

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

► ***Haarschedl***

*Analyse der Reflexionswirkungen einer
Photovoltaikanlage*

Auftraggeber:

FIMA Projekt GmbH
Herr Nikolaos Maragkoulis
Hagenham 20
94544 Hofkirchen

erstellt von:

Wolfgang Rosenthal
Solarpraxis Engineering GmbH
Alboinstraße 36-42
12103 Berlin Germany
Tel. 030/ 726 296-396
Fax. 030/ 726 296-360
E-Mail: Wolfgang.Rosenthal@solarpraxis.com
Internet: www.solarpraxis.com

Datum: 13.06.2019



Projektnummer: P19183/v.1



Inhalt

1	Zweck und Gegenstand des Gutachtens	4
2	Zusammenfassung der Ergebnisse	5
3	Einleitung	6
3.1	Blendung.....	6
3.2	Entstehung von Reflexionen bei Photovoltaikanlagen	9
3.3	Verwendete Azimut-Winkelangaben	10
4	Situation vor Ort	11
4.1	Die Photovoltaikanlage	11
4.2	Die Autobahn A 3 mit Abfahrt Passau-Mitte	12
4.3	Fürstenzeller Straße	13
5	Berechnungen	14
5.1	Methodik der Berechnung	14
5.1.1	Geometrische Aspekte.....	14
5.1.2	Lichttechnische Aspekte.....	16
5.2	Vorbemerkung zu abschirmendem Bewuchs	16
5.3	Autobahn A 3.....	17
5.4	Östliche Abfahrt	20
5.5	Östliche Zufahrt.....	21
5.6	Fürstenzeller Straße von Westen	25
5.6.1	Punkt 1 von Westen	25
5.6.2	Punkt 2 von Westen.....	27
5.6.3	Punkt 3 von Westen.....	27
5.7	Fürstenzeller Straße von Osten	28
5.7.1	Punkt 1 von Osten.....	29
5.7.2	Punkt 2 von Osten.....	30
5.7.3	Punkt 3 von Osten.....	31
6	Bewertung der Ergebnisse	33

6.1	Autobahn A 3.....	33
6.2	Fürstenzeller Straße	33
7	Verwendete Materialien.....	34
7.1	Dokumente vom Auftraggeber.....	34
7.2	Literatur.....	34
8	Abbildungsverzeichnis.....	35
9	Tabellenverzeichnis	38





1 Zweck und Gegenstand des Gutachtens

Es soll untersucht werden, ob von den Modulen der geplanten Photovoltaikanlage Haarschedl nördlich der Autobahnabfahrt Passau-Mitte an der Bundesautobahn A 3 Sonnenlicht auf die westlich verlaufende Autobahn, ihre Zubringer oder die nördlich verlaufende Fürstenzeller Straße reflektiert werden kann und ob dadurch gegebenenfalls störende Blendwirkungen auftreten können. Die Lage der geplanten Anlage sowie der Autobahn ist in Abbildung 1 zu erkennen.

Anschließend sind ggf. Maßnahmen zur Verhinderung eventuell auftretender Blendung zu erarbeiten.

Die Analyse erfolgt auf Basis der vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Daten, Fotos und Pläne und unter Zuhilfenahme von Google Earth Pro.



Abbildung 1: Lage der geplanten Anlage (blau), der Autobahn A 3 mit Zubringer und der Fürstenzeller Straße auf Hintergrund von Google Earth Pro

2 Zusammenfassung der Ergebnisse



Es wird festgestellt, dass die geplante Anlage weder auf der Autobahn A 3, noch auf ihrer Zu- oder Abfahrt noch auf der Fürstzeller Straße zu Blendrisiken durch reflektiertes Sonnenlicht führen kann.

Zusätzliche Blendschutzmaßnahmen sind damit nicht erforderlich.



3 Einleitung

Der vorliegende Bericht enthält vertrauliche Informationen. Der Bericht dient nur zur Vorlage bei den finanzierenden Banken, beim Anlagenerrichter bzw. dessen Rechtsnachfolger, beim Auftraggeber sowie zur Klärung genehmigungsrechtlicher Fragen bei den entsprechenden Behörden. Darunter fällt auch die Weitergabe des Berichts als Bestandteil des B-Planes durch die Gemeinde an berechnete 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 Blendung

Blendung ist in der DIN EN 12665 als "unangenehmer Sehzustand durch ungünstige Leuchtdichte-Verteilung oder zu hohe Kontraste" definiert. Die Leuchtdichte ist als Lichtstärke pro Fläche definiert (cd/m^2) und stellt ein fotometrisches Maß für die von Menschen empfundene Helligkeit dar. Zu große Leuchtdichteunterschiede oder ungünstige Leuchtdichte-Verteilungen 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.¹ Normalerweise treten Abwehrreaktionen wie Blinzeln und Blickabwendung auf, ohne die eine thermische Schädigung der Netzhaut eintreten kann.

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



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

¹ Wittlich 2010

² 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.



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.

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, die im Auge durch Brechung und Streuung an den Augenmedien eine Schleierleuchtdichte hervorruft und dadurch die Kontrasterkennung vermindert. Entscheidend für die Gefährdungsbeurteilung ist letztlich 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 ist die jeweils mögliche Einwirkzeit 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° Rechts- und Linksblick definiert.

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

³ Reidenbach u. a. 2008

⁴ Kaufmann 1986



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

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

Gebrauchsblickfeld	Benennung im Text	horizontal	vertikal
für Sehaufgaben	zentrales Blickfeld	$\pm 9^\circ - \pm 10^\circ$	$+25^\circ, -35^\circ$
maximal	Blickfeld	$\pm 30^\circ$	$+30^\circ, -45^\circ$

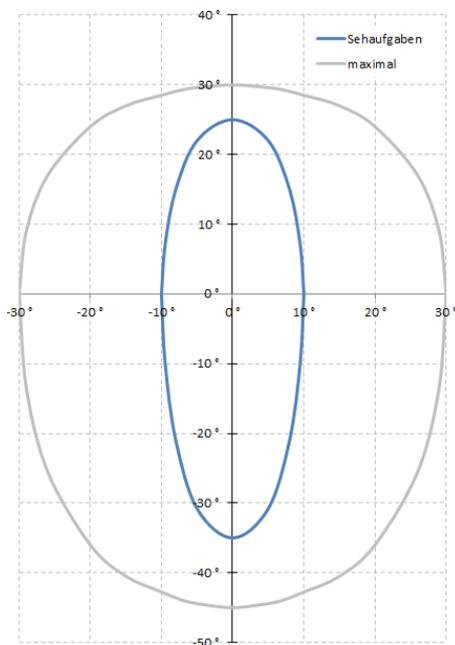


Abbildung 3: Blickfelder von Tabelle 1; der Achsenschnittpunkt $0^\circ/0^\circ$ stellt dabei einen Punkt auf der Blickachse dar, auf den die Augen fokussieren, und nicht notwendigerweise einen Punkt auf dem Horizont

Für die Beurteilung des Bereichs, in dem auftretende Reflexion zur Blendung führen kann, wird typischerweise das maximale Gebrauchsblickfeld mit je 30° rechts und links der Blickrichtung als Blickfeld herangezogen. Diese Eingrenzung basiert auf umfangreichen Untersuchungen zu nächtlicher Blendung. Nächtliches, sog. skotopisches Sehen oder Stäbchensehen wird ermöglicht durch die große Lichtempfindlichkeit der Fotorezeptoren im Auge, die als Stäbchen bezeichnet werden. Sie sind ausschließlich außerhalb der Foveola (oder Sehgrube) angeordnet, die im zentralen Bereich der Netzhaut rundum 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.⁵ Bei Einmündungen oder Kreuzungen muss ein größerer Blickbereich frei von Blendrisiken sein.

3.2 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.⁶

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.

Deckgläser, die für PV-Module verwendet werden, 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 weniger als 9 % des gesamten eingestrahnten sichtbaren Lichtes reflektiert werden.

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

⁵ Empfehlungen der Strahlenschutzkommission 2006

⁶ Fischbach u.a. 2014

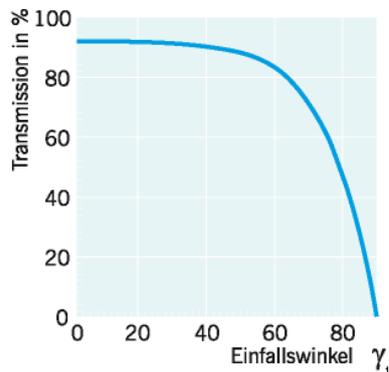


Abbildung 4: Auswirkung des Einfallswinkels auf den Transmissionsgrad für Modulgläser

Die Transmission ist bei senkrechtem Einfall auf die Modulebene (0°) 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° 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 $6 \cdot 10^6 \text{ cd/m}^2$ beträgt und um die Mittagszeit $1,5 \cdot 10^9 \text{ cd/m}^2$ erreicht, muss aber auch bei den niedrigen Reflexionsgraden von Solarmodulen mit dem Eintritt von Absolutblendung ($> 10^5 \text{ cd/m}^2$) bei Beobachtern gerechnet werden.

3.3 Verwendete Azimut-Winkelangaben

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

Da die Berechnungsmethode zur Bestimmung der Reflexionen jedoch aus der Geodäsie entnommen worden ist und dort allgemein vom Norden ($=0^\circ$) aus im Uhrzeigersinn gerechnet wird, werden in den Reflexionsdiagrammen und bei der Beschreibung von Blickrichtungen die sich daraus ergebenden Azimutangaben 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 Die Photovoltaikanlage

Es werden 12 Modultischreihen in der Ebene südlich ausgerichtet mit einer Modulneigung von 18°. Die Tischunterkante liegt bei 1,1 m über dem jeweiligen Grund und die Oberkante liegt 1,9 m höher. Der Belegungsplan ist in Abbildung 5 dokumentiert.



Abbildung 5: Lage der Modultischreihen (blau) und Höhenlinien im Abstand von 0,5 m (grau)

In Abbildung 5 sind auch die Höhenlinien verzeichnet. Aus ihnen ergibt sich, dass die gesamte beplante Fläche ein nicht unerhebliches und auch nicht einheitliches Gefälle von West nach Ost aufweist. Der höchste Punkt des Anlagengeländes liegt am westlichen Ende der dritten Tischreihe von Norden bei 351,5 m ü. NN, der niedrigste am östlichen Ende der südlichsten Reihe bei 341,5 m ü. NN. Das Gefälle liegt im Mittel bei 6°, variiert aber zwischen 3,7° und 8,3°.

Je nach Gefälle ändert sich durch die hangparallele Bauweise die Orientierung der real reflektierenden Fläche. Die Spanne der sich ergebenden realen solaren Ausrichtungen und Neigungen ist in Tabelle 2 dargestellt.



Tabelle 2: Auswirkungen der unterschiedlichen Hanglagen

	West-Ost-Neigung	Reale Ausrichtung	Reale Neigung
Minimales Gefälle	3,7°	-11,3°	18,3°
Mittleres Gefälle	6°	-17,9°	18,8°
Maximales Gefälle	8,3°	-24,1°	19,6°

4.2 Die Autobahn A 3 mit Abfahrt Passau-Mitte

Die Autobahn A 3 (Abbildung 6) verläuft in der näheren Umgebung der Anlage nahezu gradlinig von Südost nach Nordwest mit einer Azimutrichtung der Blickachse zwischen 315° und 320°, in der Gegenrichtung entsprechen zwischen 135° und 140°.



Abbildung 6: Luftbild der Autobahn A 3 mit Abfahrt Passau-Mitte zur Bundesstraße B 12 und Fürstzeller Straße im Norden; Quelle: Google Earth Pro

Ihre Fahrbahnhöhe liegt über der Bundesstraße B 12 bei 358,5 m ü. NN und unter der Brücke der Fürstzeller Straße bei 351,5 m ü. NN. Die östliche Abfahrt beginnt auf einer Höhe von 357 ü. NN und mündet in die Bundesstraße B 12 auf einer Höhe von 345 m ü. NN. Die östliche Auffahrt beginnt bei dieser Höhe von 345 m ü. NN und mündet in die Autobahn bei 355 m ü. NN.



4.3 Fürstenzeller Straße

Die Fürstenzeller Straße verläuft von Südwesten aus Haarschedl mit einer Fahrbahnhöhe von 361 m ü. NN kommend über die Autobahnbrücke in einem leichten Bogen nach Osten an der geplanten Anlage vorbei, wobei ihre Fahrbahnhöhe ständig sinkt, auf 330 m ü. NN in einer Entfernung von 165 m nordöstlich der Anlage.



5 Berechnungen

5.1 Methodik der Berechnung

5.1.1 Geometrische Aspekte

Zunächst wird eine Aufstellung mit sämtlichen Sonneneinfallswinkeln im Jahresverlauf am Standort Haarschedl (geografische Länge 13,38°, Breite 48,57°) in 6-minütiger Auflösung für 12 Tage im Jahr erstellt (jeweils der 21. jeden Monats)⁷ und die sich daraus ergebenden Reflexionsrichtungen werden bestimmt. Jedem Einfallswinkel des Sonnenlichts entspricht nach dem Reflexionsgesetz bei ideal gerichteter Reflexion („Einfallswinkel = Ausfallswinkel“) genau ein Ausfallswinkel reflektierter Strahlung bei gegebener reflektierender Ebene. Die danach physikalisch möglichen Reflexionsrichtungen lassen sich wiederum anschaulich in einem Diagramm darstellen, das über dem Horizont, aus Sicht eines beliebigen Reflexions- oder potenziellen Blendpunktes heraus, alle möglichen Reflexionsrichtungen durch die Koordinaten Azimut- und Höhenwinkel beschreibt (siehe Abbildung 7). Mögliche Abweichungen der realen Reflexionen von den ideal gerichteten (durch Bündelauflerung oder Versatz) werden im Rahmen der Einzelberechnungen und -bewertungen bei Bedarf durch Sicherheitszuschläge abgeschätzt.

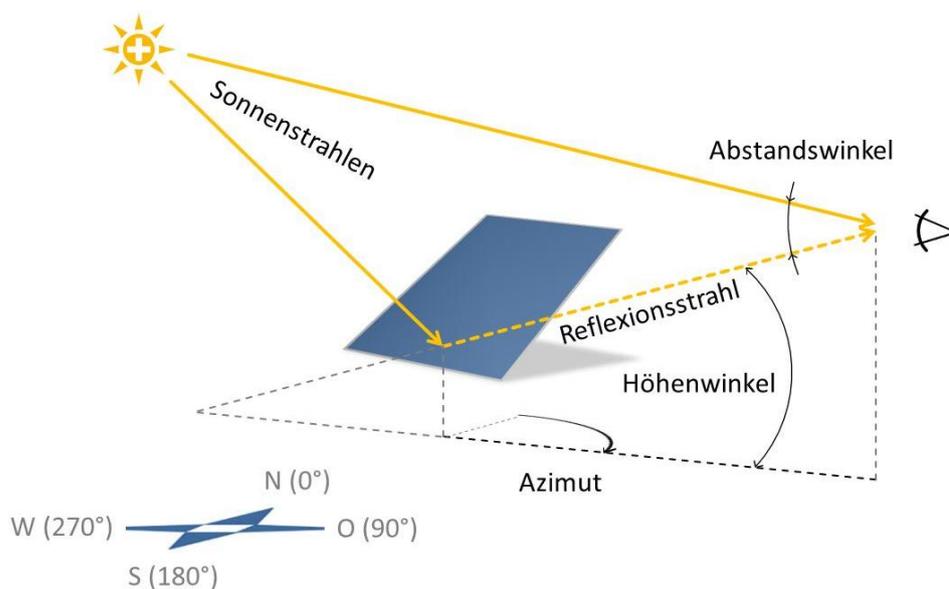


Abbildung 7: Darstellung des Reflexionsstrahls anhand von Azimut und Höhenwinkel wie im Reflexionsdiagramm verwendet und Beschreibung des Abstandswinkels zwischen Blickrichtungen zur Sonne und zum Blendpunkt

⁷ Berechnung nach Eicker 2001



Ebenfalls in Abbildung 7 ist der Abstandswinkel zwischen den Blickrichtungen zur Sonne und zum Blendpunkt beschrieben.

Für einen beliebigen Punkt eines durchschnittlich geneigten Modultisches mit einer Ausrichtung von $-17,9^\circ$ und $18,8^\circ$ Neigung ergibt sich so das in Abbildung 8 dokumentierte Reflexionsdiagramm.

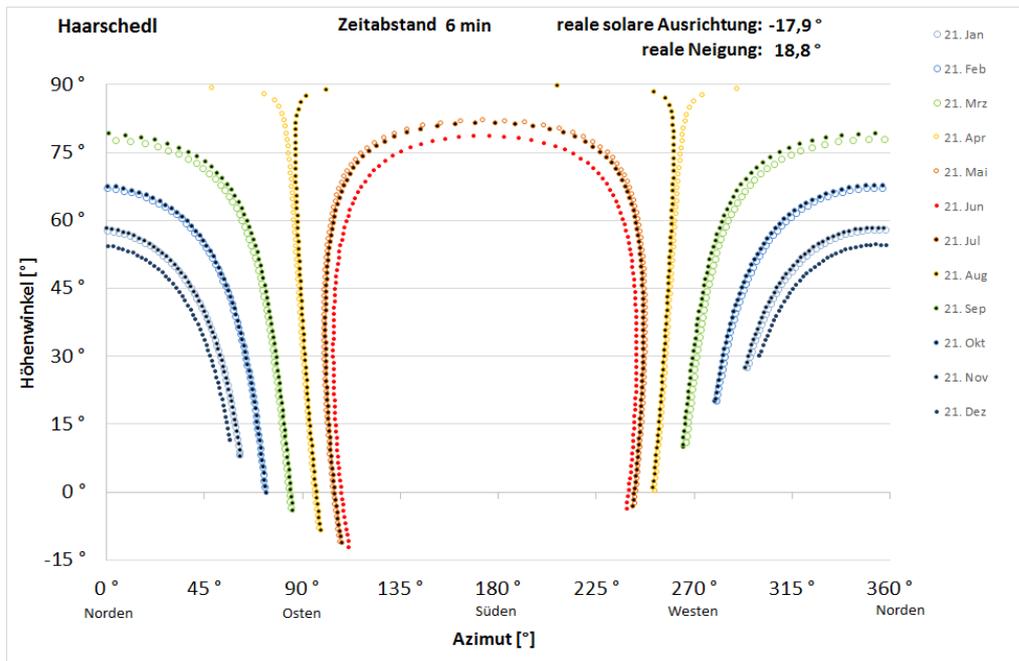


Abbildung 8: Reflexionsdiagramm aus Sicht eines beliebigen potenziellen Blendpunktes durchschnittlich geneigter Modultische mit einer Ausrichtung von $-17,9^\circ$ und einer Modulneigung von $18,8^\circ$ am Standort der Anlage; waagrecht aufgetragen sind die Azimutwinkel von Norden (0°) über Osten (90°), Süden (180°) nach Westen (270°), senkrecht die Höhenwinkel

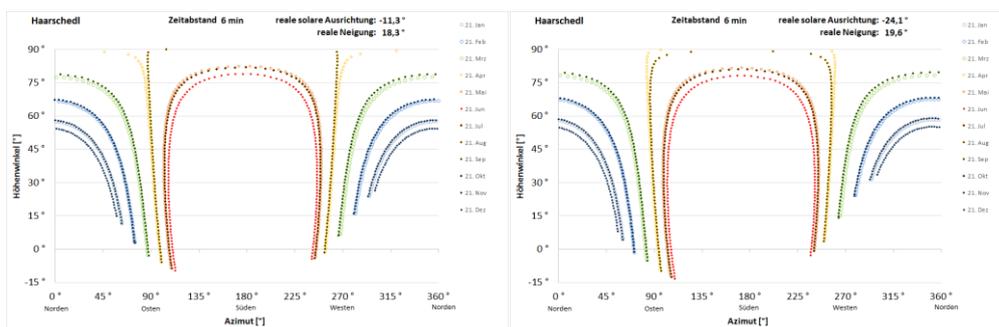


Abbildung 9: Reflexionsdiagramme für die maximalen Abweichungen vom durchschnittlichen West-Ost-Gefälle der Tische; links für minimales Gefälle mit Ausrichtung von $-11,3^\circ$ / Neigung $18,3^\circ$ und rechts für maximales Gefälle mit Ausrichtung von $-24,1^\circ$ / Neigung $19,6^\circ$

Liegt ein Blickpunkt innerhalb des betroffenen Bereichs (d.h. zwischen den Kurven für den 21. Juni und den 21. Dezember oder darüber) im Reflexionsdiagramm, so kann anhand des Diagramms die



Dauer und Jahreszeit potenzieller Reflexionen abgeschätzt werden (der Abstand zwischen zwei Markierungspunkten eines Tages entspricht 6 Minuten). Sofern es auf konkrete Uhr- und Jahreszeiten oder die jeweilige Dauer potenzieller Reflexion ankommt, erlauben die Datentabellen eine noch genauere Ermittlung.

Die Höhenwinkel zwischen Betrachtungsort und Anlagenpunkt können in aller Regel mehr oder weniger variieren, z.B. je nachdem, ob es sich bei Verkehrsteilnehmern um PKW- oder LKW-Fahrer handelt.

Abbildung 10 verdeutlicht dies skizzenhaft: Maximale Höhenwinkel ergeben sich zu höchstmöglichen Fahreraugen in großen LKW und minimale Höhenwinkel zu Fahreraugen in niedrigen PKW. Bei allen Berechnungen für den Straßenverkehr wird die minimale Augenhöhe mit 1 m über der Fahrbahn angesetzt und die maximale mit 3 m.

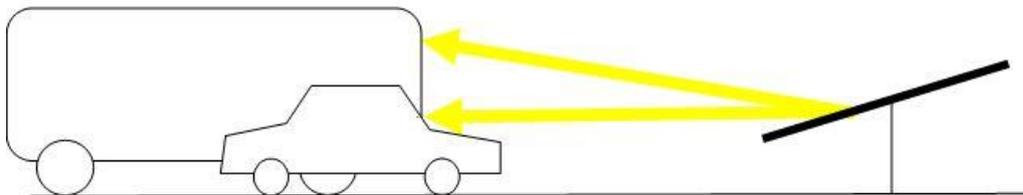


Abbildung 10: Beispiel für Bandbreite möglicher Höhenwinkel

In den Reflexionsdiagrammen werden deshalb mit „min“ und „max“ die sich ergebenden Höhenwinkel bezeichnet, um die mögliche Spanne als worst-case zu berücksichtigen.

5.1.2 Lichttechnische Aspekte

Das Verhältnis der Beleuchtungsstärken – einerseits verursacht durch Sonnenlichtreflexionen der zu prüfenden Anlage – andererseits verursacht durch direktes, gestreutes oder diffus reflektiertes Licht – am menschlichen Auge ist wesentlich für die Beurteilung, ob Anlagenreflexionen eine potenzielle Gefährdung darstellen (s. Abschnitt 3.1).

Zur Abschätzung der Beleuchtungsstärken ist zunächst der Sonnenhöhenwinkel zu Zeitpunkten möglicher Betroffenheit durch Anlagenreflexionen zu bestimmen, um aus ihm auf diese Parameter schließen zu können. Dazu werden die Berechnungsformeln der DIN 5034 Teil 2 Abschnitt 4.2 für die Bedingungen von klarem Himmel verwendet, um sicherheitshalber den für Blendung ungünstigsten Fall zu betrachten.

5.2 Vorbemerkung zu abschirmendem Bewuchs

Zwischen dem Gelände der geplanten Anlage und der Autobahn und ihren Zu- und Abfahrten befinden sich viele hohe und dichte Büsche, wie das Foto von der Brücke der Fürstenzeller Straße zur östlichen Autobahnzufahrt in Abbildung 11 zeigt.



Abbildung 11: Blick von der Brücke der Fürstzeller Straße zur östlichen Autobahnzufahrt

Die folgenden Berechnungen werden zunächst ohne Berücksichtigung derartiger Abschattungen durchgeführt und erst, wenn sich aus der rein geometrischen Lage Blendrisiken ergeben können, wird in einem zweiten Schritt geprüft, ob ein potenzielles Blendrisiko durch Bewuchs sicher ausgeschlossen werden kann.

5.3 Autobahn A 3

Auf der Autobahn A 3 wird für jede Fahrtrichtung jeweils ein Punkt gewählt und exemplarisch untersucht. Die Lage der gewählten Punkte ist in Abbildung 12 dokumentiert.

Für den exemplarisch gewählten Punkt auf der aus Nordwesten kommenden Fahrbahn ergibt sich bei Annahme eines mittleren Tischgefälles aller Modultische das Reflexionsdiagramm in Abbildung 13. Das Diagramm zeigt, dass mögliche Reflexionsrichtungen weit außerhalb des maximalen Blickfeldes liegen. Da sich die Blickrichtung im Verlauf der weiteren Strecke nur um wenige Grade ändert, erübrigt es sich, noch weitere Punkte zu untersuchen.

In Abbildung 14 sind zum Abgleich noch Diagramme unter Annahme von minimalem und maximalem Tischgefälle für alle Modultische dargestellt, um zu prüfen, ob Reflexionen anders geneigter Modultische in das Blickfeld von Verkehrsteilnehmern gerichtet sein können. Aber auch diese Diagramme zeigen einen so großen Abstand zwischen äußerstem Rand des maximalen Blickfeldes zu möglichen Reflexionsrichtungen, dass auch hier jedes Blendrisiko ausgeschlossen werden kann.

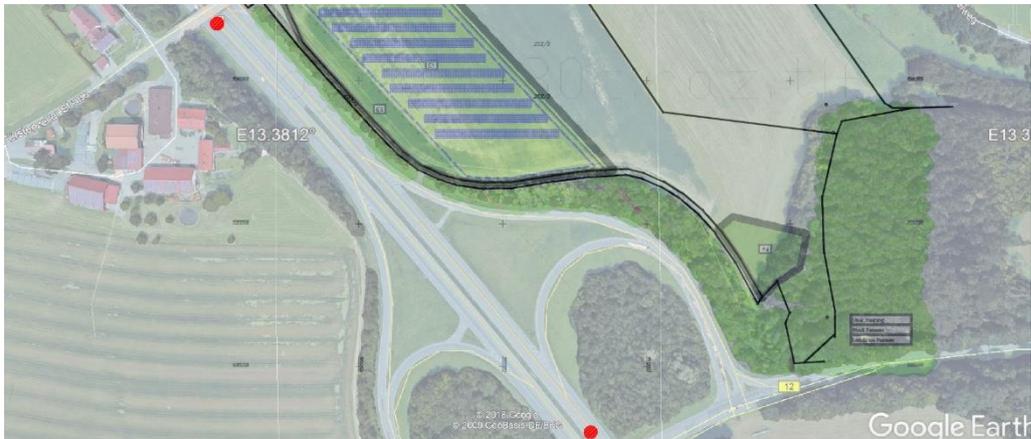


Abbildung 12: Lage der exemplarisch untersuchten Punkte auf der Autobahn A 3 durch rote Punkte markiert – aus Nordwesten kommend kurz hinter der Brücke der Fürstzeller Straße und aus Südosten kommend kurz hinter der Überquerung der Bundesstraße B 12

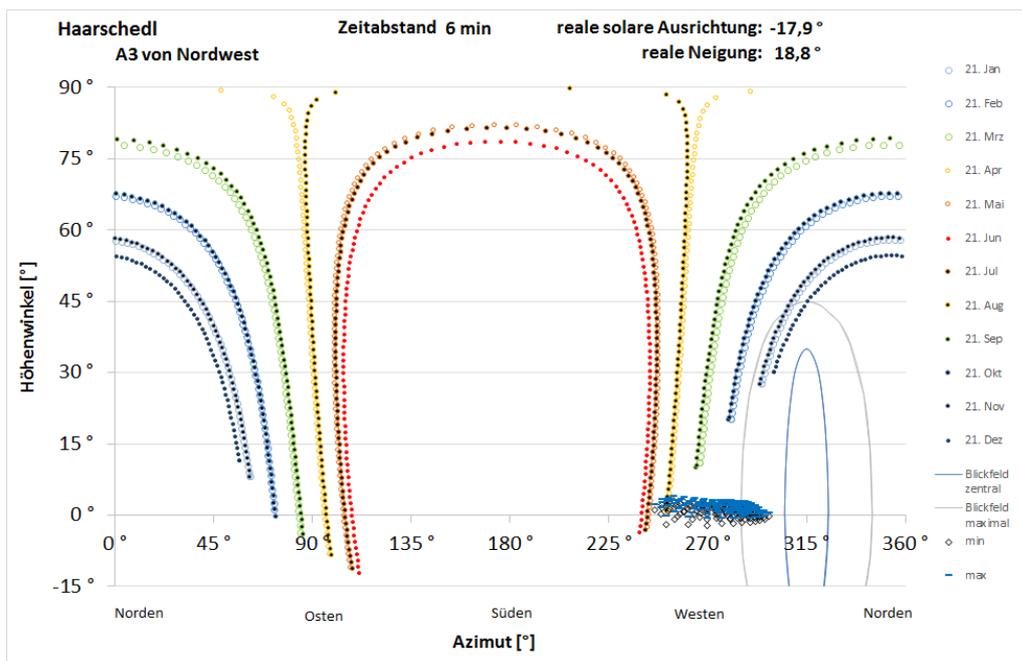


Abbildung 13: Reflexionsdiagramm für den exemplarisch gewählten Punkt auf der Fahrbahn aus Nordwesten bei Annahme eines mittleren Tischgefälles aller Modultische

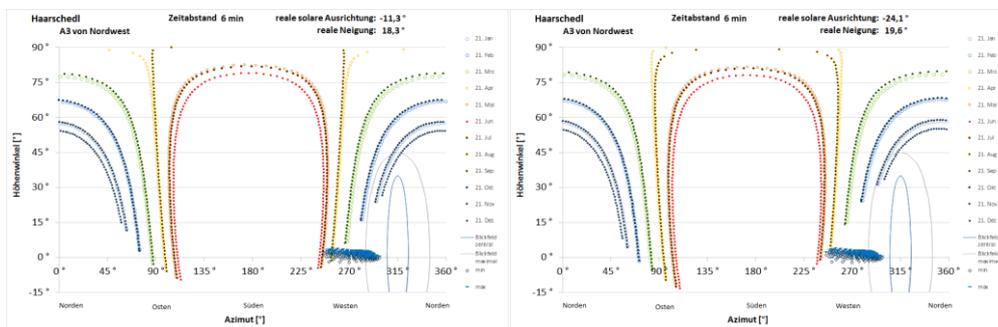


Abbildung 14: Reflexionsdiagramme für den exemplarisch gewählten Punkt auf der Fahrbahn aus Nordwesten bei Annahme eines minimalen Tischgefälles aller Modultische (links) und des maximalen (rechts)

Für den exemplarisch gewählten Punkt auf der aus Südosten kommenden Fahrbahn ergeben sich bei Annahme eines mittleren Tischgefälles aller Modultische das Reflexionsdiagramm in Abbildung 15 und bei Annahme minimalen bzw. maximalen Tischgefälles die Diagramme in Abbildung 16

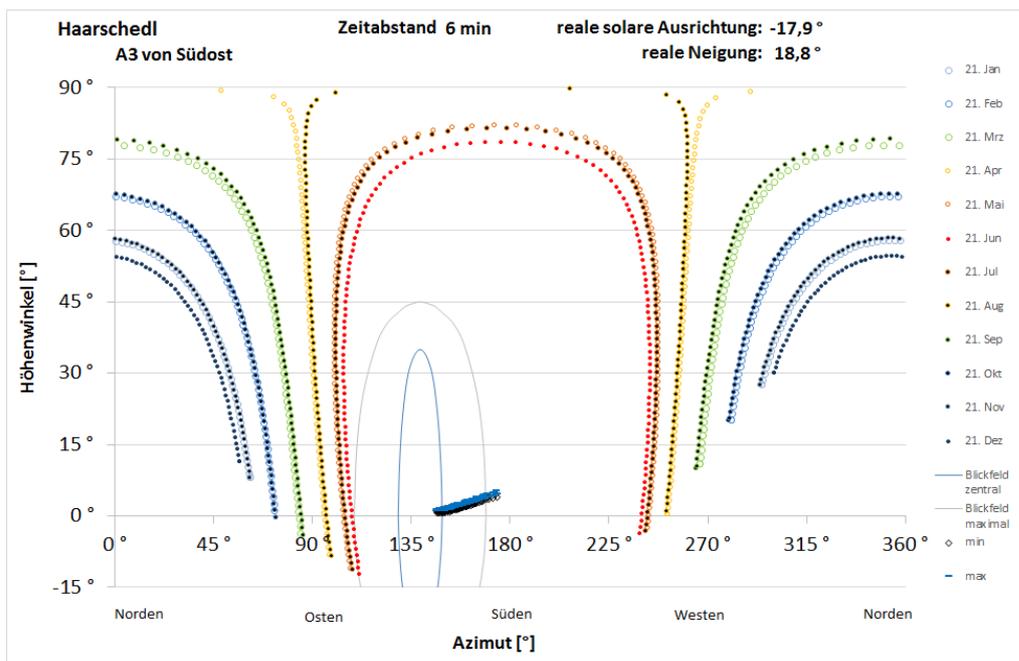


Abbildung 15: Reflexionsdiagramm für den exemplarisch gewählten Punkt auf der Fahrbahn aus Südosten bei Annahme eines mittleren Tischgefälles aller Modultische

In allen Fällen zeigt sich, dass von den Modultischen keinerlei Reflexionen zu den betrachteten Punkt ausgehen können oder zu weiteren Punkten auf der Strecke mit nur minimal veränderter Blickrichtung.

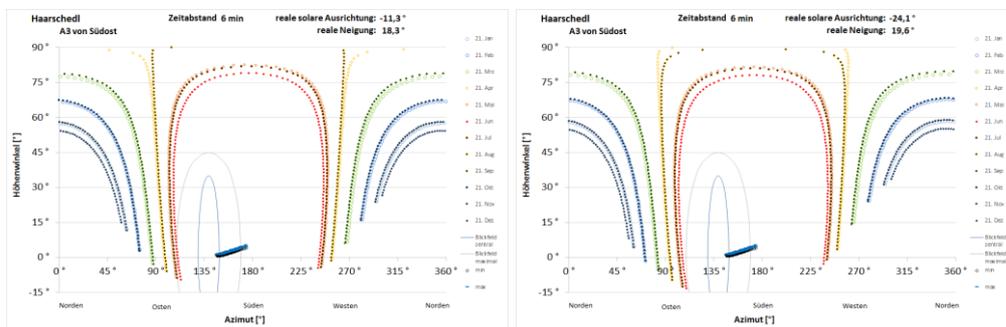


Abbildung 16: Reflexionsdiagramme für den exemplarisch gewählten Punkt auf der Fahrbahn aus Südosten bei Annahme eines minimalen Tischgefälles aller Modultische (links) und des maximalen (rechts)

5.4 Östliche Abfahrt

Auf der östlichen Abfahrt wird noch ein Punkt exemplarisch untersucht, dessen Lage in Abbildung 17 dokumentiert ist.



Abbildung 17: Lage des exemplarisch untersuchten Punktes auf der Abfahrt durch roten Punkt markiert

Für diesen exemplarisch gewählten Punkt auf der Abfahrt ergeben sich bei Annahme eines mittleren Tischgefälles aller Modultische das Reflexionsdiagramm in Abbildung 18 und bei Annahme minimalen bzw. maximalen Tischgefälles die Diagramme in Abbildung 19. Im Abgleich mit dem exemplarisch gewählten Punkt auf der aus Südosten kommenden Fahrbahn, der gleichzeitig den Beginn des Einbiegens auf die Abfahrt markiert, zeigt sich, dass die geometrische Lage zwischen Blickpunkt und Modultischen sich kaum ändert und nur die Blickrichtung und das Blickfeld verschieben.

Im weiteren Verlauf der Abfahrt wendet sich das Blickfeld noch weiter von den Modultischen ab, so dass weitere Punkte nicht untersucht werden müssen.

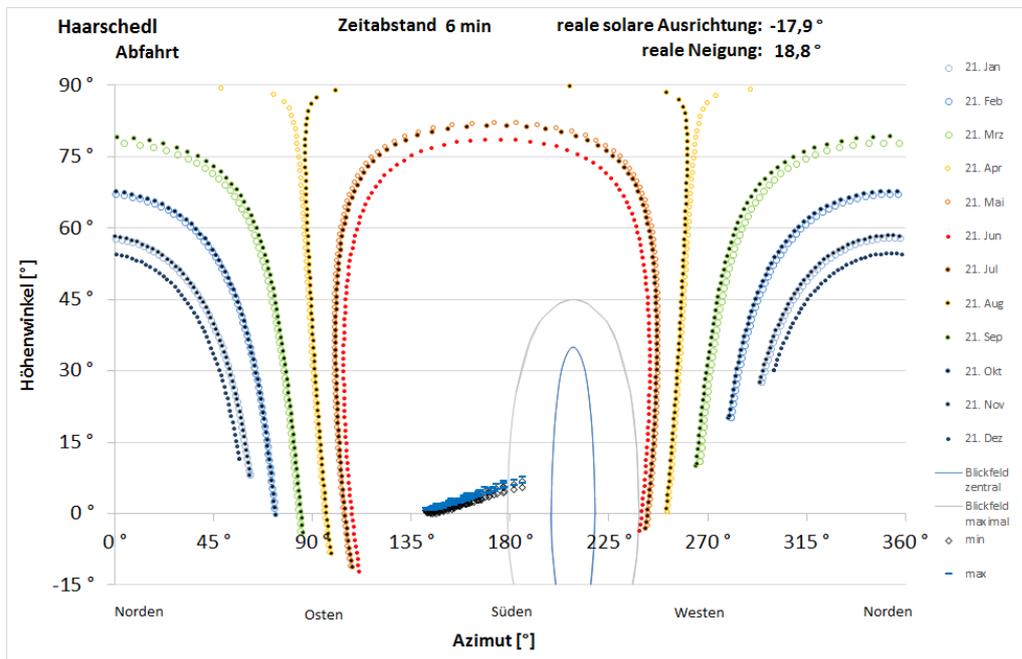


Abbildung 18: Reflexionsdiagramm für den exemplarisch gewählten Punkt auf der Abfahrt bei Annahme eines mittleren Tischgefälles aller Modultische

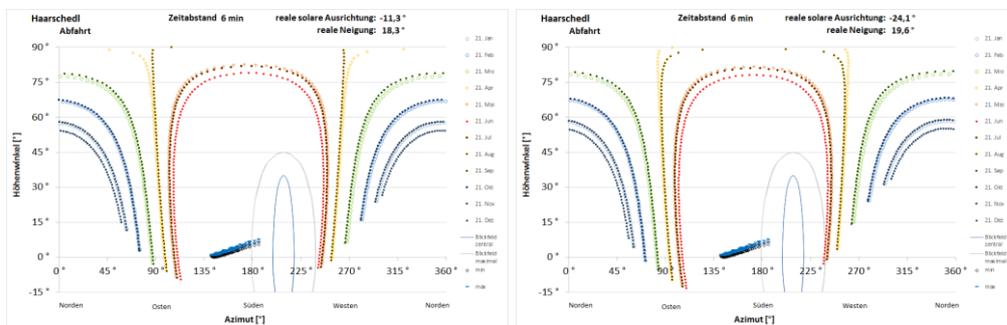


Abbildung 19: Reflexionsdiagramme für den exemplarisch gewählten Punkt auf der Abfahrt bei Annahme eines minimalen Tischgefälles aller Modultische (links) und des maximalen (rechts)

5.5 Östliche Zufahrt

Für Verkehrsteilnehmer, die von der Bundesstraße B 12 nach Norden hin auf die Autobahn zufahren, werden exemplarisch drei Punkte untersucht, deren Lage in Abbildung 20 dokumentiert ist.

Für den ersten exemplarisch gewählten Punkt auf der Zufahrt ergeben sich bei Annahme eines mittleren Tischgefälles aller Modultische das Reflexionsdiagramm in Abbildung 21 und bei Annahme minimalen bzw. maximalen Tischgefälles die Diagramme in Abbildung 22.



Abbildung 20: Exemplarisch untersuchte Punkte auf der östlichen Zufahrt, rote Kreise in Fahrrichtung grün durchnummeriert

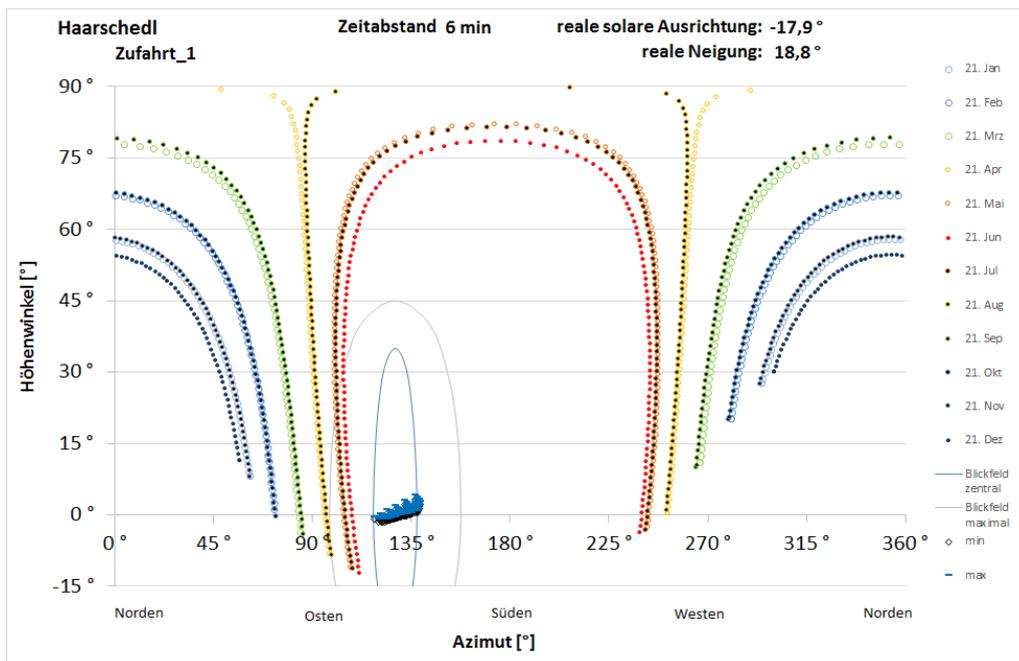


Abbildung 21: Reflexionsdiagramm für den ersten exemplarisch gewählten Punkt auf der Zufahrt bei Annahme eines mittleren Tischgefälles aller Modultische

Als Ergebnis lässt sich festhalten, dass die Modultische zwar in der Richtung des zentralen Blickfeldes liegen, aber keinerlei Reflexionen zu diesem Punkt richten können.

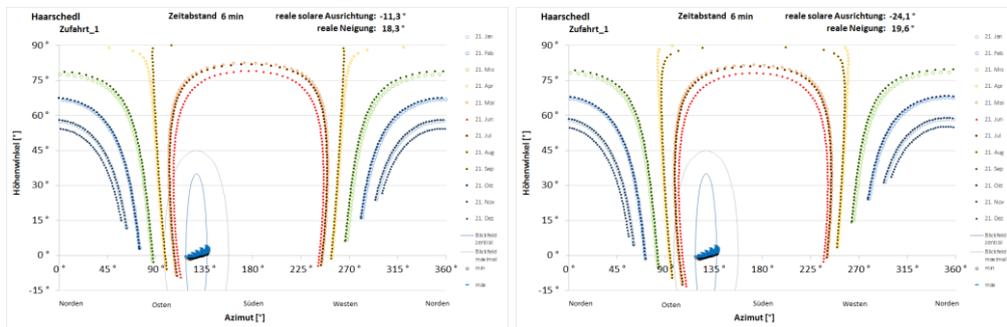


Abbildung 22: Reflexionsdiagramme für den ersten exemplarisch gewählten Punkt auf der Abfahrt bei Annahme eines minimalen Tischgefälles aller Modultische (links) und des maximalen (rechts)

Für die folgenden beiden Punkte auf der Zufahrt finden sich die entsprechenden Diagramme in Abbildung 23 bis Abbildung 26.

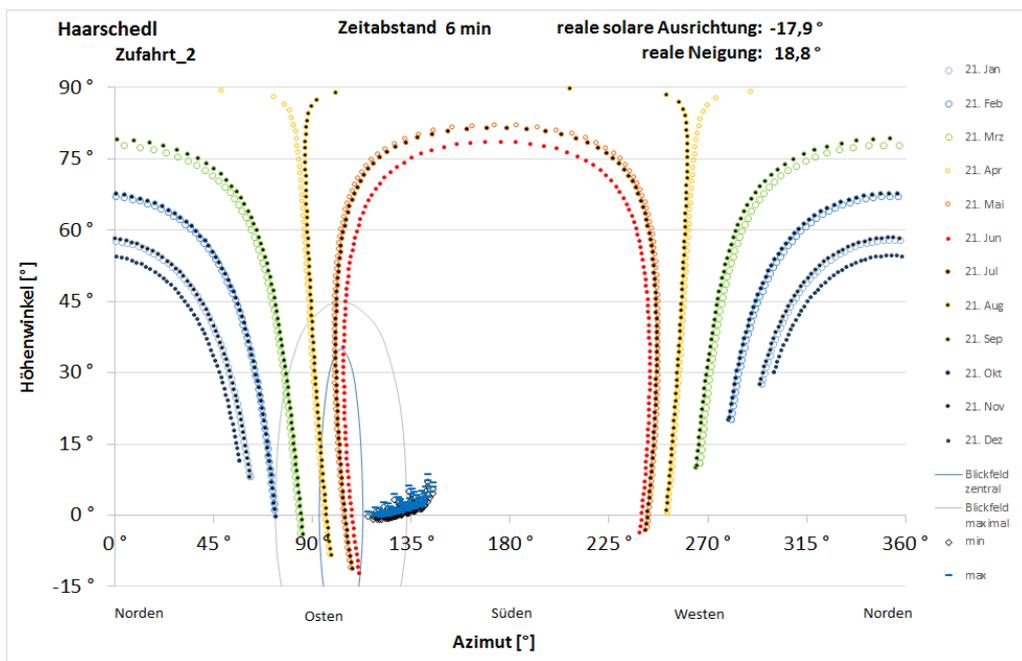


Abbildung 23: Reflexionsdiagramm für den zweiten exemplarisch gewählten Punkt auf der Zufahrt bei Annahme eines mittleren Tischgefälles aller Modultische

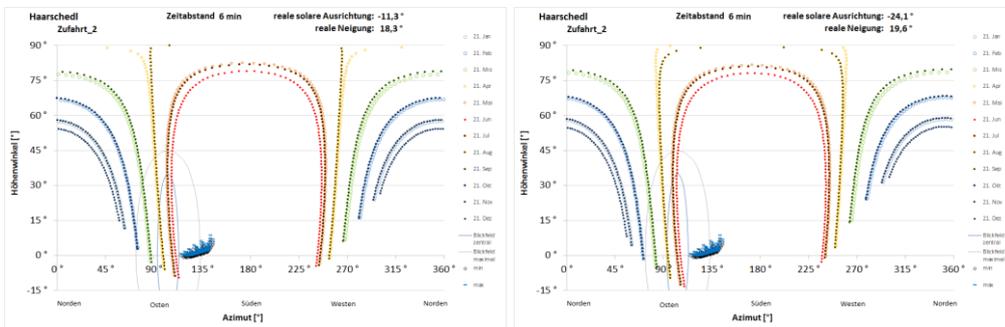


Abbildung 24: Reflexionsdiagramme für den zweiten exemplarisch gewählten Punkt auf der Abfahrt bei Annahme eines minimalen Tischgefälles aller Modultische (links) und des maximalen (rechts)

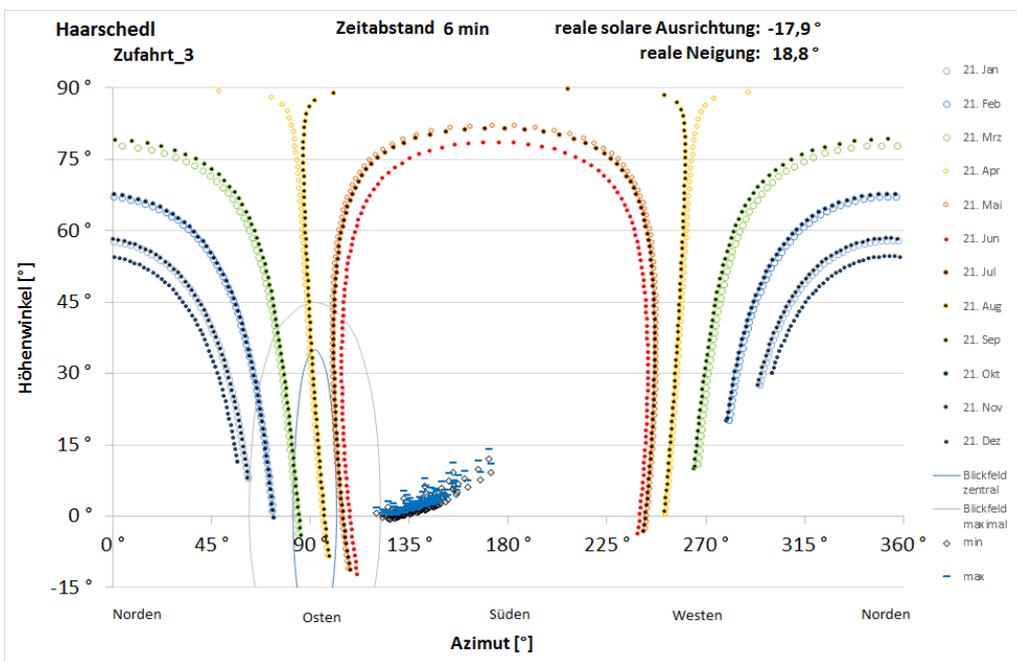


Abbildung 25: Reflexionsdiagramm für den dritten exemplarisch gewählten Punkt auf der Zufahrt bei Annahme eines mittleren Tischgefälles aller Modultische

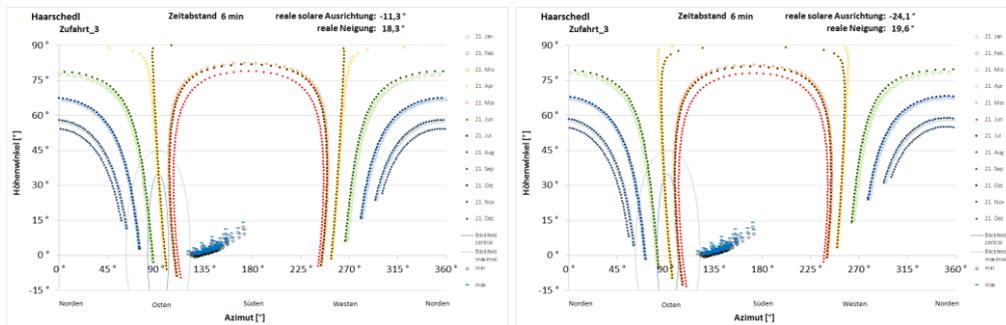


Abbildung 26: Reflexionsdiagramme für den dritten exemplarisch gewählten Punkt auf der Abfahrt bei Annahme eines minimalen Tischgefälles aller Modultische (links) und des maximalen (rechts)

Für alle betrachteten Fälle wird deutlich, dass Reflexionen der Anlage nicht auf Verkehrsteilnehmer auf der Zufahrt gerichtet sein können.

5.6 Fürstenzeller Straße von Westen

Für Verkehrsteilnehmer, die auf der Fürstenzeller Straße aus Südwesten kommen und die Autobahn überqueren, werden drei Punkte exemplarisch untersucht, deren Lage in Abbildung 27 dokumentiert ist.



Abbildung 27: Exemplarisch untersuchte Punkte auf der Fürstenzeller Straße aus südwestlicher Richtung, rote Kreise in Fahrtrichtung grün durchnummeriert

5.6.1 Punkt 1 von Westen

Für den ersten gewählten Punkt, kurz vor der Autobahnbrücke, ergeben sich die Reflexionsdiagramme in Abbildung 28 bzw. Abbildung 29 je nach zugrunde gelegtem Tischgefälle.

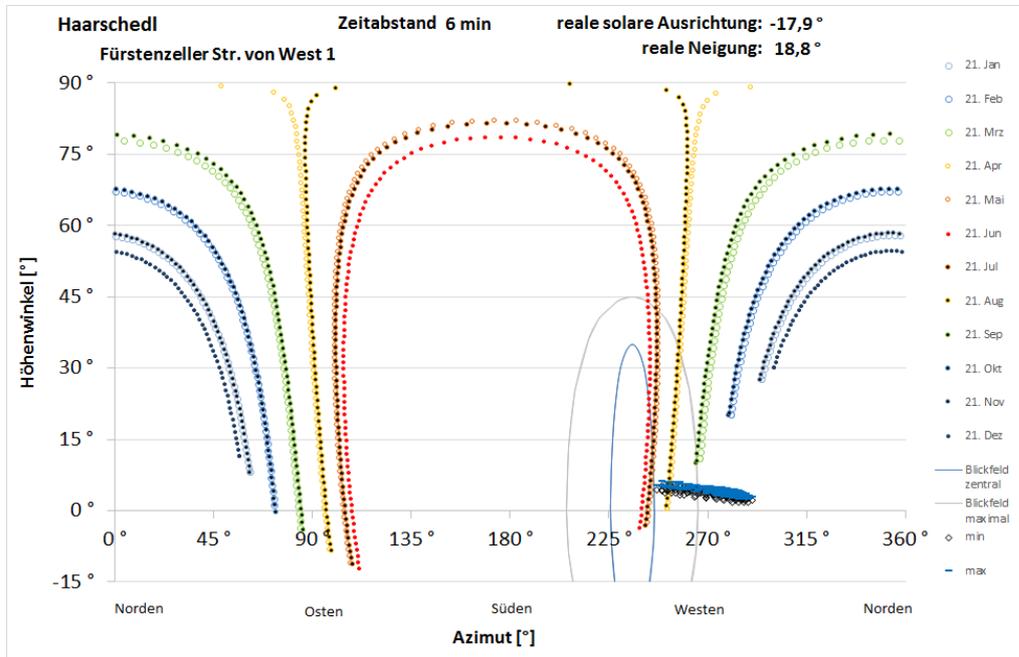


Abbildung 28: Reflexionsdiagramm für den ersten exemplarisch gewählten Punkt auf der Fürstzeller Straße von Westen kommend bei Annahme eines mittleren Tischgefälles aller Modultische

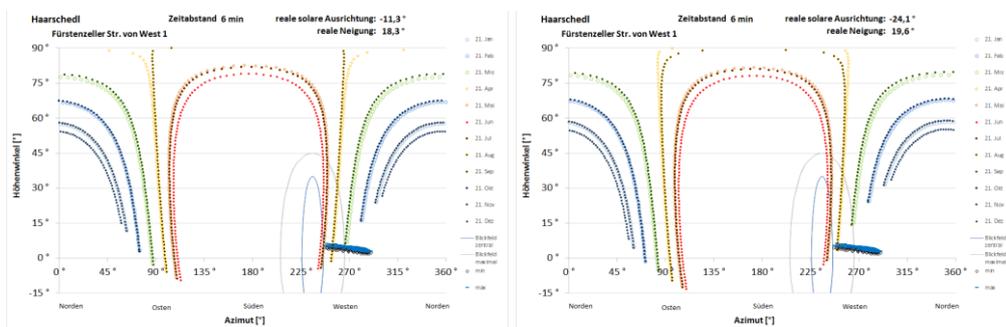


Abbildung 29: Reflexionsdiagramme für den ersten exemplarisch gewählten Punkt auf der Fürstzeller Straße von Westen kommend bei Annahme eines minimalen Tischgefälles aller Modultische (links) und des maximalen (rechts)

Die Diagramme zeigen unabhängig von dem zugrunde gelegten Tischgefälle, dass ein großer Teil der Tische unter keinen Umständen zu diesem Punkt auf der Fürstzeller Straße hin reflektieren kann. Dabei handelt es sich um die südlicheren Tischreihen, von denen aus gesehen der untersuchte Punkt in einer Azimutrichtung von mindestens 270° liegt. So bleiben für genauere Untersuchungen nur noch die nördlichsten fünf Tischreihen relevant. Und da im Bereich dieser fünf nördlichsten Tischreihen nur schwaches bis mittleres Gefälle auftritt, müssen die Reflexionen bei starkem Gefälle nicht weiter betrachtet werden.



Als nächstes ist festzustellen, dass das zentrale Blickfeld bis 10° Abstand zur Blickachse in keinem Fall betroffen ist. Eine genauere Analyse der Daten ergibt, dass der Mindestabstand zur Blickachse bei der westlichen Oberkante der nördlichsten Tischreihe 11,15° beträgt und von diesem obersten Modul zu Punkt 1 am 21. Mai und 21. Juli eine Reflexion an Fahreraugen an Punkt 1 Beleuchtungsstärken von 1.000 lx bewirken kann, während gleichzeitig die Sonne senkrecht bestrahlte Objekte mit über 20.000 lx beleuchtet. Mit zunehmendem Abstand zur Blickachse verringert sich die potenziell an Fahreraugen bewirkte Beleuchtungsstärke weiter. Die Größe der reflektierenden Fläche im Blickfeld wächst mit dem Abstand zur Blickachse auf maximal 1,5° Höhe an.

5.6.2 Punkt 2 von Westen

Für den zweiten gewählten Punkt, am Ende der Autobahnbrücke, ergeben sich die Reflexionsdiagramme in Abbildung 30.

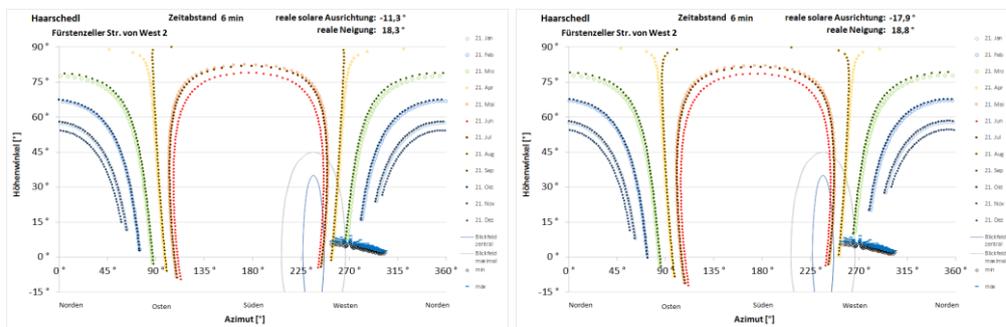


Abbildung 30: Reflexionsdiagramme für den zweiten exemplarisch gewählten Punkt auf der Fürstenzeller Straße von Westen kommend bei Annahme eines minimalen Tischgefälles aller Modultische (links) und des mittleren (rechts)

Der minimale Abstand zur Blickachse beträgt hier bereits 16,5° und die an Fahreraugen bewirkte Beleuchtungsstärke erreicht nicht mehr ganz 800 lx. Die Höhe der reflektierenden Fläche im Blickfeld wächst erst ab einem Abstand von über 20° zur Blickachse auf maximal 2,5° an, während sich die an Fahreraugen bewirkte Beleuchtungsstärke hier bereits auf 400 lx reduziert hat.

5.6.3 Punkt 3 von Westen

Für den dritten gewählten Punkt ergeben sich die Reflexionsdiagramme in Abbildung 31. Hier treten nur bei Annahme des schwächsten Tischgefälles überhaupt noch Reflexionen auf und diese liegen am äußersten Rand des maximalen Blickfeldes und treten darüber hinaus bei so niedrigen Sonnenständen von unter 2° auf, dass die Sonne nicht durch Sonnenblenden abgeschirmt werden kann und damit keine eigenständige Blendwirkung der Reflexionen möglich ist.

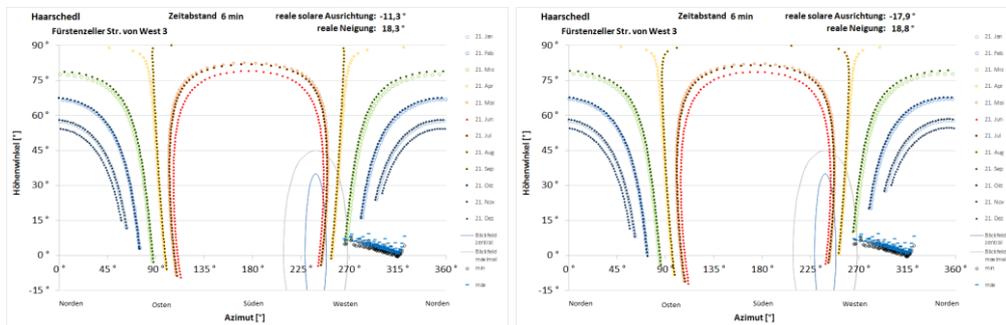


Abbildung 31: Reflexionsdiagramme für den dritten exemplarisch gewählten Punkt auf der Fürstenzeller Straße von Westen kommend bei Annahme eines minimalen Tischgefälles aller Modultische (links) und des mittleren (rechts)

5.7 Fürstenzeller Straße von Osten

Für Verkehrsteilnehmer, die auf der Fürstenzeller Straße aus Südosten kommen, werden drei Punkte exemplarisch untersucht, deren Lage in Abbildung 32 dokumentiert ist.



Abbildung 32: Exemplarisch untersuchte Punkte auf der Fürstenzeller Straße aus südöstlicher Richtung, rote Kreise in Fahrtrichtung grün durchnummeriert

Grund für die Auswahl dieser Punkte ist hier, dass an Punkt 1 und Punkt 2 jeweils eine Straßeneinmündung liegt, an der ein Rundumblick gewährleistet sein muss und somit kein klar abgrenzbares Blickfeld vorliegt, außerhalb dessen Reflexionen von vornherein keine Störung darstellen können.



5.7.1 Punkt 1 von Osten

Für den ersten gewählten Punkt, die Einmündung des Bierweg in die Fürstzeller Straße, ergeben sich die Reflexionsdiagramme in Abbildung 33 bzw. Abbildung 34 je nach zugrunde gelegtem Tischgefälle.

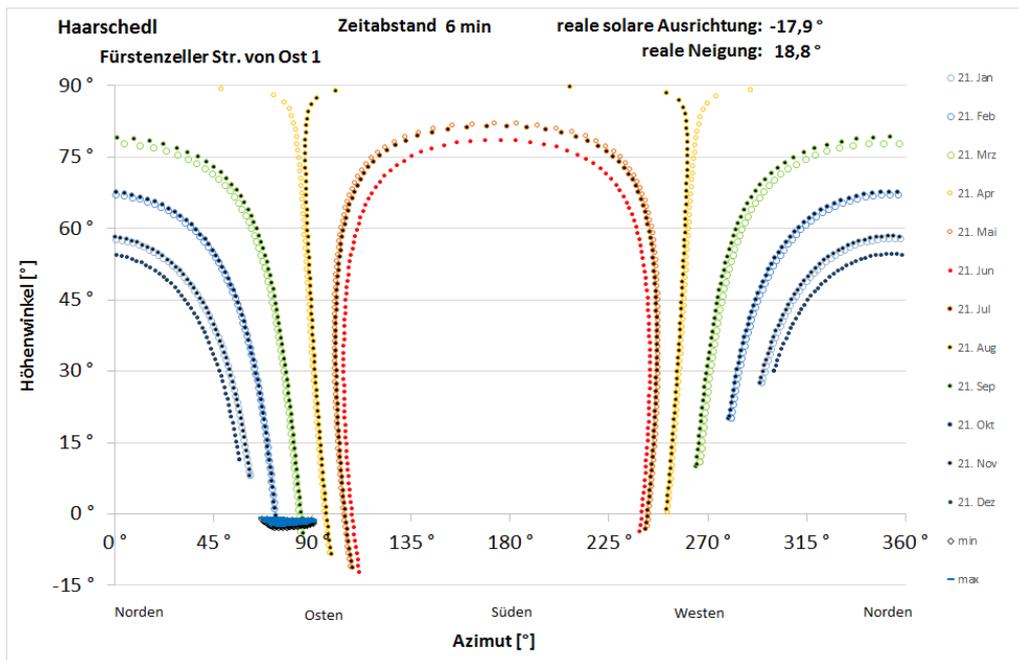


Abbildung 33: Reflexionsdiagramm für die Einmündung vom Bierweg in die Fürstzeller Straße bei Annahme eines mittleren Tischgefälles aller Modultische

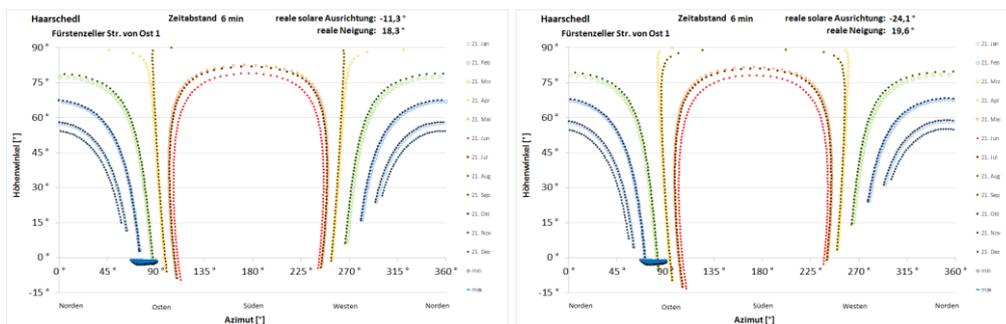


Abbildung 34: Reflexionsdiagramme für die Einmündung vom Bierweg in die Fürstzeller Straße bei Annahme eines minimalen Tischgefälles aller Modultische (links) und des maximalen (rechts)

Sie zeigen, dass um die Tag-Nacht-Gleiche des 21. März und des 21. September herum gegen Ende des Tages Reflexionen auf die Einmündung gerichtet sein können. Aufgrund der noch höheren Sonnenstände können dabei diejenigen Reflexionen, die weiter zur Jahresmitte hin auftreten, die größte Intensität aufweisen. Dies sind Reflexionen der nördlichsten beiden Tischreihen, bei denen



kein starkes, sondern höchstens ein mittleres Gefälle vorliegt. Reflexionen der beiden nördlichsten Tischreihen können unter der ungünstigsten Annahme eines einheitlichen mittleren Tischgefälles maximal 650 lx Beleuchtungsstärke an Fahreraugen bewirken, während gleichzeitig die Sonne senkrecht bestrahlte Objekte mit 18.000 lx beleuchtet. Die maximale Höhe der reflektierenden Fläche im Blickfeld beträgt dabei 0,7°. Reflexionen weiter südlich gelegener Reihen nehmen an Intensität schnell ab bei geringfügiger Zunahme der Flächenhöhe auf 1,5° im Blickfeld.

5.7.2 Punkt 2 von Osten

Für den zweiten gewählten Punkt, die Einmündung der Ölberggasse, ergeben sich die Reflexionsdiagramme in Abbildung 35 bzw. Abbildung 36.

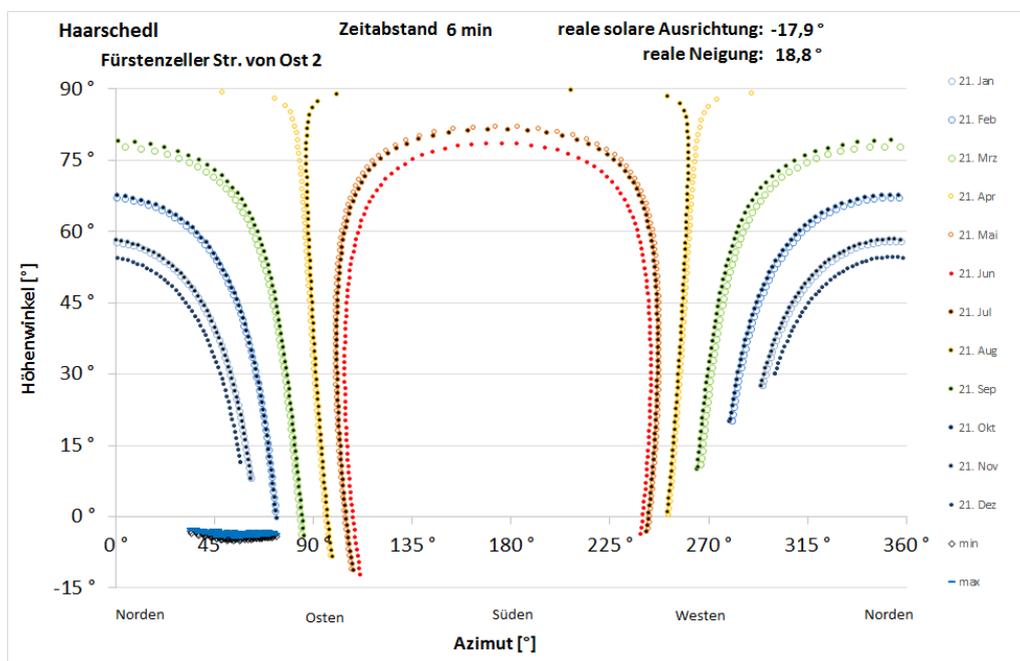


Abbildung 35: Reflexionsdiagramm für die Einmündung der Ölberggasse in die Fürstzeller Straße bei Annahme eines mittleren Tischgefälles aller Modultische

In allen Fällen zeigt sich, dass zu dieser Einmündung keinerlei Reflexionen gerichtet sein können.

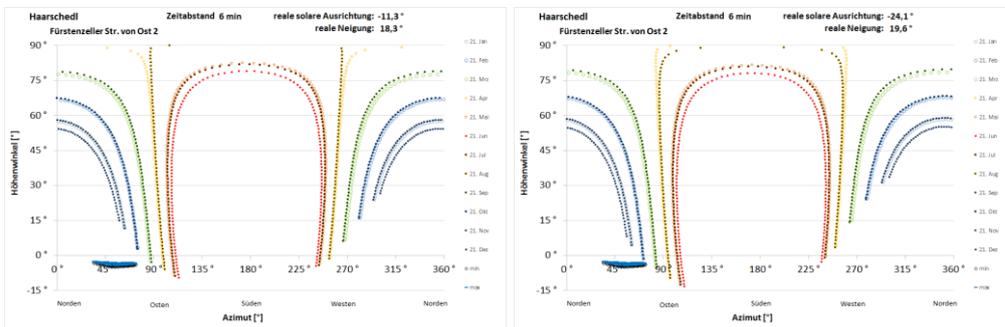


Abbildung 36: Reflexionsdiagramme für die Einmündung der Ölberggasse in die Fürstzeller Straße bei Annahme eines minimalen Tischgefälles aller Modultische (links) und des maximalen (rechts)

5.7.3 Punkt 3 von Osten

Für den dritten gewählten Punkt ergeben sich die Reflexionsdiagramme in Abbildung 37 bzw. Abbildung 38.

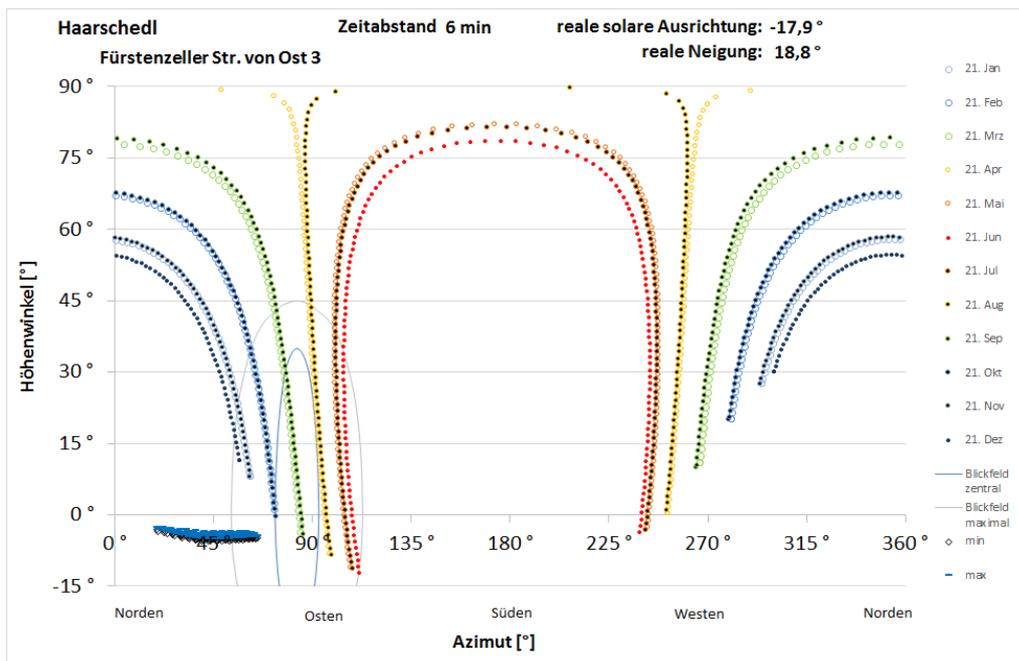


Abbildung 37: Reflexionsdiagramm für den dritten Punkt auf der Fürstzeller Straße von Osten kommend bei Annahme eines mittleren Tischgefälles aller Modultische

Auch hier zeigt sich, dass in keinem Fall Reflexionen zu diesem Punkt gerichtet sein können.

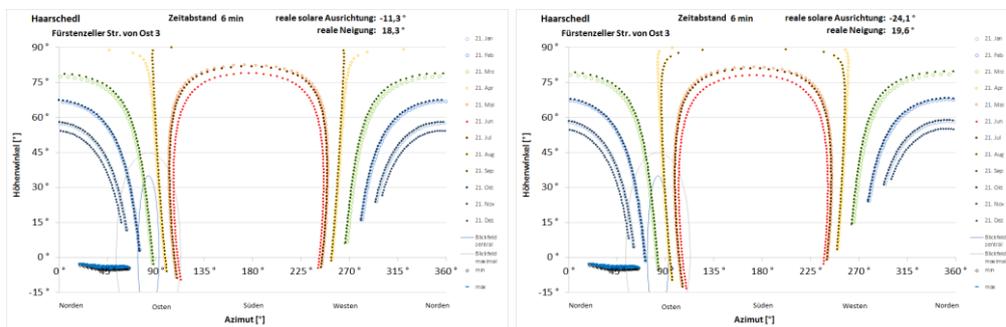


Abbildung 38: Reflexionsdiagramme für den dritten Punkt auf der Fürstzeller Straße von Osten kommend bei Annahme eines minimalen Tischgefälles aller Modultische (links) und des maximalen (rechts)



6 *Bewertung der Ergebnisse*

6.1 *Autobahn A 3*

Es wird festgestellt, dass auch ohne Berücksichtigung von vorhandenem Bewuchs weder auf der Autobahn noch ihrer Zu- bzw. Abfahrt Reflexionen in das maximale Blickfeld von Verkehrsteilnehmern gerichtet sein können.

Auf der Autobahn und ihrer Zu- und Abfahrt bestehen damit keinerlei Blendrisiken.

6.2 *Fürstenzeller Straße*

Für Verkehrsteilnehmer, die auf der Fürstenzeller Straße aus Westen über die Autobahnbrücke fahren, wird festgestellt, dass ihr zentrales Blickfeld nicht von Reflexionen betroffen sein kann. Und mögliche Reflexionen, außerhalb des zentralen Blickfeldes, können weder durch ihre Intensität noch durch ihre Größe im Blickfeld zu einer verkehrsgefährdenden Blendung führen.

Für Verkehrsteilnehmer auf der Fürstenzeller Straße, die von Osten kommend an der Einmündung des Bierweg einen freien Rundblick brauchen, um sich der Einmündung nähernde Fahrzeuge aus dem Bierweg gut sehen zu können, wird festgestellt, dass zu diesem Punkt gerichtete Reflexionen allein nach ihrer Intensität und Flächengröße schon keine Beeinträchtigung der Verkehrssicherheit darstellen können. Die Abschirmung durch das Waldstück zwischen der Einmündung und dem geplanten Solarpark führt zu einer zusätzlichen Absicherung. Für den weiteren Verlauf der Fürstenzeller Straße aus Osten kommend wird festgestellt, dass das Blickfeld zunächst vom Solarpark abgewendet ist und ab der Einmündung der Ölberggasse keinerlei Reflexionen mehr zu Fahrzeugführern auf der Fürstenzeller Straße gerichtet sein können.

Auf der gesamten Fürstenzeller Straße bestehen damit auch keinerlei Blendrisiken.



7 *Verwendete Materialien*

7.1 *Dokumente vom Auftraggeber*

- ▶ Belegungsplan als Datei P1904051_181576_1_BP-1000_BL-1000_Solarpark_Passau.dwg
- ▶ Höhenplan als Datei 2_LP-1000-HL.dwg

7.2 *Literatur*

- ▶ 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; <http://www.lai-immissionsschutz.de/servlet/is/20170/Hinweise%20zur%20Messung%20Beurteilung%20und%20Minderung%20von%20Lichtimmissionen.pdf?command=downloadContent&filename=Hinweise%20zur%20Messung%20Beurteilung%20und%20Minderung%20von%20Lichtimmissionen.pdf>
- ▶ 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 5034-2:1985-02 Tageslicht in Innenräumen; Grundlagen



8 *Abbildungsverzeichnis*

Abbildung 1: Lage der geplanten Anlage (blau), der Autobahn A 3 mit Zubringer und der Fürstenzeller Straße auf Hintergrund von Google Earth Pro	4
Abbildung 2: Gegenstände auf der Sichtachse zur Blendquelle sind nicht mehr wahrnehmbar	6
Abbildung 3: Blickfelder von 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	8
Abbildung 4: Auswirkung des Einfallwinkels auf den Transmissionsgrad für Modulgläser	10
Abbildung 5: Lage der Modultischreihen (blau) und Höhenlinien im Abstand von 0,5 m (grau)	11
Abbildung 6: Luftbild der Autobahn A 3 mit Abfahrt Passau-Mitte zur Bundesstraße B 12 und Fürstenzeller Straße im Norden; Quelle: Google Earth Pro.....	12
Abbildung 7: Darstellung des Reflexionsstrahls anhand von Azimut und Höhenwinkel wie im Reflexionsdiagramm verwendet und Beschreibung des Abstandswinkels zwischen Blickrichtungen zur Sonne und zum Blendpunkt.....	14
Abbildung 8: Reflexionsdiagramm aus Sicht eines beliebigen potenziellen Blendpunktes durchschnittlich geneigter Modultische mit einer Ausrichtung von $-17,9^{\circ}$ und einer Modulneigung von $18,8^{\circ}$ am Standort der Anlage; waagrecht aufgetragen sind die Azimutwinkel von Norden (0°) über Osten (90°), Süden (180°) nach Westen (270°), senkrecht die Höhenwinkel.....	15
Abbildung 9: Reflexionsdiagramme für die maximalen Abweichungen vom durchschnittlichen West-Ost-Gefälle der Tische; links für minimales Gefälle mit Ausrichtung von $-11,3^{\circ}$ / Neigung $18,3^{\circ}$ und rechts für maximales Gefälle mit Ausrichtung von $-24,1^{\circ}$ / Neigung $19,6^{\circ}$	15
Abbildung 10: Beispiel für Bandbreite möglicher Höhenwinkel	16
Abbildung 11: Blick von der Brücke der Fürstenzeller Straße zur östlichen Autobahnzufahrt.....	17
Abbildung 12: Lage der exemplarisch untersuchten Punkte auf der Autobahn A 3 durch rote Punkte markiert – aus Nordwesten kommend kurz hinter der Brücke der Fürstenzeller Straße und aus Südosten kommend kurz hinter der Überquerung der Bundesstraße B 12	18
Abbildung 13: Reflexionsdiagramm für den exemplarisch gewählten Punkt auf der Fahrbahn aus Nordwesten bei Annahme eines mittleren Tischgefälles aller Modultische	18
Abbildung 14: Reflexionsdiagramme für den exemplarisch gewählten Punkt auf der Fahrbahn aus Nordwesten bei Annahme eines minimalen Tischgefälles aller Modultische (links) und des maximalen (rechts)	19
Abbildung 15: Reflexionsdiagramm für den exemplarisch gewählten Punkt auf der Fahrbahn aus Südosten bei Annahme eines mittleren Tischgefälles aller Modultische	19



Abbildung 16: Reflexionsdiagramme für den exemplarisch gewählten Punkt auf der Fahrbahn aus Südosten bei Annahme eines minimalen Tischgefälles aller Modultische (links) und des maximalen (rechts)	20
Abbildung 17: Lage des exemplarisch untersuchten Punktes auf der Abfahrt durch roten Punkt markiert	20
Abbildung 18: Reflexionsdiagramm für den exemplarisch gewählten Punkt auf der Abfahrt bei Annahme eines mittleren Tischgefälles aller Modultische.....	21
Abbildung 19: Reflexionsdiagramme für den exemplarisch gewählten Punkt auf der Abfahrt bei Annahme eines minimalen Tischgefälles aller Modultische (links) und des maximalen (rechts)	21
Abbildung 20: Exemplarisch untersuchte Punkte auf der östlichen Zufahrt, rote Kreise in Fahrtrichtung grün durchnummeriert	22
Abbildung 21: Reflexionsdiagramm für den ersten exemplarisch gewählten Punkt auf der Zufahrt bei Annahme eines mittleren Tischgefälles aller Modultische.....	22
Abbildung 22: Reflexionsdiagramme für den ersten exemplarisch gewählten Punkt auf der Abfahrt bei Annahme eines minimalen Tischgefälles aller Modultische (links) und des maximalen (rechts) .	23
Abbildung 23: Reflexionsdiagramm für den zweiten exemplarisch gewählten Punkt auf der Zufahrt bei Annahme eines mittleren Tischgefälles aller Modultische	23
Abbildung 24: Reflexionsdiagramme für den zweiten exemplarisch gewählten Punkt auf der Abfahrt bei Annahme eines minimalen Tischgefälles aller Modultische (links) und des maximalen (rechts) .	24
Abbildung 25: Reflexionsdiagramm für den dritten exemplarisch gewählten Punkt auf der Zufahrt bei Annahme eines mittleren Tischgefälles aller Modultische	24
Abbildung 26: Reflexionsdiagramme für den dritten exemplarisch gewählten Punkt auf der Abfahrt bei Annahme eines minimalen Tischgefälles aller Modultische (links) und des maximalen (rechts) .	25
Abbildung 27: Exemplarisch untersuchte Punkte auf der Fürstzeller Straße aus südwestlicher Richtung, rote Kreise in Fahrtrichtung grün durchnummeriert	25
Abbildung 28: Reflexionsdiagramm für den ersten exemplarisch gewählten Punkt auf der Fürstzeller Straße von Westen kommend bei Annahme eines mittleren Tischgefälles aller Modultische	26
Abbildung 29: Reflexionsdiagramme für den ersten exemplarisch gewählten Punkt auf der Fürstzeller Straße von Westen kommend bei Annahme eines minimalen Tischgefälles aller Modultische (links) und des maximalen (rechts)	26
Abbildung 30: Reflexionsdiagramme für den zweiten exemplarisch gewählten Punkt auf der Fürstzeller Straße von Westen kommend bei Annahme eines minimalen Tischgefälles aller Modultische (links) und des mittleren (rechts).....	27



Abbildung 31: Reflexionsdiagramme für den dritten exemplarisch gewählten Punkt auf der Fürstenzeller Straße von Westen kommend bei Annahme eines minimalen Tischgefälles aller Modultische (links) und des mittleren (rechts).....	28
Abbildung 32: Exemplarisch untersuchte Punkte auf der Fürstenzeller Straße aus südöstlicher Richtung, rote Kreise in Fahrtrichtung grün durchnummeriert	28
Abbildung 33: Reflexionsdiagramm für die Einmündung vom Bierweg in die Fürstenzeller Straße bei Annahme eines mittleren Tischgefälles aller Modultische.....	29
Abbildung 34: Reflexionsdiagramme für die Einmündung vom Bierweg in die Fürstenzeller Straße bei Annahme eines minimalen Tischgefälles aller Modultische (links) und des maximalen (rechts) .	29
Abbildung 35: Reflexionsdiagramm für die Einmündung der Ölberggasse in die Fürstenzeller Straße bei Annahme eines mittleren Tischgefälles aller Modultische	30
Abbildung 36: Reflexionsdiagramme für die Einmündung der Ölberggasse in die Fürstenzeller Straße bei Annahme eines minimalen Tischgefälles aller Modultische (links) und des maximalen (rechts) ..	31
Abbildung 37: Reflexionsdiagramm für den dritten Punkt auf der Fürstenzeller Straße von Osten kommend bei Annahme eines mittleren Tischgefälles aller Modultische	31
Abbildung 38: Reflexionsdiagramme für den dritten Punkt auf der Fürstenzeller Straße von Osten kommend bei Annahme eines minimalen Tischgefälles aller Modultische (links) und des maximalen (rechts)	32

9 *Tabellenverzeichnis*



Tabelle 1: Menschliches Gebrauchsblickfeld (vertikal positiv ist oben, negativ unten)8

Tabelle 2: Auswirkungen der unterschiedlichen Hanglagen.....12