

Solarpraxis Engineering GmbH · Alboinstraße 36-42 · 12103 Berlin, Germany

## ► **Blendgutachten PV-Anlage Busdorf**

### *Analyse der Reflexionswirkungen einer Photovoltaikanlage*

**Auftraggeber:**

ENERTRAG AG  
Herr Simon Wirtz  
Gut Dauerthal  
17291 Dauerthal

**erstellt von:**

Ralf Schmersahl  
Solarpraxis Engineering GmbH  
Alboinstraße 36-42  
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: 20.06.2023

Projekt: P230059



## Inhalt

1	Zweck und Gegenstand des Gutachtens.....	4
2	Zusammenfassung der Bewertung.....	5
3	Einleitung.....	6
3.1	Gesetzliche Grundlagen.....	6
3.1.1	Nutzung erneuerbarer Energien in Raumordnung und Baurecht.....	6
3.1.2	Immissionsschutz.....	7
3.2	Blendung.....	8
3.2.1	Blendung allgemein.....	8
3.2.2	Blendung im Verkehr.....	8
3.2.3	Blendung im Wohn- und Arbeitsbereich.....	11
3.3	Entstehung von Reflexionen bei Photovoltaikanlagen.....	12
3.4	Verwendete Azimut-Winkelangaben.....	13
4	Situation vor Ort.....	14
4.1	PV-Anlage.....	14
4.2	Immissionsorte.....	16
4.2.1	Übersicht.....	16
4.2.2	Busdorfer Weg.....	16
4.2.3	Busdorf (Kuhteich).....	16
4.2.4	Anlieger Busdorf 14 bis 16.....	17
5	Berechnungsmethodik.....	18
5.1	Reflexionsberechnung.....	18
5.2	Eingrenzung blendrelevanter Azimutbereiche.....	19
5.3	Modellierung der Reflexions- und Blickpunkte.....	20
5.4	Ermittlung von Immissionszeiträumen.....	21
6	Berechnungsergebnisse Reflexionen.....	22
6.1	Busdorf 14.....	22
6.2	Busdorf 15.....	23

6.3	Busdorf 16.....	24
7	Bewertung der Blendrisiken.....	25
8	Verwendete Materialien.....	26
8.1	Materialien vom Auftraggeber.....	26
8.2	Literatur.....	26
9	Abbildungsverzeichnis.....	28
10	Tabellenverzeichnis.....	30





## 1 Zweck und Gegenstand des Gutachtens

Es soll geprüft werden, ob von den Modulen der geplanten PV-Anlage Busdorf Sonnenlicht auf schützenswerte Räume oder Verkehrsteilnehmer reflektiert werden kann und ob dadurch gegebenenfalls störende oder verkehrsgefährdende Blendwirkungen auftreten können. Anschließend sind ggf. Maßnahmen zur Verhinderung eventuell auftretender Blendung aufzuzeigen.

Die PV-Anlage Busdorf soll nördlich des Weges Busdorf in 24637 Schillersdorf in Schleswig-Holstein errichtet werden. Abbildung 1 zeigt die Lage der geplanten PV-Anlage und die der umliegenden Verkehrswege.

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

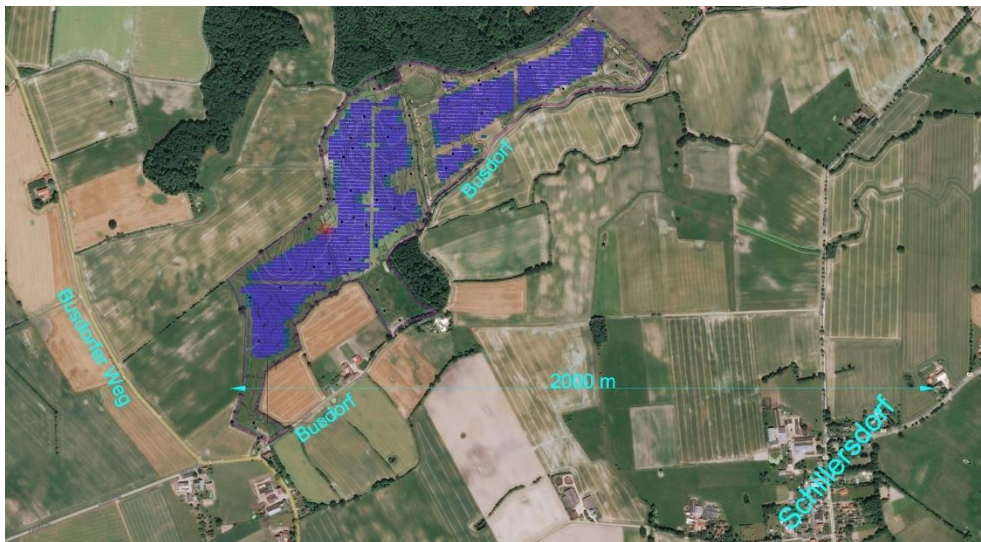


Abbildung 1: Lage der geplanten Photovoltaikanlage Busdorf (Tischreihen in blau eingezeichnet) nördlich des Weges Busdorf in Schillersdorf; Quelle: Kundenmaterial vor dem Hintergrund eines nach geografisch Nord ausgerichteten Luftbilds aus Bing Maps



## 2 Zusammenfassung der Bewertung

Es wird festgestellt, dass von der in 24637 Schillersdorf geplanten PV-Anlage Busdorf keine unzumutbare Belästigung der Anlieger durch Lichtimmissionen hervorgerufen werden kann.

Die Verkehrsteilnehmer auf dem Busdorfer Weg können nicht von Sonnenlichtreflexionen der geplanten Anlage in das Blickfeld der Fahrzeugführenden betroffen sein. Die Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs auf dem Busdorfer Weg bleiben jederzeit gewahrt.

Aus blendgutachterlicher Sicht ist die geplante PV-Anlage Busdorf ohne zusätzliche Blendschutzmaßnahmen genehmigungsfähig.



## 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 Gesetzliche Grundlagen

#### 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. Als Aufgabe der Raumordnung benennt das Gesetz u.a., die Versorgung mit Infrastrukturen der Daseinsvorsorge zu gewährleisten und die Schaffung der räumlichen Voraussetzungen für den Ausbau der erneuerbaren Energien.

Das Baugesetzbuch (BauGB) definiert die Nutzung erneuerbarer Energien als öffentlichen Belang, der bei der Aufstellung der Bauleitpläne zu berücksichtigen sei. Als Reaktion auf den Atomausstieg in Deutschland nach der Reaktorkatastrophe von Fukushima wurde die Bedeutung erneuerbarer Energien im BauGB durch das „Gesetz zur Förderung des Klimaschutzes bei der Entwicklung in den Städten und Gemeinde“ gestärkt und die Nutzung insbesondere auch von Photovoltaikanlagen an oder auf Gebäuden erleichtert. U.a. wurde

- ▶ die Ausstattung des Gemeindegebietes mit Anlagen zur dezentralen Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien als Teil des Flächennutzungsplans vorgesehen,
- ▶ die Festsetzung von Flächen und Gebieten im Bebauungsplan ermöglicht, die der dezentralen Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien dienen sollen,
- ▶ eine Privilegierung von gebäudeintegrierten Solaranlagen im Außenbereich aufgenommen.

Mit der Gesetzesänderung wird der Handlungsspielraum von Städten und Gemeinden hinsichtlich der Nutzung erneuerbarer Energien erweitert. War also schon vorher die Nutzung erneuerbarer Energie als politische Zielsetzung in einer Abwägung gem. BauGB zu berücksichtigen, so ist jetzt die politische Verantwortung der Städte und Gemeinden zur Forcierung dieser Politik hervorgehoben.

Das Erneuerbare-Energien-Gesetz 2023 verlangt eine noch höhere Priorisierung der Nutzung von erneuerbaren Energien gegenüber anderen Schutzgütern. In § 2 des Gesetzes wird festgelegt: „Die Errichtung und der Betrieb von Anlagen sowie den dazugehörigen Nebenanlagen liegen im überragenden öffentlichen Interesse und dienen der öffentlichen Sicherheit. Bis die Stromerzeugung



im Bundesgebiet nahezu treibhausgasneutral ist, sollen die erneuerbaren Energien als vorrangiger Belang in die jeweils durchzuführenden Schutzgüterabwägungen eingebracht werden.“

### 3.1.2 Immissionsschutz

Das Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) soll den Menschen, die natürliche Umwelt sowie Sachgüter vor schädlichen Umwelteinwirkungen schützen und deren Entstehung vorbeugen. Schädliche Umwelteinwirkungen im Sinne des Gesetzes sind Immissionen, die nach Art, Ausmaß oder Dauer geeignet sind, Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit oder die Nachbarschaft herbeizuführen. Immissionen im Sinne des BImSchG sind „auf Menschen, Tiere und Pflanzen, den Boden, das Wasser, die Atmosphäre sowie Kultur- und sonstige Sachgüter einwirkende Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen, Licht, Wärme, Strahlen und ähnliche Umwelteinwirkungen.“

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. Für genehmigungspflichtige Anlagen wird eine entsprechende Vorsorge nach dem Stand der Technik gefordert. Bei nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen sind schädliche Umweltwirkungen nach dem Stand der Technik auf ein Mindestmaß zu beschränken.

Bei der Bauleitplanung sind im Rahmen der Abwägung von öffentlichen und privaten Belangen auch Lichtreflexionen als Immissionen zu betrachten und zu bewerten. Es existiert aber keine die Errichtung und den Betrieb von Photovoltaikanlagen regelnde Immissionsschutz-Verordnung. Für die immissionsschutzrechtliche Bewertung der Lichtimmissionen von Photovoltaikanlagen werden deshalb Grenzwerte aus anderen Regelungsbereichen herangezogen.



## 3.2 Blendung

### 3.2.1 Blendung allgemein

Blendung wird in der DIN EN 1266 als "unangenehmer Sehzustand durch ungünstige Leuchtdichteverteilung oder zu hohe Kontraste" definiert. Die Leuchtdichte ist die Lichtstärke pro Fläche ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ) und stellt ein fotometrisches Maß für die von Menschen empfundene Helligkeit einer selbstleuchtenden oder beleuchteten Fläche dar. Zu große Leuchtdichteunterschiede oder ungünstige Leuchtdichteverteilungen im Gesichtsfeld können zu einem unangenehmen Gefühl (psychologische Blendung) oder einer tatsächlich messbaren Herabsetzung der Sehleistung (physiologische Blendung) führen. Ab einer Leuchtdichte von  $10^4$  bis  $1,6 \cdot 10^6 \text{ cd}/\text{m}^2$  wird die Adaptationsfähigkeit des menschlichen Auges überschritten. Dieser Zustand wird als Absolutblendung bezeichnet.<sup>1</sup>

Abbildung 2 zeigt zwei Beispiele für Blendsituationen<sup>2</sup>. Auf der Sichtachse zur Blendquelle werden Gegenstände unerkennbar.



Abbildung 2: Gegenstände auf der Sichtachse zur Blendquelle sind nicht mehr wahrnehmbar

### 3.2.2 Blendung im Verkehr

Im Rahmen der Verkehrssicherheit kommt es vor allem auf die physiologische Blendung an, die die Sehleistung herabzusetzen vermag. Dagegen spielt die psychologische Blendung in diesem Zusammenhang kaum eine Rolle. Ein nur kurz auftretendes subjektives Unbehagen aufgrund von kurzzeitiger Blendung im Vorbeifahren führt noch nicht zu einer Beeinträchtigung der Fahrleistung.

---

<sup>1</sup> Wittlich 2010

<sup>2</sup> Es wird an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die Wahrnehmung des menschlichen Auges nicht direkt mit einer Fotografie vergleichbar ist. Die hier gezeigten Aufnahmen dienen ausschließlich der Verdeutlichung des Sachverhaltes.





Für die physiologische Blendung bewegter Beobachter, die in der Regel nicht direkt in die Blendquelle hineinsehen, spielt deren Leuchtdichte nur im Zusammenhang mit ihrer Größe im Blickfeld eine Rolle. Wesentlich ist die Beleuchtungsstärke (Einheit: lx), die im Auge durch Brechung und Streuung an den Augenmedien eine Schleierleuchtdichte hervorruft und dadurch die Kontrasterkennung vermindert. Für die Gefährdungsbeurteilung entscheidend ist die Beleuchtungsstärke am Auge von Verkehrsteilnehmern, die sich aus dem Produkt von Leuchtdichte und Blendquellengröße im Blickfeld und dem Winkel zwischen Blickrichtung und Blendquelle ergibt, in Relation zur Beleuchtungsstärke am Auge durch direktes, gestreutes und diffus von der Umgebung reflektiertes Sonnenlicht. Darüber hinaus sind die jeweils mögliche Einwirkzeit und die Position der Blendquelle im Blickfeld zu berücksichtigen.

Für die Bewertung der möglichen Blendung durch Reflexionen auf Verkehrsteilnehmer sind demgemäß das Blickfeld und die räumliche Lage der Blendquelle darin wesentlich. Beim Menschen unterscheidet man folgende Arten von Blickfeldern:

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

Außerhalb des Gebrauchsblickfeldes werden im menschlichen binokularen Blickfeld Objekte nicht unmittelbar wahrgenommen, vielmehr wird das Umgebungsbild im Kurzzeitgedächtnis eingefroren und nur bei starken Veränderungen bewusst erneuert. Bei sog. „Sehaufgaben“ („visual tasks“), z.B. Autofahren, Arbeit am Computer etc., verengt sich dieses bewusst wahrgenommene Blickfeld weiter. Hier werden Änderungen im Umgebungsblickfeld bis zu einer Blickrichtungsänderung von  $10^{\circ}$  nicht aktiv wahrgenommen und vom Gehirn verarbeitet. Dies entspricht einem bewusst wahrgenommenen Blickfeld von  $20^{\circ}$  auf der horizontalen Ebene.<sup>3 4</sup>

Das maximale Gebrauchsblickfeld (im Allgemeinen hier einfach als „Blickfeld“ oder „maximales Blickfeld“ benannt) und das eingeschränkte für Sehaufgaben („zentrales Blickfeld“) werden in Tabelle 1 und in Abbildung 3 einander betragsmäßig und grafisch gegenübergestellt.

---

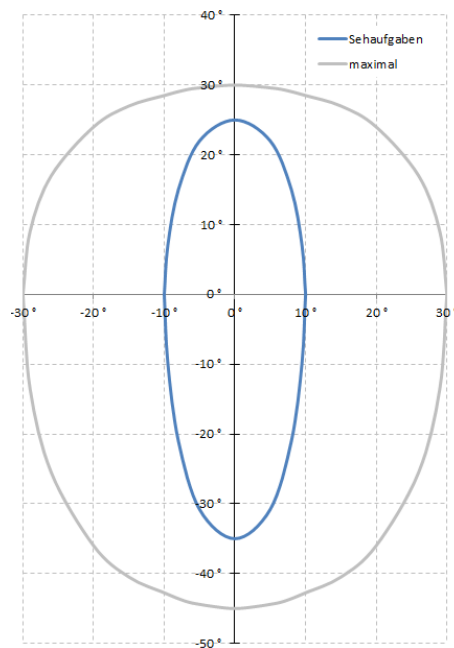
<sup>3</sup> Reidenbach u. a. 2008

<sup>4</sup> Kaufmann 1986



Tabelle 1: Menschliches Gebrauchsblickfeld (vertikal positiv ist oben, negativ unten)

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

Abbildung 3: Blickfelder aus Tabelle 1; der Achsenschnittpunkt  $0^\circ/0^\circ$  stellt dabei einen Punkt auf der Blickachse dar, auf den die Augen fokussieren, und nicht notwendigerweise einen Punkt auf dem Horizont

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



Bei der Gefährdungsbeurteilung bzgl. Blendung von Fahrzeugführern bei Tageslicht wird deshalb der Bereich im zentralen Blickfeld von  $\pm 5^\circ$  neben der Blickachse als höchst kritisch und derjenige von  $\pm 10^\circ$  als kritisch angesehen (zentrales Blickfeld). Wahrnehmbare Reflexionen außerhalb von  $\pm 30^\circ$  werden hier als physiologisch unerheblich bewertet. Zwischen  $\pm 10^\circ$  und  $\pm 30^\circ$  werden abgestufte Anforderungen an das Verhältnis der Beleuchtungsstärken durch Reflexionen und direkt einfallendes Sonnenlicht gestellt, da sich die Schleierleuchtdichte, die im Auge durch Streuung eindringenden Lichts erzeugt wird und die Sehleistung beeinträchtigen kann, reziprok zum Quadrat des Abstandswinkels zwischen Strahlungsquelle und Blickrichtung verhält. Bei Einmündungen oder Kreuzungen muss ein größerer Blickbereich frei von Blendrisiken sein.

### 3.2.3 Blendung im Wohn- und Arbeitsbereich

Das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU) hat bereits vor über 15 Jahren damit begonnen, in Ermangelung von zeitlichen Grenzwerten für Sonnenlichtreflexionen von Photovoltaikanlagen (PVA), Grenzwerte aus einem anderen Regelungsbereich, der sogenannten Schattenwurf-Richtlinie für Windenergieanlagen (WEA), zu übernehmen und die Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) empfahl seit 2012 bundesweit, diese zeitlichen Grenzwerte als ersten Anhaltspunkt für die Zumutbarkeit im Wohn- und Arbeitsbereich zu nutzen. Die Umsetzung in Brandenburg erfolgt durch die „Licht-Leitlinie“. Danach liegt ein Hinweis auf Unzumutbarkeit vor, wenn ein Wohn- oder Arbeitsbereich länger als 30 Minuten am Tag oder kumuliert mehr als 30 Stunden im Jahr von Lichtimmissionen einer PVA getroffen werden kann. Zur Berechnung wird dabei ein vereinfachtes Verfahren vorgegeben, bei dem nur solche Sonnenlicht-Reflexionen als Immissionen zählen, die einen Abstandswinkel von mehr als  $10^\circ$  zur Sonne haben, und bei dem die Sonne punktförmig angenommen wird. Aufgrund der realen Größe der Sonnenscheibe mit einem Durchmesser von  $0,56^\circ$  können real auftretende Reflexionen etwas länger andauern, als die schematische Berechnung ergibt.

Die LAI-Richtlinie stellt weiterhin fest, dass sich eine unzumutbare Belästigung für Immissionsorte in Abhängigkeit von ihrer Lage und Entfernung bereits ohne rechnerischen Nachweis ausschließen lassen, darunter Immissionsorte, die sich weiter als ca. 100 m von einer PV-Freiflächenanlage entfernt befinden und damit nur kurzzeitige Blendwirkungen erfahren.

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).



### 3.3 Entstehung von Reflexionen bei Photovoltaikanlagen

Eine Photovoltaikanlage besteht aus den Haupt-Komponenten Montagegestell, Wechselrichter und Photovoltaik-Modul (PV-Modul).

Komponenten, an denen ggf. relevante direkte Reflexionen entstehen können, sind in erster Linie die Deckgläser der PV-Module. Daneben bewirken Reflexionen an inneren Grenzflächen von Einbettmaterialien oder Rückseitenfolien sowie die Texturierung der Oberflächen, dass auch Anteile diffuser Reflexion auftreten können. Dies kann zu Bündelaufweitung und Versatz der ideal gerichteten Reflexionsstrahlen führen.

Potenziell blendende Lichtreflexionen an den Gläsern der PV-Module können nur zu Zeiten direkter Sonneneinstrahlung auftreten. Bei diffusem Licht mit ungerichteter Strahlung kann keine gerichtete Reflexion auftreten.

Die Deckgläser der PV-Module bestehen im Allgemeinen aus unstrukturiertem eisenarmen Weißglas. Es wird ein spezielles Glas verwendet, um die Transmission zu erhöhen, also den Lichteinfall des gesamten Strahlungsspektrums auf die solar aktive Fläche der PV-Module zu maximieren. So werden ein hoher energetischer Wirkungsgrad, ein hoher Ertrag und eine geringe Reflexion gesichert. Dies hat nach heutigem Stand der Technik zur Folge, dass bei senkrechter Einstrahlung weniger als 9 % des gesamten eingestrahnten sichtbaren Lichtes reflektiert werden.

Die Reflexionseigenschaften von Glas variieren mit dem Einfallswinkel der Sonnenstrahlen, wie Abbildung 4 verdeutlicht.

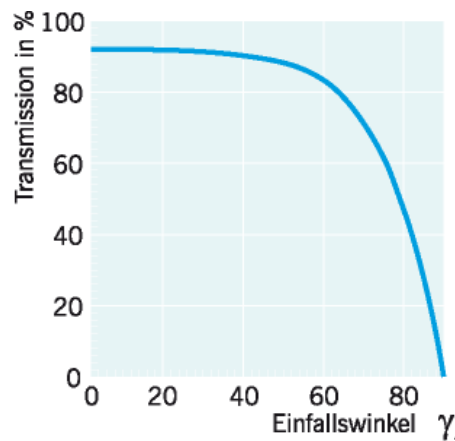


Abbildung 4: Auswirkung des Einfallswinkels auf den Transmissionsgrad für Modulgläser

Die Transmission ist bei senkrechtem Einfall auf die Modulebene ( $0^\circ$ ) am größten. Mit zunehmendem Einfallswinkel sinkt die Transmission und die Reflexion am Glas steigt an. Als Beispiel beträgt der Transmissionsgrad bei einem Einfallswinkel von  $65^\circ$  etwa 80 %. In diesem Falle werden für das Beispiel in Abbildung 4 ca. 20 % der auftretenden Strahlung reflektiert.



Da die Leuchtdichte der Sonne bei klarer Sicht bereits kurz über dem Horizont  $6 \cdot 10^6$  cd/m<sup>2</sup> beträgt und um die Mittagszeit  $1,5 \cdot 10^9$  cd/m<sup>2</sup> erreicht, muss aber auch bei den niedrigen Reflexionsgraden von Solarmodulen mit dem Eintritt von Absolutblendung ( $> 10^5$  cd/m<sup>2</sup>) bei Beobachtern gerechnet werden.

### 3.4 *Verwendete Azimut-Winkelangaben*

Allgemein werden in der Solartechnik Azimutwinkel von Süden (=0°) aus angegeben, so dass üblicherweise eine Ostausrichtung mit -90° und eine Westausrichtung mit +90° angegeben wird.

Da die Berechnungsmethode zur Bestimmung der Reflexionen jedoch aus der Geodäsie entnommen worden ist und dort allgemein vom Norden (=0°) aus im Uhrzeigersinn gerechnet wird, werden in den Reflexionsdiagrammen und bei der Beschreibung von Blickrichtungen die sich daraus ergebende Azimutangabe verwendet: Norden = 0°, Osten = 90°, Süden = 180° und Westen = 270°.

Zur leichteren Lesbarkeit für Leser, die in der Regel mit der in der Solartechnik üblichen Bezeichnung zu tun haben, wird dagegen die Ausrichtung der Anlagen regelmäßig in der Solardiktion aufgeführt.



## 4 Situation vor Ort

### 4.1 PV-Anlage

Die PV-Anlage Busdorf ist auf einer Fläche von 26,3 ha mit einer Gesamtleistung von 29.966 kWp geplant. Das Baufeld liegt in der Gemeinde Schillersdorf im Kreis Plön in Schleswig-Holstein auf einer Höhe von 34 bis 40 m üNNH. Abbildung 5 zeigt die Lage der Tischreihen und die Höhenlinien.



Abbildung 5: Lage der Tischreihen (oben) und die vermessenen Höhen (unten); Quelle. Kundenmaterial



Die reale solare Ausrichtung der nach Süden ausgerichteten Module beträgt auf Grund der Meridiankonvergenz des Belegungsplans im UTM-Koordinatensystem ohne Berücksichtigung einer seitlichen Tischneigung  $0,9^\circ$ . Das Baufeld weist allerdings leichte Hangneigungen in West-Ost-Richtung auf, die dazu führen, dass die reale solare Ausrichtung und die reale Neigung der PV-Module variieren.

Die Planneigung der PV-Module beträgt  $15^\circ$ . Die Unterkante der Module befindet sich  $0,8\text{ m}$  über der Geländeoberkante. Die Oberkante erreicht maximal  $2,6\text{ m}$ . Abbildung 6 zeigt die Seitenansicht eines PV-Tisches.

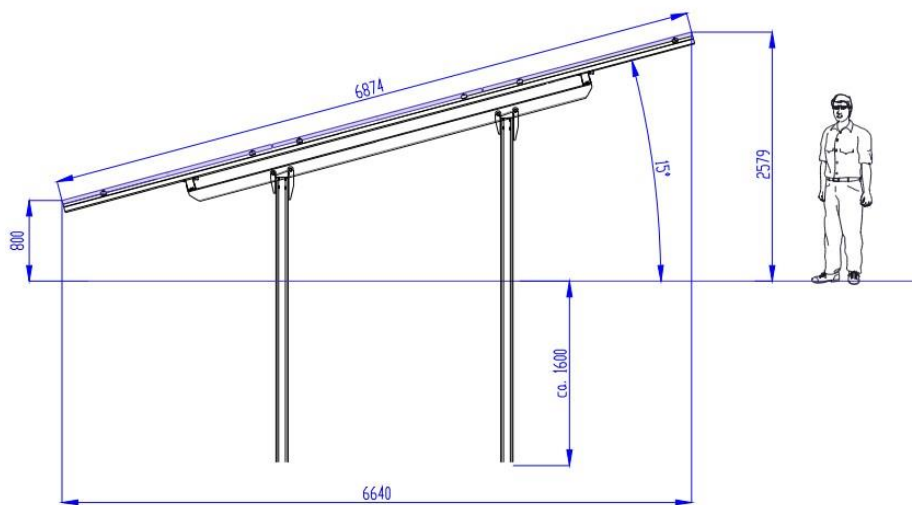


Abbildung 6: Bemaßte Seitenansicht eines PV-Tisches



## 4.2 Immissionsorte

### 4.2.1 Übersicht

Potenziell blendungsrelevante Reflexionen mit negativen und gering positiven Höhenwinkeln können bei einer nach Süden ausgerichtete PV-Anlage morgens in Richtung West bis Westsüdwest und abends in Richtung Ost bis Ostsüdost auftreten. Damit können der Verkehr auf dem Busdorfer Weg in nördliche Richtung und auf dem Weg Busdorf (Kuhteich) in östliche und westliche Richtung sowie die schützenswerten Räume der Anlieger Busdorf 14, 15 und 16 von den potenziellen Reflexionen der geplanten Anlage betroffen sein.

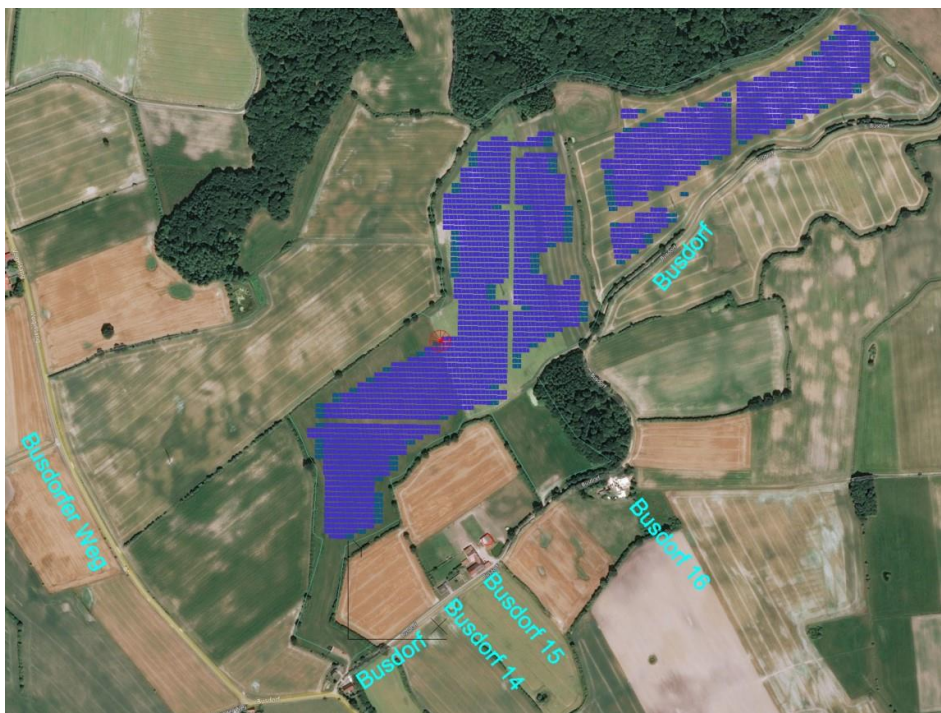


Abbildung 7: Potenzielle Immissionsorte und Ihre Lage relativ zur PV-Anlage

### 4.2.2 Busdorfer Weg

Der Busdorfer Weg führt aus südlicher Richtung mit einer Azimutrichtung zwischen  $312^\circ$  und  $348^\circ$  westlich an der geplanten Anlage vorbei. Die PV-Anlage liegt zu keinem Zeitpunkt im Blickfeld der Fahrzeugführenden, so dass eine Blendung ausgeschlossen werden kann.

### 4.2.3 Busdorf (Kuhteich)

Der Weg Busdorf ist ein einspuriger, mit Betonplatten ausgestalteter Feld- bzw. Wirtschaftsweg, der südlich des Baufelds der geplanten Anlage verläuft und nur langsame Fahrgeschwindigkeiten erlaubt. Eine Verkehrsgefährdung durch Blendung kann deshalb ausgeschlossen werden.





#### 4.2.4 Anlieger Busdorf 14 bis 16

Die Anlieger Wohngebäude 14 und 15 liegen nördlich des Weges Busdorf in einem Abstand von etwas mehr als 160 m zu den nächstgelegenen Modulen. Abbildung 8 zeigt die Gebäude aus nordwestlicher Richtung.

Bei dem Gebäude Busdorf 14 handelt es sich um ein eingeschobiger Einfamilienhaus. Die Unterkante der zu prüfenden Fenster wird mit 38 m üNNH angesetzt und die Höhe der Fenster mit 1,4 m.

Busdorf 15 ist ein Gehöft. Das Wohngebäude hat zwei Stockwerke. Die Unterkante der zu prüfenden Fenster im 1. OG wird mit 42 m üNNH angesetzt und die Fensterhöhe mit 1,4 m.



Abbildung 8: Busdorf 14 (rechts) und Busdorf 15 (links); Quelle: Kundenmaterial

Das Gebäude Busdorf 16 liegt südlich des Weges Busdorf in einem Abstand von 250 m zum nächstgelegenen PV-Modul. Die Unterkante der zu prüfenden Fenster im 1. OG wird mit 41 m üNNH angesetzt und die Fensterhöhe mit 2 m.



Abbildung 9: Busdorf 16; Quelle: Kundenmaterial



## 5 Berechnungsmethodik

### 5.1 Reflexionsberechnung

Die Reflexionsberechnung erfolgt nach dem Reflexionsgesetz für ideal gerichtete Reflexion (Einfallswinkel = Ausfallwinkel). Bei gegebener reflektierender Ebene entspricht jedem Einfallswinkel des Sonnenlichts genau ein Ausfallwinkel reflektierter Strahlung. Abbildung 10 zeigt diese geometrischen Beziehungen einschließlich des Abstandswinkels zwischen den Blickrichtungen zur Sonne und zum Reflexionspunkt.

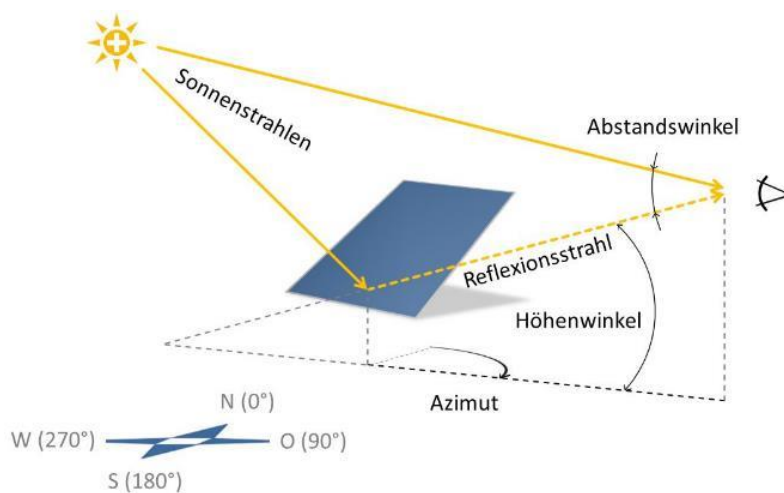


Abbildung 10: Darstellung des Reflexionsstrahls anhand von Azimut und Höhenwinkel wie in den Berechnungen verwendet und des Abstandswinkels zwischen den Blickrichtungen zur Sonne und zum Reflexionspunkt

Für die Reflexionsberechnungen wird der Belegungsplan der geplanten Solaranlage aus dem UTM-Koordinatensystem mit einer Meridiankonvergenz von  $0,88^\circ$  auf eine nach geographisch Nord ausgerichtete Karte mit einem Koordinatensystem in winkeltreuer Lambert-Kegelprojektion übertragen und dabei entsprechend der Meridiankonvergenz gedreht. Auf dieser Grundlage werden die reale Ausrichtung und die reale Neigung der Module unter Berücksichtigung des Höhenprofils des Baufelds bestimmt. Anschließend wird eine Aufstellung mit sämtlichen Sonneneinfallswinkeln im Jahresverlauf am Standort der Anlage (geografische Länge  $10,09^\circ$ , Breite  $54,11^\circ$ ) in 6-minütiger Auflösung für 12 Tage im Jahr vorgenommen (jeweils für den 21. jeden Monats)<sup>5</sup>. Die sich daraus ergebenden Reflexionsrichtungen werden für die unterschiedlichen solaren Ausrichtungen der Module berechnet und anschaulich in einem Reflexionsdiagramm aus Sicht eines beliebigen Reflexionspunkts dargestellt. Alle möglichen Reflexionsrichtungen werden dabei durch Azimut (x-Wert) und Höhenwinkel (y-Wert) beschrieben.

<sup>5</sup> Berechnung nach Eicker 2001



## 5.2 Eingrenzung blendrelevanter Azimutbereiche

Das Reflexionsdiagramm in Abbildung 11 zeigt die physikalisch möglichen Reflexionsrichtungen für die mit einer Planneigung von 15° nach Süden ausgerichteten PV-Module (0,9° reale solare Ausrichtung) der geplanten Anlage auf ebenem Gelände. Die Reflexionsrichtungen werden mit ihrem jeweiligen Azimut und Höhenwinkel als Tagesganglinien mit gleichfarbigen Markierungspunkten für den jeweils 21. des Monats dargestellt. Die roten Dreiecke markieren die Reflexionsrichtungen am 21. Juni und die dunkelblauen Dreiecke die des 21. Dezember. Zwischen den einzelnen Markierungspunkten liegt jeweils ein Zeitraum von 6 Minuten. Die graue Umrandung der Markierungspunkte zeigt, dass zu diesem Zeitpunkt der Abstandswinkel zwischen Reflexions- und Sonnenstrahlen bei weniger als 10° liegt, die Sonne also nah über den Reflexionspunkten steht.

Potenziell störende Reflexionen mit negativen (nach unten gerichteten) oder gering positiven Höhenwinkeln (-3° bis 3°) können im östlichen Azimutbereich von 86° bis 118° und im westlichen Azimutbereich von 242° bis 280° auftreten.

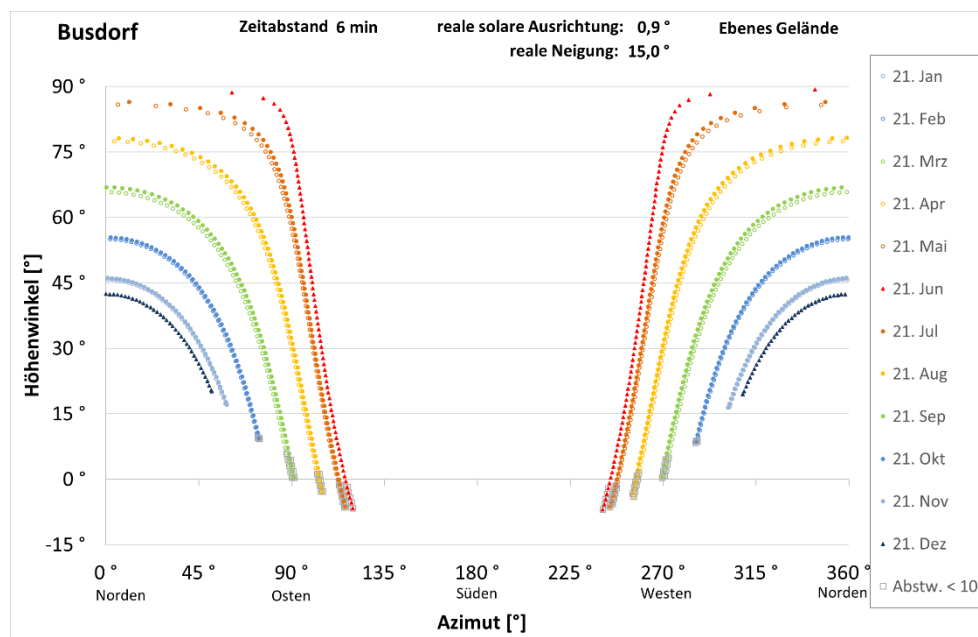


Abbildung 11: Reflexionsdiagramm aus Sicht eines beliebigen Reflexionspunktes von nach Süden (0,9°) ausgerichteten Modulen auf ebenem Gelände mit 15° Planneigung am Standort der geplanten Anlage mit waagrecht aufgetragenen Azimut- und senkrecht aufgetragenen Höhenwinkeln und Markierung der Reflexionen mit einem Abstandswinkel zur Sonne von weniger als 10° durch graue Umrandung



### 5.3 Modellierung der Reflexions- und Blickpunkte

Die Koordinaten der Reflexions- und Blickpunkte werden dem auf eine nach geographisch Nord ausgerichteten Karte in winkeltreuer Lambert-Kegelprojektion übertragenem Belegungsplan entnommen und mit den Höheninformationen ergänzt. Für die Modellierung der Reflexionspunkte werden die x-y-Koordinaten der Modultische dem nach geographisch Nord ausgerichteten Belegungsplan entnommen. Die Höhe des Geländepunktes wird aus den Vermessungsdaten abgeleitet. Für den z-Wert der Modultische werden für die Unterkanten 0,8 m und für die der Oberkanten 2,6 m zur Höhe des jeweiligen Geländepunkts addiert. Für schützenswerte Räume werden die höchstgelegenen Fenster als Blickpunkte modelliert. Die minimale Höhe eines Blickpunkts entspricht der Fensterunterkante, die maximale Höhe der Fensteroberkante. Abbildung 12 zeigt die Lage und Bezeichnung der gewählten Blickpunkte.

Aus den Daten wird ein Modell im dreidimensionalen, kartesischen Koordinatensystem mit der Einheit Meter erstellt. Die positive y-Achse zeigt in Richtung Norden, die positive x-Achse in Richtung Osten und die z-Koordinate stellt die Höhe dar. Die Reflexionen werden durch ihre Winkel (Azimut in der x-y-Ebene und Höhenwinkel zwischen x-y-Ebene und z-Achse gemessen) charakterisiert. Ob ein Reflexionsstrahl einen Immissionsort treffen kann, hängt nur von den Azimut- und Höhenwinkeln zwischen Reflexions- und Immissionsort ab, die sich aus Entfernung- und Höhendifferenzen ergeben.

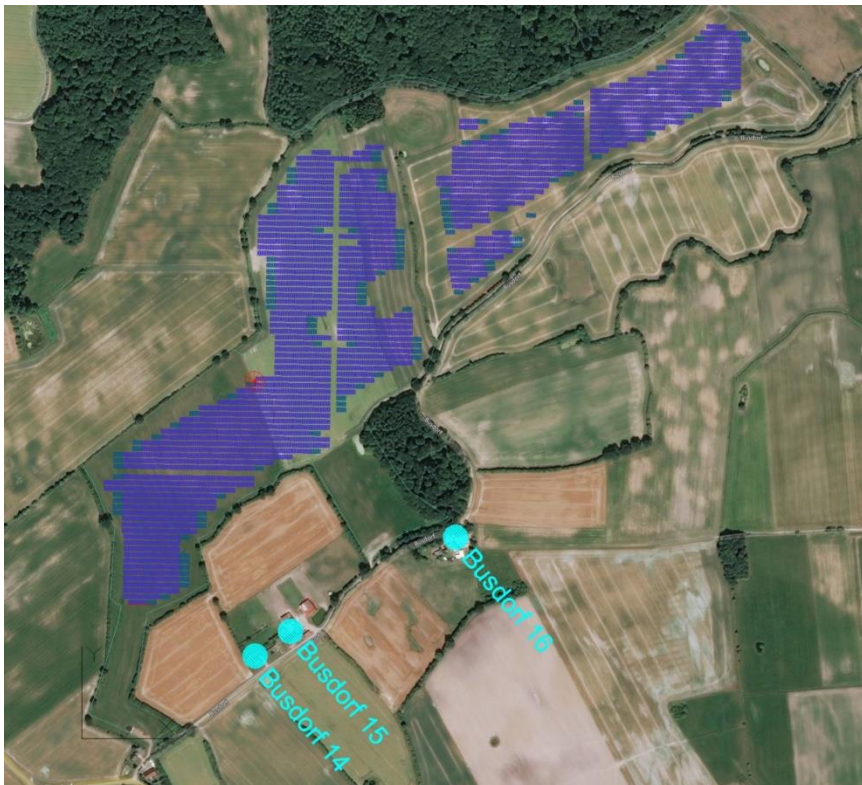


Abbildung 12: Blickpunkte (cyanfarbene Kreise) für Wohngebäude im Reflexionsbereich der PV-Anlage



### 5.4 Ermittlung von Immissionszeiträumen

Abbildung 13 zeigt exemplarisch ein Reflexionsdiagramm mit Blickbeziehungen zu einem schützenswerten Raum mit einer Detailansicht in 3-minütiger Auflösung, bei der der potenzielle Immissionszeitraum innerhalb eines Jahres durch eine rote Linie umgrenzt wird. Die Blickpunkte werden aus Sicht der Reflexionspunkte mit den durch die Fensterhöhe bedingten minimalen (blauer Strich) und maximalen (schwarze Raute) Höhenwinkeln bei gleichem Azimut dargestellt. Die graue Umrandung der Reflexionspunkte kennzeichnet die Zeitpunkte, in dem der Abstandswinkel der Reflexionsstrahlen zur Sonnenstrahlung  $< 10^\circ$  ist, und die damit nicht als Lichtimmissionen zu werten sind. Im gezeigten Beispiel beträgt die maximale tägliche Immissionsdauer 6 Minuten (2 Punkte mit 3-minütigem Abstand auf der Tagesganglinie vom 21. Juni). Die maximale jährliche Immissionsdauer beträgt zwischen Anfang Mai und Anfang August knapp 8 Stunden.

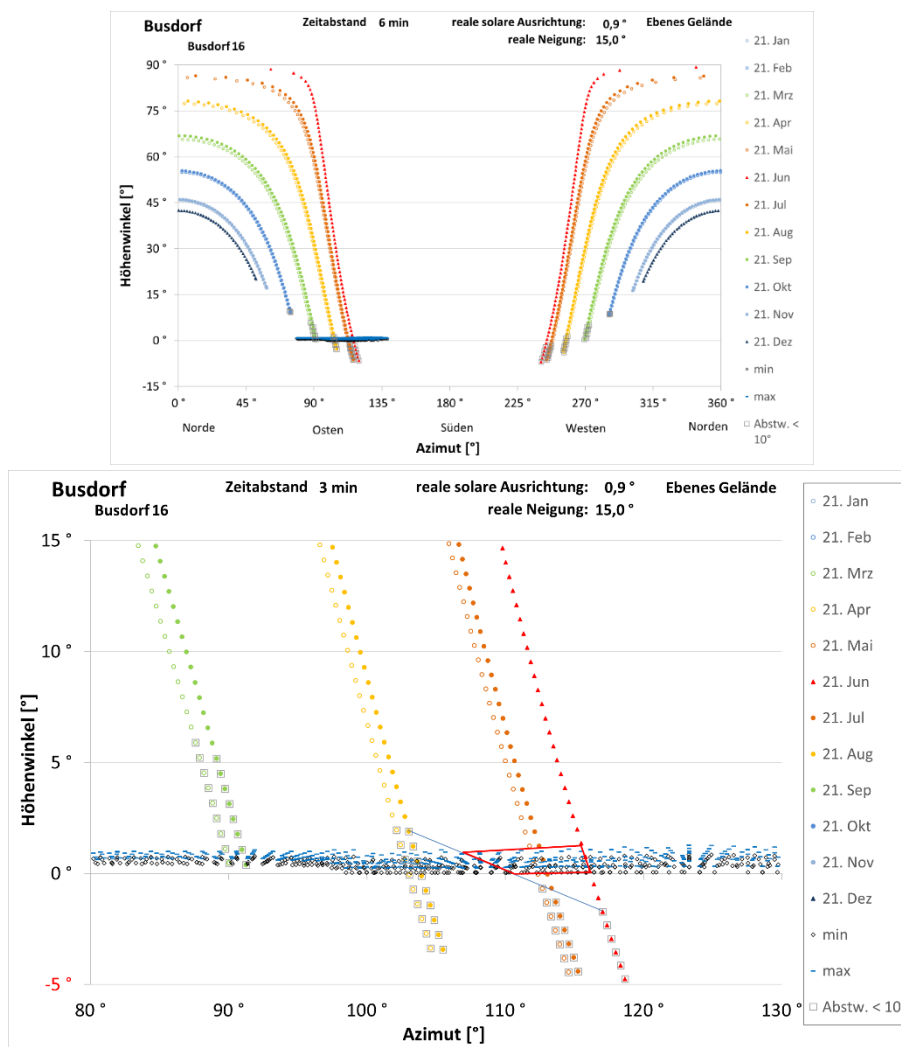


Abbildung 13: Reflexionsdiagramm für schützenswerte Räume mit einer Detailansicht mit 3-minütiger Auflösung und Darstellung des Immissionszeitraums durch eine rote Umgrenzungslinie



## 6 Berechnungsergebnisse Reflexionen

Hinweis: Die Reflexionsberechnungen unterstellen eine freie Sichtverbindung zwischen Reflexions- und Blickpunkt. Ein durch Vegetation, Gebäude oder das Geländeprofil bestehender Blendschutz wird erst im Zuge der Bewertung der Blendrisiken berücksichtigt.

### 6.1 Busdorf 14

Das Reflexionsdiagramm für PV-Module auf ebenem Gelände und den Blickpunkt für die schützenswerten Räume des Gebäudes Busdorf 14 in Abbildung 14 zeigt, dass nur für wenige Minuten an wenigen Tage um die Sommersonnenwende Sonnenlichtreflexionen auf die schützenswerten Räume im Wohngebäude Busdorf 14 gerichtet sein können. Der Immissionszeitpunkt liegt dabei am späten Abend, wenn die Sonne mit einem Abstandswinkel von weniger als  $15^\circ$  über den südwestlichen Tischreihen der PV-Anlage steht. Die Berücksichtigung unterschiedlicher seitlicher Tischneigungen der PV-Module, von denen Sonnenlicht in Richtung des Gebäudes Busdorf 14 reflektiert werden kann, hat keinen bewertungsrelevanten Einfluss auf das Berechnungsergebnis.

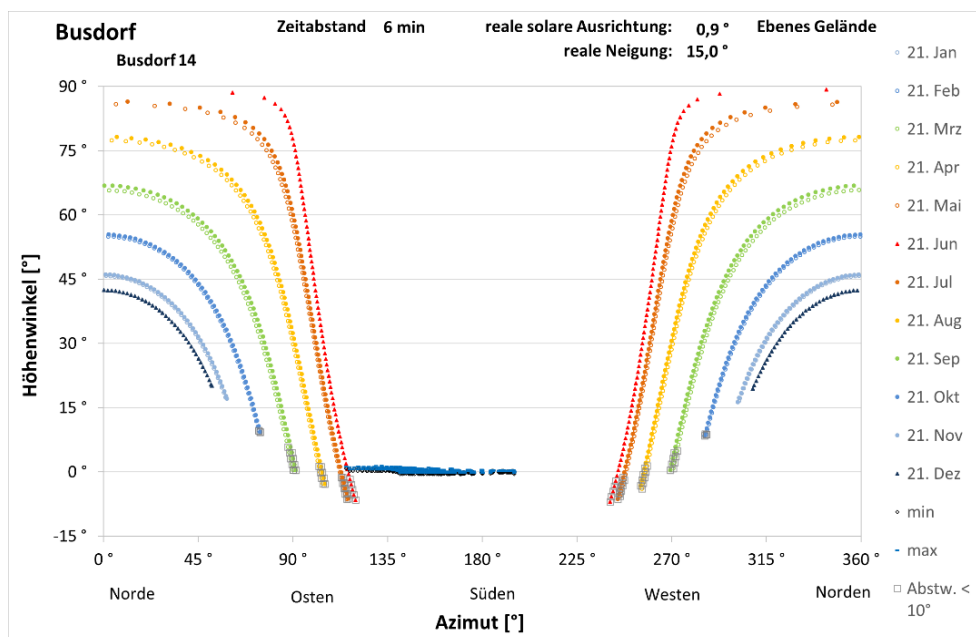


Abbildung 14: Reflexionsdiagramm für PV-Module auf ebenem Gelände und den Blickpunkt Busdorf 14



## 6.2 Busdorf 15

Das Reflexionsdiagramm für PV-Module auf ebenem Gelände und den Blickpunkt für die schützenswerten Räume des Gebäudes Busdorf 15 in Abbildung 15 veranschaulicht, dass von Ende April bis Mitte August für maximal 9 Minuten am Abend Sonnenlichtreflexionen auf die schützenswerten Räume im Wohngebäude Busdorf 15 gerichtet sein können. Die maximale jährliche Immissionsdauer beträgt weniger als 12 h. Die Berücksichtigung unterschiedlicher seitlicher Tischneigungen hat keinen bewertungsrelevanten Einfluss auf das Berechnungsergebnis.

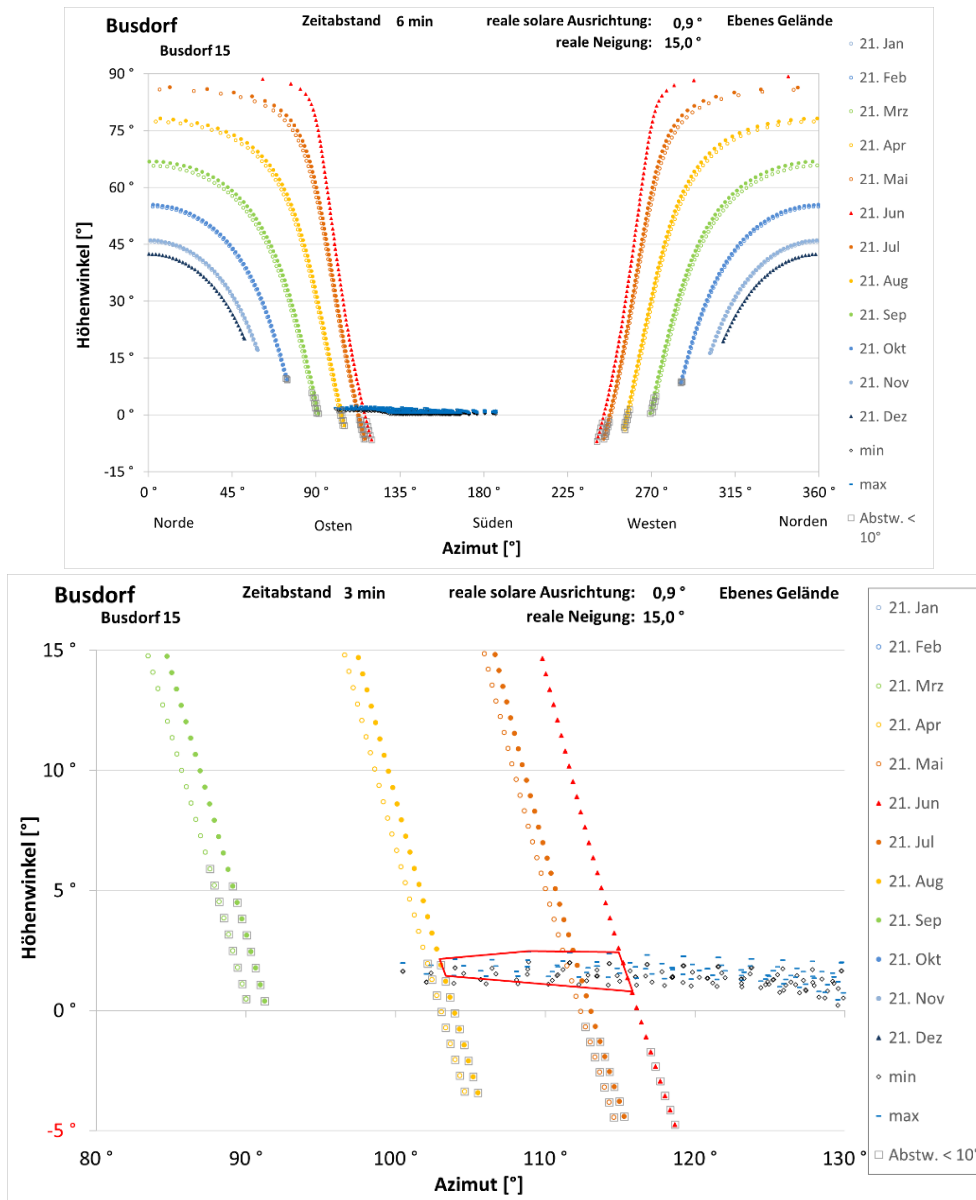


Abbildung 15: Reflexionsdiagramm für PV-Module auf ebenem Gelände und den Blickpunkt Busdorf 15 mit Detailvergrößerung in 3-minütiger Auflösung mit Einzeichnung des potenziellen Immissionszeitraums



### 6.3 Busdorf 16

Das Reflexionsdiagramm für PV-Module auf ebenem Gelände und den Blickpunkt für die schützenswerten Räume des Gebäudes Busdorf 16 in Abbildung 16 veranschaulicht, dass von Ende April bis Mitte August für maximal 6 Minuten am Abend Sonnenlichtreflexionen auf die schützenswerten Räume im Wohngebäude Busdorf 16 gerichtet sein können. Die maximale jährliche Immissionsdauer beträgt weniger als 8 h. Die Berücksichtigung unterschiedlicher seitlicher Tischneigungen hat keinen bewertungsrelevanten Einfluss auf das Berechnungsergebnis.

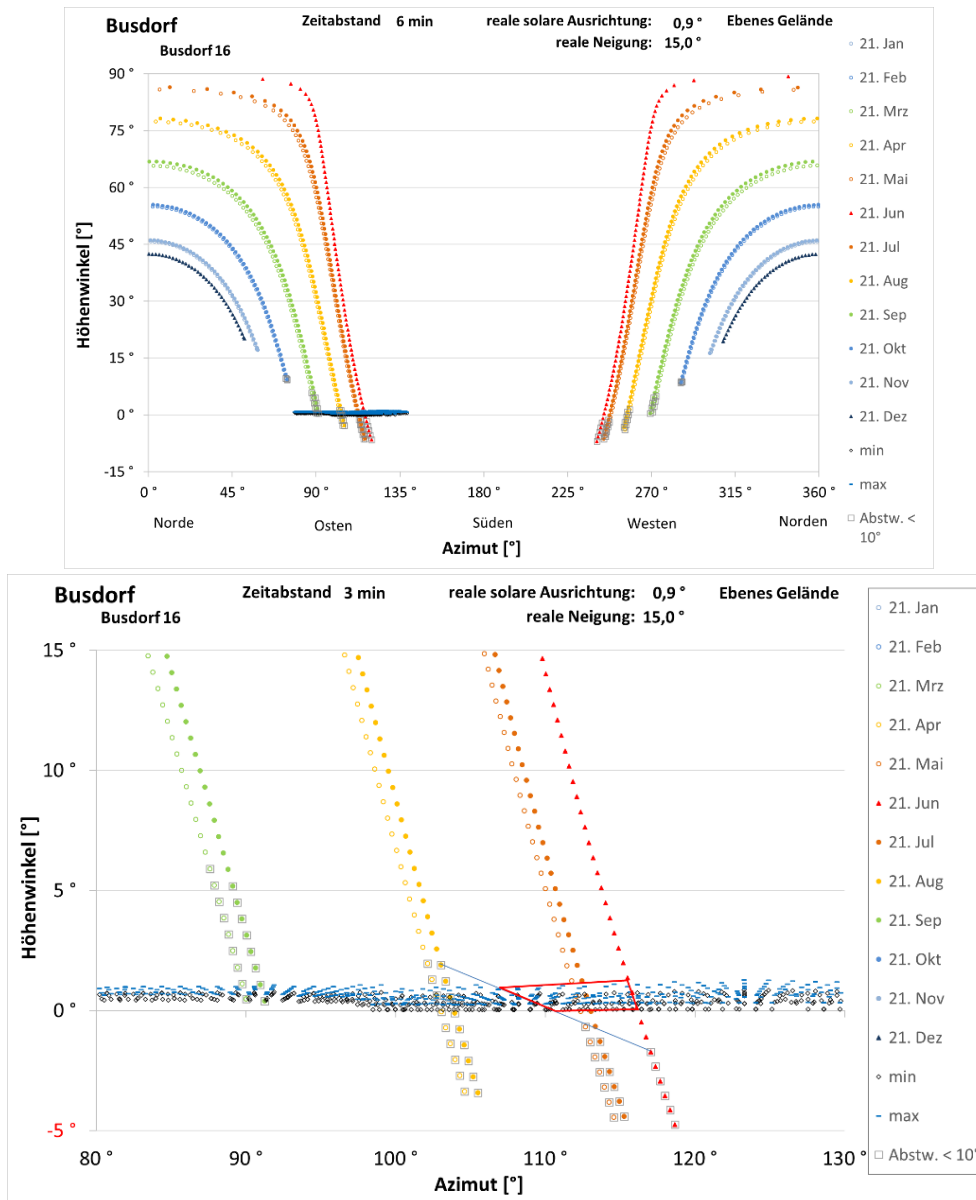


Abbildung 16: Reflexionsdiagramm für PV-Module auf ebenem Gelände und den Blickpunkt Busdorf 16 mit Detailvergrößerung in 3-minütiger Auflösung mit Einzeichnung des potenziellen Immissionszeitraums





## 7 *Bewertung der Blendrisiken*

Potenziell blendende Reflexionen mit geringen Höhenwinkeln können bei einer nach Süden ausgerichteten PV-Anlage morgens in Richtung West bis Westsüdwest und abends in Richtung Ost bis Ostsüdost auftreten. Damit können nur die Anlieger Busdorf 14, 15 und 16 von Sonnenlichtreflexionen der geplanten PV-Anlage Busdorf betroffen sein.

Die Reflexionsberechnungen ergeben, dass es in den Monaten April bis August kurz vor Sonnenuntergang zu Lichtimmissionen in schützenswerte Räume kommen kann. Die maximalen täglichen und jährlichen Immissionszeiträume liegen mit 9 min/d und 12 h/a weit unterhalb der in der maßgeblichen LAI-Richtlinie definierten Schwellenwerte von 30 min/d und 30 h/a, so dass es nicht zu unzumutbaren Belästigungen der Anlieger kommen kann. Zusätzliche Blendschutzmaßnahmen sind nicht erforderlich.

Die Verkehrsteilnehmer auf dem Busdorfer Weg können nicht von Sonnenlichtreflexionen der geplanten Anlage in das Blickfeld der Fahrzeugführenden betroffen sein. Die Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs auf dem Busdorfer Weg bleiben jederzeit gewahrt.

Aus blendgutachterlicher Sicht ist die geplante PV-Anlage Busdorf genehmigungsfähig.



## 8 *Verwendete Materialien*

### 8.1 *Materialien vom Auftraggeber*

- ▶ Belegungsplan als Datei „PÖ BU 05 UESLP Belegungsplan PV\_SÜD\_20.02.2023.dwg“
- ▶ Modul- und Tischangaben als Datei „PÖ BU 05 UESLP Belegungsplan PV SH Netz 23.02.2023.dwg“
- ▶ Höheninformationen als Datei „PROJEKT BUSDORF (mit Legende).dwg“
- ▶ Fotos aus Drohenflug

### 8.2 *Literatur*

- ▶ Raumordnungsgesetz vom 22. Dezember 2008 (BGBl. I S. 2986), das zuletzt durch Artikel 5 des Gesetzes vom 3. Dezember 2020 (BGBl. I S. 2694) geändert worden ist
- ▶ Baugesetzbuch in der Fassung der Bekanntmachung vom 3. November 2017 (BGBl. I S. 3634), das zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 26. April 2022 (BGBl. I S. 674) geändert worden ist
- ▶ 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 2023, Stand 08.07.2022
- ▶ 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
- ▶ 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
- ▶ Schattenwurf-Richtlinie: Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen (WEA-Schattenwurf-Hinweis, verabschiedet auf der 103. Sitzung des Länderausschusses für Immissionsschutz (LAI), 6.-8.5.2002
- ▶ LAI (Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz): Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen; Beschluss der LAI vom 13.09.2012, Anhang 2 – 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
- ▶ Fischbach, M.; Mack, M.; Haselhuhn, R.: Blendgutachten Photovoltaik – ein Statusbericht aus der Gutachterpraxis; Tagungsband 29. Symposium Photovoltaische Solarenergie 12.-14.3.2014 Bad Staffelstein; Hsg.: OTTI e.V.
- ▶ 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

- ▶ Kaufmann, H.: Strabismus. Stuttgart, Enke, 1986
- ▶ Empfehlungen der Strahlenschutzkommission: Blendung durch natürliche und neue künstliche Lichtquellen und ihre Gefahren; verabschiedet in der 205. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 16./17. Februar 2006
- ▶ DIN 5034-2:2021-08 Tageslicht in Innenräumen – Teil 2: Grundlagen





## 9 *Abbildungsverzeichnis*

Abbildung 1: Lage der geplanten Photovoltaikanlage Busdorf (Tischreihen in blau eingezeichnet) nördlich des Wegs Busdorf in Schillersdorf; Quelle: Kundenmaterial vor dem Hintergrund eines nach geografisch Nord ausgerichteten Luftbilds aus Bing Maps .....	4
Abbildung 2: Gegenstände auf der Sichtachse zur Blendquelle sind nicht mehr wahrnehmbar.....	8
Abbildung 3: Blickfelder aus Tabelle 1; der Achsenschnittpunkt $0^{\circ}/0^{\circ}$ stellt dabei einen Punkt auf der Blickachse dar, auf den die Augen fokussieren, und nicht notwendigerweise einen Punkt auf dem Horizont.....	10
Abbildung 4: Auswirkung des Einfallwinkels auf den Transmissionsgrad für Modulgläser .....	12
Abbildung 5: Lage der Tischreihen (oben) und die vermessenen Höhen (unten); Quelle. Kundenmaterial.....	14
Abbildung 6: Bemaßte Seitenansicht eines PV-Tisches .....	15
Abbildung 7: Potenzielle Immissionsorte und Ihre Lage relativ zur PV-Anlage .....	16
Abbildung 8: Busdorf 14 (rechts) und Busdorf 15 (links); Quelle: Kundenmaterial .....	17
Abbildung 9: Busdorf 16; Quelle: Kundenmaterial.....	17
Abbildung 10: Darstellung des Reflexionsstrahls anhand von Azimut und Höhenwinkel wie in den Berechnungen verwendet und des Abstandswinkels zwischen den Blickrichtungen zur Sonne und zum Reflexionspunkt .....	18
Abbildung 11: Reflexionsdiagramm aus Sicht eines beliebigen Reflexionspunktes von nach Süden ( $0,9^{\circ}$ ) ausgerichteten Modulen auf ebenem Gelände mit $15^{\circ}$ Planneigung am Standort der geplanten Anlage mit waagrecht aufgetragenen Azimut- und senkrecht aufgetragenen Höhenwinkeln und Markierung der Reflexionen mit einem Abstandswinkel zur Sonne von weniger als $10^{\circ}$ durch graue Umrandung .....	19
Abbildung 12: Blickpunkte (cyanfarbene Kreise) für Wohngebäude im Reflexionsbereich der PV-Anlage.....	20
Abbildung 13: Reflexionsdiagramm für schützenswerte Räume mit einer Detailansicht mit 3-minütiger Auflösung und Darstellung des Immissionszeitraums durch eine rote Umgrenzungslinie .....	21
Abbildung 14: Reflexionsdiagramm für PV-Module auf ebenem Gelände und den Blickpunkt Busdorf 14.....	22

Abbildung 15: Reflexionsdiagramm für PV-Module auf ebenem Gelände und den Blickpunkt Busdorf 15 mit Detailvergrößerung in 3-minütiger Auflösung mit Einzeichnung des potenziellen Immissionszeitraums..... 23

Abbildung 16: Reflexionsdiagramm für PV-Module auf ebenem Gelände und den Blickpunkt Busdorf 16 mit Detailvergrößerung in 3-minütiger Auflösung mit Einzeichnung des potenziellen Immissionszeitraums..... 24



## 10 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Menschliches Gebrauchsblickfeld (vertikal positiv ist oben, negativ unten) .....10

