

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

► **Brandscheid, Belegung hochkant**

*Analyse der Reflexionswirkungen einer
Photovoltaikanlage*

Auftraggeber:

EnBW Energie Baden-Württemberg AG
Herr Alexander Eckert
Schelmenwasenstr. 15
70567 Stuttgart

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: 21.12.2020

Projektnummer: P20447/v.1a



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
4.1.1	Baufeld A.....	12
4.1.2	Baufeld B.....	13
4.1.3	Baufeld C.....	13
4.1.4	Baufeld D	14
4.1.5	Baufelder E und F.....	15
4.1.6	Zusammenfassung der real sich ergebenden Ausrichtungen	15
4.2	Die Autobahn A 60	16
4.3	Die Landesstraße L 12.....	17
4.4	Sonstige Straßen der Umgebung.....	17
5	Berechnungen	18
5.1	Methodik der Berechnung	18
5.1.1	Geometrische Aspekte.....	18
5.1.2	Lichttechnische Aspekte	22
5.2	Landesstraße L 12	22
5.3	Autobahn A 60 aus westlicher Richtung.....	22
5.3.1	Punkte 1 bis 11 von Westen	23
5.3.2	Folgende Punkte im Überblick.....	25
5.3.3	Punkt 12 von Westen.....	25
5.3.4	Punkt 13 von Westen.....	26



5.3.5	Punkt 14 von Westen.....	28
5.4	Autobahn A 60 aus östlicher Richtung.....	28
5.4.1	Punkt 1 von Osten.....	29
5.4.2	Punkte 2 bis 4 von Osten.....	30
5.4.3	Punkte 5 bis 7 von Osten.....	30
5.4.4	Punkt 8 von Osten.....	33
5.4.5	Punkt 9.....	34
5.4.6	Punkt 10.....	35
5.4.7	Punkte 11 und 12.....	35
5.4.8	Punkt 13.....	35
6	Bewertung der Ergebnisse.....	37
6.1	Straßen der Umgebung.....	37
6.2	Autobahn A 60.....	37
6.2.1	Generelle Vorbemerkung.....	37
6.2.2	Einzelbetrachtungen potenziell blendrelevanter Reflexionen.....	37
6.3	Zusammenfassung.....	38
7	Verwendete Materialien.....	39
7.1	Dokumente vom Auftraggeber.....	39
7.2	Literatur.....	39
8	Abbildungsverzeichnis.....	40
9	Tabellenverzeichnis.....	43



1 Zweck und Gegenstand des Gutachtens

Es soll untersucht werden, ob von den Modulen der geplanten Photovoltaikanlage südlich der Ortschaft Brandscheid zu beiden Seiten der Autobahn A 60 Sonnenlicht auf umliegende Straßen oder die Autobahn reflektiert werden kann und ob dadurch gegebenenfalls störende Blendwirkungen auftreten können. Die Lage der geplanten Anlage sowie der Autobahn und der Landesstraße L 12 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 (5 Teilfelder, rot schraffiert) südlich von Brandscheid beiderseits der Autobahn A 60 auf Hintergrund von Google Earth Pro; östlich in einiger Entfernung die Landesstraße L 12 mit weitgehend nord-südlichem Verlauf



2 Zusammenfassung der Ergebnisse

Es wird festgestellt, dass das zentrale Blickfeld von Fahrzeugführern bis 10° rechts und links der Blickachse auf der Autobahn A 60 zu keinem Zeitpunkt im Jahr von Blendrisiken durch reflektierte Sonnenstrahlung durch die geplante Anlage betroffen sein kann und mögliche Reflexionen im äußeren Blickfeld die Sehleistung nicht beeinträchtigen können.

Für die Landesstraße L 12 wird festgestellt, dass im gesamten Blickfeld bis 30° Abstand zur Blickachse keinerlei Reflexionen auftreten können.

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 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 Blendung

Blendung ist in der DIN EN 12665 als "unangenehmer Sehzustand durch ungünstige Leuchtdichtevertelung 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 Leuchtdichtevertelungen 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

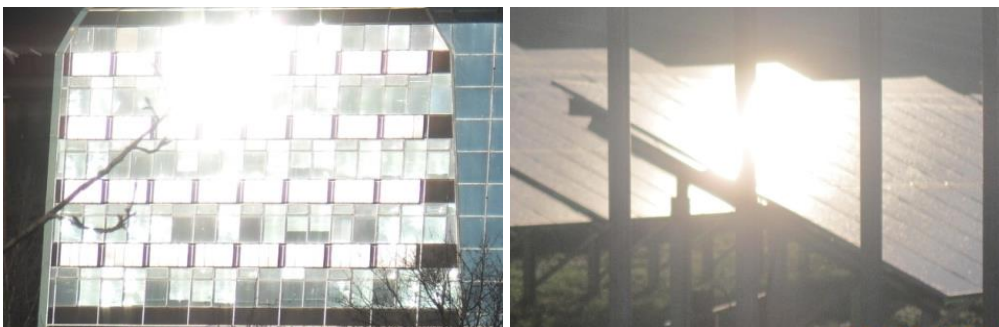


Abbildung 2: Gegenstände auf der Sichtachse zur Blendquelle sind nicht mehr wahrnehmbar

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 (Einheit: lx), 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	$\pm 30^\circ$	$+30^\circ, -45^\circ$

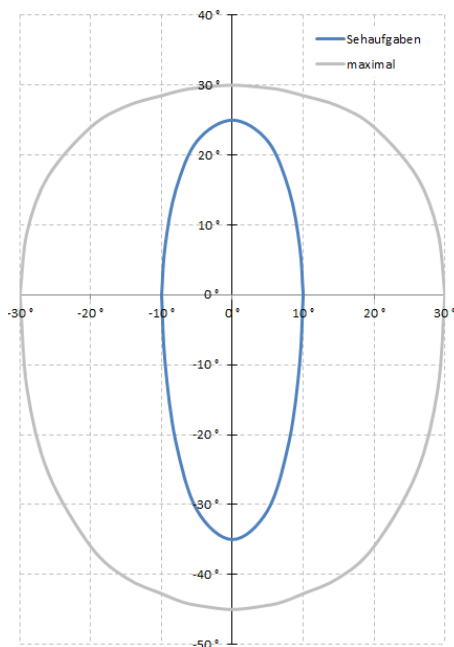


Abbildung 3: Blickfelder von Tabelle 1; der Achsenschnittpunkt $0^\circ/0^\circ$ stellt dabei einen Punkt auf der Blickachse dar, auf den die Augen fokussieren, und nicht notwendigerweise einen Punkt auf dem Horizont

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 eingestrahlt 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

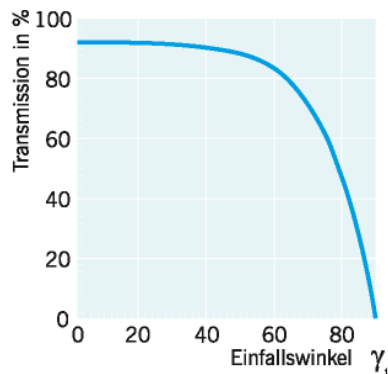


Abbildung 4: Auswirkung des Einfallswinkels auf den Transmissionsgrad für Modulgläser

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

Die Gesamtanlage wird in sechs Teilfeldern errichtet, wie der Belegungsplan in Abbildung 5 zeigt.

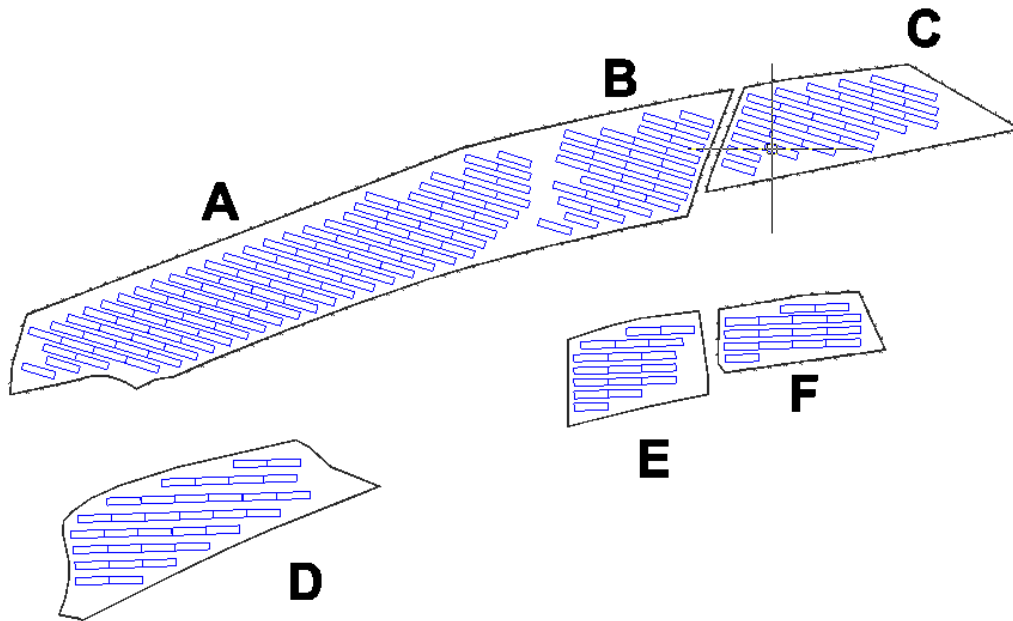


Abbildung 5: Belegungsplan, Modultische (blau) und Feldbenennung (schwarz)

Die Modulneigung gegenüber der Waagerechten beträgt 20° und die Modulunterkante wird 80 cm über dem Gelände installiert, wie Abbildung 6 zeigt.

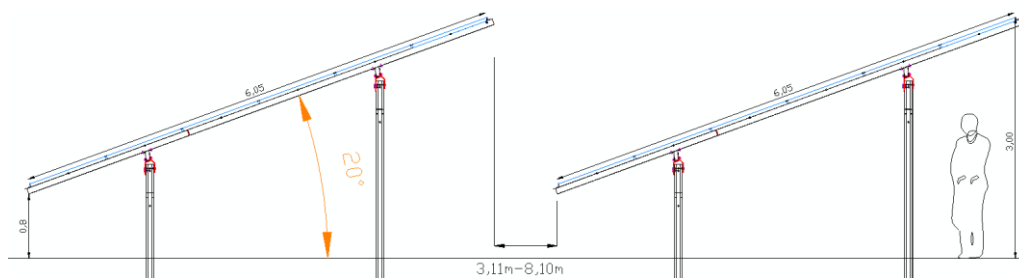


Abbildung 6: Seitlicher Schnitt durch Modulreihen auf ebenem Untergrund

Bei ebenem Untergrund ergibt sich für die Oberkante so eine Höhe von 3 m über Grund.



Der vom Auftraggeber zur Verfügung gestellte Belegungsplan weist noch eine um $1,83^\circ$ gedrehte Ausrichtung auf, die sich vermutlich aus einem an Gitternord orientierten Kartenmaterial ergab. Für Sonnenstands- und Reflexionsberechnungen ist aber eine Orientierung am geografischen Norden erforderlich. Diese liefert Google Earth und deshalb wird hier im Gutachten die entsprechend angepasste Belegung verwendet.

So ergibt sich für die drei südlichen Teilfelder eine Ausrichtung in der Ebene von $-1,83^\circ$ und für die nördlichen eine Ausrichtung in der Ebene von $16,77^\circ$.

Die wahre Ausrichtung der reflektierenden Ebene ändert sich allerdings, wenn Modultische in ihrer West-Ost-Achse nicht auf ebenem Untergrund stehen, sondern hangparallel installiert werden.

4.1.1 Baufeld A

Das nordwestliche Baufeld besteht aus 29 von Süden nach Norden durchnummerierten Reihen und weist durchgängig ein West-Ost-Gefälle der einzelnen Tische auf, das nur unterschiedlich stark ausgeprägt ist, wie an den Höhenlinien in Abbildung 7 zu erkennen ist.

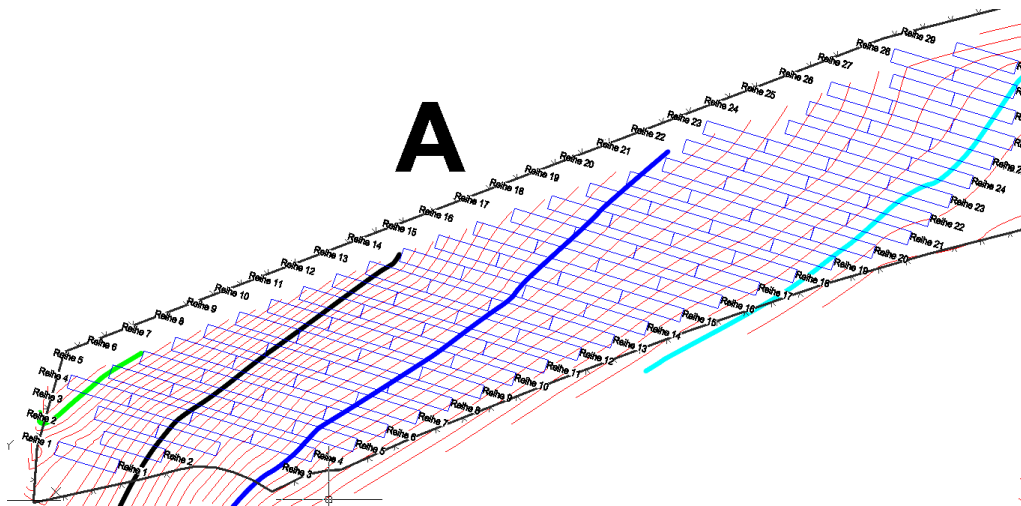


Abbildung 7: Belegung des nordwestlichen Baufeldes A mit Höhenlinien im 0,5-m-Abstand (rot), farblich hervorgehoben die Linien für 495 m (hellgrün), 490 m (schwarz), 485 m (blau) und 480 m (zyan)

Tische mit dem stärksten West-Ost-Gefälle, das bis zu $-7,4^\circ$ erreicht, stehen in den höheren Höhenlagen im Westen, schwächere Gefälle bis zu $-1,8^\circ$ finden sich im Osten in niedrigeren Höhenlagen. Aus diesen Tischgefällen ergeben sich reale Ausrichtungen der reflektierenden Ebenen zwischen $-2,9^\circ$ und $+12,0^\circ$. Die reale sich ergebende Tischneigung variiert dabei nur zwischen $21,1^\circ$ und $20,1^\circ$. Die höchste Moduloberkante erreicht eine Höhe ü. NN von 498,8 m.



4.1.2 Baufeld B

Das mittlere Baufeld im Norden besteht aus 12 von Süden nach Norden durchnummerierten Reihen und weist für die einzelnen Tische schwache West-Ost-Gefälle bis $-2,4^\circ$ und geringfügige West-Ost-Steigungen bis $+0,2^\circ$ auf, wie die Höhenlinien in Abbildung 8 verdeutlichen.

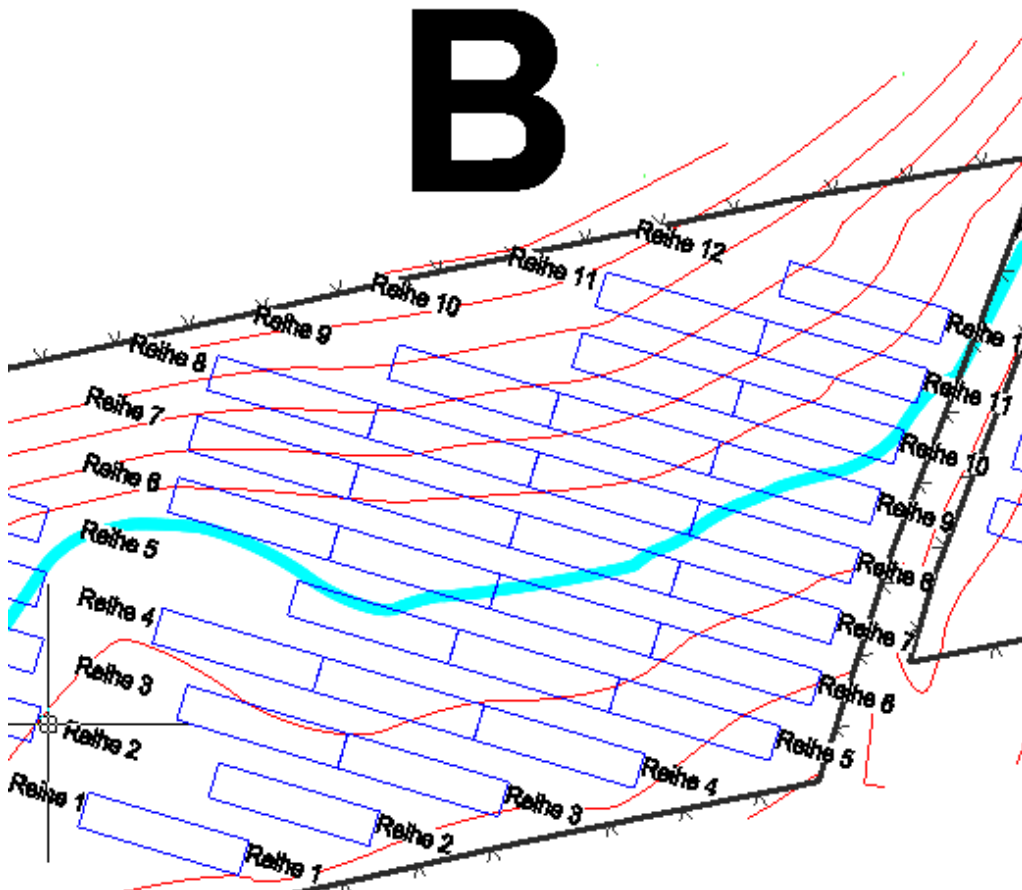


Abbildung 8: Belegung des mittleren Baufeldes B im Norden mit Höhenlinien im 0,5-m-Abstand (rot), farblich hervorgehoben die Linie 480 m (zyan)

Aus den Tischgefällen bzw. -steigungen in West-Ost-Richtung ergeben sich reale Ausrichtungen der reflektierenden Ebenen zwischen $+10,2^\circ$ und $+17,3^\circ$. Die real sich ergebende Tischneigung variiert dabei nur zwischen $20,1^\circ$ und $20,0^\circ$.

4.1.3 Baufeld C

Das östliche Baufeld im Norden besteht aus 10 von Süden nach Norden durchnummerierten Reihen und weist für die einzelnen Tische durchgängig West-Ost-Gefälle auf, die zwischen $-2,4^\circ$ und $-3,1^\circ$ variieren, wie die Höhenlinien in Abbildung 9 verdeutlichen.

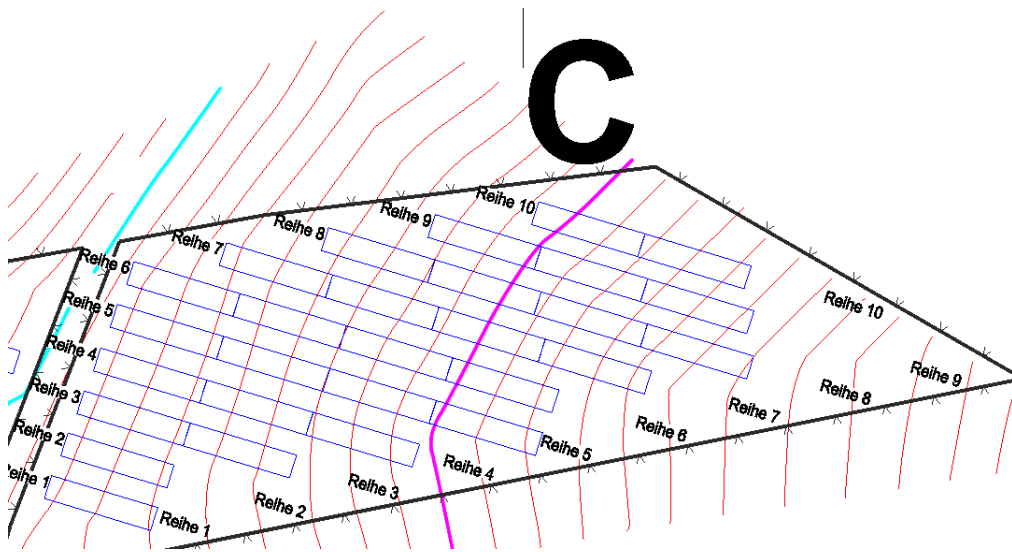


Abbildung 9: Belegung des östlichen Baufeldes C im Norden mit Höhenlinien im 0,5-m-Abstand (rot), farblich hervorgehoben die Linien für 480 m (zyan) und 475 m (lila)

Aus den Tischgefällen in West-Ost-Richtung ergeben sich reale Ausrichtungen der reflektierenden Ebenen zwischen $+8,3^\circ$ und $+10,3^\circ$. Die real sich ergebende Tischneigung variiert dabei nur zwischen $20,1^\circ$ und $20,2^\circ$.

4.1.4 Baufeld D

Das westliche Baufeld im Süden besteht aus 9 von Süden nach Norden durchnummerierten Reihen.

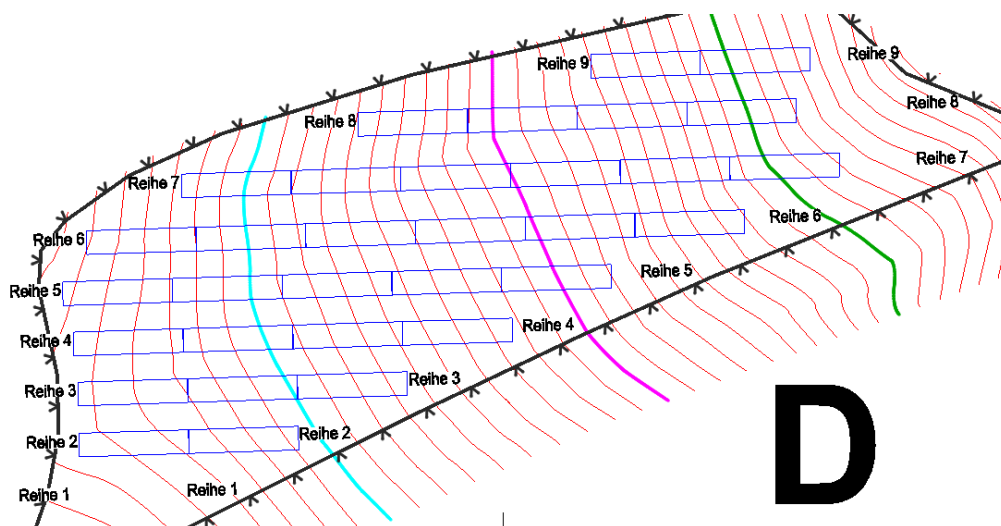


Abbildung 10: Belegung des westlichen Baufeldes D im Süden mit Höhenlinien im 0,5-m-Abstand (rot), farblich hervorgehoben die Linien für 480 m (zyan), 475 m (lila) und 470 m (dunkelgrün)



Es weist für die einzelnen Tische durchgängig West-Ost-Gefälle auf, die zwischen $-1,9^\circ$ und $-5,0^\circ$ variieren, wie die Höhenlinien in Abbildung 10 verdeutlichen.

Aus den Tischgefällen in West-Ost-Richtung ergeben sich reale Ausrichtungen der reflektierenden Ebenen zwischen $-7,0^\circ$ und $-15,3^\circ$. Die real sich ergebende Tischneigung variiert dabei nur zwischen $20,1^\circ$ und $20,5^\circ$.

4.1.5 Baufelder E und F

Das mittlere und das östliche Baufeld im Süden (Abbildung 11) bestehen aus 7 bzw. 5 von Süden nach Norden durchnummerierten Reihen. Baufeld E weist für einzelne Tische leichten West-Ost-Anstieg bis $+0,4^\circ$ und Gefälle bis $-2,4^\circ$ auf, woraus sich reale Ausrichtungen der reflektierenden Ebenen zwischen $-8,3^\circ$ und $-0,7^\circ$ ergeben mit Tischneigungen nach Süden zwischen $20,1^\circ$ und $20,0^\circ$.

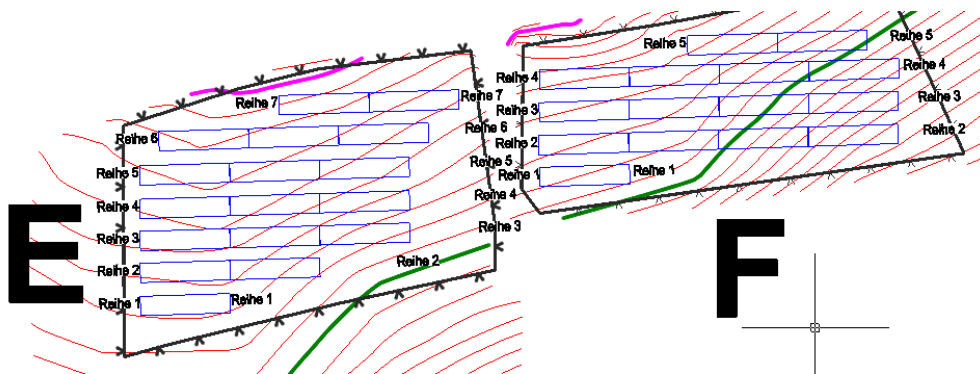


Abbildung 11: Belegung des mittleren und östlichen Baufeldes E und F im Süden mit Höhenlinien im 0,5-m-Abstand (rot), farblich hervorgehoben die Linien für 475 m (lila) und 470 m (dunkelgrün)

Baufeld F weist durchgängig West-Ost-Gefälle auf, die zwischen $-0,5^\circ$ und $-4,0^\circ$ variieren, woraus sich reale Ausrichtungen der reflektierenden Ebenen zwischen $-3,3^\circ$ und $-12,8^\circ$ ergeben mit Tischneigungen nach Süden zwischen $20,3^\circ$ und $20,0^\circ$.

4.1.6 Zusammenfassung der real sich ergebenden Ausrichtungen

In der folgenden Tabelle 2 sind feldweise die unterschiedlichen resultierenden Werte für die Orientierung der auftretenden Reflexionsebenen aufgelistet.



Tabelle 2: Zusammenstellung der Extremwerte für Tischneigung in West-Ost-Richtung und der sich daraus zusammen mit der Planausrichtung ergebenden realen Ausrichtung und Neigung

	Tischneigung	reale Ausrichtung	reale Neigung
A Gefälle extrem	-7,4°	-2,9°	21,1°
A Gefälle minimal	-1,8°	+12,0°	20,1°
B Gefälle extrem	-2,4°	+10,2°	20,1°
B Steigung	+0,2°	+17,3°	20,0°
C Gefälle extrem	-3,1°	+8,3°	20,2°
C Gefälle minimal	-2,4°	+10,3°	20,1°
D Gefälle maximal	-5,0°	-15,3°	20,5°
D Gefälle minimal	-1,9°	-7,0°	20,1°
E Gefälle maximal	-2,4°	-8,3°	20,1°
E Steigung	+0,4°	-0,7°	20,0°
F Gefälle maximal	-4,0°	-12,8°	20,3°
F Gefälle minimal	-0,5°	-3,3°	20,0°

4.2 Die Autobahn A 60

Aus westlicher Richtung kommend verläuft die Autobahn A 60 über 1 km hinweg relativ gradlinig nach Nordost mit einer Blickrichtung von 51°. Ihre Fahrbahnhöhe nimmt dabei kontinuierlich von 462 m ü. NN zu auf 482,5 m ü. NN. Ab hier setzt eine langgezogene Rechtskurve ein, die zunächst unter einer Brücke hindurchführt und danach zwischen den nördlichen und südlichen Teilfeldern der geplanten Anlage mit geringfügigen Höhenvariationen auf 485,2 m ü. NN am Ende der östlichen Teilfelder ansteigt. Kurz danach geht die Blickrichtung genau nach Osten und wendet sich im Zuge der langgezogenen Rechtskurve weiter nach Ost-Südost. Etwa 450 m hinter dem Ende des nordöstlichen Teilfeldes C überquert die Landesstraße L 12 die Autobahn, deren Fahrbahnhöhe bis hier nur wenig abgefallen ist auf 484,5 m ü. NN.



4.3 Die Landesstraße L 12

Aus Süden kommend führt die L 12 durch Wald, der etwa 900 m vor der Autobahn endet. Ihre Fahrbahnhöhe liegt hier bei 508 m ü. NN und senkt sich auf der folgenden Strecke bis 180 m vor der Autobahn auf 494 m ü. NN ab. Die Blickrichtung variiert dabei nur wenig zwischen den Azimutrichtungen 332° und 343°. Danach wachsen die Azimutwerte noch weiter an.

4.4 Sonstige Straßen der Umgebung

Weitere Straßen in der Umgebung sind im Geoportal des Landes Rheinland-Pfalz nicht verzeichnet. Vielmehr sind die im Google Earth Hintergrund noch sichtbaren Fahrwege (südlich parallel zur Autobahn und in nord-südlicher Richtung im Westen der Anlage über eine Brücke und zwischen den Anlageteilen durch eine Unterführung verlaufend) im Geoportal lediglich als Wege verzeichnet.



5 Berechnungen

5.1 Methodik der Berechnung

5.1.1 Geometrische Aspekte

Zunächst wird eine Aufstellung mit sämtlichen Sonneneinfallswinkeln im Jahresverlauf am Standort Saalhaupt (geografische Länge 6,30°, Breite 50,21°) in 6-minütiger Auflösung für 12 Tage im Jahr erstellt (jeweils der 21. jeden Monats)⁷. Die sich daraus ergebenden Reflexionsrichtungen werden für exemplarische Orientierungen der reflektierenden Ebenen 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 12). Mögliche Abweichungen der realen Reflexionen von den ideal gerichteten (durch Bündelaufweitung oder Versatz) werden im Rahmen der Einzelberechnungen und -bewertungen bei Bedarf durch Sicherheitszuschläge abgeschätzt.

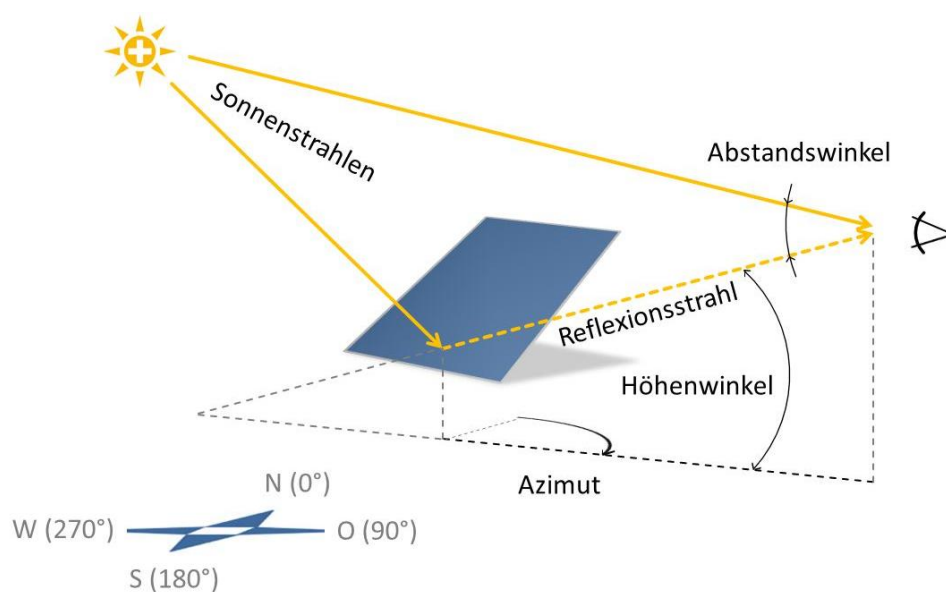


Abbildung 12: Darstellung des Reflexionsstrahls anhand von Azimut und Höhenwinkel wie im Reflexionsdiagramm verwendet und Beschreibung des Abstandswinkels zwischen Blickrichtungen zur Sonne und zum Blendpunkt

⁷ Berechnung nach Eicker 2001



Ebenfalls in Abbildung 12 ist der Abstandswinkel zwischen den Blickrichtungen zur Sonne und zum Blendpunkt beschrieben.

Für einen beliebigen Punkt eines durchschnittlich orientierten Modultisches in Baufeld A mit einer Ausrichtung von $5,5^\circ$ und $20,4^\circ$ Neigung ergibt sich so das in Abbildung 13 dokumentierte Reflexionsdiagramm.

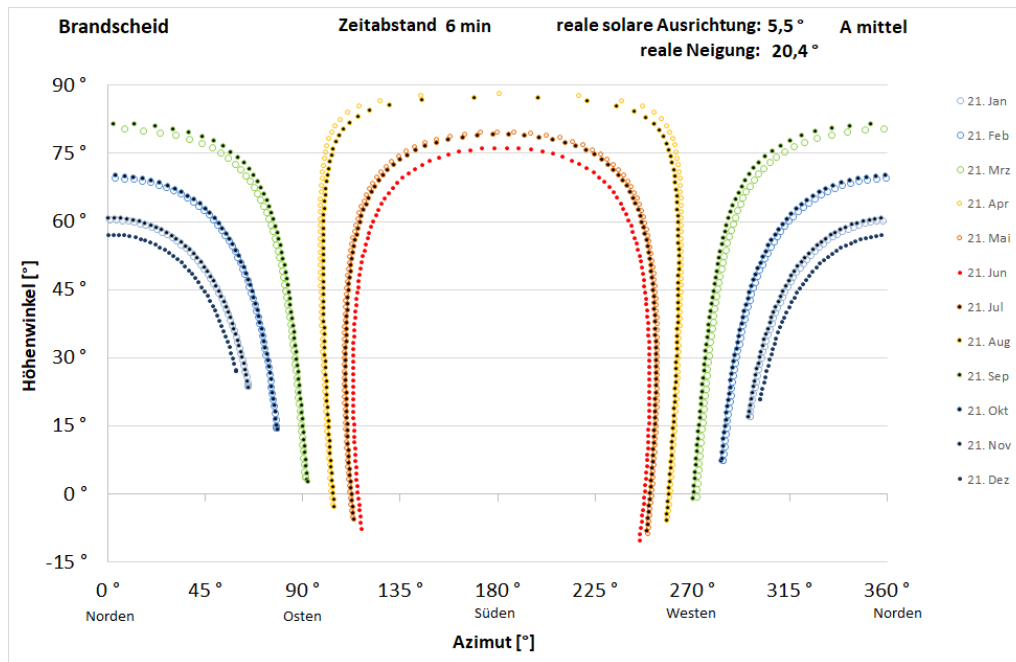


Abbildung 13: Reflexionsdiagramm aus Sicht eines beliebigen potenziellen Blendpunktes durchschnittlich orientierter Module in Baufeld A mit einer Ausrichtung von $5,5^\circ$ und einer Modulneigung von $20,4^\circ$ am Standort der Anlage; waagrecht aufgetragen sind die Azimutwinkel von Norden (0°) über Osten (90°), Süden (180°) nach Westen (270°), senkrecht die Höhenwinkel

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.

Aufgrund der großen Unterschiede der Hanglagen und der sich daraus ergebenden Orientierungen der jeweils reflektierenden Ebenen genügt es vorliegend nicht, mit nur einer durchschnittlichen Orientierung zu rechnen. Vielmehr muss je nach Baufeld und teilweise auch Tischposition innerhalb des Baufeldes ein adäquates Reflexionsdiagramm angewendet werden. Die sich ergebende Bandbreite für jedes einzelne Feld wird in den folgenden Abbildung 14 und Abbildung 15 dargestellt.

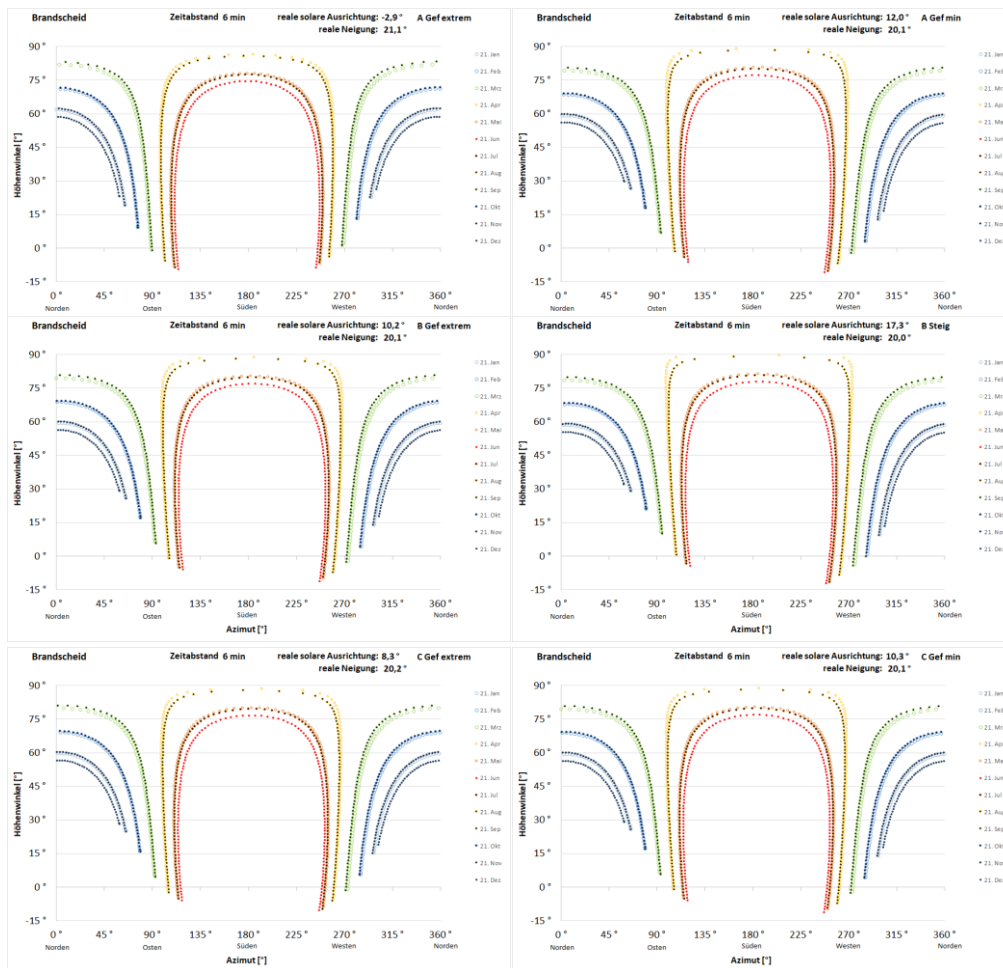


Abbildung 14: Reflexionsdiagramme für minimale (links) und maximale (rechts) Ausrichtung innerhalb der nördlichen Baufelder A (erste Zeile), B (mittlere Zeile) und C (untere Zeile)

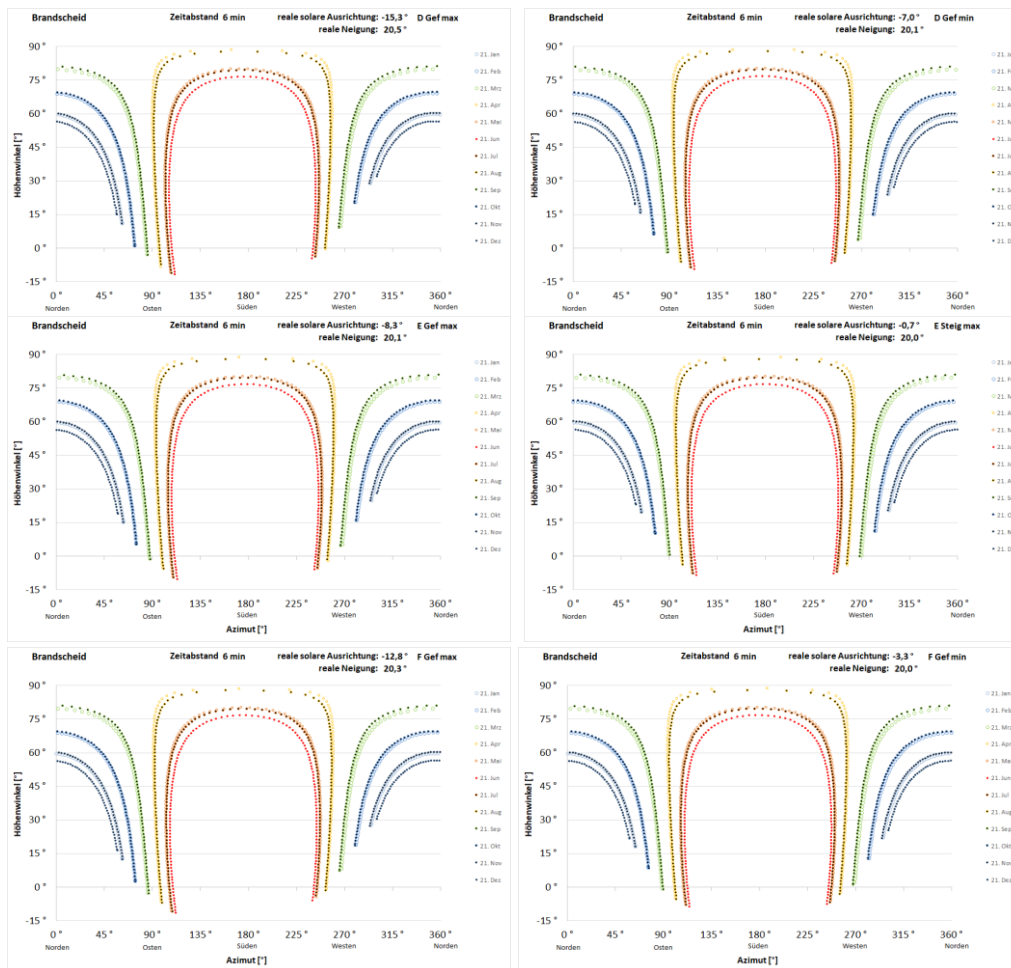


Abbildung 15: Reflexionsdiagramme für minimale (links) und maximale (rechts) Ausrichtung innerhalb der südlichen Baufelder D (erste Zeile), E (mittlere Zeile) und F (untere Zeile)

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 16 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.

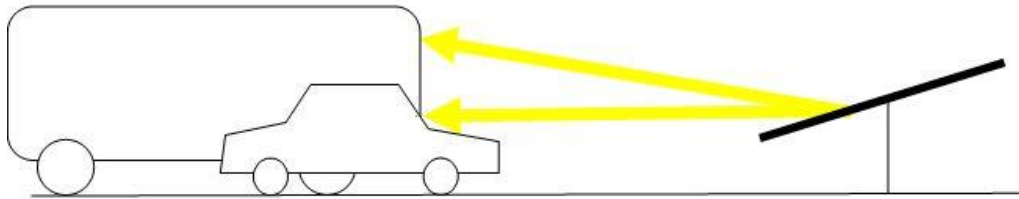


Abbildung 16: Beispiel für Bandbreite möglicher Höhenwinkel

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 am menschlichen Auge – einerseits verursacht durch Sonnenlichtreflexionen der zu prüfenden Anlage, andererseits verursacht durch direktes, gestreutes oder diffus reflektiertes Licht – 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 Landesstraße L 12

Verkehr aus südlicher Richtung ist durch höher gelegenes Gelände links der Fahrtrichtung mindestens bis 180 m vor der Autobahn vollständig abgeschirmt gegenüber allen Anlagenfeldern. Im folgenden Verlauf liegt die gesamte Anlage bereits weit außerhalb des maximalen Blickfeldes 30° seitlich der Blickachse.

Aus Norden kommender Verkehr befindet sich unterhalb aller möglichen Reflexionsebenen, solange Teile der Anlage noch in das maximale Blickfeld reichen können.

5.3 Autobahn A 60 aus westlicher Richtung

Für Fahrzeugführer aus westlicher Richtung werden exemplarisch 20 Punkte untersucht, deren Lage in Abbildung 17 dokumentiert ist.

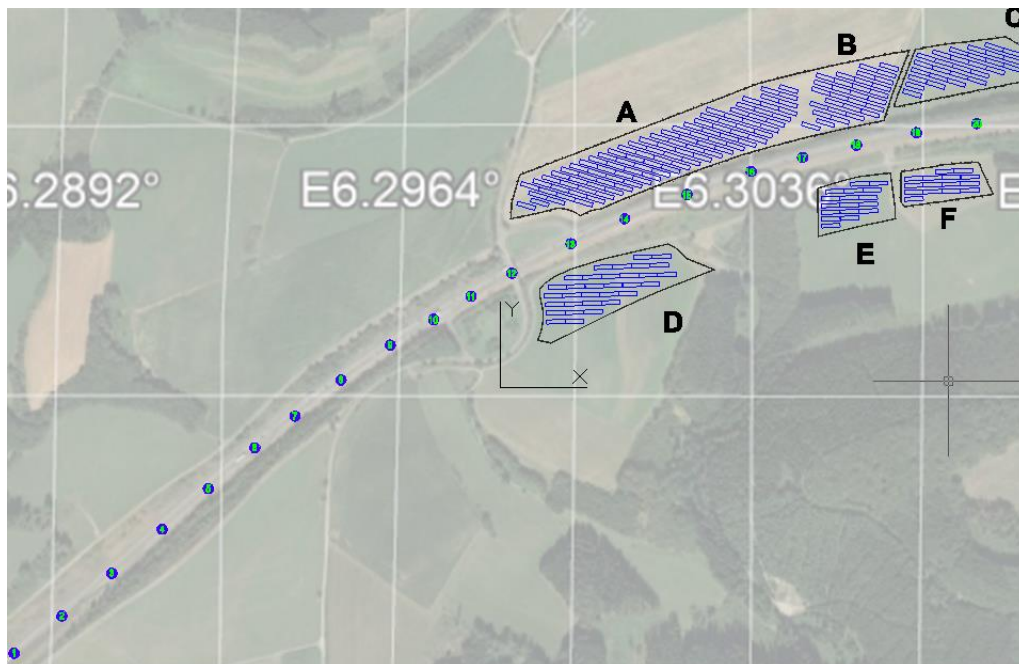


Abbildung 17: Exemplarisch untersuchte Punkte auf der Autobahn aus westlicher Richtung als lila Kreise markiert, in Fahrtrichtung grün durchnummeriert

5.3.1 Punkte 1 bis 11 von Westen

Für die gesamte Strecke der Punkte 1 bis 11 kann zusammenfassend festgestellt werden, dass die drei südlichen Baufelder sowie das nordöstliche Baufeld C ihnen gegenüber durch höher gelegenes Gelände im Westen vollständig abgeschirmt sind, so dass es unabhängig von möglichen Reflexionsrichtungen auf dieser Strecke zu keiner Blendung durch diese Felder kommen kann.

Für Baufeld A genügt eine summarische Betrachtung des Punktes 11 unter den beiden Extremannahmen, dass alle Tische von Baufeld A einheitlich das maximale Gefälle oder einheitlich das minimale hätten. Die entsprechenden Reflexionsdiagramme in Abbildung 18 und Abbildung 19 zeigen, dass Punkt 11 unter keinen Umständen von Reflexionen durch Baufeld A betroffen sein kann. Für sämtliche Punkte davor gilt dies ebenso.

Entsprechende Diagramme für Baufeld B in Abbildung 20 zeigen dasselbe Ergebnis.

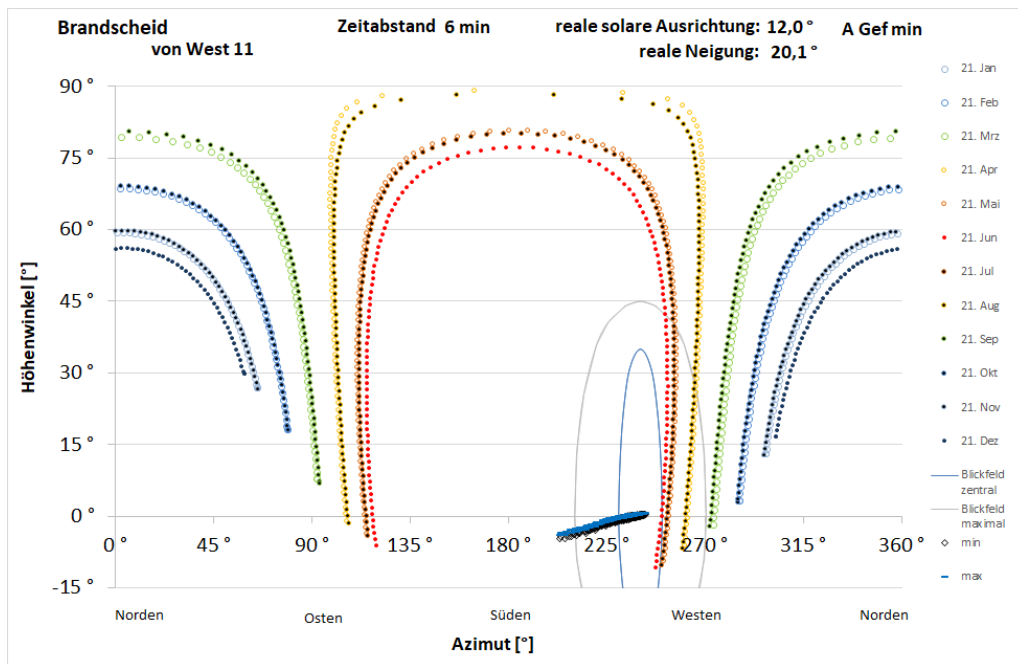


Abbildung 18: Reflexionsdiagramm für Punkt 11 von Westen für minimales Gefälle aller Tische von Baufeld A

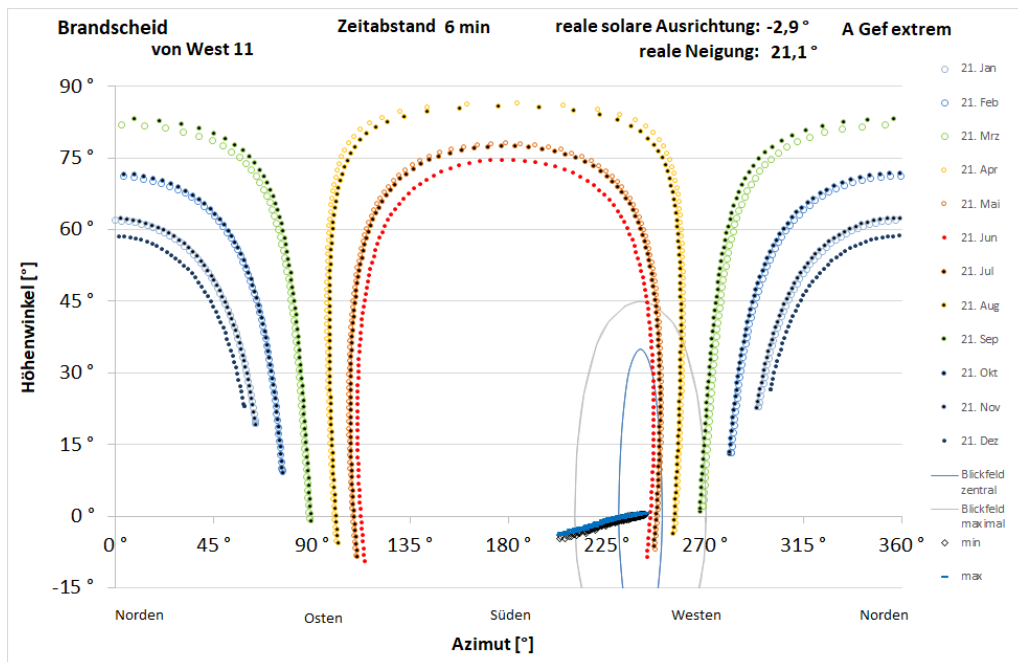


Abbildung 19: Reflexionsdiagramm für Punkt 11 von Westen für extremes Gefälle aller Tische von Baufeld A

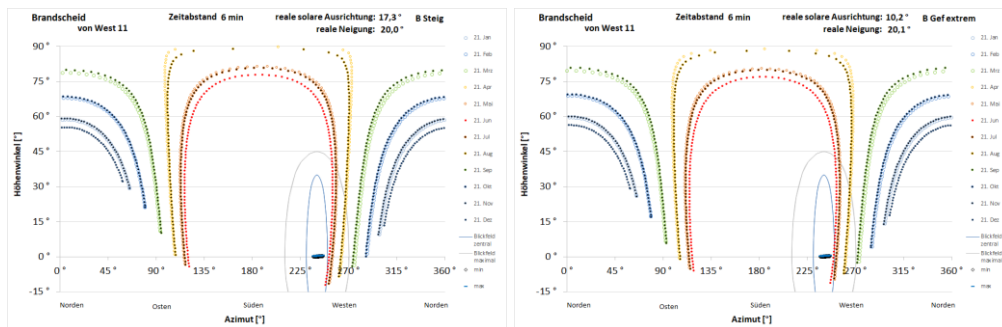


Abbildung 20: Reflexionsdiagramme für Punkt 11 von Westen für West-Ost-Anstieg (links) und extremes Gefälle (rechts) aller Tische von Baufeld B

5.3.2 Folgende Punkte im Überblick

Für Baufelder A und B gilt, bis sie aus dem maximalen Blickfeld der Fahrzeugführer heraustreten, dass sie wie bei Punkt 11 auch unter Annahme der ungünstigsten Ausrichtung für alle Tische keine Reflexionen auf Fahreraugen richten können. Für Baufeld C gilt bis zu Punkt 16, dass höher gelegenes Gelände im Westen auch für LKW-Fahrer eine vollständige Abschirmung gewährleistet und ab Punkt 16 keine Reflexionen von Baufeld C in das Blickfeld von Fahrzeugführern gerichtet sein können.

Deshalb genügt im Folgenden eine Betrachtung der südlichen Teilanlagen D bis F, wobei es ausreicht, jeweils die sich hangbedingt ergebenden Extremwerte der sich feldspezifisch ergebenden Ausrichtungen für alle Tische im jeweiligen Feld anzunehmen.

Unter der Annahme des maximalen Gefälles für alle Tische in den Feldern D und F ergeben sich keinerlei Reflexionen für die gesamte Strecke.

Mögliche Reflexionen in den übrigen Fällen treten meist nur bei Sonnenständen unter 6° auf. Bei so niedrigen Sonnenständen kann die Sonne nicht durch Sonnenschutzblenden abgeschirmt werden und bildet so, dicht über der potenziell reflektierenden Fläche stehend die dominante Blendquelle, die eine eigenständige Blendung durch die Reflexionen nicht zulässt.

Die verbleibenden Reflexionsmöglichkeiten bei Sonnenständen über 6° treten nur bei den Feldern E und F, jeweils unter der Annahme der geringsten Südabweichung der Ausrichtung für alle Tische, auf und werden im Folgenden detaillierter betrachtet.

5.3.3 Punkt 12 von Westen

Unter der Annahme, die Reflexionsebenen aller Tische von Feld E wiesen die minimale Südabweichung von $-0,7^\circ$ auf, ergibt sich das Reflexionsdiagramm in Abbildung 21. Es zeigt, dass auch unter dieser ungünstigsten Annahme das zentrale Blickfeld bis 10° seitlich der Blickachse zu keinem Zeitpunkt im Jahr von Reflexionen betroffen sein kann. Genauere Untersuchungen zeigen darüber hinaus, dass diese möglichen Reflexionen außerhalb des zentralen Blickfeldes maximal eine Winkelhöhe im Blickfeld von $0,4^\circ$ einnehmen können und höchstens zu Beleuchtungsstärken an



Fahrer Augen von 600 lx führen können, bei gleichzeitiger Beleuchtung senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte von über 18.000 lx.

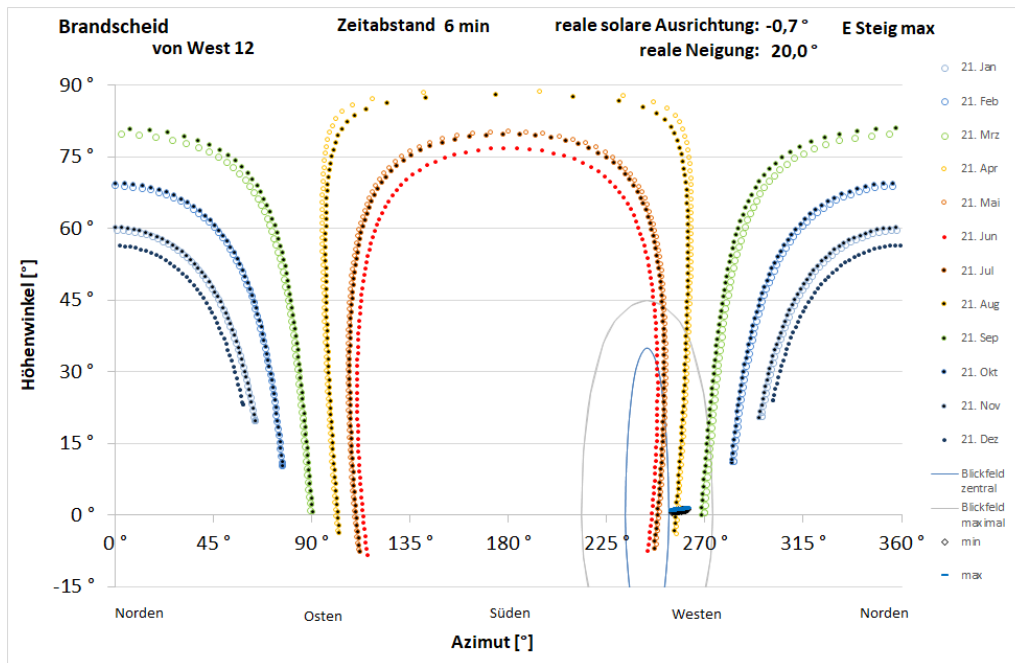


Abbildung 21: Reflexionsdiagramm für Punkt 12 von Westen und Tische auf west-östlich ansteigendem Gelände in Feld E

Feld F ist gegenüber Punkt 12 noch durch die etwas höher stehenden Tische von Feld E abgeschirmt.

5.3.4 Punkt 13 von Westen

Unter der Annahme, die Reflexionsebenen aller Tische der Felder E und F wiesen die minimale Südabweichung von $-0,7^\circ$ bzw. $-3,3^\circ$ auf, ergeben sich die Reflexionsdiagramme in Abbildung 22 und Abbildung 23. Es zeigt sich, dass auch unter diesen ungünstigsten Annahmen das zentrale Blickfeld bis 10° seitlich der Blickachse zu keinem Zeitpunkt im Jahr von Reflexionen betroffen sein kann. Genauere Untersuchungen zeigen darüber hinaus, dass diese möglichen Reflexionen außerhalb des zentralen Blickfeldes maximal eine Winkelhöhe im Blickfeld von $0,5^\circ$ einnehmen können und höchstens zu Beleuchtungsstärken an Fahrer Augen von 590 lx führen können, bei gleichzeitiger Beleuchtung senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte von 16.000 lx.

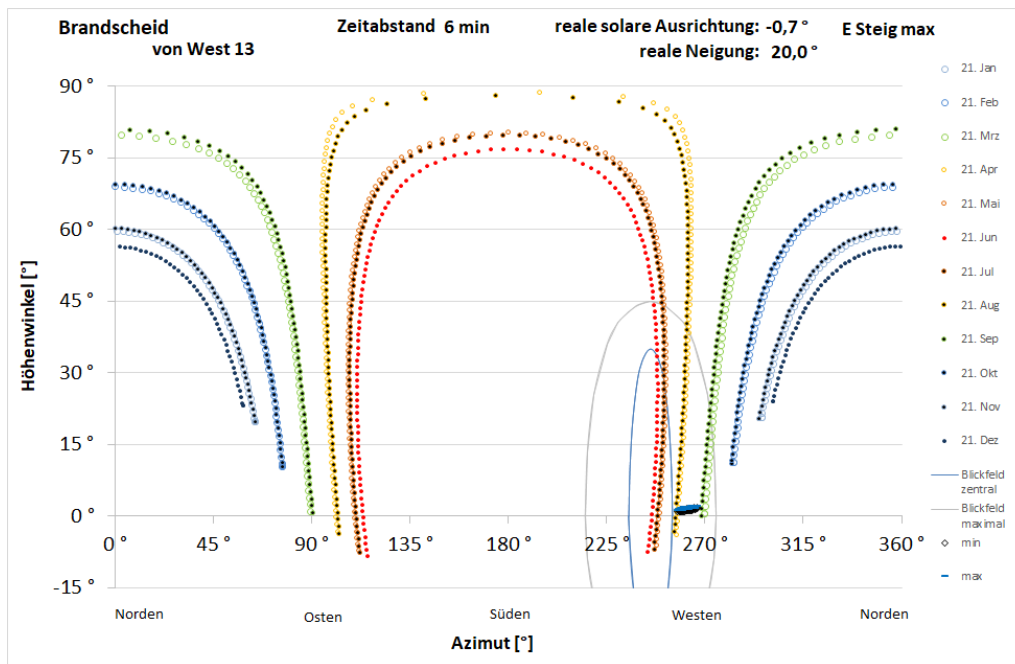


Abbildung 22: Reflexionsdiagramm für Punkt 13 von Westen und Tische auf west-östlich ansteigendem Gelände in Feld E

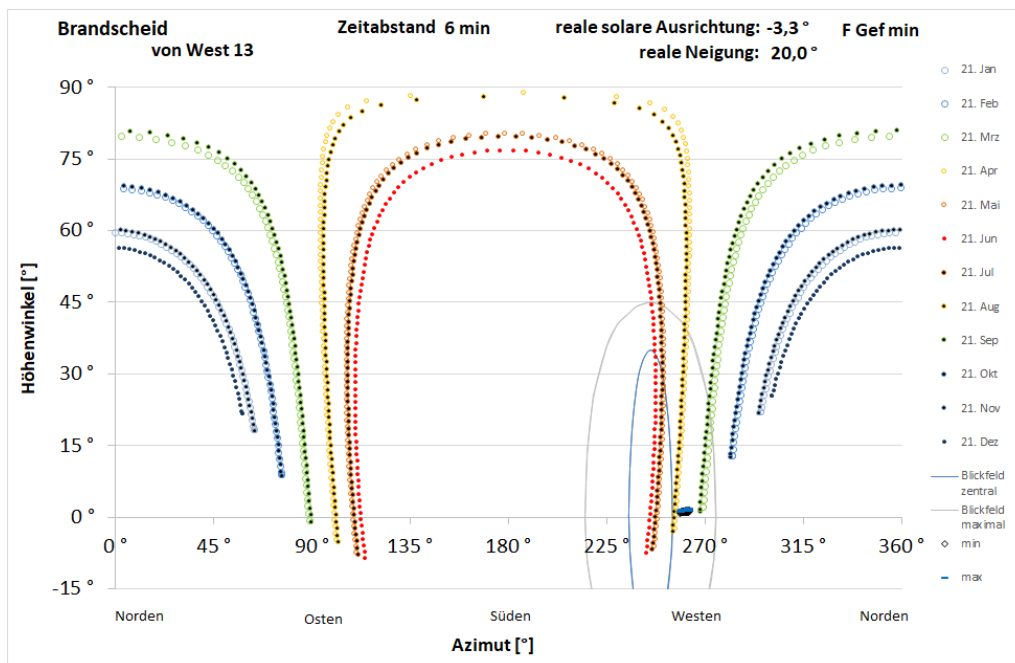


Abbildung 23: Reflexionsdiagramm für Punkt 13 von Westen und Tische auf minimal abfallendem Gelände in Feld F



5.3.5 Punkt 14 von Westen

Bei diesem Punkt treten bereits nur noch von Feld E unter der Annahme der ungünstigsten Ausrichtung aller Tische Reflexionen bei Sonnenhöhen von über 6° auf. Hierfür ergibt sich das Reflexionsdiagramm in Abbildung 24.

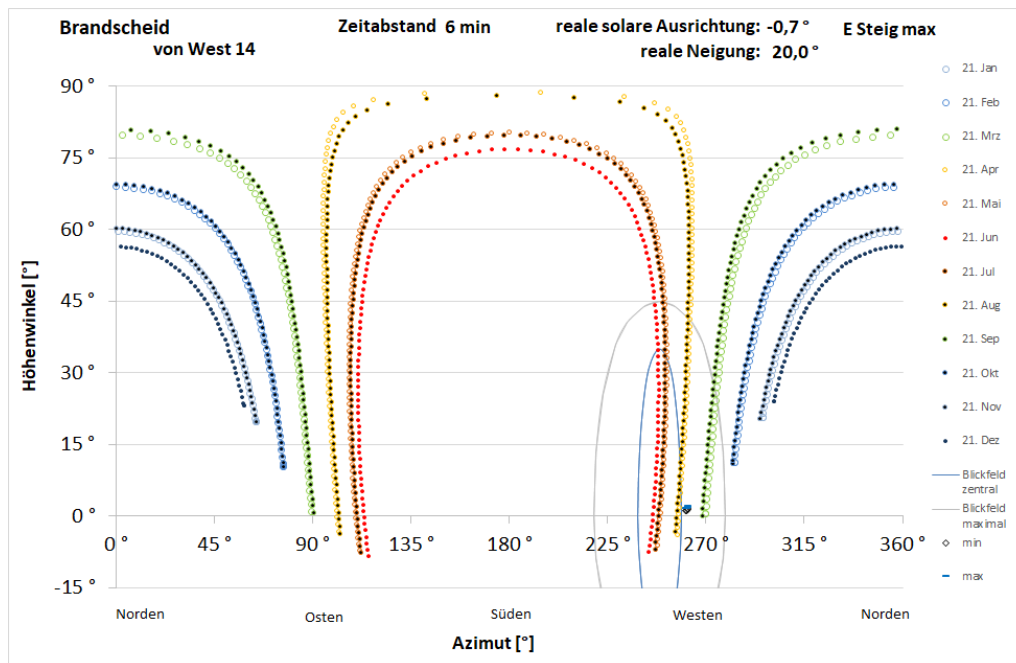


Abbildung 24: Reflexionsdiagramm für Punkt 14 von Westen und Tische auf west-östlich ansteigendem Gelände in Feld E, die Reflexionen bei Sonnenhöhen ab 6° auf Punkt 14 richten können

Die Reflexionen beginnen ab 12° rechts der Blickachse, also auch hier außerhalb des zentralen Blickfeldes, nehmen im Blickfeld maximal Höhenwinkel von $0,5^\circ$ ein und können höchstens zu einer Beleuchtung an Fahreraugen von 430 lx führen, bei gleichzeitiger Beleuchtung senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte von über 12.000 lx.

Im weiteren Verlauf sind keinerlei Reflexionen bei Sonnenhöhen über 6° mehr möglich.

5.4 Autobahn A 60 aus östlicher Richtung

Für Fahrzeugführer aus östlicher Richtung werden exemplarisch 14 Punkte untersucht, deren Lage in Abbildung 25 dokumentiert ist. Die Untersuchungsreihe beginnt 740 m vor den ersten Modulen der Anlage im Baufeld C, östlich der Autobahnbrücke, über die die Landesstraße L 12 führt. Ab hier ist frühestens mit einer Sichtbarkeit von Anlagenteilen durch Fahrzeugführer zu rechnen, da vorher der zur Brücke führende Damm eine vollständige Abschirmung bietet.

Ob und ggf. in wie weit Vegetation im folgenden Streckenverlauf abschirmend wirkt, wird erst dann geprüft, wenn die detaillierten geometrischen Berechnungen auf ein konkretes Blendrisiko hinweisen.

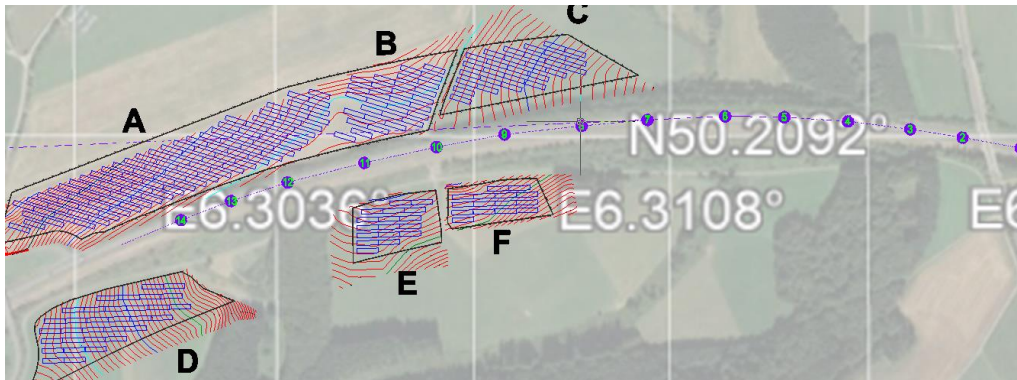


Abbildung 25: Exemplarisch untersuchte Punkte auf der Autobahn aus östlicher Richtung als lila Kreise markiert, in Fahrtrichtung grün durchnummeriert

5.4.1 Punkt 1 von Osten

Von den Feldern A – E können auch unter der Annahme der jeweils ungünstigsten Hanglage im Feld für alle Tische eines Feldes keine Reflexionen bei Sonnenständen über 6° auf Punkt 1 gerichtet sein. Nur von Feld F können unter Annahme des Maximalgefälles von drei nördlichen Tischen Reflexionen von einer höher stehenden Sonne, die damit durch Sonnenblende abgeschirmt werden kann, zu Punkt 1 gerichtet sein. Das zugehörige Reflexionsdiagramm ist in Abbildung 26 dargestellt.

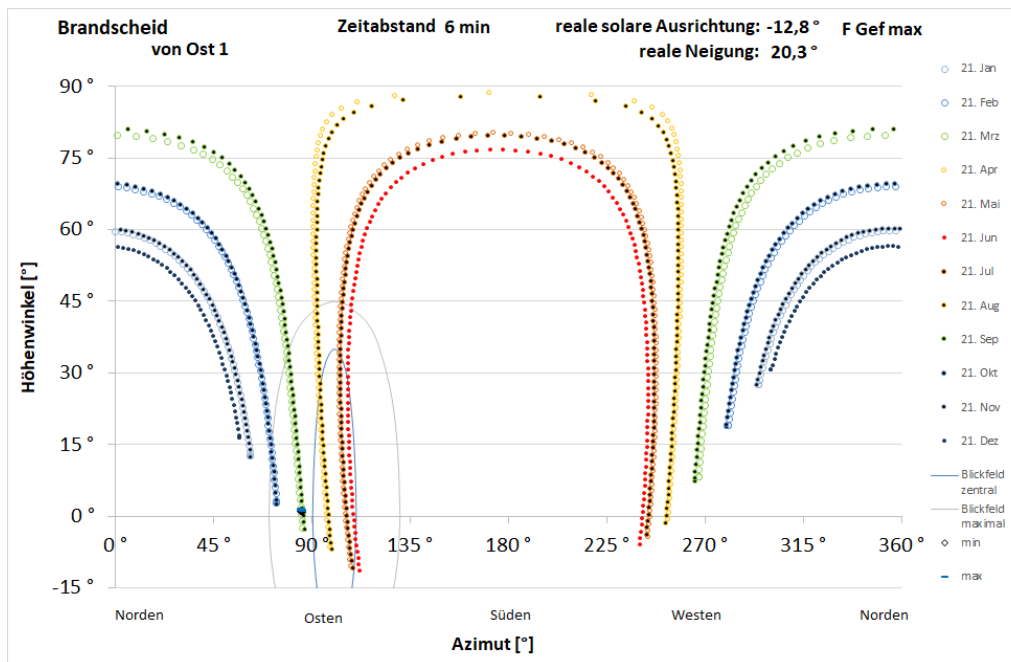


Abbildung 26: Reflexionsdiagramm für Punkt 1 von Osten und drei nördliche Tische von Feld F, die bei Sonnenständen über 6° Reflexionen zu Punkt 1 richten können, unter Annahme des maximal in Feld F auftretenden Gefälles

Es zeigt, dass diese Tische außerhalb des zentralen Blickfeldes von Fahrzeugführern liegen. Eine genauere Untersuchung ergibt den Minimalabstand zur Blickachse von $14,5^\circ$, eine maximale Winkelhöhe von $0,52^\circ$ und maximal an Fahreraugen bewirkte Beleuchtungsstärken durch die Reflexionen von 400 lx , bei gleichzeitiger Beleuchtung senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte von 12.500 lx .

5.4.2 Punkte 2 bis 4 von Osten

Für die folgende Strecke bis zum Punkt 4 ergeben sich von keinem der Felder mögliche Reflexionen bei Sonnenhöhen von über 6° .

5.4.3 Punkte 5 bis 7 von Osten

Für die folgende Strecke bis zum Punkt 7 ergeben sich ausschließlich von Feld C mögliche Reflexionen bei Sonnenhöhen von über 6° . Für Punkt 5 ergibt sich, dass nur bei den beiden nördlichsten Tischreihen Reflexionen unter diesen Sonnenstandsbedingungen auftreten können. Das entsprechende Reflexionsdiagramm ist in Abbildung 27 dargestellt. Es zeigt, dass das zentrale Blickfeld frei ist von Reflexionen. Sie beginnen erst ab $13,3^\circ$ rechts von der Blickachse. Eine genauere Untersuchung ergibt eine maximale Winkelhöhe im Blickfeld von 2° und maximal an Fahreraugen bewirkte Beleuchtungsstärken durch die Reflexionen von 650 lx , bei gleichzeitiger Beleuchtung senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte von 16.000 lx .

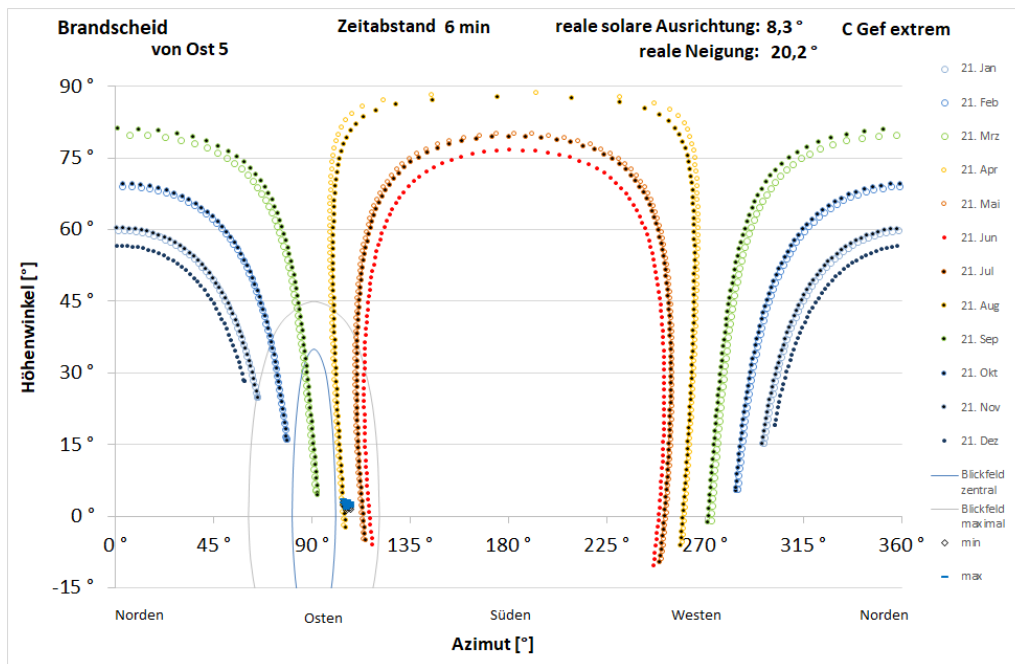


Abbildung 27: Reflexionsdiagramm für Punkt 5 von Osten und die beiden nördlichen Reihen von Feld C, die bei Sonnenständen über 6° Reflexionen zu Punkt 5 richten können, unter Annahme des maximal in Feld C auftretenden Gefälles

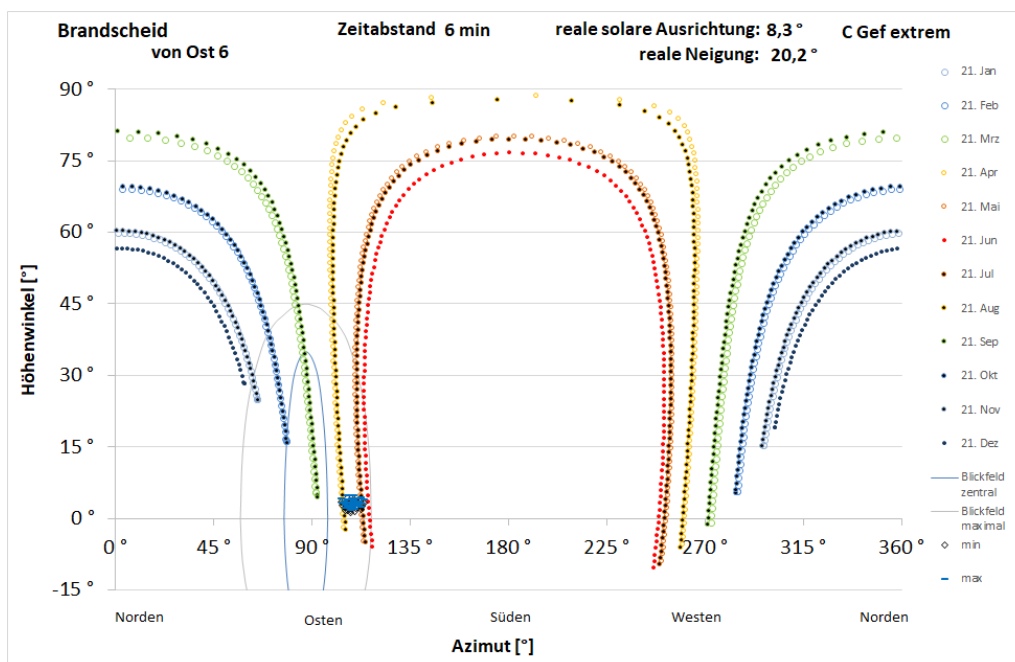


Abbildung 28: Reflexionsdiagramm für Punkt 6 von Osten und die vier nördlichen Reihen von Feld C, die bei Sonnenständen über 6° Reflexionen zu Punkt 6 richten können, unter Annahme des maximal in Feld C auftretenden Gefälles



Für Punkt 6 ergibt sich, dass die vier nördlichsten Tischreihen Reflexionen einer Sonne mit über 6° Höhenstand zu ihm richten können. Das zugehörige Reflexionsdiagramm findet sich in Abbildung 28. Der Minimalabstand der Reflexionen von der Blickachse beträgt hier 16° , die im Blickfeld eingenommene Winkelhöhe erreicht bis zu $3,5^\circ$ bei 20° Abstand zur Blickachse und nimmt bis zum Ende der möglichen Reflexionen bei 27° Abstand zur Blickachse wieder ab auf unter 2° . Die maximal an Fahreraugen bewirkte Beleuchtungsstärke durch die Reflexionen nimmt mit dem Abstand zur Blickachse kontinuierlich zu von 400 lx , bei gleichzeitiger Beleuchtung senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte von 12.000 lx , auf 1.200 lx bei gleichzeitiger Beleuchtung senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte von 25.000 lx .

An Punkt 7 können Reflexionen bei Sonnenhöhen ab 6° noch von den Reihen 4 bis 7 von Feld C am Rand des maximalen Blickfeldes auftreten. Das entsprechende Reflexionsdiagramm findet sich in Abbildung 29.

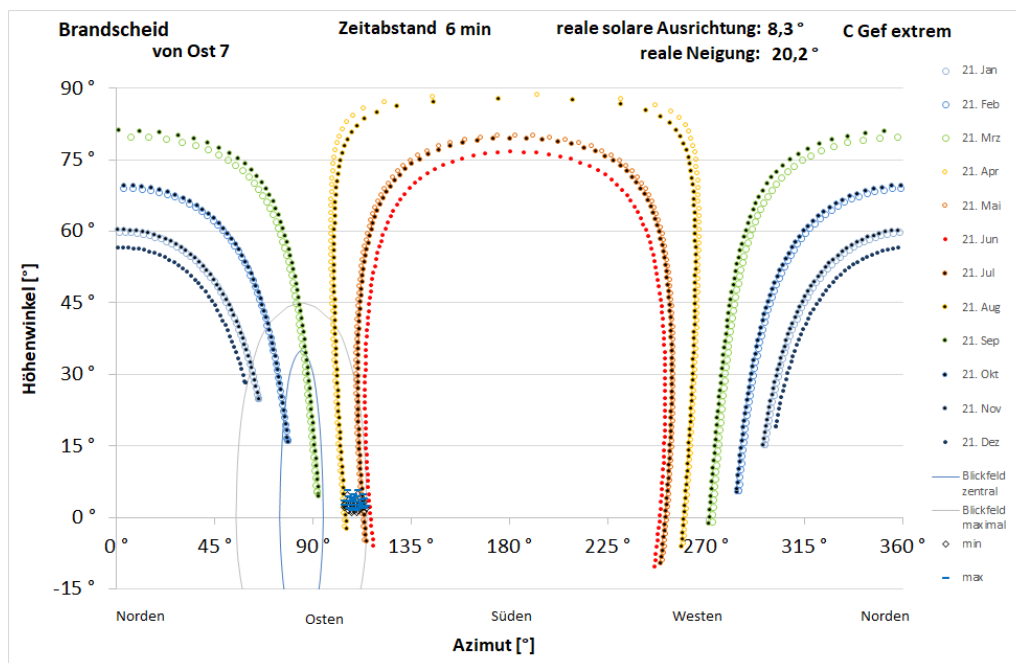


Abbildung 29: Reflexionsdiagramm für Punkt 7 von Osten und die Reihen 4 bis 7 von Feld C, die bei Sonnenständen über 6° Reflexionen zu Punkt 7 richten können, unter Annahme des maximal in Feld C auftretenden Gefälles

Eine genauere Untersuchung ergibt einen Minimalabstand zur Blickachse von $19,5^\circ$. Die maximal an Fahreraugen bewirkte Beleuchtungsstärke durch die Reflexionen nimmt mit dem Abstand zur Blickachse kontinuierlich zu von 400 lx , bei gleichzeitiger Beleuchtung senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte von 12.000 lx , auf 1.250 lx bei gleichzeitiger Beleuchtung senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte von 25.000 lx .

Die südlichen Teilfelder können ab hier keinerlei Reflexionen mehr auf die Fahrbahn richten.



5.4.4 Punkt 8 von Osten

An Punkt 8 können Reflexionen bei Sonnenhöhen ab 6° noch von den Reihen 2 bis 4 von Feld C am Rand des maximalen Blickfeldes auftreten. Das entsprechende Reflexionsdiagramm findet sich in Abbildung 30.

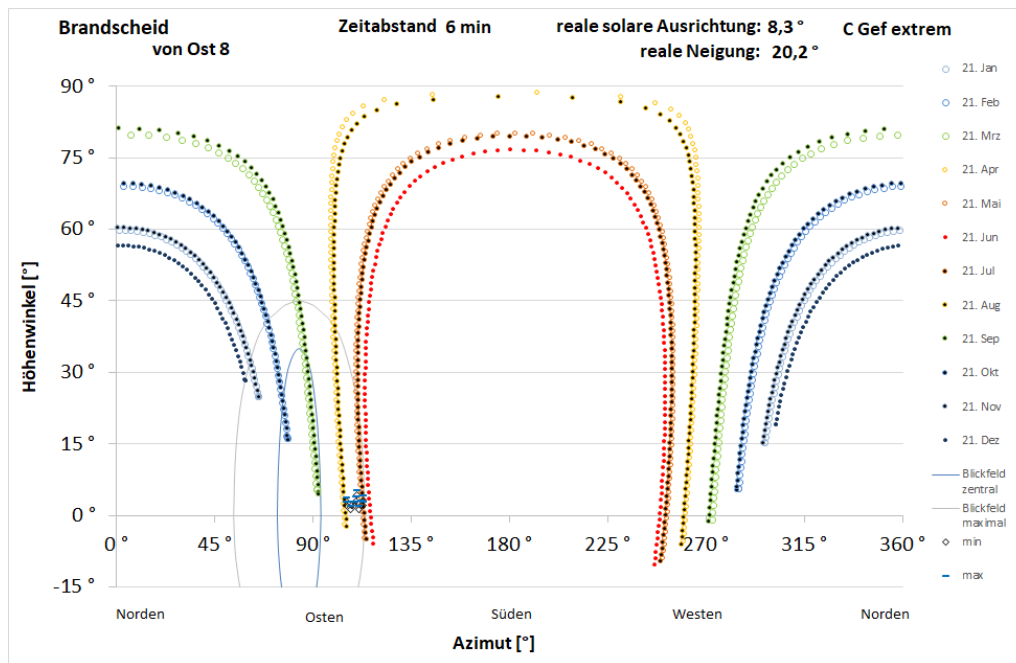


Abbildung 30: Reflexionsdiagramm für Punkt 8 von Osten und die Reihen 2 bis 4 von Feld C, die bei Sonnenständen über 6° Reflexionen zu Punkt 8 richten können, unter Annahme des maximal in Feld C auftretenden Gefälles

Eine genauere Untersuchung ergibt einen Minimalabstand zur Blickachse von $21,5^\circ$. Die maximal an Fahreraugen bewirkte Beleuchtungsstärke durch die Reflexionen nimmt mit dem Abstand zur Blickachse kontinuierlich zu von 470 lx, bei gleichzeitiger Beleuchtung senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte von 13.000 lx, auf 1.200 lx bei gleichzeitiger Beleuchtung senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte von 24.000 lx.

Zusätzlich können von den Reihen 11 und 12 von Feld B Reflexionen bei Sonnenhöhen ab 6° auf Punkt 8 gerichtet sein. Das entsprechende Reflexionsdiagramm findet sich in Abbildung 31.

Eine genauere Untersuchung ergibt einen Minimalabstand zur Blickachse von $23,6^\circ$. Die maximal an Fahreraugen bewirkte Beleuchtungsstärke durch die Reflexionen erreicht nur 650 lx, bei gleichzeitiger Beleuchtung senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte von 17.000 lx.

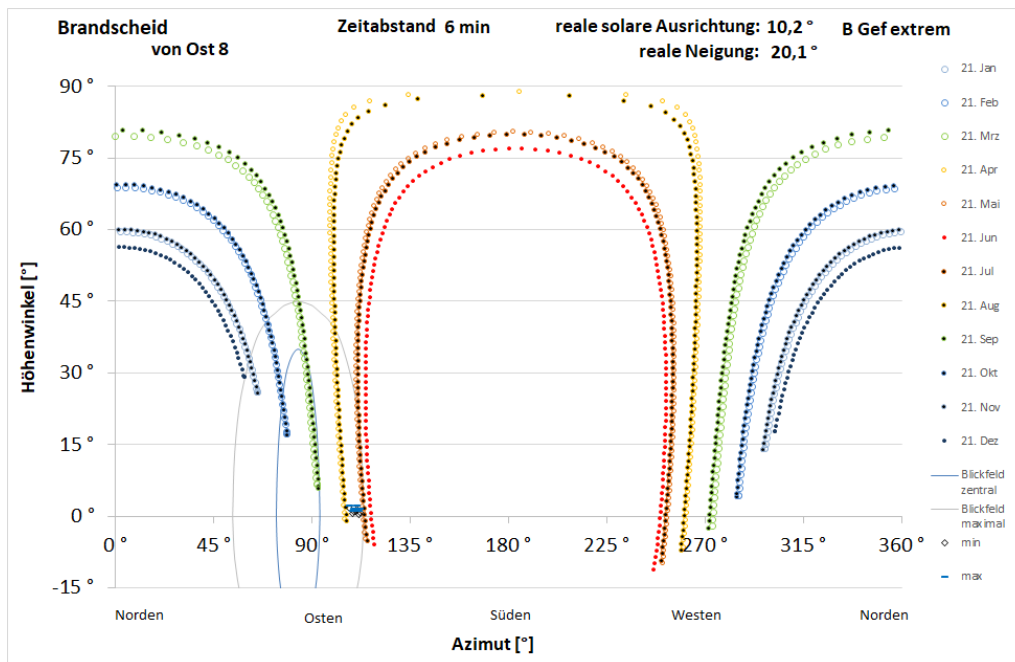


Abbildung 31: Reflexionsdiagramm für Punkt 8 von Osten und die Reihen 11 und 12 von Feld B, die bei Sonnenständen über 6° Reflexionen zu Punkt 8 richten können, unter Annahme des maximal in Feld B auftretenden Gefälles

Die übrigen Felder können, wenn überhaupt, jedenfalls keine Reflexionen von Sonnenständen über 6° zu Punkt 8 richten.

5.4.5 Punkt 9

Ab hier liegt das Feld C bereits außerhalb des maximalen Blickfeldes von Fahrzeugführern und nur die Reihen 7 und 8 von Feld B können Reflexionen bei Sonnenhöhen ab 6° zu diesem Punkt richten. Das entsprechende Reflexionsdiagramm findet sich in Abbildung 32. Der Minimalabstand zur Blickachse beträgt 26,7°, die Winkelhöhe im Blickfeld kann bis zu 3° erreichen und die von Reflexionen an Fahreraugen bewirkte Beleuchtungsstärke überschreitet 570 lx nicht, bei gleichzeitiger Beleuchtung senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte von 14.000 lx.

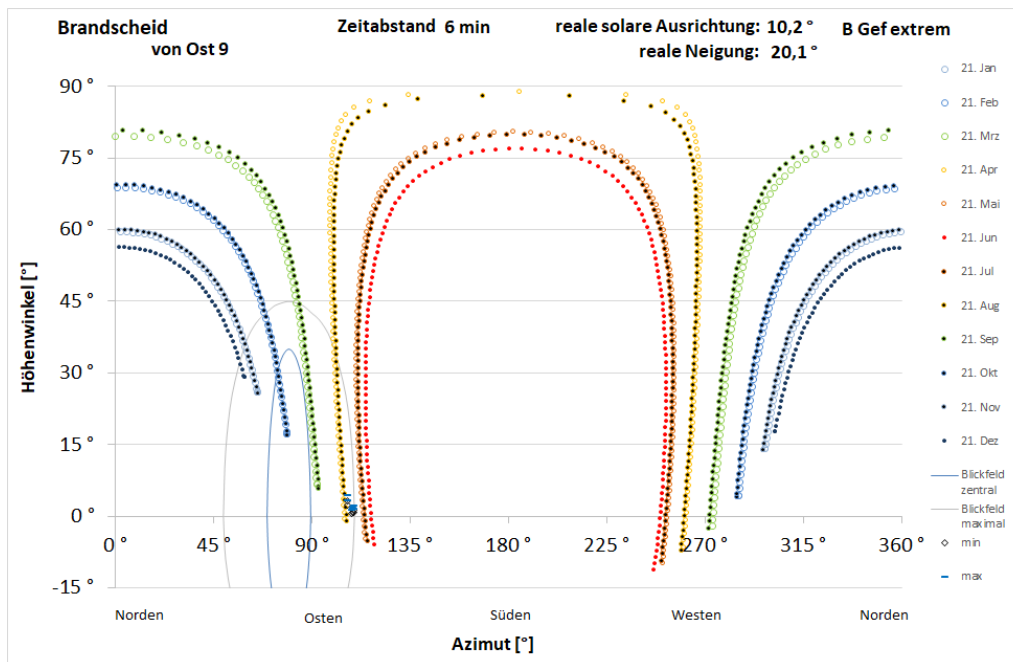


Abbildung 32: Reflexionsdiagramm für Punkt 9 von Osten und Tische der Reihen 7 und 8 von Feld B, die bei Sonnenständen über 6° Reflexionen zu Punkt 8 richten können, unter Annahme des maximal in Feld B auftretenden Gefälles

5.4.6 Punkt 10

Auch unter Annahme des stärksten in Feld B auftretenden Gefälles kann hier nur noch der östlichste Tisch der Reihe 3 Reflexionen bei Sonnenhöhen ab 6° zu Punkt 10 richten und dies auch nur noch im Abstand von 26,5° zur Blickachse mit Beleuchtungsstärken an Fahreraugen von unter 700 lx bei gleichzeitiger Beleuchtung senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte von 15.000 lx.

Von Feld A kann kein Tisch Reflexionen bei Sonnenhöhen ab 6° zu Punkt 10 richten.

5.4.7 Punkte 11 und 12

Zu diesen Punkten sind keinerlei Reflexionen von Sonnenhöhen ab 6° möglich.

5.4.8 Punkt 13

An Punkt 13 treten noch einmal Reflexionen von Sonnenständen ab 6° am Rand des maximalen Blickfeldes auf von fünf einzelnen Tischen der Reihen 10 bis 12 von Feld A. Das zugehörige Reflexionsdiagramm findet sich in Abbildung 33. Die Reflexionen beginnen ab 26° Abstand zur Blickachse, können Winkelhöhen im Blickfeld von 5,4° einnehmen, an Fahreraugen aber nur Beleuchtungsstärken von maximal 750 lx bewirken bei gleichzeitiger Beleuchtung senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte von 17.000 lx.

Im weiteren Verlauf treten keine Reflexionen mehr bei Sonnenhöhen ab 6° auf.

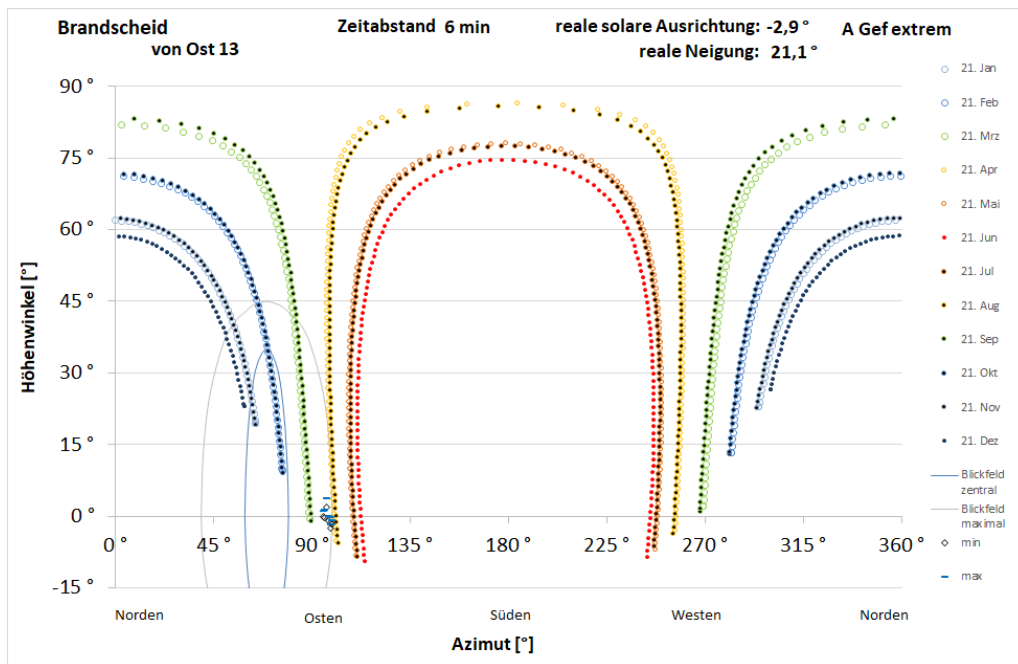


Abbildung 33: Reflexionsdiagramm für Punkt 13 von Osten und einzelne Tische der Reihen 10 bis 12 von Feld A, die bei Sonnenständen über 6° Reflexionen zu Punkt 13 richten können, unter Annahme des maximal in Feld A auftretenden Gefälles



6 Bewertung der Ergebnisse

6.1 Straßen der Umgebung

Bezüglich der Landesstraße L 12 wird festgestellt, dass in beiden Fahrtrichtungen zu keinem Zeitpunkt im Jahr Reflexionen der geplanten Anlage in das maximale Blickfeld von Verkehrsteilnehmern bis 30° zu beiden Seiten der Blickachse gerichtet sein können.

Blendrisiken können damit ausgeschlossen werden.

Andere in der Umgebung liegende Fahrwege sind im Geoportal Rheinland-Pfalz nur als Wege und nicht als Straßen gekennzeichnet. Ob es auf ihnen zu an sich blendrelevanten Reflexionen kommen kann, wird nicht geprüft, da davon auszugehen ist, dass hier nur einzelne Fahrzeuge mit mäßiger Geschwindigkeit unterwegs sind, die im Falle einer Sichtbeeinträchtigung jederzeit ihre Fahrweise den Sichtverhältnissen anpassen können, und der Aufwand zur Abwendung möglicher einzelner, selten auftretender Belästigungen etwa durch Errichtung von Blendschutzzäunen in keinem Verhältnis zu möglichen Beeinträchtigungen stehen würde.

6.2 Autobahn A 60

6.2.1 Generelle Vorbemerkung

Als potenziell blendrelevant werden Reflexionen nur dann angesehen, wenn sie von Sonnenständen ab 6° oberhalb des Horizontes ausgelöst werden. Denn bei relativ flach geneigten Reflexionsebenen, wie sie hier durchgehend bestehen, kommen Sonnenstrahlen und reflektierte Strahlen bei so niedrigen Sonnenständen aus fast derselben Azimutrichtung und eine Abschirmung der Sonne als der Hauptblendquelle mithilfe von Sonnenblenden ist unterhalb von Sonnenhöhen von 6° nicht möglich, ohne den Blick auf Hinweisschilder einzuschränken. Liegen aber aus Sicht eines Fahrzeugführers Sonne und reflektierende Fläche dicht beieinander, so bildet die Sonne die dominierende Blendquelle, die keine eigenständige Blendung durch Reflexionen ermöglicht.

Die Benennung der Punkte mit Nummern bezieht sich für die südliche Fahrbahn auf Abbildung 17 auf Seite 23 und für die nördliche Fahrbahn auf Abbildung 25 auf Seite 29.

6.2.2 Einzelbetrachtungen potenziell blendrelevanter Reflexionen

Auf der südlichen Fahrbahn für den aus Westen kommenden Verkehr treten außer bei den Punkten 12 bis 14 keinerlei blendrelevante Reflexionen auf. Auf diesem Streckenabschnitt ist das zentrale Blickfeld von Fahrzeugführern stets frei von blendrelevanten Reflexionen. Die außerhalb des zentralen Blickfelds möglichen Reflexionen nehmen im Blickfeld maximal Winkelhöhen von 0,5° ein, was anschaulich der Größe eines 10 cm hohen Spiegels in 11 m Entfernung entspricht. Eine solch kleinflächige Reflexion außerhalb des zentralen Blickfeldes kann die Sehleistung nicht beeinträchtigen, zumal die an Fahreraugen durch die Reflexionen bewirkte Beleuchtungsstärke nur



etwa einem Fünfundzwanzigstel der Beleuchtungsstärke entspricht, mit der die Sonne zur selben Zeit senkrecht bestrahlte Objekte beleuchtet.

Auf der nördlichen Fahrbahn für den aus Osten kommenden Verkehr treten außer bei den Punkten 1, 5 bis 10 und 13 keinerlei blendrelevante Reflexionen auf. In keinem der Fälle ist das zentrale Blickfeld betroffen.

An Punkt 1 sind die Beleuchtungsverhältnisse ähnlich den oben beschriebenen auf der südlichen Fahrbahn, aber mit einem noch größeren Mindestabstand zur Blickachse. Die Sehleistung kann hierdurch nicht beeinträchtigt werden.

Im Verlauf der Strecke von Punkt 5 bis Punkt 10 beginnt der Mindestabstand möglicher blendrelevanter Reflexionen zur Blickachse bei $13,3^\circ$ und nimmt kontinuierlich zu bis $26,5^\circ$. Dabei treten auch großflächigere Reflexionen auf, die an Fahreraugen bewirkte Beleuchtungsstärke beginnt aber im Bereich unter 20° Abstand zur Blickachse immer mit Werten deutlich unter 1.000 lx und steigert sich auf maximal 1.250 lx erst im Bereich ab 20° zur Blickachse. In allen Fällen übersteigt die Beleuchtung senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte das 20-fache der durch die Reflexionen an Fahreraugen bewirkten Beleuchtungsstärke.

Diese Beleuchtungsverhältnisse im äußeren Bereich des Blickfeldes beeinträchtigen aber die Sehleistung von Fahrzeugführern nicht, zumal sich die Blickrichtung im Streckenverlauf zunehmend von den reflektierenden Flächen abwendet.

Die an Punkt 13 noch einmal möglichen Reflexionen können zwar mit über 5° eine beachtliche Höhe im Blickfeld einnehmen, liegen aber mit 26° Abstand zur Blickachse soweit am äußersten Rand des Blickfeldes, dass sie keinen Einfluss auf die Sehleistung haben, zumal die an Fahreraugen bewirkte Beleuchtungsstärke weit unter 1.000 lx liegt.

6.3 Zusammenfassung

Im Ergebnis wird festgestellt, dass von der geplanten Anlage keine Blendrisiken für den Straßenverkehr ausgehen und zusätzliche Blendschutzmaßnahmen damit nicht erforderlich sind.



7 Verwendete Materialien

7.1 Dokumente vom Auftraggeber

- ▶ Belegungsplan mit Höhenlinien als Dateien
20201111_Belegungsplan_Brandscheid_Nordfelder_gedreht_3reihig hochkant_430Wp.dwg und
20201111_Belegungsplan_Brandscheid_Nordfelder_gedreht_3reihig hochkant_430Wp.pdf
- ▶ Vermessene Höhen der L 12 als Dateien solarpark_brandscheid_l12.dwg,
solarpark_brandscheid_l12.dxf und solarpark_brandscheid_l12.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 (5 Teilfelder, rot schraffiert) südlich von Brandscheid beiderseits der Autobahn A 60 auf Hintergrund von Google Earth Pro; östlich in einiger Entfernung die Landesstraße L 12 mit weitgehend nord-südlichem Verlauf4
- Abbildung 2: Gegenstände auf der Sichtachse zur Blendquelle sind nicht mehr wahrnehmbar6
- 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 Horizont8
- Abbildung 4: Auswirkung des Einfallwinkels auf den Transmissionsgrad für Modulgläser10
- Abbildung 5: Belegungsplan, Modultische (blau) und Feldbenennung (schwarz)11
- Abbildung 6: Seitlicher Schnitt durch Modulreihen auf ebenem Untergrund11
- Abbildung 7: Belegung des nordwestlichen Baufeldes A mit Höhenlinien im 0,5-m-Abstand (rot), farblich hervorgehoben die Linien für 495 m (hellgrün), 490 m (schwarz), 485 m (blau) und 480 m (zyan) 12
- Abbildung 8: Belegung des mittleren Baufeldes B im Norden mit Höhenlinien im 0,5-m-Abstand (rot), farblich hervorgehoben die Linie 480 m (zyan)..... 13
- Abbildung 9: Belegung des östlichen Baufeldes C im Norden mit Höhenlinien im 0,5-m-Abstand (rot), farblich hervorgehoben die Linien für 480 m (zyan) und 475 m (lila).....14
- Abbildung 10: Belegung des westlichen Baufeldes D im Süden mit Höhenlinien im 0,5-m-Abstand (rot), farblich hervorgehoben die Linien für 480 m (zyan), 475 m (lila) und 470 m (dunkelgrün)14
- Abbildung 11: Belegung des mittleren und östlichen Baufeldes E und F im Süden mit Höhenlinien im 0,5-m-Abstand (rot), farblich hervorgehoben die Linien für 475 m (lila) und 470 m (dunkelgrün)....15
- Abbildung 12: Darstellung des Reflexionsstrahls anhand von Azimut und Höhenwinkel wie im Reflexionsdiagramm verwendet und Beschreibung des Abstandswinkels zwischen Blickrichtungen zur Sonne und zum Blendpunkt..... 18
- Abbildung 13: Reflexionsdiagramm aus Sicht eines beliebigen potenziellen Blendpunktes durchschnittlich orientierter Module in Baufeld A mit einer Ausrichtung von $5,5^\circ$ und einer Modulneigung von $20,4^\circ$ am Standort der Anlage; waagrecht aufgetragen sind die Azimutwinkel von Norden (0°) über Osten (90°), Süden (180°) nach Westen (270°), senkrecht die Höhenwinkel...19
- Abbildung 14: Reflexionsdiagramme für minimale (links) und maximale (rechts) Ausrichtung innerhalb der nördlichen Baufelder A (erste Zeile), B (mittlere Zeile) und C (untere Zeile)..... 20
- Abbildung 15: Reflexionsdiagramme für minimale (links) und maximale (rechts) Ausrichtung innerhalb der südlichen Baufelder D (erste Zeile), E (mittlere Zeile) und F (untere Zeile)21



Abbildung 16: Beispiel für Bandbreite möglicher Höhenwinkel	22
Abbildung 17: Exemplarisch untersuchte Punkte auf der Autobahn aus westlicher Richtung als lila Kreise markiert, in Fahrtrichtung grün durchnummeriert	23
Abbildung 18: Reflexionsdiagramm für Punkt 11 von Westen für minimales Gefälle aller Tische von Baufeld A	24
Abbildung 19: Reflexionsdiagramm für Punkt 11 von Westen für extremes Gefälle aller Tische von Baufeld A	24
Abbildung 20: Reflexionsdiagramme für Punkt 11 von Westen für West-Ost-Anstieg (links) und extremes Gefälle (rechts) aller Tische von Baufeld B	25
Abbildung 21: Reflexionsdiagramm für Punkt 12 von Westen und Tische auf west-östlich ansteigendem Gelände in Feld E.....	26
Abbildung 22: Reflexionsdiagramm für Punkt 13 von Westen und Tische auf west-östlich ansteigendem Gelände in Feld E.....	27
Abbildung 23: Reflexionsdiagramm für Punkt 13 von Westen und Tische auf minimal abfallendem Gelände in Feld F	27
Abbildung 24: Reflexionsdiagramm für Punkt 14 von Westen und Tische auf west-östlich ansteigendem Gelände in Feld E, die Reflexionen bei Sonnenhöhen ab 6° auf Punkt 14 richten können	28
Abbildung 25: Exemplarisch untersuchte Punkte auf der Autobahn aus östlicher Richtung als lila Kreise markiert, in Fahrtrichtung grün durchnummeriert	29
Abbildung 26: Reflexionsdiagramm für Punkt 1 von Osten und drei nördliche Tische von Feld F, die bei Sonnenständen über 6° Reflexionen zu Punkt 1 richten können, unter Annahme des maximal in Feld F auftretenden Gefälles	30
Abbildung 27: Reflexionsdiagramm für Punkt 5 von Osten und die beiden nördlichen Reihen von Feld C, die bei Sonnenständen über 6° Reflexionen zu Punkt 5 richten können, unter Annahme des maximal in Feld C auftretenden Gefälles	31
Abbildung 28: Reflexionsdiagramm für Punkt 6 von Osten und die vier nördlichen Reihen von Feld C, die bei Sonnenständen über 6° Reflexionen zu Punkt 6 richten können, unter Annahme des maximal in Feld C auftretenden Gefälles	31
Abbildung 29: Reflexionsdiagramm für Punkt 7 von Osten und die Reihen 4 bis 7 von Feld C, die bei Sonnenständen über 6° Reflexionen zu Punkt 7 richten können, unter Annahme des maximal in Feld C auftretenden Gefälles	32
Abbildung 30: Reflexionsdiagramm für Punkt 8 von Osten und die Reihen 2 bis 4 von Feld C, die bei Sonnenständen über 6° Reflexionen zu Punkt 8 richten können, unter Annahme des maximal in Feld C auftretenden Gefälles	33



Abbildung 31: Reflexionsdiagramm für Punkt 8 von Osten und die Reihen 11 und 12 von Feld B, die bei Sonnenständen über 6° Reflexionen zu Punkt 8 richten können, unter Annahme des maximal in Feld B auftretenden Gefälles 34

Abbildung 32: Reflexionsdiagramm für Punkt 9 von Osten und Tische der Reihen 7 und 8 von Feld B, die bei Sonnenständen über 6° Reflexionen zu Punkt 8 richten können, unter Annahme des maximal in Feld B auftretenden Gefälles..... 35

Abbildung 33: Reflexionsdiagramm für Punkt 13 von Osten und einzelne Tische der Reihen 10 bis 12 von Feld A, die bei Sonnenständen über 6° Reflexionen zu Punkt 13 richten können, unter Annahme des maximal in Feld A auftretenden Gefälles 36



9 Tabellenverzeichnis

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

Tabelle 2: Zusammenstellung der Extremwerte für Tischneigung in West-Ost-Richtung und der sich daraus zusammen mit der Planausrichtung ergebenden realen Ausrichtung und Neigung16