftreten.

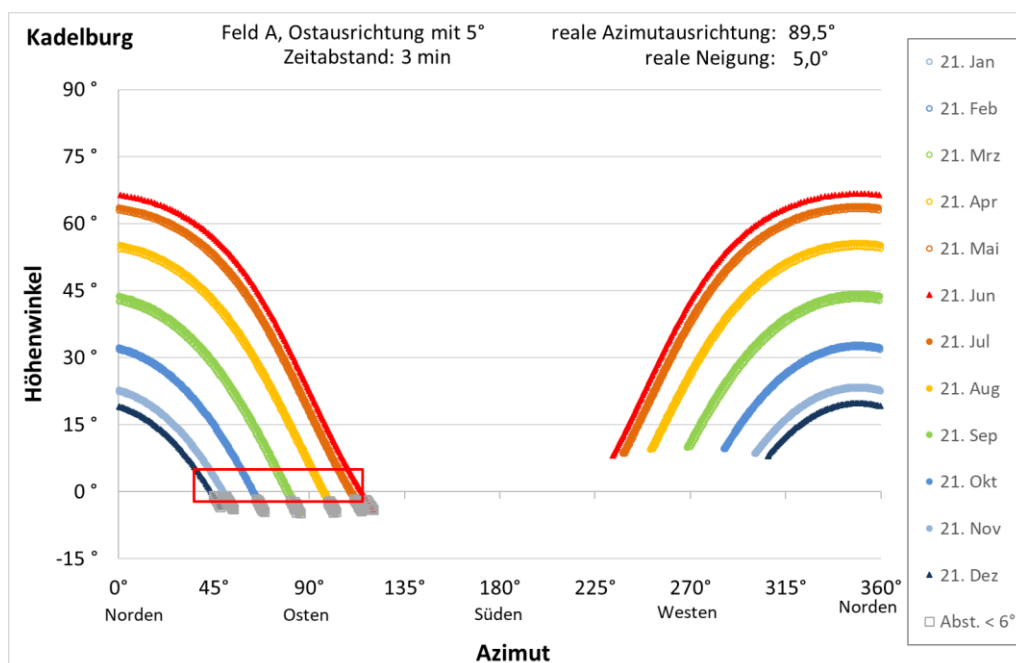


Abbildung 9: Reflexionsdiagramm für ostausgerichtete PV-Module mit 5° Neigung

Bei einer Neigung von 40° (Abbildung 10) verschiebt sich der abendliche blendrelevante östliche Azimutbereich nach Norden auf 17° bis 67°.

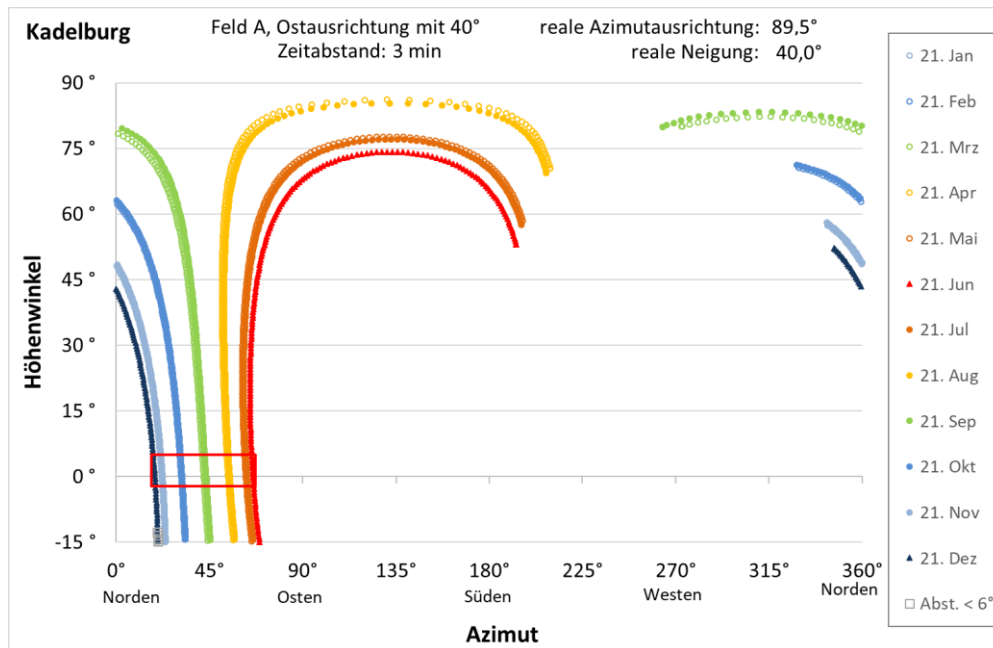


Abbildung 10: Reflexionsdiagramm für ostausgerichtete PV-Module mit 40° Neigung

### Blendrichtungen bei horizontaler Einstellung

Das Reflexionsdiagramm für PV-Module in Horizontalposition in Abbildung 11 zeigt, dass morgens und abends bodennahe Sonnenlichtreflexionen möglich sind, während die Sonne gleichzeitig mit einem geringen Abstandswinkel von wenigen Grad über der reflektierenden Fläche steht.

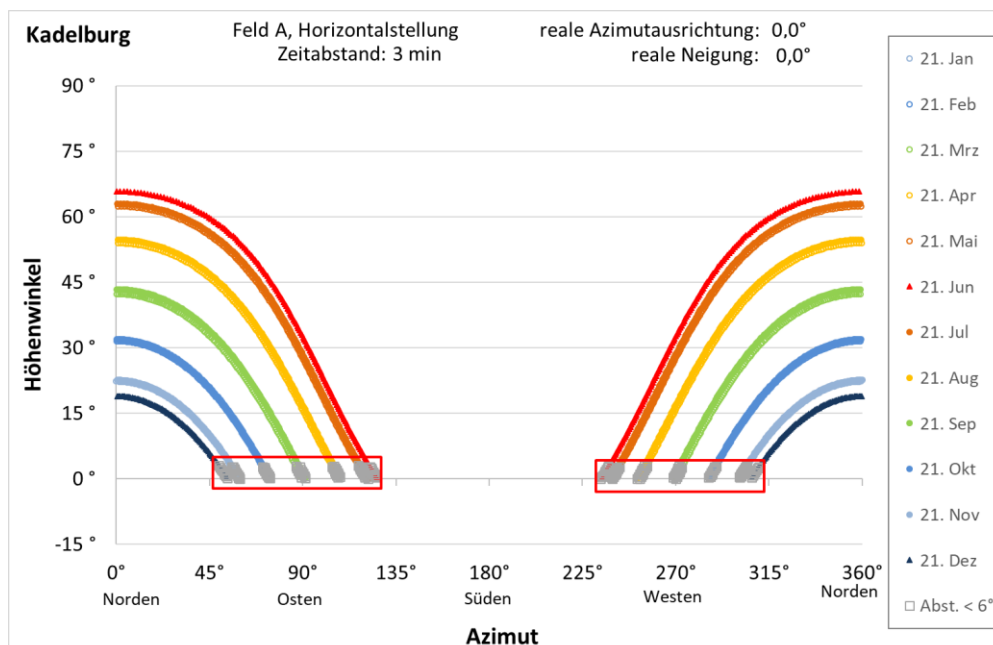


Abbildung 11: Reflexionsdiagramm für PV-Module des Felds A in Horizontalposition



### Blendrichtungen bei Ausrichtung nach Westen

Die Reflexionsdiagramme für PV-Module mit Ausrichtung nach Westen und einer Neigung von 5° (oben) und 40° (unten) in Abbildung 12 zeigen, dass im Regelbetrieb des Trackersystems der geplanten Anlage keine bodennahen Reflexionen auf Verkehrswege oder Anlieger gerichtet sein können. Die Module sind nur in der zweiten Tageshälfte nach Westen ausgerichtet. Potenziell blendende Reflexionen mit bodennahen Höhenwinkeln können aber nur morgens bei einer Neigung von 5° in einen westlichen Azimutbereich von 242° bis 323° (bei 5° Neigung) respektive 292° bis 341° (bei 40° Neigung) gerichtet sein.

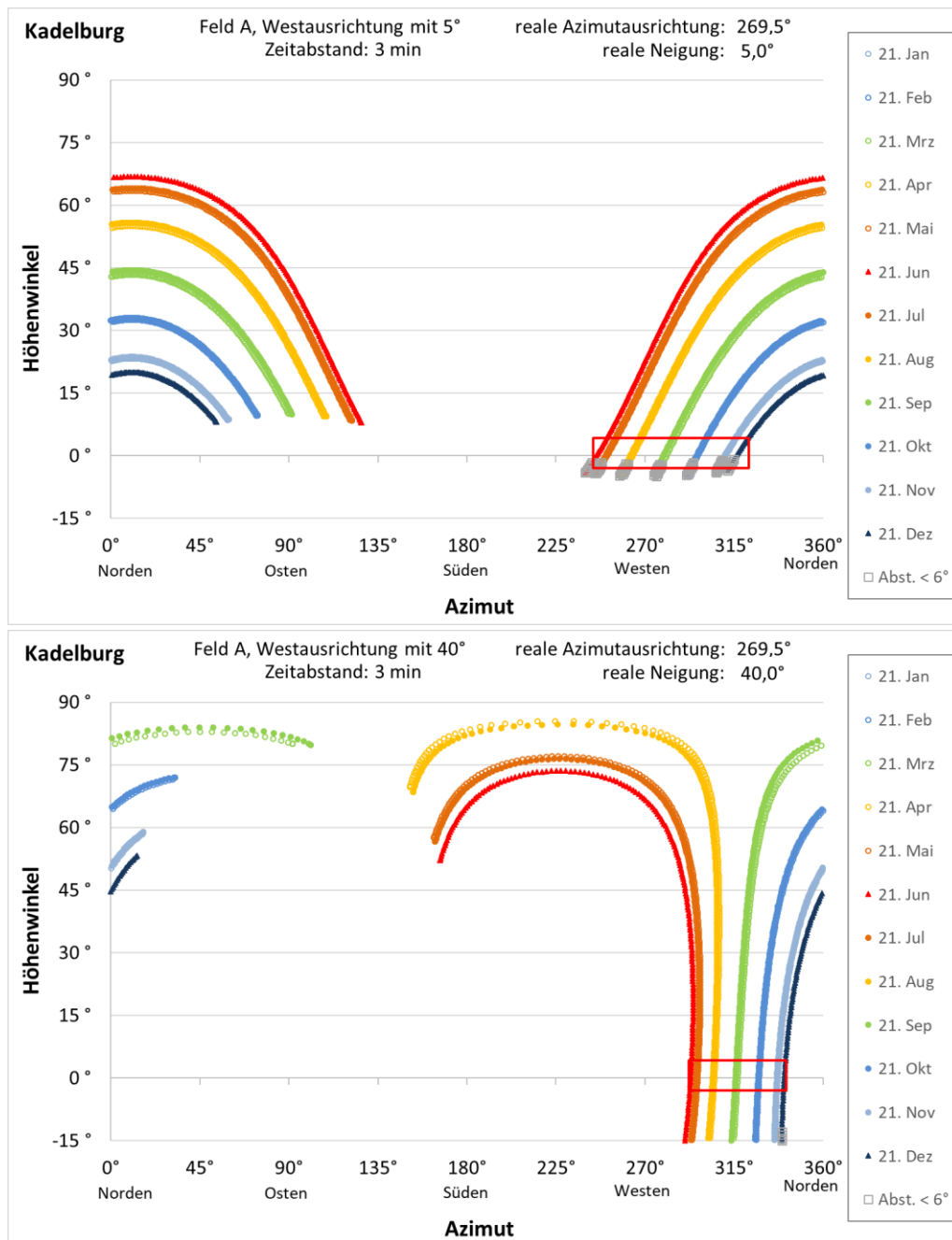


Abbildung 12: Reflexionsdiagramme für westausgerichtete PV-Module mit 5° (oben) und 40° Neigung (unten)



### 5.2.2 Belegungsfeld B

Das Reflexionsdiagramm für die PV-Module des Belegungsfelds B in Abbildung 13 zeigt, dass potenziell blendende bodennahe Reflexionen (rote Umrandung) mit einem Abstandswinkel zur Sonne von  $> 6^\circ$  abends in einen östlichen Azimutbereich von  $90^\circ$  bis  $116^\circ$  und morgens in einen westlichen Azimutbereich von  $243^\circ$  bis  $269^\circ$  gerichtet sein können.

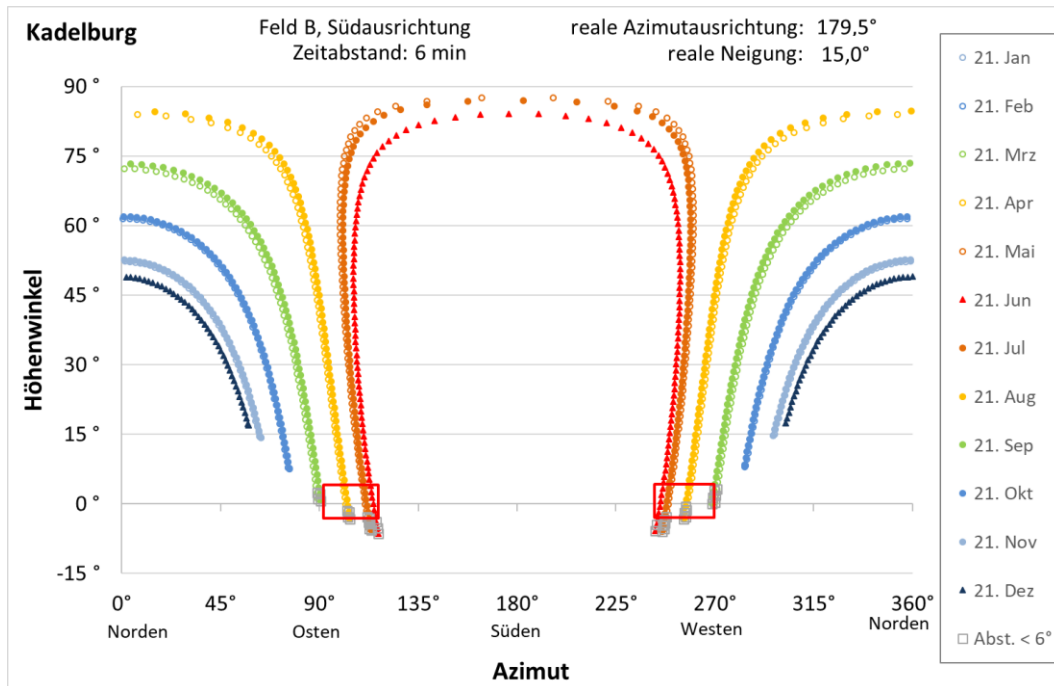


Abbildung 13: Reflexionsdiagramm für Module des Belegungsfelds B der PV-Anlage Kadelburg

### 5.3 Immissionsorte

Abbildung 14 zeigt den Blick von der Straße „Untere Riedäcker“ auf Höhe der Grenze zwischen den beiden Belegungsfeldern in westliche und östliche Richtung.

Beim Blick in östliche Richtung sind der südliche Teil des Belegungsfelds B, eine Halle der Kompostieranlage des Recyclinghofs und das Gelände eines Unternehmens für Baustoffrecycling zu sehen. Östlich der PV-Anlage befinden sich keine schützenswerten Räume. Das Betriebsgelände des Recyclinghofs ist durch die dichte Vegetation vor den Reflexionen der PV-Anlage hinreichend abgeschirmt, so dass der Rangierbetrieb nicht durch Sonnenlichtreflexionen gefährdet werden kann.

Beim Blick in westliche Richtung sind der südliche Teil des Belegungsfelds A und in einer Entfernung von mehr als 200 m zum Plangebiet die Gebäude des Gewerbegebiets Küssaberg zu sehen.



Abbildung 14: Blick aus 2,8 m Höhe von „Untere Riedäcker“ auf Höhe der Grenze zwischen den beiden Belegungsfelder der PV-Anlage in östliche (oben) und westliche (unten) Richtung; Quelle: Google Street View

Abbildung 15 visualisiert die potenziellen Blendbereiche der Felder der PV-Anlage. Die farbigen Winkel mit 100 m Schenkellänge zeigen die möglichen Blendrichtungen, in die Sonnenlichtreflexionen mit geringen Höhenwinkeln bei der angegebenen Modulorientierung möglich sind, für ausgewählt Eckpunkte der PV-Anlage.

Die Reflexionen des Belegungsfelds A können nur außerhalb des Nachführungsregimes bei geringen Neigungswinkeln auf die Straße Untere Riedäcker oder die Gebäude des Gewerbegebiets gerichtet sein.

Die potenziell blendenden Reflexionen des Belegungsfeld B können auf den Verkehr auf Untere Riedäcker in beiden Fahrtrichtungen gerichtet sein.



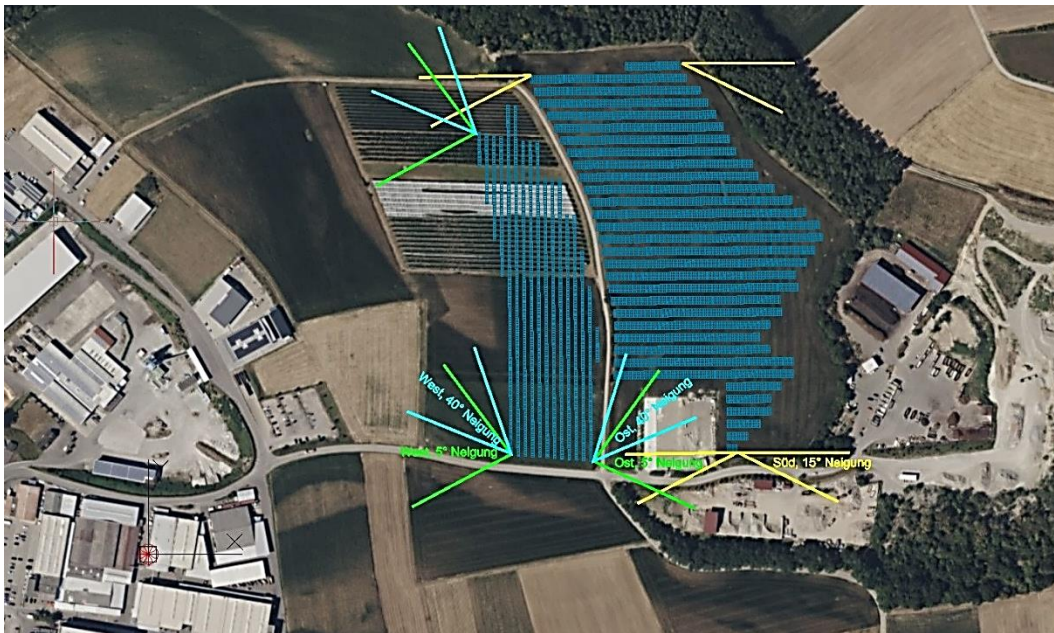


Abbildung 15: Mögliche Blendrichtungen des Belegungsfelds A bei 5° Neigung (grüne Winkel) und 40° Neigung (cyanfarbene Winkel) sowie des Felds B (gelbe Winkel), angezeichnet an ausgewählte Eckpunkte der PV-Anlage

Die Straße „Untere Riedäcker“ führt vom Gewerbegebiet Küssaberg in östliche Richtung an der Südgrenze der PV-Anlage entlang zum Recyclinghof. Die Höhe der Fahrbahndecke steigt vom Ausgang des Gewerbegebiets bis zum Recyclinghof von 325 m üNNH auf 326 m üNNH. Für die Blendanalyse werden die Blickpunkte vWest\_01 für den Verkehr aus westlicher Richtung und vOst\_01 für den Verkehr aus östlicher Richtung modelliert.

#### 5.4 Übersicht der modellierten Reflexions- und Blickpunkte

Für die Blendanalyse werden die westlichen Ober- und Unterkanten für jeden PV-Tisch des Belegungsfelds B als Reflexionspunkte modelliert und um die östlichen Außenpunkte der südlichsten Reihe ergänzt. Abbildung 16 zeigt die PV-Tischreihen und die ausgewählten Blickpunkte der zu prüfenden Immissionsorte vor dem Hintergrund eines nach geografisch Nord ausgerichteten Luftbilds.

Abbildung 17 zeigt die modellierten Reflexions- und Blickpunkte in der x-y-Ebene.



Abbildung 16: PV-Tischreihen und die für die Blendanalyse ausgewählte Blickpunkte vor dem Hintergrund eines nach geografisch Nord ausgerichteten Luftbilds aus Bing Maps

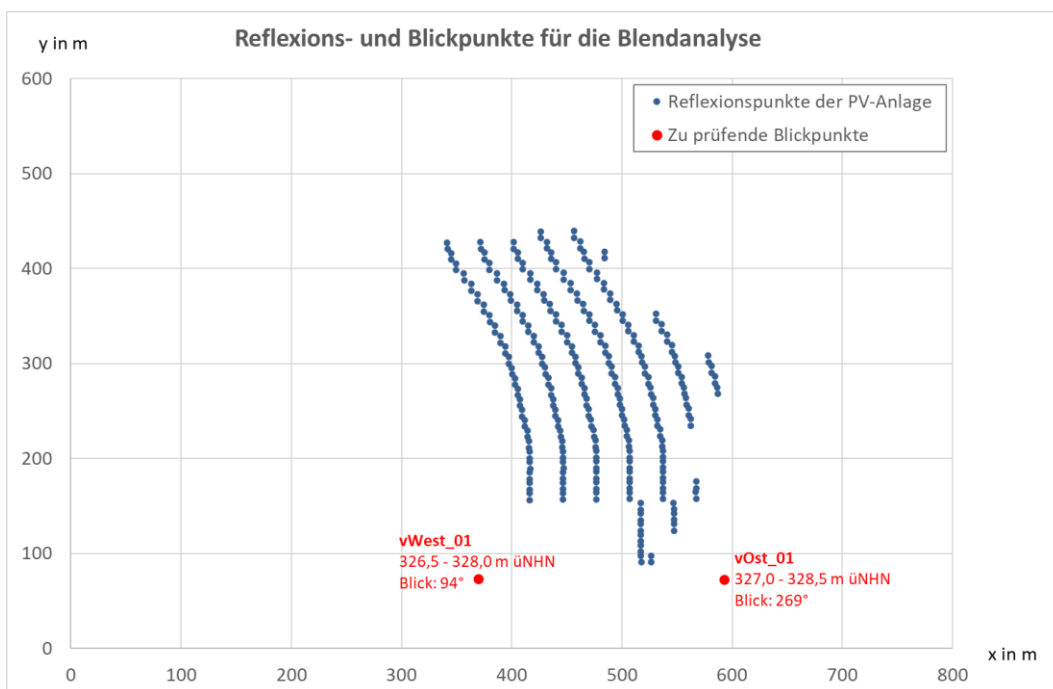


Abbildung 17: Modellierte Reflexions- und Blickpunkte in der x-y-Ebene mit Angabe der Augenpunkthöhen und ggf. Blickrichtung am Blickpunkt





## 6 Berechnungsergebnisse

### 6.1 Verkehr auf Untere Riedäcker in Richtung Recyclinghof

Das Reflexionsdiagramm für den Blickpunkt vWest\_01 in Abbildung 18 zeigt, dass die Reflexionen der PV-Module des Belegungsfelds B von Anfang April bis Anfang September für wenige Minuten kurz nach Sonnenaufgang in das periphere Blickfeld der Fahrzeugführenden in Richtung Recyclinghof gerichtet sein können. Tabelle 2 dokumentiert die bewertungsrelevanten Ergebnisse der Reflexionsberechnungen für die der Blickachse am nächsten gelegene und die lichtstärkste Reflexion.

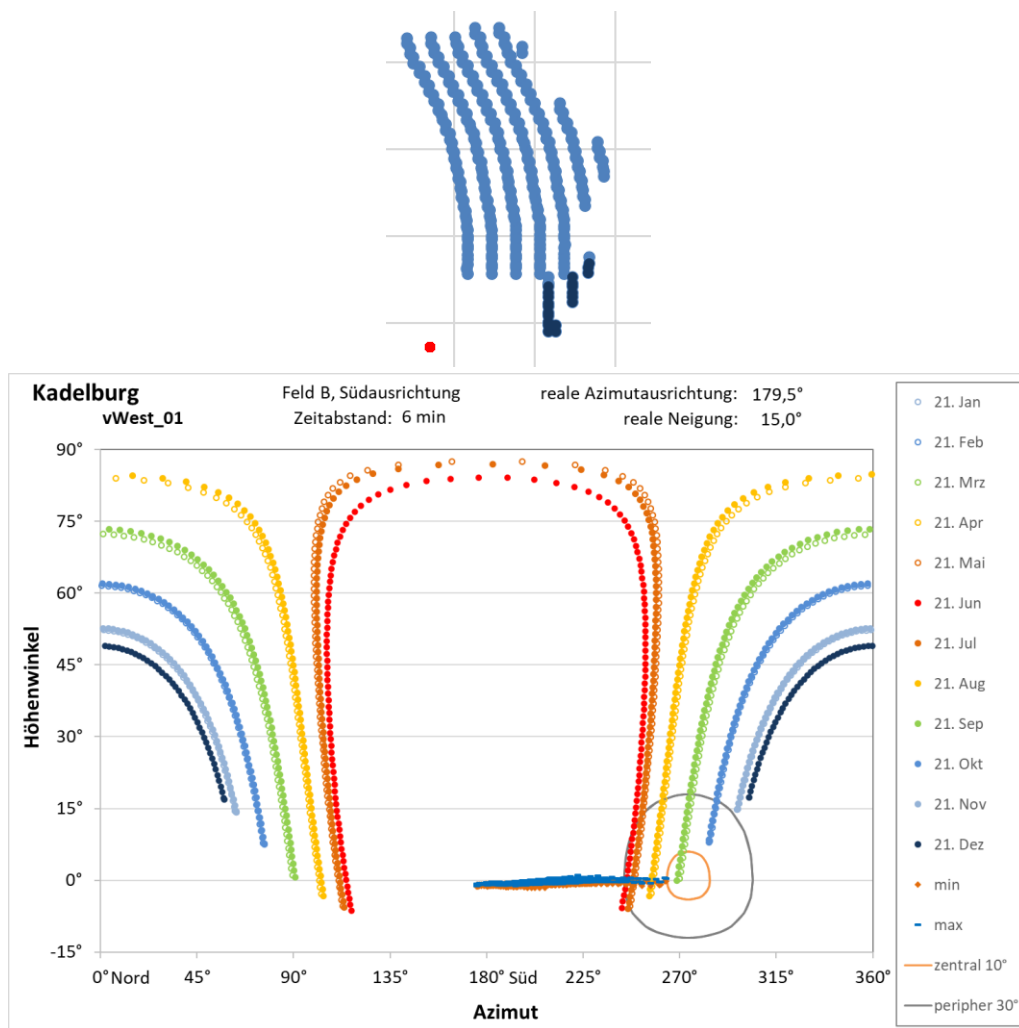


Abbildung 18: Reflexionsdiagramm für das Belegungsfeld B am Blickpunkt vWest\_01 mit Visualisierung der PV-Tische (dunkelblau), die in das periphere Blickfeld reflektieren können

Tabelle 2: Bewertungsrelevante Ergebnisse der Reflexionsberechnung am Blickpunkt vWest\_01

Reflexion	Abstand zu Blickachse	Beleuchtungsstärke am Auge in lx	Sonnenhöhe	Abstand Sonne zu Blickachse	Beleuchtungsstärke Sonne (senkrecht) in lx
vWest_01_nah	10,5°	115	3,3°	9,5°	6.447
vWest_01_hell	28,9°	895	11,7°	26,1°	22.351



## 6.2 Verkehr auf Untere Riedäcker aus Richtung Recyclinghof

Das Reflexionsdiagramm für den Blickpunkt vOst\_01 in Abbildung 19 zeigt, dass die Reflexionen der PV-Module des Belegungsfelds B von Ende April bis Mitte August für wenige Minuten abends in das periphere Blickfeld der Fahrzeugführenden aus der Richtung Recyclinghof gerichtet sein können. Tabelle 3 dokumentiert die bewertungsrelevanten Ergebnisse der Reflexionsberechnungen für die der Blickachse am nächsten gelegene und die lichtstärkste Reflexion.

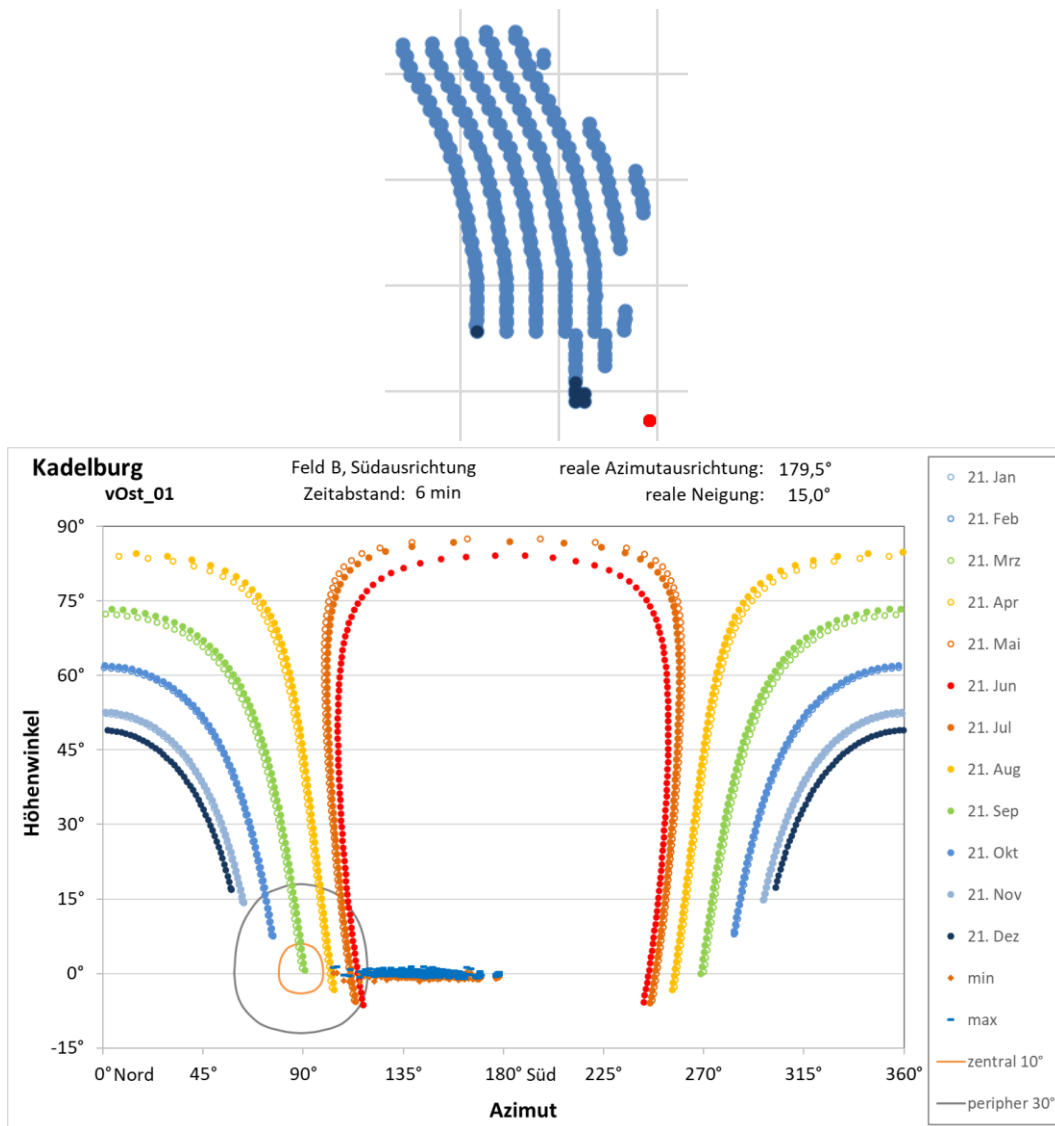


Abbildung 19: Reflexionsdiagramm am Blickpunkt vOst\_01 mit Visualisierung der PV-Tische (dunkelblau), die in das periphere Blickfeld reflektieren können

Tabelle 3: Bewertungsrelevante Ergebnisse der Reflexionsberechnung am Blickpunkt vOst\_01

Reflexion	Abstand zu Blickachse	Beleuchtungsstärke am Auge in lx	Sonnenhöhe	Abstand Sonne zu Blickachse	Beleuchtungsstärke Sonne (senkrecht) in lx
vOst_01_nah	14,5°	540	7,0°	12,0°	13.520
vOst_01_hell	26,4	1.064	13,0°	23,7°	24.602



## 7 Bewertung der Blendrisiken

### 7.1 Belegungsfeld A - Trackersystem

Die PV-Module des Felds A sind mit einem einachsigen Trackersystem ausgestattet, welches die Neigung der PV-Module dem Sonnenstand nachführt. Die Nachführung verhindert, dass potenziell blendende Reflexionen mit geringen Höhenwinkeln entstehen. Deshalb können nur Betriebszustände außerhalb des astronomischen Nachführungsregimes zu potenziell blendenden Reflexionen führen.

Die Reflexionsanalyse hat ergeben, dass die PV-Module bei maximaler Neigung (40°), sowohl in Ost- als auch in Westausrichtung, nicht in Richtung des Straßenverkehrs reflektieren können.

Bei einer Parkposition von 40° Ost können abends Sonnenlichtreflexionen in Richtung Nordosten gerichtet werden, ohne dass damit schützenswerte Nutzungen von Anliegern beeinträchtigt werden.

Bei einer Parkposition von 40° West können morgens Sonnenlichtreflexionen in Richtung Nordwesten gerichtet werden, ohne dass es zu unzumutbaren Belästigungen im Gewerbegebiet Küssaberg kommen kann.

Bei einer Horizontalposition der PV-Module können zu Sonnenaufgang und -untergang Sonnenlichtreflexionen mit geringen Höhenwinkeln verursacht werden. Da die Drehachse des Trackersystems oberhalb der Augenhöhe von Verkehrsteilnehmern liegt, können keine Reflexionen auf Verkehrsteilnehmer gerichtet sein. Die in Richtung Gewerbegebiet möglichen Reflexionen verursachen keine Lichtimmissionen im Sinne der maßgeblichen LAI-Richtlinie zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen, da die Sonne mit einem Abstandswinkel von deutlich weniger als 10° über der reflektierenden Fläche steht und damit die Reflexionen überstrahlt.

Es wird empfohlen, für geplante (Mäharbeiten, Sturm, Wartungsarbeiten) und außerplanmäßige Anlagenstillstände das Trackersystem auf die Positionen Horizontal, 40° Ost, oder 40° West zu stellen.

### 7.2 Belegungsfeld B - Südausrichtung

Der Verkehr auf Untere Riedacker kann in beiden Fahrtrichtungen von Sonnenlichtreflexionen der PV-Module des Belegungsfelds B betroffen sein.

Die Fahrzeugführenden in Richtung Recyclinghof können von Anfang April bis Anfang September für wenige Minuten kurz nach Sonnenaufgang von Sonnenlichtreflexionen in das periphere Blickfeld der Fahrzeugführenden betroffen sein. Das zentrale Blickfeld bleibt jederzeit frei von Sonnenlichtreflexionen. Im Frühjahr und Herbst treffen die Reflexionen mit einem Differenzwinkel zur Blickachse von mindestens 14,5° auf die Augen der Fahrzeugführenden und bewirken eine Beleuchtungsstärke von ca. 500 lx. Zur Sommersonnenwende beträgt der Abstandswinkel zur Blickachse fast 30° und die Beleuchtungsstärke erreicht 900 lx. Der Zusammenhang zwischen wachsendem Winkelabstand zur Blickachse und gleichzeitigem Anstieg der Beleuchtungsstärke führt zu keinem Zeitpunkt im Jahr dazu, dass eine verkehrgefährdende Blendsituation entstehen kann.

Die Fahrzeugführenden aus Richtung Recyclinghof können von Ende April bis Mitte August abends für wenige Minuten von Sonnenlichtreflexionen in das periphere Blickfeld der Fahrzeugführenden betroffen



sein. Das zentrale Blickfeld bleibt jederzeit frei von Sonnenlichtreflexionen. Im Frühjahr und Herbst treffen die Reflexionen mit einem Differenzwinkel zur Blickachse von etwas mehr als  $10^\circ$  auf die Augen der Fahrzeugführenden und bewirken eine Beleuchtungsstärke von etwas mehr als 100 lx. Zur Sommersonnenwende beträgt der Abstandswinkel zur Blickachse mehr als  $26^\circ$  und die Beleuchtungsstärke erreicht etwas mehr als 1.000 lx. Der Zusammenhang zwischen wachsendem Winkelabstand zur Blickachse und gleichzeitigem Anstieg der Beleuchtungsstärke führt auch für den Verkehr in westliche Richtung zu keinem Zeitpunkt im Jahr dazu, dass eine verkehrsgefährdende Blendsituation entstehen kann.

Die Sicherheit des Straßenverkehrs auf Untere Riedäcker bleibt jederzeit gewahrt.

Als schützenswerte Nutzung im Blendbereich kann nur der Rangierbetrieb auf dem Recyclinghof angesehen werden, der durch den bestehenden Gehölzstreifen vor potenziell blendenden Sonnenlichtreflexionen des Felds B abgeschirmt wird.

### *7.3 Variante: Belegungsfeld B mit Trackersystem*

Bei einer Belegung des Felds B mit einem Trackersystem, wie es für das Feld A vorgesehen ist, kann es (vgl. Abschnitt 7.1) bei Nutzung der in Abschnitt 7.1 empfohlenen Parkpositionen weder zu Lichtimmissionen im Sinne der maßgeblichen LAI-Richtlinie noch zur Blendung von Verkehrsteilnehmern kommen.



## 8 *Verwendete Materialien*

### 8.1 *Dokumente vom Auftraggeber*

- ▶ Modulbelegungsplan als Datei „10 MLP Kadelburg Tracker + Süd 23-12-22.dwg“
- ▶ Datei „10 MLP Kadelburg 23-04-20-A3\_groß PE (2) (1).pdf“
- ▶ Datei „Agri PV Tracker Zimmermann.pdf“

### 8.2 *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 RASt 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



## 9 *Abbildungsverzeichnis*

Abbildung 1: Lage der geplanten PV-Anlage Kadelburg (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 Kadelburg (Modultischreihen in blau) mit Darstellung der Einfriedung (grün) .....	16
Abbildung 8: bemaßte Seitenansicht der südausgerichteten PV-Tische (linke Seite) und des Trackersystems (rechte Seite); Quelle: Kundenmaterial .....	17
Abbildung 9: Reflexionsdiagramm für ostausgerichtete PV-Module mit 5° Neigung .....	18
Abbildung 10: Reflexionsdiagramm für ostausgerichtete PV-Module mit 40° Neigung .....	19
Abbildung 11: Reflexionsdiagramm für PV-Module des Felds A in Horizontalposition .....	19
Abbildung 12: Reflexionsdiagramme für westausgerichtete PV-Module mit 5° (oben) und 40° Neigung (unten) .....	20
Abbildung 13: Reflexionsdiagramm für Module des Belegungsfelds B der PV-Anlage Kadelburg .....	21
Abbildung 14: Blick aus 2,8 m Höhe von „Untere Riedäcker“ auf Höhe der Grenze zwischen den beiden Belegungsfelder der PV-Anlage in östliche (oben) und westliche (unten) Richtung; Quelle: Google Street View .....	22
Abbildung 15: Mögliche Blendrichtungen des Belegungsfelds A bei 5° Neigung (grüne Winkel) und 40° Neigung (cyanfarbene Winkel) sowie des Felds B (gelbe Winkel), angezeichnet an ausgewählte Eckpunkte der PV-Anlage .....	23
Abbildung 16: PV-Tischreihen und die für die Blendanalyse ausgewählte Blickpunkte vor dem Hintergrund eines nach geografisch Nord ausgerichteten Luftbilds aus Bing Maps .....	24
Abbildung 17: Modellierte Reflexions- und Blickpunkte in der x-y-Ebene mit Angabe der Augenpunkthöhen und ggf. Blickrichtung am Blickpunkt .....	24



Abbildung 18: Reflexionsdiagramm für das Belegungsfeld B am Blickpunkt vWest\_01 mit Visualisierung der PV-Tische (dunkelblau), die in das periphere Blickfeld reflektieren können .....25

Abbildung 19: Reflexionsdiagramm am Blickpunkt vOst\_01 mit Visualisierung der PV-Tische (dunkelblau), die in das periphere Blickfeld reflektieren können .....26



## 10 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Systemangaben Freiflächen-Photovoltaikanlage Kadelburg.....17

Tabelle 2: Bewertungsrelevante Ergebnisse der Reflexionsberechnung am Blickpunkt vWest\_01 .....25

Tabelle 3: Bewertungsrelevante Ergebnisse der Reflexionsberechnung am Blickpunkt vOst\_01.....26