

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

## ► **Neuburxdorf**

# *Analyse der Reflexionswirkung einer Photovoltaikanlage*

**Auftraggeber:**

ASG Engineering GmbH  
Frau Mandy Wagenknecht  
Arensdorfer Weg 2  
06366 Köthen

**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: 10.02.2020



Projektnummer: P19323/v.1



## Inhalt

1	Zweck und Gegenstand des Gutachtens .....	5
2	Zusammenfassung der Ergebnisse .....	6
3	Einleitung .....	7
3.1	Gesetzliche Grundlagen .....	7
3.1.1	Nutzung erneuerbarer Energien als ein explizites Ziel von Baurecht und Raumordnung .....	7
3.1.2	Immissionsschutz .....	8
3.2	Blendung .....	9
3.2.1	Blendung im Wohnbereich .....	9
3.2.2	Blendung im Verkehr .....	10
3.3	Entstehung von Reflexionen bei Photovoltaikanlagen .....	13
3.4	Verwendete Azimut-Winkelangaben .....	14
4	Situation vor Ort .....	15
4.1	Die Photovoltaikanlage .....	15
4.2	Die Bahnlinie .....	16
4.3	Wohnhäuser auf dem Grundstück An der Hauptstraße 28 .....	16
5	Berechnungen .....	18
5.1	Methodik der Berechnung .....	18
5.1.1	Geometrische Aspekte .....	18
5.1.2	Lichttechnische Aspekte .....	20
5.2	Bahnlinie aus östlicher Richtung .....	21
5.2.1	Punkt 1 von Osten .....	21
5.2.2	Punkt 2 von Osten .....	22
5.2.3	Punkt 3 von Osten .....	23
5.2.4	Punkt 4 von Osten .....	24
5.2.5	Punkt 5 von Osten .....	25
5.2.6	Punkt 6 von Osten .....	26



5.2.7	Punkt 7 von Osten.....	27
5.2.8	Punkt 8 von Osten.....	28
5.2.9	Punkt 9 von Osten.....	29
5.2.10	Punkt 10 von Osten.....	30
5.2.11	Punkt 11 von Osten.....	31
5.2.12	Punkt 12 von Osten.....	32
5.2.13	Punkt 13 von Osten.....	33
5.3	Bahnlinie aus westlicher Richtung.....	34
5.3.1	Punkt 1 von Westen.....	35
5.3.2	Punkt 2 von Westen.....	35
5.3.3	Punkt 3 von Westen.....	36
5.3.4	Punkt 4 von Westen.....	37
5.3.5	Punkt 5 von Westen.....	38
5.3.6	Punkt 6 von Westen.....	39
5.3.7	Punkt 7 von Westen.....	40
5.3.8	Punkt 8 von Westen.....	41
5.3.9	Punkt 9 von Westen.....	42
5.3.10	Punkt 10 von Westen.....	43
5.3.11	Punkt 11 von Westen.....	44
5.3.12	Punkt 12 von Westen.....	45
5.4	Wohnhäuser.....	46
6	Bewertung der Ergebnisse.....	48
6.1	Wohnhäuser östlich der Anlage.....	48
6.2	Bahnlinie.....	48
7	Blendschutzmaßnahmen.....	50
8	Verwendete Materialien.....	52
8.1	Dokumente vom Auftraggeber.....	52
8.2	Literatur.....	52
9	Abbildungsverzeichnis.....	53

10 Tabellenverzeichnis ..... 56





## 1 Zweck und Gegenstand des Gutachtens

Es soll untersucht werden, ob von den Modulen der geplanten Photovoltaikanlage westlich von Neuburxdorf und nördlich der Bahnlinie, die nach Brottewitz und Mühlberg/Elbe führt, Sonnenlicht auf die Bahnlinie oder die nächstgelegenen Häuser östlich der Anlage auf dem Grundstück An der Hauptstraße 28 reflektiert werden kann und ob dadurch gegebenenfalls störende Blendwirkungen auftreten können. Die Lage der Anlage und der Häuser 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, ergänzt durch Angaben aus Google Earth Pro.



Abbildung 1: Lage der Modulreihen (schwarz) nördlich der Bahnlinie und der zu untersuchenden Häuser im Osten (rot umkreist); bestehende und nicht zu untersuchende PV-Anlagen südlich der Bahnlinie



## 2 Zusammenfassung der Ergebnisse

Es wird festgestellt, dass die nächstgelegenen Wohnhäuser östlich der Anlage auf den Grundstücken An der Hauptstraße 25 und 28 nicht von Lichtimmissionen im Sinne der LAI-Richtlinie betroffen sein können.

Weiterhin wird festgestellt, dass Zugführer auf der südlich verlaufenden Bahnlinie nur in zwei Bereichen durch Reflexionen in ihrer Sicht beeinträchtigt werden können. Blendschutzmaßnahmen, die diese möglichen Beeinträchtigungen vermeiden können, sind detailliert in Kapitel 7 beschrieben.



## 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 berechnigte Interessenten nach dem Informationsfreiheitsgesetz. Eine Weitergabe an sonstige Dritte oder eine Veröffentlichung des Berichtes unabhängig vom B-Plan als Ganzes oder in Teilen ist nur in Absprache mit der Solarpraxis Engineering GmbH zulässig.

### 3.1 Gesetzliche Grundlagen

#### 3.1.1 Nutzung erneuerbarer Energien als ein explizites Ziel von Baurecht und Raumordnung

Schon vor der Havarie in Fukushima enthielten die Grundsätze der Raumordnung in §2 Abs. 1 Raumordnungsgesetz (ROG) unter Nr. 1 die Sicherung der nachhaltigen Daseinsvorsorge und der Entwicklungspotenziale sowie den Ressourcenschutz, und unter Nr. 3 die Versorgung mit Infrastrukturen der Daseinsvorsorge. Unter Nr. 6 wird explizit genannt: "Den räumlichen Erfordernissen des Klimaschutzes ist Rechnung zu tragen, sowohl durch Maßnahmen, die dem Klimawandel entgegenwirken, als auch durch solche, die der Anpassung an den Klimawandel dienen. Dabei sind die räumlichen Voraussetzungen für den Ausbau der erneuerbaren Energien, für eine sparsame Energienutzung sowie für den Erhalt und die Entwicklung natürlicher Senken für klimaschädliche Stoffe und für die Einlagerung dieser Stoffe zu schaffen."

In §1 Abs. 6 Nr. 7 Buchstabe f BauGB<sup>1</sup> ist die Nutzung erneuerbarer Energien ebenfalls explizit aufgeführt als ein öffentlicher Belang, der besonders zu berücksichtigen ist.

Nach den dramatischen Ereignissen in Japan im März 2011 und dem von weiten Teilen der Bevölkerung mitgetragenen Entschluss der Regierung, aus der nuklearen Stromerzeugung baldmöglichst auszusteigen und umgehend die Weichen für eine nachhaltigere Energie- und damit auch Stromversorgung zu stellen, basierend auf unbefristet verfügbaren erneuerbaren Energiequellen, wurde das Gesetz zur Stärkung der klimagerechten Entwicklung in den Städten und Gemeinden (BGBI. I S. 1509) erlassen, das Städten und Gemeinden eine stärkere Rolle in der klimagerechten Bodennutzung zuschreibt. Zu diesem Zweck wurden durch dieses Gesetz Festsetzungsmöglichkeiten zum Einsatz und zur Nutzung erneuerbarer Energien ins Baugesetz eingefügt und die Nutzung insbesondere auch von Photovoltaikanlagen an oder auf Gebäuden erleichtert.

U.a. wurden

---

<sup>1</sup> Baugesetzbuch



- ▶ in §5 Abs. 2 Nr. 2 BauGB die Ausstattung des Gemeindegebietes mit Anlagen zur dezentralen Stromerzeugung in die möglichen Inhalte eines Flächennutzungsplans explizit aufgenommen,
- ▶ in §9 Abs. 1 Nrn. 12 und 23 Festsetzungsmöglichkeiten im Bebauungsplan aufgenommen für Flächen und Gebiete, die der dezentralen Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien dienen sollen,
- ▶ in §35 Abs. 1 als Nr. 8 eine Privilegierung von gebäudeintegrierten Solaranlagen im Außenbereich aufgenommen.

In der Gesetzesbegründung wird als Ziel genannt, den Handlungsspielraum der Gemeinden zu erweitern. Als beabsichtigte Gesetzesfolge wird unter dem Punkt 5. Nachhaltigkeit ausgeführt: "Das Gesetz weitet den Planungsspielraum der Gemeinden zur Stärkung der klimagerechten Stadtentwicklung aus. Es fördert die Nutzung erneuerbarer Energien, spart Rohstoffe und Ressourcen und unterstützt die schnellere Erreichung der Klimaschutzziele Deutschlands. Erneuerbare Energien reduzieren den Verbrauch fossiler Brennstoffe und tragen damit zur Verbesserung der Luftqualität bei. Die Nutzung erneuerbarer Energien und die damit verbundene Schonung von Rohstoffen, die damit künftigen Generationen erhalten bleiben, tragen dazu bei, dass diese Generation ihre Aufgaben selbst löst und sie nicht kommenden Generationen aufbürdet."

War also schon vor dieser Gesetzesänderung die verstärkte Nutzung erneuerbarer Energie als politische Zielsetzung in einer Abwägung gem. §1 Abs. 7 BauGB zu berücksichtigen, so ist nunmehr die politische Verantwortung der Städte und Gemeinden zur Forcierung dieser Politik hervorgehoben.

### 3.1.2 Immissionsschutz

Bei der Bauleitplanung sind im Rahmen der gem. §1 Abs. 7 BauGB zwingend vorgeschriebenen Abwägung von öffentlichen und privaten Belangen auch Lichtreflexionen als Immissionen zu betrachten und zu bewerten.

§3 Abs. 1 BImSchG<sup>2</sup> definiert: Schädliche Umwelteinwirkungen im Sinne dieses Gesetzes sind Immissionen, die nach Art, Ausmaß oder Dauer geeignet sind, Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit oder die Nachbarschaft herbeizuführen.

§3 Abs. 2 BImSchG erklärt weiterhin: Immissionen im Sinne dieses Gesetzes sind auf Menschen, Tiere und Pflanzen, den Boden, das Wasser, die Atmosphäre sowie Kultur- und sonstige Sachgüter einwirkende Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen, Licht, Wärme, Strahlen und ähnliche Umwelteinwirkungen.

Anlagen im Sinne des §3 Abs. 5 Nr. 1 BImSchG, zu denen auch Photovoltaikanlagen gehören, sind nach §5 Abs. 1 Nr. 1 und 2 (im Falle genehmigungsbedürftiger Anlagen) bzw. nach §22 Abs. 1 Nr. 1 (im Falle nicht genehmigungsbedürftiger Anlagen) so zu errichten und zu betreiben, dass schädliche Umwelteinwirkungen verhindert werden, die nach dem Stand der Technik vermeidbar sind.

---

<sup>2</sup> Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG)



In diesem Sinn ist von Photovoltaikanlagen reflektiertes Sonnenlicht eine Immission, die belästigend wirken kann. Es gibt aber keine gesetzlichen Vorschriften zur Bestimmung der immissionsschutzrechtlichen Erheblichkeitsgrenzen.

## 3.2 Blendung

Blendung ist in der DIN EN 12665 als "unangenehmer Sehzustand durch ungünstige Leuchtdichte- oder zu hohe Kontraste" definiert. Die Leuchtdichte ist als Lichtstärke pro Fläche definiert ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ) und stellt ein fotometrisches Maß für die von Menschen empfundene Helligkeit dar. Zu große Leuchtdichteunterschiede oder ungünstige Leuchtdichteverteilungen im Gesichtsfeld können zu einem unangenehmen Gefühl (psychologische Blendung) oder einer tatsächlich messbaren Herabsetzung der Sehleistung (physiologische Blendung) führen. Ab einer Leuchtdichte von  $10^4$  bis  $1,6 \cdot 10^6$   $\text{cd}/\text{m}^2$  wird die Adaptationsfähigkeit des menschlichen Auges überschritten. Dieser Zustand wird als Absolutblendung bezeichnet.<sup>3</sup> 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.<sup>4</sup>



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

### 3.2.1 Blendung im Wohnbereich

Das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU) hat bereits vor über 10 Jahren damit begonnen, in Ermangelung von zeitlichen Grenzwerten für Sonnenlichtreflexionen von Photovoltaikanlagen, Grenzwerte aus einem anderen Regelungsbereich, der sogenannten Schattenwurf-Richtlinie für Windenergieanlagen (WEA), zu übernehmen und die Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für

---

<sup>3</sup> Wittlich 2010

<sup>4</sup> Es wird an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die Wahrnehmung des menschlichen Auges nicht direkt mit einer Fotografie vergleichbar ist. Die hier gezeigten Aufnahmen dienen ausschließlich der Verdeutlichung des Sachverhaltes.



Immissionsschutz (LAI) empfahl seit 2012<sup>5</sup> bundesweit, diese zeitlichen Grenzwerte als ersten Anhaltspunkt für die Zumutbarkeit im Wohn- und Arbeitsbereich zu nutzen. Danach liegt ein Hinweis auf Unzumutbarkeit vor, wenn ein Wohn- oder Arbeitsbereich länger als 30 Minuten am Tag oder kumuliert mehr als 30 Stunden im Jahr von Lichtimmissionen einer PVA getroffen werden kann. Zur Berechnung wird dabei ein vereinfachtes Verfahren vorgegeben, bei dem nur solche Sonnenlicht-Reflexionen als Immissionen zählen, die einen Abstandswinkel von mehr als 10° zur Sonne haben, und bei dem die Sonne punktförmig angenommen wird. Aufgrund der realen Größe der Sonnenscheibe mit einem Durchmesser von 0,56° können real auftretende Reflexionen etwas länger andauern, als die schematische Berechnung ergibt.

In der Rechtsprechung wird die Zumutbarkeit von Lichtimmissionen nach der durch die Gebietsart und die tatsächlichen Verhältnisse zu bestimmenden Schutzwürdigkeit und Schutzbedürftigkeit der betroffenen Nachbarschaft beurteilt, wobei wertende Elemente wie Herkömmlichkeit, soziale Adäquanz und allgemeine Akzeptanz einzubeziehen sind. Zeitdauern von 45 Minuten werden keinesfalls grundsätzlich als unzumutbar angesehen (LG Frankfurt / Main 2/12 O 322/06; OLG Stuttgart 3 U 46/13).<sup>6</sup>

### 3.2.2 Blendung im Verkehr

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

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

---

<sup>5</sup> LAI 2012

<sup>6</sup> Fischbach u. a. 2014



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

Außerhalb des Gebrauchsblickfeldes werden im menschlichen binokularen Blickfeld Objekte nicht unmittelbar wahrgenommen, vielmehr wird das Umgebungsbild im Kurzzeitgedächtnis eingefroren und nur bei starken Veränderungen bewusst erneuert. Bei sog. „Sehaufgaben“ („visual tasks“), z.B. Autofahren, Arbeit am Computer etc., verengt sich dieses bewusst wahrgenommene Blickfeld weiter. Hier werden Änderungen im Umgebungsblickfeld bis zu einer Blickrichtungsänderung von  $10^\circ$  nicht aktiv wahrgenommen und vom Gehirn verarbeitet. Dies entspricht einem bewusst wahrgenommenen Blickfeld von  $20^\circ$  auf der horizontalen Ebene.<sup>7 8</sup>

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	$\pm 30^\circ$	$+30^\circ, -45^\circ$

<sup>7</sup> Reidenbach u. a. 2008

<sup>8</sup> Kaufmann 1986

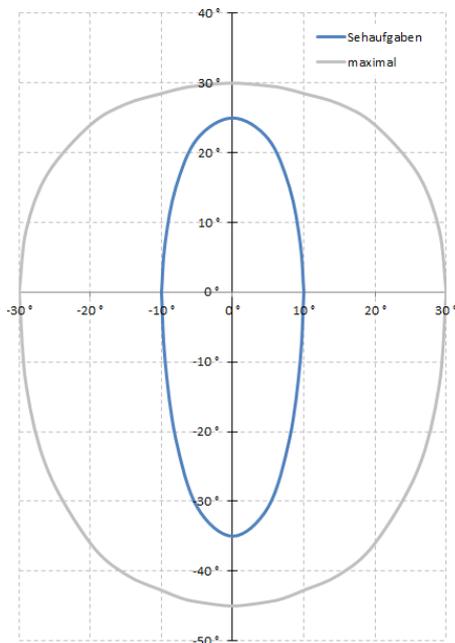


Abbildung 3: Blickfelder von Tabelle 1; der Achsenschnittpunkt 0°/0° stellt dabei einen Punkt auf der Blickachse dar, auf den die Augen fokussieren, und nicht notwendigerweise einen Punkt auf dem Horizont

Für die Beurteilung des Bereichs, in dem auftretende Reflexion als Blendung empfunden wird, wird typischerweise das maximale Gebrauchsblickfeld mit je 30° 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 farbmpfindlichen 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.<sup>9</sup> Bei Einmündungen oder Kreuzungen muss ein größerer Blickbereich frei von Blendrisiken sein.

### 3.3 Entstehung von Reflexionen bei Photovoltaikanlagen

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

Komponenten, an denen ggf. relevante direkte Reflexionen entstehen können, sind in erster Linie die Deckgläser der PV-Module. Daneben bewirken Reflexionen an inneren Grenzflächen von Einbettmaterialien oder Rückseitenfolien sowie die Texturierung der Oberflächen, dass auch Anteile diffuser Reflexion auftreten können. Dies kann zu Bündelaufweitung und Versatz der ideal gerichteten Reflexionsstrahlen führen.<sup>10</sup>

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.

---

<sup>9</sup> Empfehlungen der Strahlenschutzkommission 2006

<sup>10</sup> Fischbach u.a. 2014

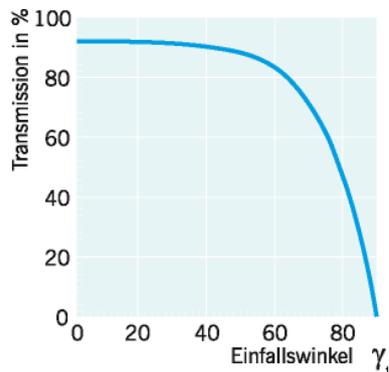


Abbildung 4: Auswirkung des Einfallswinkels auf den Transmissionsgrad für Modulgläser

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

Da die Leuchtdichte der Sonne bei klarer Sicht bereits kurz über dem Horizont  $6 \cdot 10^6 \text{ cd/m}^2$  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 ( $>10^4 \text{ cd/m}^2$ ) bei Beobachtern gerechnet werden.

### 3.4 Verwendete Azimut-Winkelangaben

Allgemein werden in der Solartechnik Azimutwinkel von Süden ( $=0^\circ$ ) aus angegeben, so dass üblicherweise eine Ostausrichtung mit  $-90^\circ$  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 =  $0^\circ$ , Osten =  $90^\circ$ , Süden =  $180^\circ$  und Westen =  $270^\circ$

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 Anlage soll parallel zur Bahnlinie auf einem Gelände errichtet werden, das nur geringfügige Höhenunterschiede zwischen 89 m ü. NN und 90,9 m ü. NN aufweist. Die Modulreihen sind durch drei Gänge unterbrochen, so dass sich vier Teilfelder ergeben, die in Abbildung 5 mit den Buchstaben A bis D gekennzeichnet sind. Wird der vorgelegte Belegungsplan auf Google Earth Hintergrund eingenordet, ergibt sich eine Planausrichtung von  $-12,6^\circ$ .

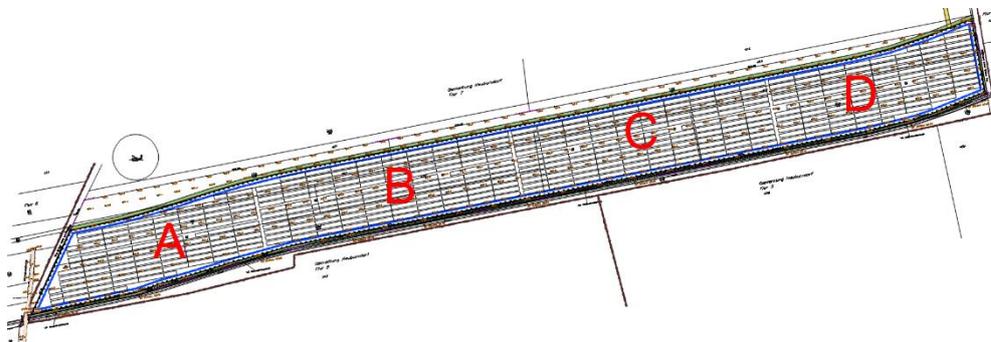


Abbildung 5: Belegungsplan (Modultische schwarz); Baufeldbezeichnungen rot

Die Modultischneigung soll  $15^\circ$  betragen, die Unterkante der Module liegt 0,8 m über dem Boden und die Oberkante erreicht 2,41 m, wie der seitliche Schnitt durch die Reihen in Abbildung 6 zeigt.

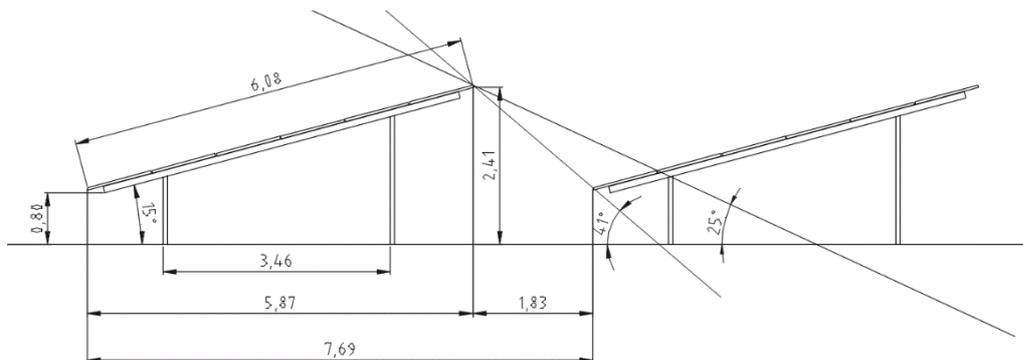


Abbildung 6: Seitlicher Schnitt durch zwei Modultischreihen

Bedingt durch die leichten Geländeunebenheiten variiert die sich ergebende reale Ausrichtung der reflektierenden Ebene zwischen  $-9,3^\circ$  und  $-16,1^\circ$ .



## 4.2 Die Bahnlinie

Die Bahnlinie verläuft weitgehend gradlinig an der Anlage vorbei mit einem kleinen Versatz unterhalb von Teilfeld A und einer leichten Biegung in etwas nördlichere Richtung am Ende von Teilfeld D, um danach in einem Bogen nach Süden hin weiterzuführen. Zu Beginn dieses Bogens steht das einzige Lichtsignal auf der Strecke (Abbildung 7).



Abbildung 7: Lichtsignal hinter der geplanten Anlage für Züge in Richtung Neuburxdorf

Die vermessene Höhe der Gleisoberkante liegt vom Westende von Teilfeld A bis zum Beginn von Teilfeld C bei 90,7 m ü. NN und senkt sich nach Osten hin bis zum Ende von Teilfeld D minimal ab auf 90,4 m ü. NN.

## 4.3 Wohnhäuser auf dem Grundstück An der Hauptstraße 28

Die Wohnhäuser östlich der geplanten Anlage sind in Abbildung 8 zu erkennen. Die Geländehöhe liegt dort bei 89,5 m ü. NN, die Höhe der Fenster in der hellgrünen Giebelwand werden mit 3,5 m bis 5 m über Grund angesetzt. Die Fensterhöhe der dahinterliegenden grauen Giebelwand, die zum Grundstück An der Hauptstraße 25 gehört, werden mit 7 m bis 8 m über Grund angesetzt.



Abbildung 8: Blick aus Richtung der geplanten Anlage zu den Häusern An der Hauptstraße 28 und 25 dahinter



## 5 Berechnungen

### 5.1 Methodik der Berechnung

#### 5.1.1 Geometrische Aspekte

Zunächst wird eine Aufstellung mit sämtlichen Sonneneinfallswinkeln im Jahresverlauf am Standort Neuburxdorf (geografische Länge 13,28°, Breite 51,47°) in 6-minütiger Auflösung für 12 Tage im Jahr erstellt (jeweils der 21. jeden Monats)<sup>11</sup> 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 9). 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.

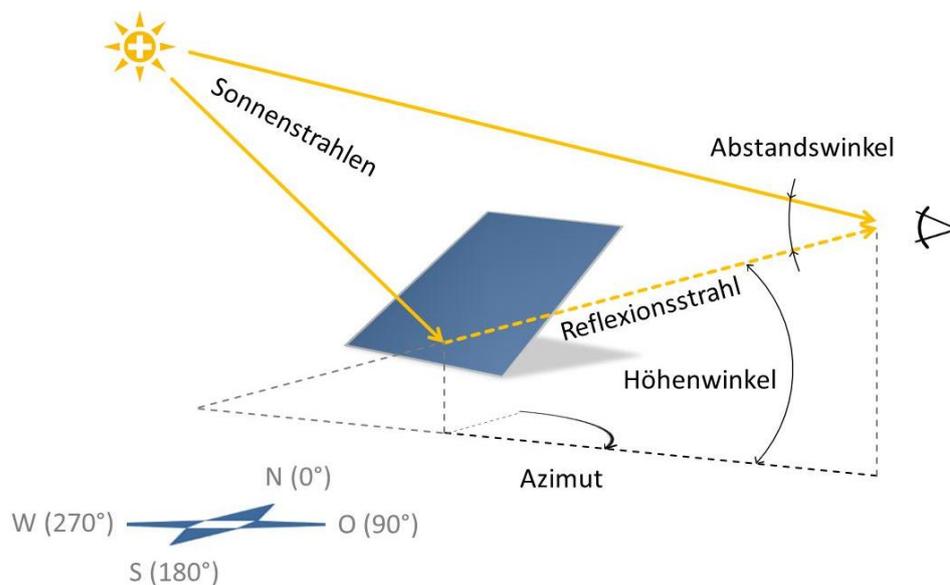


Abbildung 9: Darstellung des Reflexionsstrahls anhand von Azimut und Höhenwinkel wie im Reflexionsdiagramm verwendet und Beschreibung des Abstandswinkels zwischen Blickrichtungen zur Sonne und zum Blendpunkt

<sup>11</sup> Berechnung nach Eicker 2001



Ebenfalls in Abbildung 9 ist der Abstandswinkel zwischen den Blickrichtungen zur Sonne und zum Blendpunkt beschrieben.

Für einen beliebigen Punkt eines ebenen Modultischs mit der Ausrichtung  $-12,6^\circ$  und  $15^\circ$  Neigung ergibt sich so das in Abbildung 10 dokumentierte Reflexionsdiagramm.

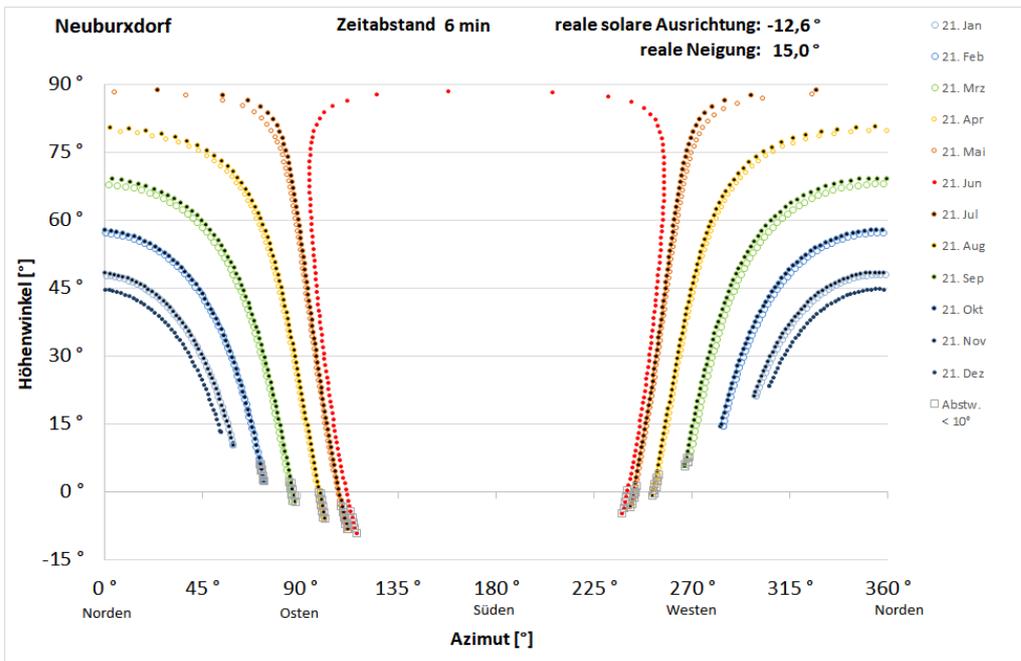


Abbildung 10: Reflexionsdiagramm aus Sicht eines beliebigen potenziellen Blendpunktes der mit  $-12,6^\circ$  ausgerichteten Module mit einer Modulneigung von  $15^\circ$  am Standort der Anlage; waagrecht aufgetragen sind die Azimutwinkel von Norden ( $0^\circ$ ) über Osten ( $90^\circ$ ), Süden ( $180^\circ$ ) nach Westen ( $270^\circ$ ), senkrecht die Höhenwinkel; Reflexionen aus einem Abstand zur Sonne von unter  $10^\circ$  sind grau umrahmt

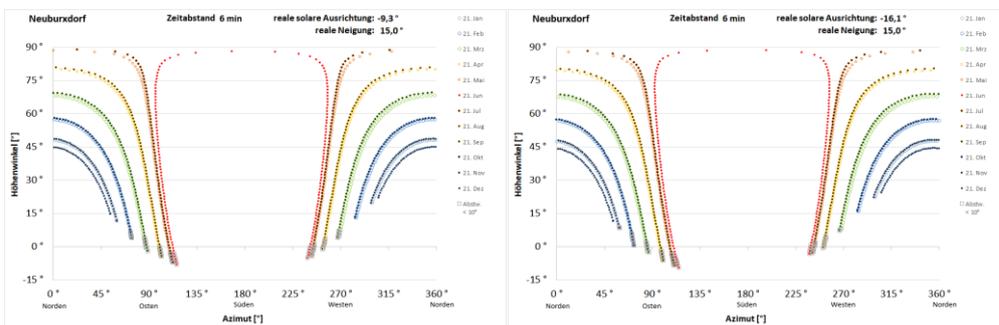


Abbildung 11: Reflexionsdiagramme für hangbedingt auftretende maximale Abweichungen von der durchschnittlichen Ausrichtung, links für  $-9,3^\circ$  und rechts für  $-16,1^\circ$



Wie in Abschnitt 4.1 dargelegt ergeben sich allerdings hangbedingt Variationen der realen Ausrichtung zwischen  $-9,3^\circ$  und  $-16,1^\circ$ . Deren Reflexionsdiagramme sind in Abbildung 11 dargestellt.

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.

Wenn die genauere tägliche Einwirkdauer oder jährliche Aufsummierung der Einwirkdauer gewünscht ist, kann für einen definierten Zeitraum und Azimutbereich unter Annahme einer punktförmigen Sonne in einer minütlichen Auflösung ein sogenannter „Blendkalender“ erstellt werden.

Die Höhenwinkel zwischen Anlagenpunkt und Immissionsort können mehr oder weniger variieren, da Fenster und Zugführersitze unterschiedliche Höhen haben. Die Augenhöhe von Zugführern wird mit 2 m bis 4 m über der Gleisoberkante angesetzt

Abbildung 12 verdeutlicht dies skizzenhaft am Beispiel von Hausfenstern: Maximale Höhenwinkel ergeben sich zu oberen Fensterkanten und minimale Höhenwinkel zu Fensterunterkanten.

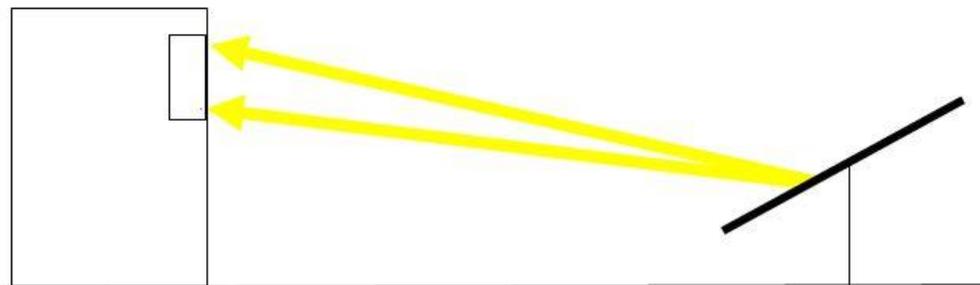


Abbildung 12: Beispiel für Bandbreite möglicher Höhenwinkel

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 3.2.2).

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 Bahnlinie aus östlicher Richtung

Für Zugführer, die aus Neuburxdorf kommen, werden 13 Punkte exemplarisch untersucht, deren Lage in Abbildung 13 dokumentiert ist.



Abbildung 13: Exemplarisch untersuchte Punkte auf der Bahnlinie aus östlicher Richtung rot markiert und in Fahrtrichtung grün durchnummeriert

### 5.2.1 Punkt 1 von Osten

Für den ersten Punkt aus östlicher Richtung ergeben sich für die auftretenden Extremfälle hangbedingter Ausrichtungen die Reflexionsdiagramme in Abbildung 14.

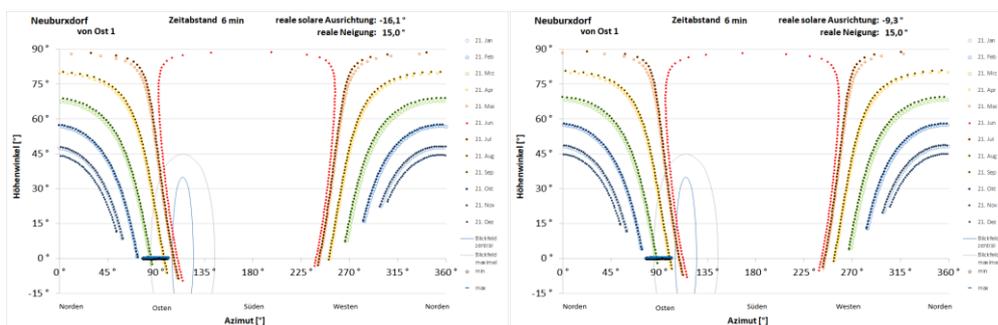


Abbildung 14: Reflexionsdiagramme für den ersten untersuchten Punkt aus östlicher Richtung, links für hangbedingt maximale Südabweichung der Ausrichtung und rechts für minimale

Die hangbedingte Ausrichtung  $-16,1^\circ$  stellt hier – wie für alle weiteren Punkte aus östlicher Richtung – den ungünstigsten Fall dar, da im relevanten Höhenwinkelbereich nahe  $0^\circ$  ein etwas größerer Azimutwinkelbereich von potenziellen Reflexionen betroffen ist. Um sicherheitshalber den



ungünstigsten Fall im Auge zu haben, werden im Folgenden stets die Reflexionsverhältnisse für den ungünstigsten Fall ausgewertet.

Die Reflexionsdiagramme zeigen, dass das zentrale Blickfeld bis  $10^\circ$  Abstand zur Blickachse hier frei von möglichen Reflexionen ist. Reflexionen beginnen ab  $13,5^\circ$  Abstand zur Blickachse. Die potenziell sichtbare Größe der reflektierenden Fläche nimmt hier im Blickfeld eine Höhe von  $0,3^\circ$  ein und kann damit nur einen Teil der Sonnenstrahlung reflektieren, da die Sonne im Blickfeld einen Durchmesser von  $0,56^\circ$  einnimmt.

### 5.2.2 Punkt 2 von Osten

Für den zweiten Punkt ergibt sich im ungünstigsten Fall das Reflexionsdiagramm in Abbildung 15.

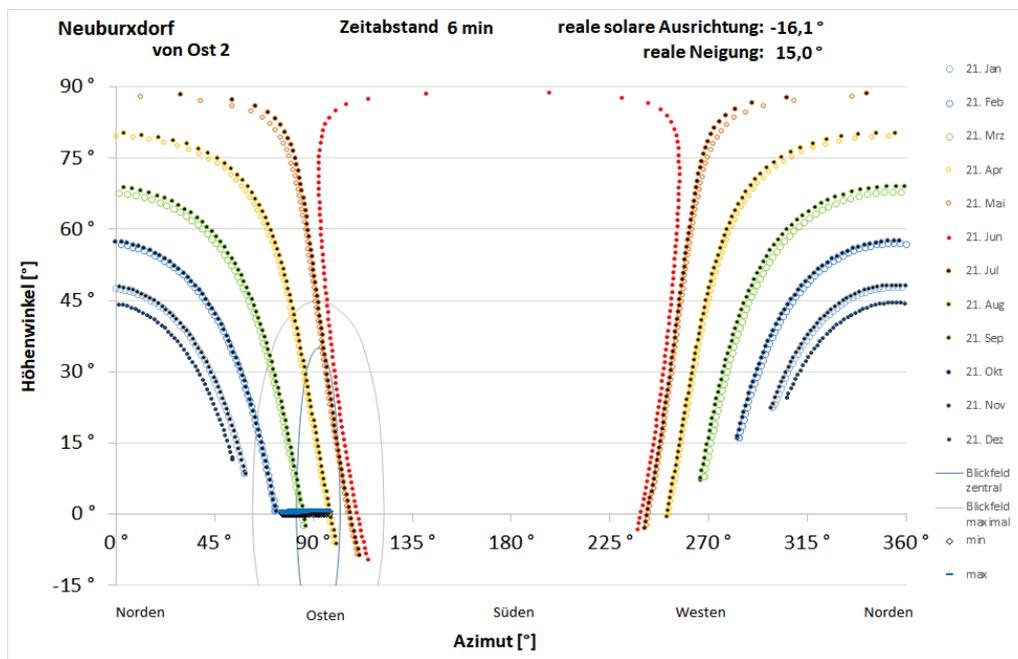


Abbildung 15: Reflexionsdiagramm für den zweiten untersuchten Punkt aus östlicher Richtung für hangbedingt maximale Südabweichung als ungünstigster Fall

Es zeigt, dass hier auf und beidseitig der Blickachse Reflexionen auftreten können. Dies stellt generell ungünstige Sichtverhältnisse für Fahrzeugführer dar, die zu Blickabwendung von der Hauptblickrichtung führen können oder bei entsprechender Intensität oder Flächengröße Hindernisse oder Gegenstände nicht erkennbar werden lassen. Deshalb müssen hier die möglichen Reflexionsverhältnisse genauer geprüft werden.

Auf der Blickachse treten Reflexionen auf, die eine Flächenhöhe von  $0,45^\circ$  im Blickfeld einnehmen können und zu Beleuchtungsstärken an Zugführeraugen von maximal  $600 \text{ lx}$  führen können bei gleichzeitiger Beleuchtung senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte von  $18.000 \text{ lx}$ . Rechts der Blickachse nimmt die Flächenhöhe im Blickfeld leicht ab auf  $0,4^\circ$  bei Steigerung der bewirkten Beleuchtungsstärke an Zugführeraugen auf maximal  $700 \text{ lx}$  und gleichzeitiger Beleuchtung senkrecht



von der Sonne bestrahlter Objekte von 22.000 lx. Links der Blickachse nimmt die Flächenhöhe im Blickfeld kontinuierlich zu auf  $0,8^\circ$  bei rascher Abnahme der bewirkten Beleuchtungsstärke an Zugführeraugen auf maximal 450 lx im Abstand von  $5^\circ$  zur Blickachse bei gleichzeitiger Beleuchtung senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte von 14.000 lx und auf unter 200 lx im Abstand von  $10^\circ$  zur Blickachse bei gleichzeitiger Beleuchtung senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte von noch 8.000 lx.

### 5.2.3 Punkt 3 von Osten

Für den dritten Punkt ergibt sich im ungünstigsten Fall das Reflexionsdiagramm in Abbildung 16.

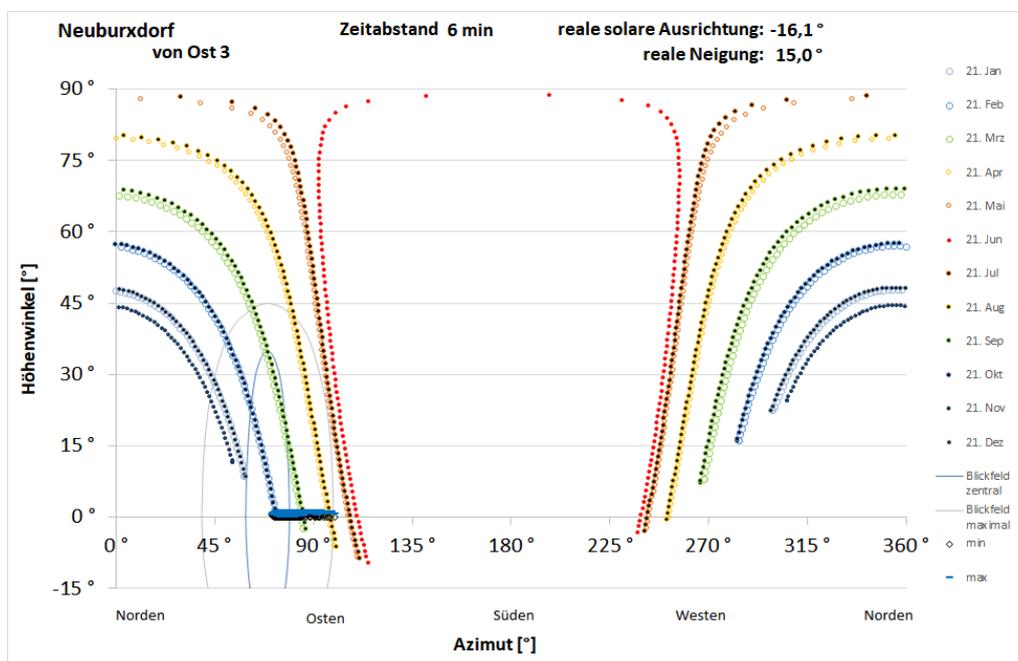


Abbildung 16: Reflexionsdiagramm für den dritten untersuchten Punkt aus östlicher Richtung für hangbedingt maximale Südabweichung als ungünstigster Fall

Es zeigt, dass sich Blickachse und -feld von den intensiveren, zum Sommer hin auftretenden Reflexionen abwenden, und es treten nur noch Reflexionen rechts der Blickachse auf. Ihr minimaler Abstand zur Blickachse beträgt  $2^\circ$ . Bis zum Rand des zentralen Blickfeldes bei  $10^\circ$  Abstand zur Blickachse gehen Reflexionen allerdings nur von Sonnenständen unter  $3,6^\circ$  dicht über der reflektierenden Fläche aus. Die so niedrig stehende Sonne kann von Sonnenschutzeinrichtungen nicht abgeschirmt werden, so dass die Sonne die dominierende Blendquelle darstellt, die eine eigenständige Blendwirkung der Reflexionen ausschließt. Auch für Reflexionen bis  $15^\circ$  Abstand zur Blickachse gilt dies, da bis dort hin maximale Sonnenhöhen von  $5,5^\circ$  auftreten. Bei  $20^\circ$  Abstand zur Blickachse treten Reflexionen auf, die zu Beleuchtungsstärken an Zugführeraugen von maximal 600 lx führen können bei gleichzeitiger Beleuchtung senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte von 16.000 lx. Am äußersten Rand des maximalen Blickfeldes erreichen Reflexionen Intensitäten, die zu Beleuchtungsstärken an Zugführeraugen von maximal 1.100 lx führen können bei gleichzeitiger



Beleuchtung senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte von 25.000 lx. Die Flächenhöhe im Blickfeld ist dabei auf  $0,7^\circ$  begrenzt.

#### 5.2.4 Punkt 4 von Osten

Für den vierten Punkt ergibt sich im ungünstigsten Fall das Reflexionsdiagramm in Abbildung 17.

Der minimale Abstand zur Blickachse beträgt hier  $5^\circ$ . Bis zum Rand des zentralen Blickfeldes bei  $10^\circ$  Abstand zur Blickachse gehen Reflexionen allerdings nur von Sonnenständen unter  $2,5^\circ$  dicht über der reflektierenden Fläche aus. Die so niedrig stehende Sonne kann von Sonnenschutzeinrichtungen nicht abgeschirmt werden, so dass die Sonne die dominierende Blendquelle darstellt, die eine eigenständige Blendwirkung der Reflexionen ausschließt. Auch für Reflexionen bis  $15^\circ$  Abstand zur Blickachse gilt dies, da bis dort hin maximale Sonnenhöhen von  $5,5^\circ$  auftreten. Bei  $20^\circ$  Abstand zur Blickachse treten Reflexionen auf, die zu Beleuchtungsstärken an Zugführeraugen von maximal 600 lx führen können bei gleichzeitiger Beleuchtung senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte von 15.000 lx. Am äußersten Rand des maximalen Blickfeldes erreichen Reflexionen Intensitäten, die zu Beleuchtungsstärken an Zugführeraugen von maximal 1.150 lx führen können bei gleichzeitiger Beleuchtung senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte von 25.000 lx. Die Flächenhöhe im Blickfeld ist dabei auf  $1,8^\circ$  begrenzt.

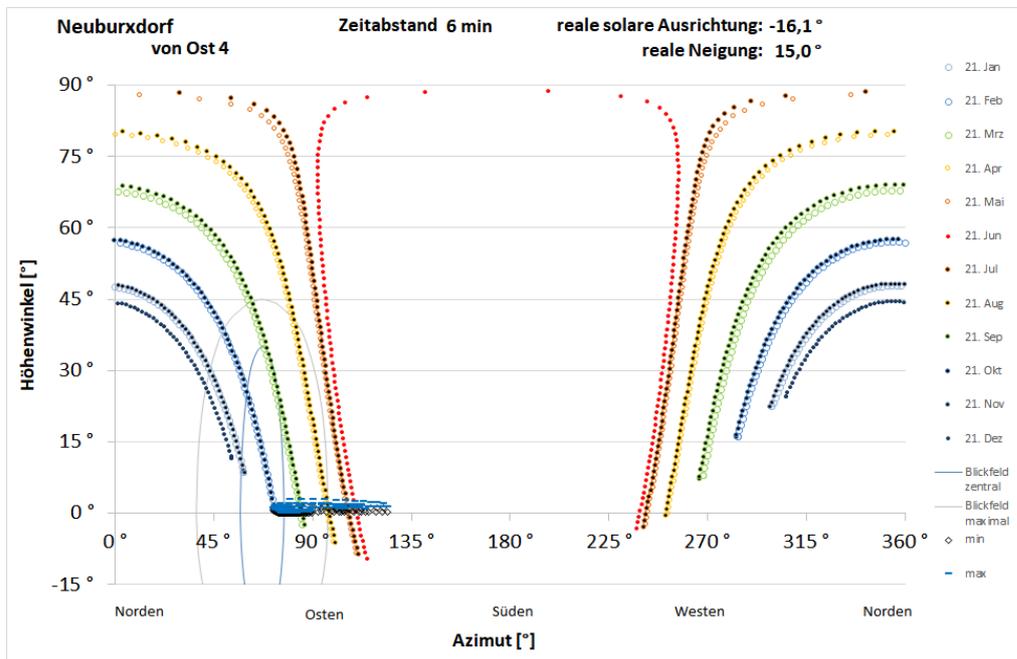


Abbildung 17: Reflexionsdiagramm für den vierten untersuchten Punkt aus östlicher Richtung für hangbedingt maximale Südabweichung als ungünstigster Fall

### 5.2.5 Punkt 5 von Osten

Für den fünften Punkt ergibt sich im ungünstigsten Fall das Reflexionsdiagramm in Abbildung 18.

Bis zum Rand des zentralen Blickfeldes bei  $10^\circ$  Abstand zur Blickachse gehen Reflexionen nur von Sonnenständen unter  $4^\circ$  dicht über der reflektierenden Fläche aus. Die so niedrig stehende Sonne kann von Sonnenschutzeinrichtungen nicht abgeschirmt werden, so dass die Sonne die dominierende Blendquelle darstellt, die eine eigenständige Blendwirkung der Reflexionen ausschließt. Auch für Reflexionen bis  $14^\circ$  Abstand zur Blickachse gilt dies, da bis dort hin maximale Sonnenhöhen von  $5,9^\circ$  auftreten. Bis  $20^\circ$  Abstand zur Blickachse treten Reflexionen auf, die zu Beleuchtungsstärken an Zugführeraugen von maximal  $650 \text{ lx}$  führen können bei gleichzeitiger Beleuchtung senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte von  $16.000 \text{ lx}$ . Am äußersten Rand des maximalen Blickfeldes erreichen Reflexionen Intensitäten, die zu Beleuchtungsstärken an Zugführeraugen von maximal  $1.300 \text{ lx}$  führen können bei gleichzeitiger Beleuchtung senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte von  $26.000 \text{ lx}$ . Die Flächenhöhe im Blickfeld ist dabei auf  $3^\circ$  begrenzt.

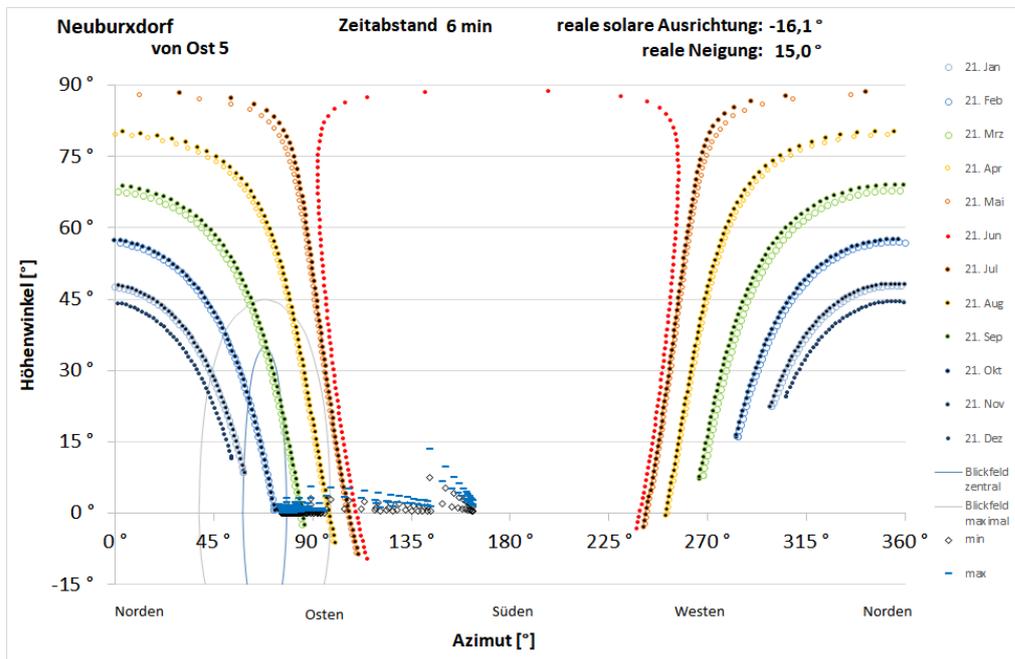


Abbildung 18: Reflexionsdiagramm für den fünften untersuchten Punkt aus östlicher Richtung für hangbedingt maximale Südabweichung als ungünstigster Fall

### 5.2.6 Punkt 6 von Osten

Für den sechsten Punkt ergibt sich im ungünstigsten Fall das Reflexionsdiagramm in Abbildung 19.

Bis  $8^\circ$  Abstand zur Blickachse gehen Reflexionen nur von Sonnenständen unter  $5,4^\circ$  aus und die nicht abschirmbare Sonne stellt die dominierende Blendquelle dar. Zum Rand des zentralen Blickfeldes bei  $10^\circ$  Abstand zur Blickachse können auftretende Reflexionen maximal 460 lx Beleuchtungsstärke an Zugführeraugen bewirken bei gleichzeitiger Beleuchtung senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte von 13.000 lx. Die Flächenhöhe im Blickfeld wächst mit zunehmendem Abstand von der Blickachse auf  $3^\circ$  an. Bei  $20^\circ$  Abstand zur Blickachse erreicht die durch Reflexionen bewirkte Beleuchtungsstärke an Zugführeraugen maximal 1.300 lx bei gleichzeitiger Beleuchtung senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte von 25.000 lx und Flächenhöhen im Blickfeld von  $5^\circ$ . Am Rand des maximalen Blickfeldes bei  $30^\circ$  Abstand zur Blickachse erreicht die durch Reflexionen bewirkte Beleuchtungsstärke an Zugführeraugen maximal 1.600 lx bei gleichzeitiger Beleuchtung senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte von 30.000 lx.

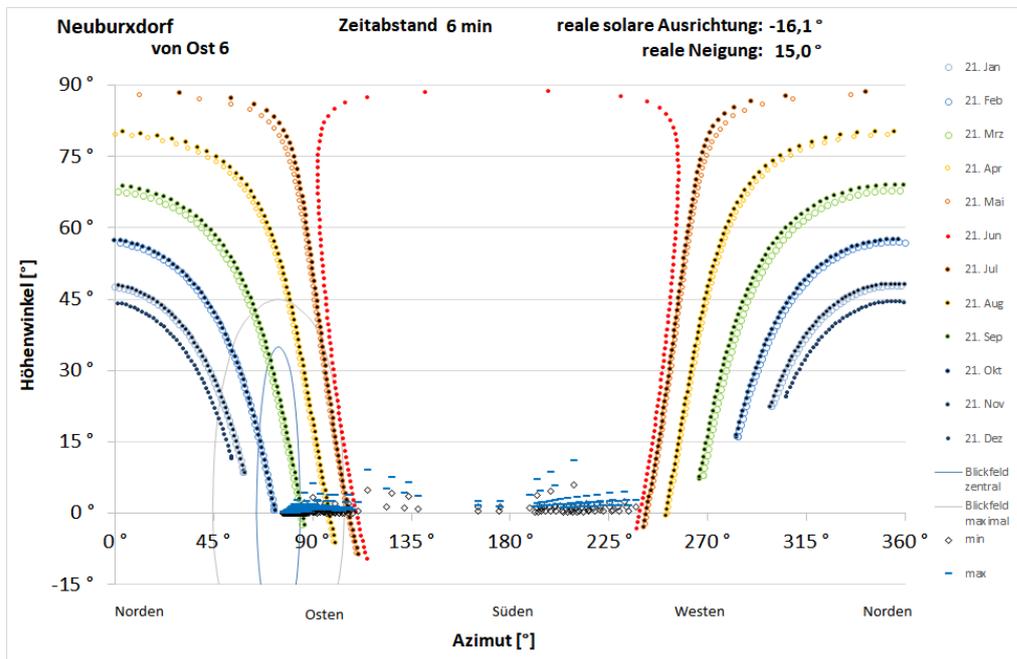


Abbildung 19: Reflexionsdiagramm für den sechsten untersuchten Punkt aus östlicher Richtung für hangbedingt maximale Südabweichung als ungünstigster Fall

### 5.2.7 Punkt 7 von Osten

Für den siebenten Punkt ergibt sich im ungünstigsten Fall das Reflexionsdiagramm in Abbildung 20.

Bis  $6^\circ$  Abstand zur Blickachse gehen Reflexionen nur von Sonnenständen unter  $5,5^\circ$  aus und die nicht abschirmbare Sonne stellt die dominierende Blendquelle dar. Zum Rand des zentralen Blickfeldes bei  $10^\circ$  Abstand zur Blickachse können auftretende Reflexionen maximal 800 lx Beleuchtungsstärke an Zugführeraugen bewirken bei gleichzeitiger Beleuchtung senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte von 18.000 lx. Die Flächenhöhe im Blickfeld wächst mit zunehmendem Abstand von der Blickachse auf  $3^\circ$  an. Bei  $20^\circ$  Abstand zur Blickachse erreicht die durch Reflexionen bewirkte Beleuchtungsstärke an Zugführeraugen maximal 1.500 lx, bei gleichzeitiger Beleuchtung senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte von 29.000 lx, und Flächenhöhen im Blickfeld von  $5^\circ$ . Am Rand des maximalen Blickfeldes bei  $30^\circ$  Abstand zur Blickachse erreicht die durch Reflexionen bewirkte Beleuchtungsstärke an Zugführeraugen maximal 1.800 lx bei gleichzeitiger Beleuchtung senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte von 35.000 lx.

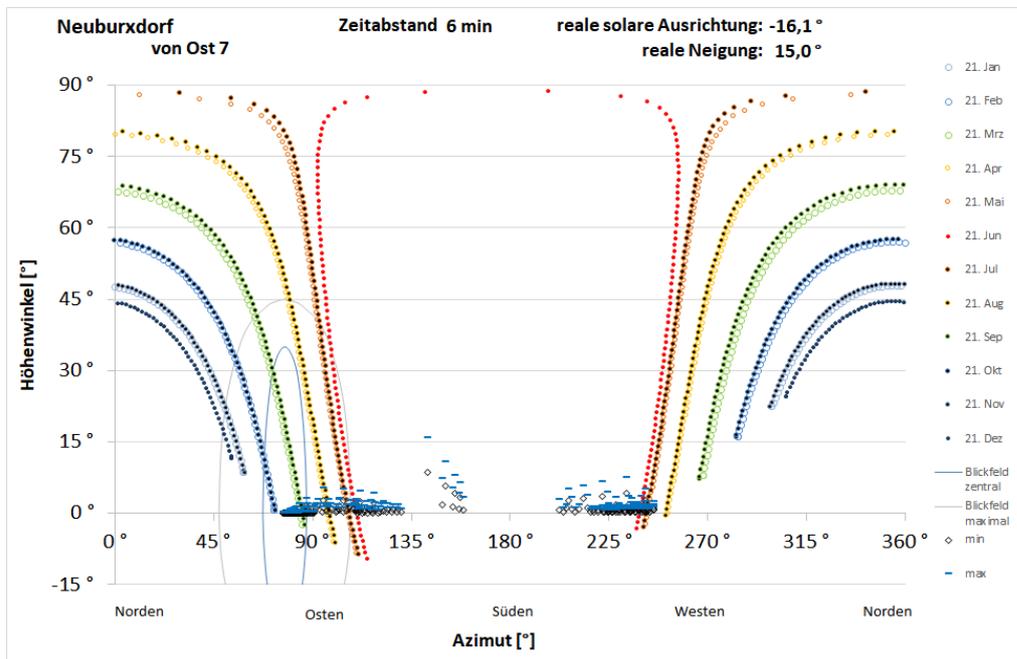


Abbildung 20: Reflexionsdiagramm für den siebenten untersuchten Punkt aus östlicher Richtung für hangbedingt maximale Südabweichung als ungünstigster Fall

### 5.2.8 Punkt 8 von Osten

Für den achten Punkt ergibt sich im ungünstigsten Fall das Reflexionsdiagramm in Abbildung 21.

Bis  $6^\circ$  Abstand zur Blickachse gehen Reflexionen nur von Sonnenständen unter  $5,4^\circ$  aus und die nicht abschirmbare Sonne stellt die dominierende Blendquelle dar. Zum Rand des zentralen Blickfeldes bei  $10^\circ$  Abstand zur Blickachse können auftretende Reflexionen maximal 650 lx Beleuchtungsstärke an Zugführeraugen bewirken bei gleichzeitiger Beleuchtung senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte von 16.000 lx. Die Flächenhöhe im Blickfeld wächst mit zunehmendem Abstand von der Blickachse auf  $2,7^\circ$  an. Bei  $20^\circ$  Abstand zur Blickachse erreicht die durch Reflexionen bewirkte Beleuchtungsstärke an Zugführeraugen maximal 1.100 lx bei gleichzeitiger Beleuchtung senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte von 23.000 lx und Flächenhöhen im Blickfeld von  $5^\circ$ . Am Rand des maximalen Blickfeldes bei  $30^\circ$  Abstand zur Blickachse erreicht die durch Reflexionen bewirkte Beleuchtungsstärke an Zugführeraugen maximal 1.200 lx bei gleichzeitiger Beleuchtung senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte von 25.000 lx.

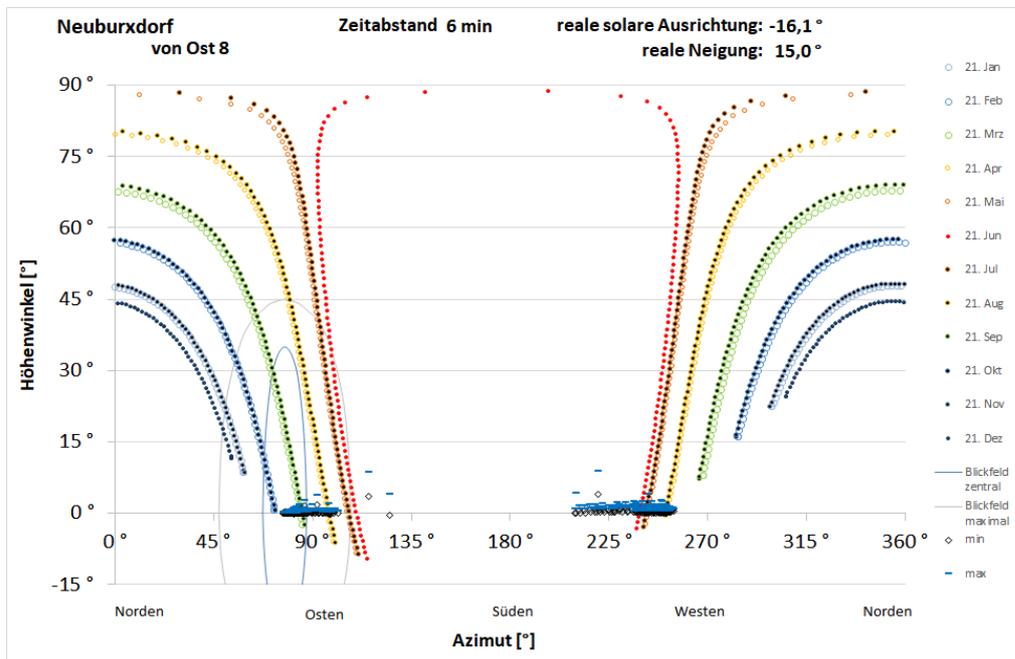


Abbildung 21: Reflexionsdiagramm für den achten untersuchten Punkt aus östlicher Richtung für hangbedingt maximale Südabweichung als ungünstigster Fall

### 5.2.9 Punkt 9 von Osten

Für den neunten Punkt ergibt sich im ungünstigsten Fall das Reflexionsdiagramm in Abbildung 22.

Bis  $6^\circ$  Abstand zur Blickachse gehen Reflexionen nur von Sonnenständen unter  $5,4^\circ$  aus und die nicht abschirmbare Sonne stellt die dominierende Blendquelle dar. Zum Rand des zentralen Blickfeldes bei  $10^\circ$  Abstand zur Blickachse können auftretende Reflexionen maximal 560 lx Beleuchtungsstärke an Zugführeraugen bewirken bei gleichzeitiger Beleuchtung senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte von 15.000 lx. Die Flächenhöhe im Blickfeld wächst mit zunehmendem Abstand von der Blickachse auf  $3^\circ$  an. Bei  $20^\circ$  Abstand zur Blickachse erreicht die durch Reflexionen bewirkte Beleuchtungsstärke an Zugführeraugen maximal 1.000 lx bei gleichzeitiger Beleuchtung senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte von 22.000 lx und Flächenhöhen im Blickfeld von  $5^\circ$ . Am Rand des maximalen Blickfeldes bei  $30^\circ$  Abstand zur Blickachse erreicht die durch Reflexionen bewirkte Beleuchtungsstärke an Zugführeraugen maximal 1.200 lx bei gleichzeitiger Beleuchtung senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte von 26.000 lx.

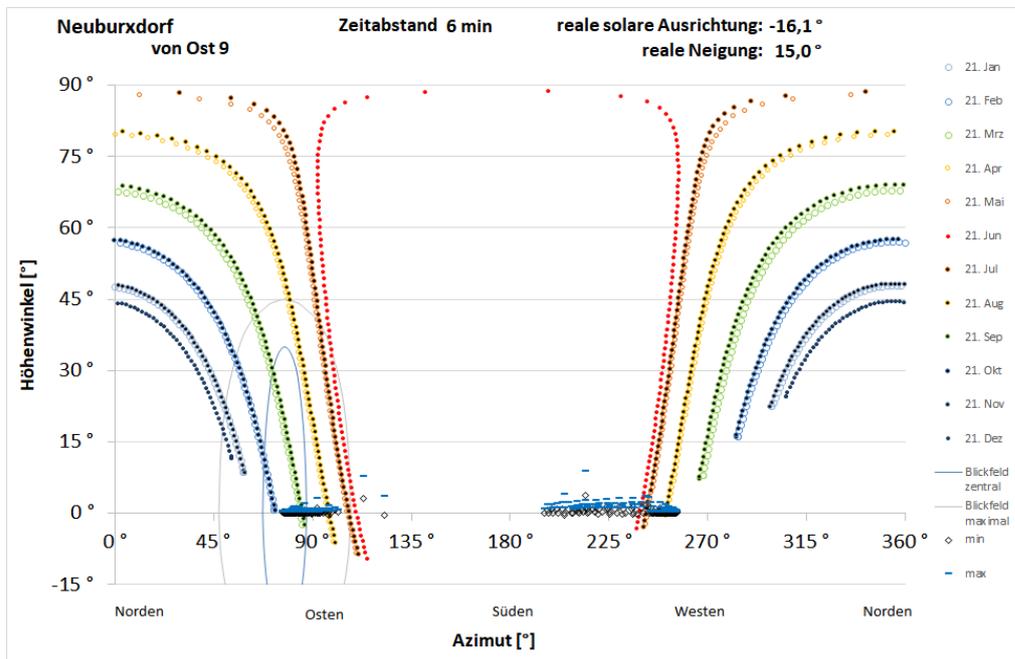


Abbildung 22: Reflexionsdiagramm für den neunten untersuchten Punkt aus östlicher Richtung für hangbedingt maximale Südabweichung als ungünstigster Fall

### 5.2.10 Punkt 10 von Osten

Für den zehnten Punkt ergibt sich im ungünstigsten Fall das Reflexionsdiagramm in Abbildung 23.

Bis zum Rand des zentralen Blickfeldes bei  $10^\circ$  Abstand zur Blickachse gehen Reflexionen nur von Sonnenständen unter  $5,5^\circ$  aus und die nicht abschirmbare Sonne stellt die dominierende Blendquelle dar. Bei  $20^\circ$  Abstand zur Blickachse erreicht die durch Reflexionen bewirkte Beleuchtungsstärke an Zugführeräugen maximal  $900 \text{ lx}$  bei gleichzeitiger Beleuchtung senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte von  $20.000 \text{ lx}$  und Flächenhöhen im Blickfeld von  $5^\circ$ . Am Rand des maximalen Blickfeldes bei  $30^\circ$  Abstand zur Blickachse erreicht die durch Reflexionen bewirkte Beleuchtungsstärke an Zugführeräugen maximal  $950 \text{ lx}$  bei gleichzeitiger Beleuchtung senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte von  $22.000 \text{ lx}$ .

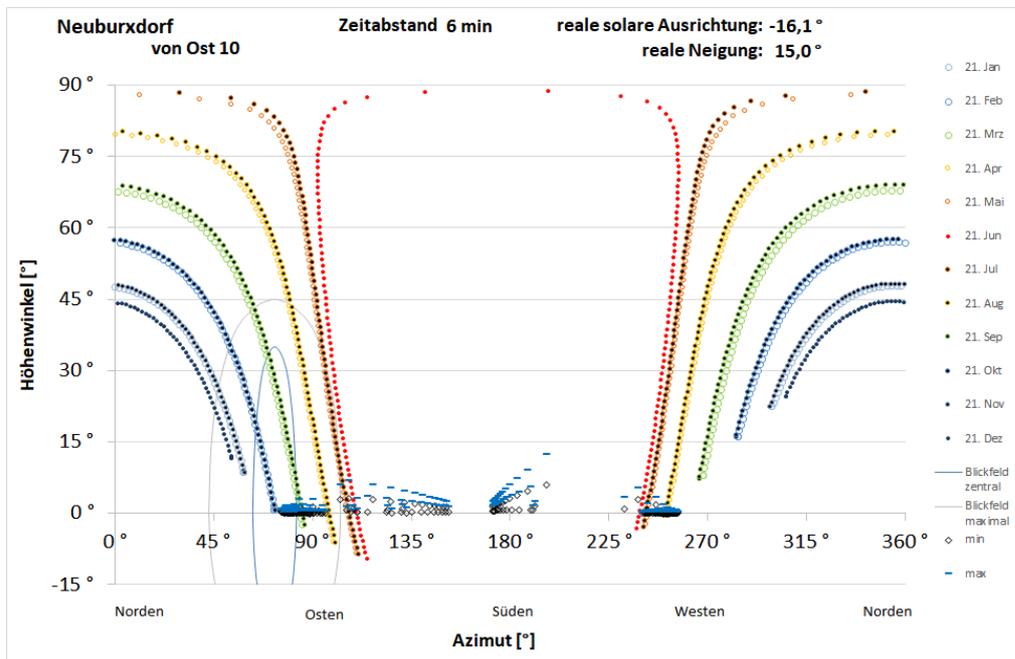


Abbildung 23: Reflexionsdiagramm für den zehnten untersuchten Punkt aus östlicher Richtung für hangbedingt maximale Südabweichung als ungünstigster Fall

### 5.2.11 Punkt 11 von Osten

Für den elften Punkt ergibt sich im ungünstigsten Fall das Reflexionsdiagramm in Abbildung 24.

Bis zum Rand des zentralen Blickfeldes bei  $10^\circ$  Abstand zur Blickachse gehen Reflexionen nur von Sonnenständen unter  $6^\circ$  aus und die nicht abschirmbare Sonne stellt die dominierende Blendquelle dar. Bei  $20^\circ$  Abstand zur Blickachse erreicht die durch Reflexionen bewirkte Beleuchtungsstärke an Zugführeräugen maximal  $800 \text{ lx}$  bei gleichzeitiger Beleuchtung senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte von  $18.000 \text{ lx}$  und Flächenhöhen im Blickfeld von  $4,5^\circ$ . Am Rand des maximalen Blickfeldes bei  $30^\circ$  Abstand zur Blickachse erreicht die durch Reflexionen bewirkte Beleuchtungsstärke an Zugführeräugen maximal  $1.600 \text{ lx}$  bei gleichzeitiger Beleuchtung senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte von  $31.000 \text{ lx}$ .

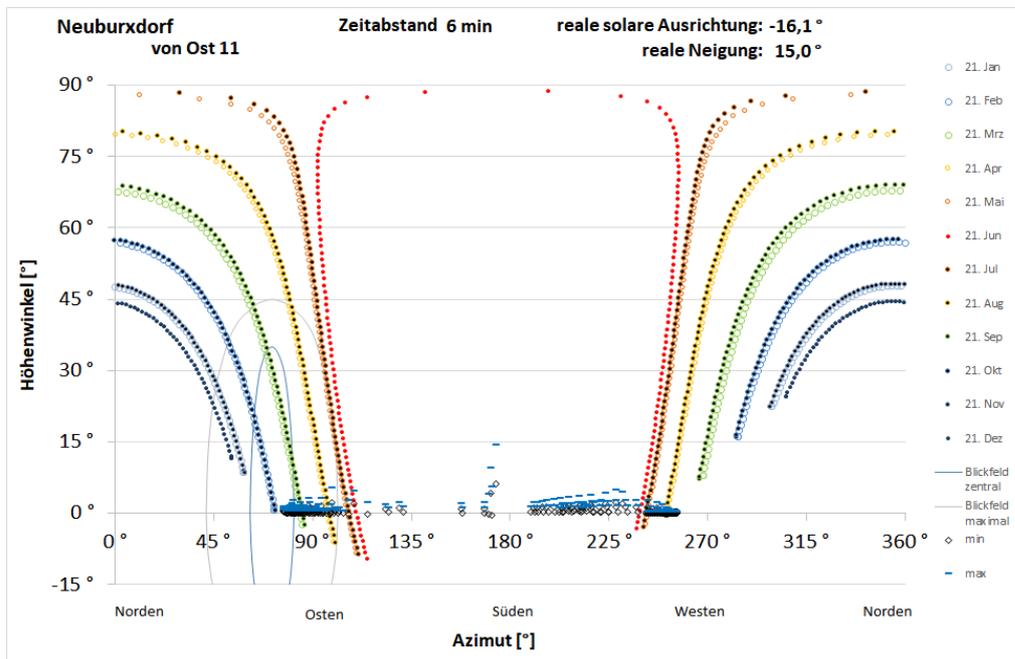


Abbildung 24: Reflexionsdiagramm für den elften untersuchten Punkt aus östlicher Richtung für hangbedingt maximale Südabweichung als ungünstigster Fall

### 5.2.12 Punkt 12 von Osten

Für den zwölften Punkt ergibt sich im ungünstigsten Fall das Reflexionsdiagramm in Abbildung 25.

Bis  $7^\circ$  Abstand zur Blickachse gehen Reflexionen nur von Sonnenständen unter  $5,8^\circ$  aus und die nicht abschirmbare Sonne stellt die dominierende Blendquelle dar. Zum Rand des zentralen Blickfeldes bei  $10^\circ$  Abstand zur Blickachse können auftretende Reflexionen maximal 600 lx Beleuchtungsstärke an Zugführeraugen bewirken bei gleichzeitiger Beleuchtung senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte von 15.000 lx. Die Flächenhöhe im Blickfeld wächst mit zunehmendem Abstand von der Blickachse auf  $3,5^\circ$  an. Bei  $20^\circ$  Abstand zur Blickachse erreicht die durch Reflexionen bewirkte Beleuchtungsstärke an Zugführeraugen maximal 1.200 lx bei gleichzeitiger Beleuchtung senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte von 25.000 lx und Flächenhöhen im Blickfeld von  $3,5^\circ$ . Am Rand des maximalen Blickfeldes bei  $30^\circ$  Abstand zur Blickachse erreicht die durch Reflexionen bewirkte Beleuchtungsstärke an Zugführeraugen maximal 1.800 lx bei gleichzeitiger Beleuchtung senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte von 34.000 lx.

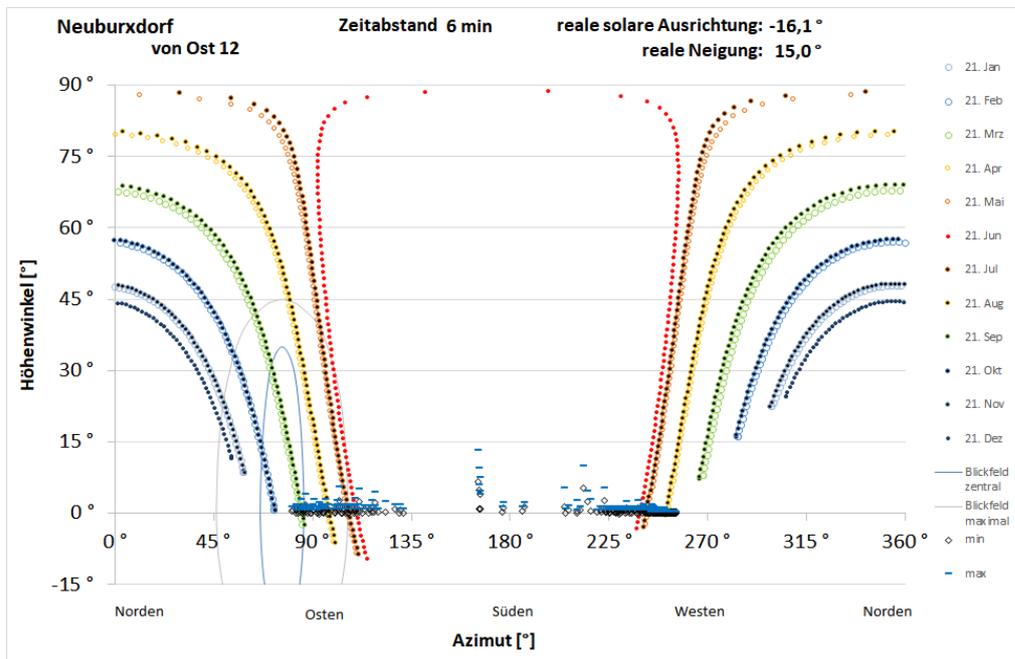


Abbildung 25: Reflexionsdiagramm für den zwölften untersuchten Punkt aus östlicher Richtung für hangbedingt maximale Südabweichung als ungünstigster Fall

### 5.2.13 Punkt 13 von Osten

Für den dreizehnten Punkt ergibt sich im ungünstigsten Fall das Reflexionsdiagramm in Abbildung 26.

Reflexionen beginnen hier erst ab  $17^\circ$  Abstand zur Blickachse. Hier erreicht die durch Reflexionen bewirkte Beleuchtungsstärke an Zugführeraugen maximal  $1.300 \text{ lx}$  bei gleichzeitiger Beleuchtung senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte von  $26.000 \text{ lx}$  und Flächenhöhen im Blickfeld von  $3^\circ$ . Am Rand des maximalen Blickfeldes bei  $30^\circ$  Abstand zur Blickachse erreicht die durch Reflexionen bewirkte Beleuchtungsstärke an Zugführeraugen maximal  $2.100 \text{ lx}$  bei gleichzeitiger Beleuchtung senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte von  $39.000 \text{ lx}$ .

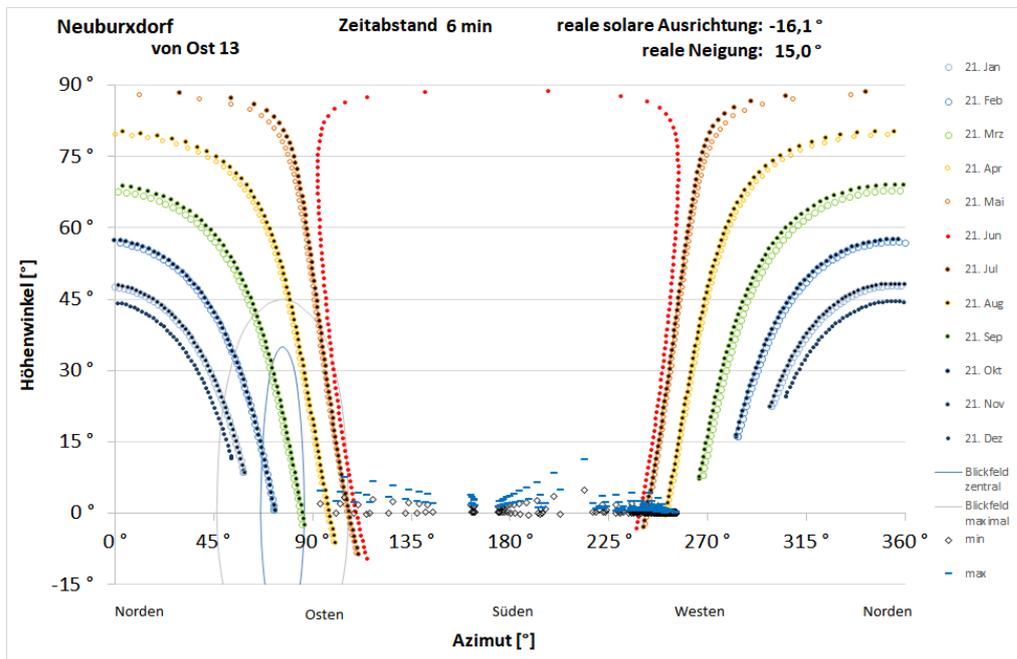


Abbildung 26: Reflexionsdiagramm für den dreizehnten untersuchten Punkt aus östlicher Richtung für hangbedingt maximale Südabweichung als ungünstigster Fall

### 5.3 Bahnlinie aus westlicher Richtung

Für Zugführer, die aus westlicher Richtung kommen, werden 13 Punkte exemplarisch untersucht, deren Lage in Abbildung 27 dokumentiert ist.



Abbildung 27: Exemplarisch untersuchte Punkte auf der Bahnlinie aus westlicher Richtung rot markiert und in Fahrtrichtung grün durchnummeriert



### 5.3.1 Punkt 1 von Westen

Für den ersten Punkt aus westlicher Richtung ergeben sich für die auftretenden Extremfälle hangbedingter Ausrichtungen die Reflexionsdiagramme in Abbildung 28. Die hangbedingte Ausrichtung  $-9,3^\circ$  stellt hier – wie für alle weiteren Punkte aus westlicher Richtung – den ungünstigsten Fall dar, da im relevanten Höhenwinkelbereich nahe  $0^\circ$  ein etwas größerer Azimutwinkelbereich von potenziellen Reflexionen betroffen ist. Um sicherheitshalber den ungünstigsten Fall im Auge zu haben, werden im Folgenden stets die Reflexionsverhältnisse für den ungünstigsten Fall ausgewertet.

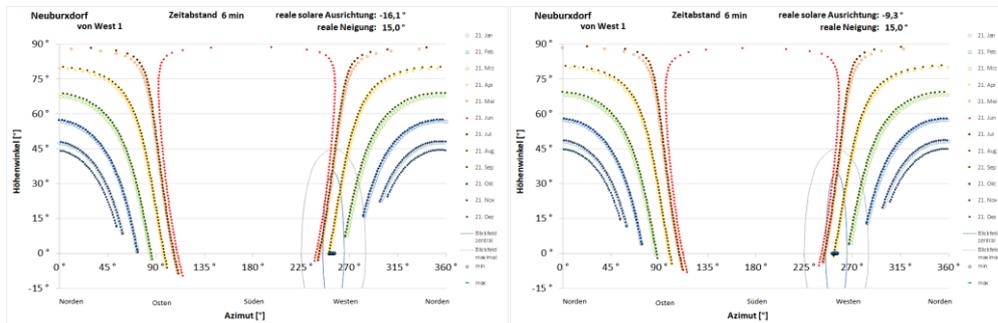


Abbildung 28: Reflexionsdiagramme für den ersten untersuchten Punkt aus westlicher Richtung, links für hangbedingt maximale Südabweichung der Ausrichtung und rechts für minimale

Hier muss mit Reflexionen direkt auf und beidseitig dicht neben der Blickachse gerechnet werden. Allerdings gehen alle möglichen Reflexionen nur von Sonnenständen unter  $4,7^\circ$  aus und die nicht abschirmbare Sonne stellt die dominierende Blendquelle dar.

### 5.3.2 Punkt 2 von Westen

Für den zweiten Punkt ergibt sich im ungünstigsten Fall das Reflexionsdiagramm in Abbildung 29.

Hier beginnen Reflexionen  $2^\circ$  links der Blickachse, aber alle möglichen Reflexionen gehen nur von Sonnenständen unter  $5,4^\circ$  aus und die nicht abschirmbare Sonne stellt die dominierende Blendquelle dar.

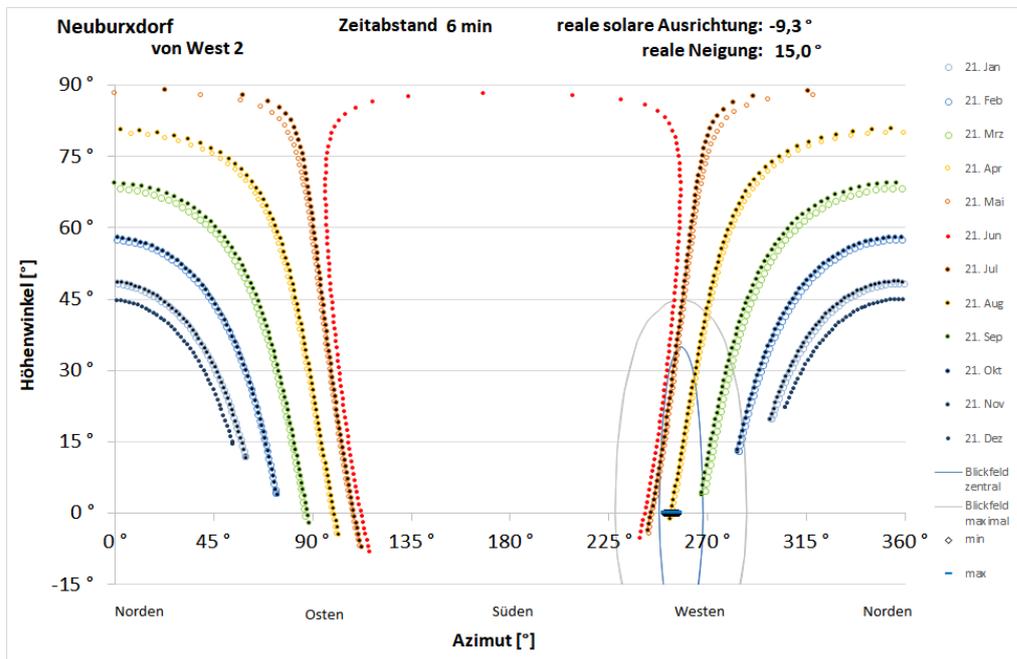


Abbildung 29: Reflexionsdiagramm für den zweiten untersuchten Punkt aus westlicher Richtung für hangbedingt minimale Südabweichung als ungünstigster Fall

### 5.3.3 Punkt 3 von Westen

Für den dritten Punkt ergibt sich im ungünstigsten Fall das Reflexionsdiagramm in Abbildung 30.

Bis  $7^\circ$  Abstand zur Blickachse gehen Reflexionen nur von Sonnenständen unter  $5,7^\circ$  aus und die nicht abschirmbare Sonne stellt die dominierende Blendquelle dar. Zum Rand des zentralen Blickfeldes bei  $10^\circ$  Abstand zur Blickachse können auftretende Reflexionen weniger als 500 lx Beleuchtungsstärke an Zugführeräugen bewirken bei gleichzeitiger Beleuchtung senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte von 15.000 lx. Die Flächenhöhe im Blickfeld wächst mit zunehmendem Abstand von der Blickachse auf  $0,6^\circ$  an. Bei  $17,5^\circ$  Abstand zur Blickachse enden mögliche Reflexionen. Hier erreicht die durch Reflexionen bewirkte Beleuchtungsstärke an Zugführeräugen maximal 800 lx bei gleichzeitiger Beleuchtung senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte von 20.000 lx und gleichbleibenden Flächenhöhen im Blickfeld von  $0,6^\circ$ .

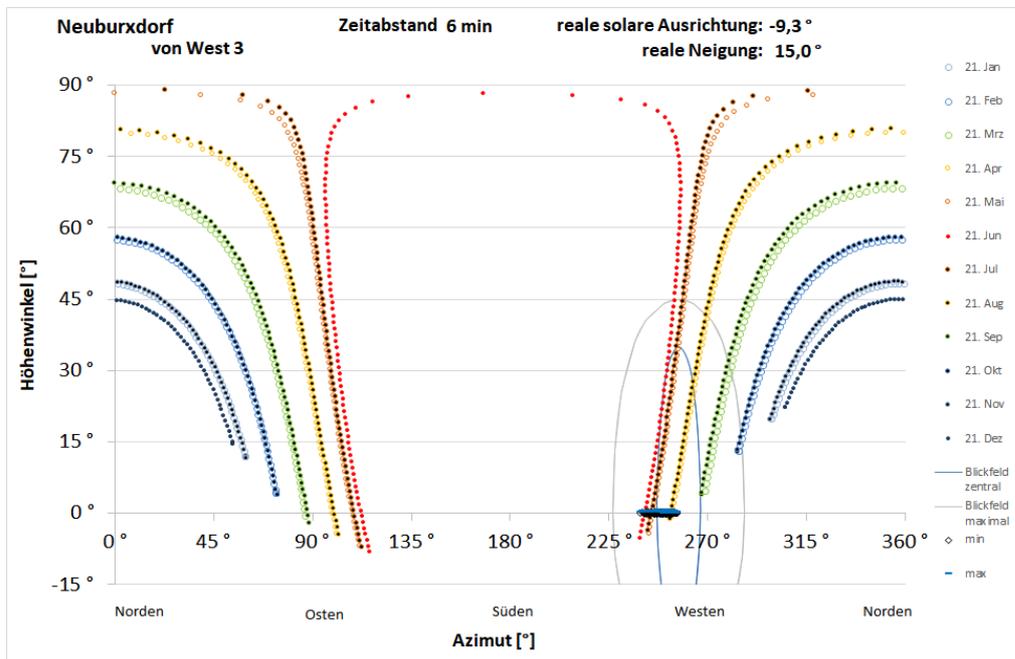


Abbildung 30: Reflexionsdiagramm für den dritten untersuchten Punkt aus westlicher Richtung für hangbedingt minimale Südabweichung als ungünstigster Fall

### 5.3.4 Punkt 4 von Westen

Für den vierten Punkt ergibt sich im ungünstigsten Fall das Reflexionsdiagramm in Abbildung 31.

Im besonders kritischen Bereich bis  $5^\circ$  Abstand zur Blickachse treten Reflexionen nur bei Sonnenständen bis  $5,5^\circ$  auf und die nicht abschirmbare Sonne stellt die dominierende Blendquelle dar. Zum Rand des zentralen Blickfeldes bei  $10^\circ$  Abstand zur Blickachse können auftretende Reflexionen maximal 500 lx Beleuchtungsstärke an Zugführeraugen bewirken bei gleichzeitiger Beleuchtung senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte von 14.000 lx. Die Flächenhöhe im Blickfeld wächst mit zunehmendem Abstand von der Blickachse auf  $2^\circ$  an. Bei  $15^\circ$  Abstand zur Blickachse enden mögliche Reflexionen und die durch Reflexionen bewirkte Beleuchtungsstärke an Zugführeraugen erreicht maximal 900 lx bei gleichzeitiger Beleuchtung senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte von 20.000 lx und Flächenhöhen im Blickfeld von  $3^\circ$ .

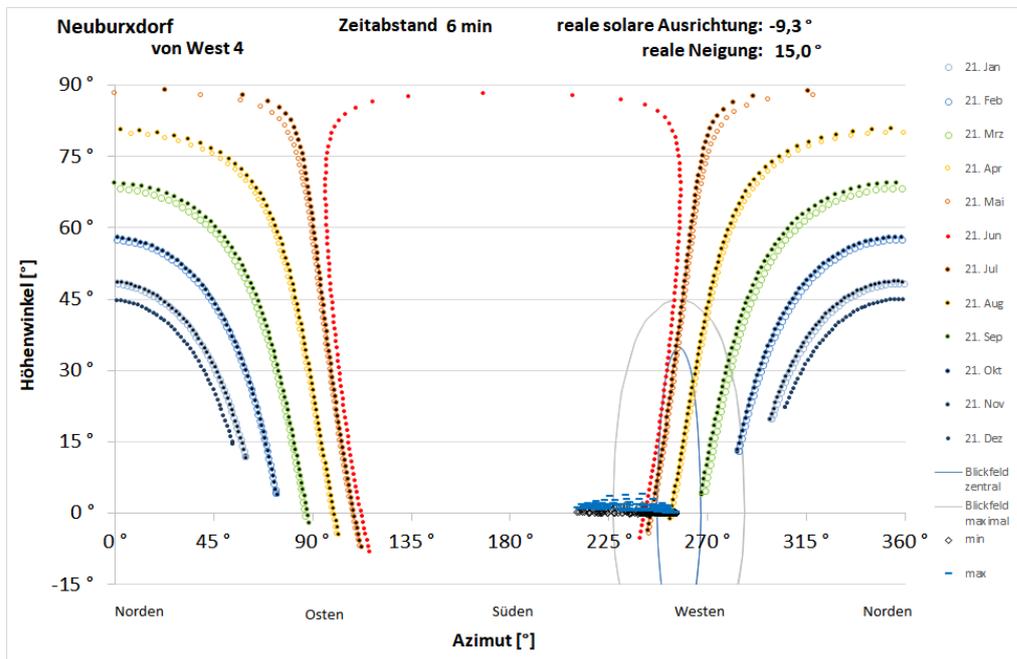


Abbildung 31: Reflexionsdiagramm für den vierten untersuchten Punkt aus westlicher Richtung für hangbedingt minimale Südabweichung als ungünstigster Fall

### 5.3.5 Punkt 5 von Westen

Für den fünften Punkt ergibt sich im ungünstigsten Fall das Reflexionsdiagramm in Abbildung 32.

Bis  $6^\circ$  Abstand zur Blickachse gehen Reflexionen nur von Sonnenständen unter  $6^\circ$  aus und die nicht abschirmbare Sonne stellt die dominierende Blendquelle dar. Zum Rand des zentralen Blickfeldes bei  $10^\circ$  Abstand zur Blickachse können auftretende Reflexionen maximal 620 lx Beleuchtungsstärke an Zugführeraugen bewirken bei gleichzeitiger Beleuchtung senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte von 16.000 lx. Die Flächenhöhe im Blickfeld wächst mit zunehmendem Abstand von der Blickachse auf  $2^\circ$  an. Bei  $14^\circ$  Abstand zur Blickachse enden mögliche Reflexionen und die durch sie bewirkte Beleuchtungsstärke an Zugführeraugen erreicht maximal 850 lx bei gleichzeitiger Beleuchtung senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte von 20.000 lx und Flächenhöhen im Blickfeld von  $3^\circ$ .

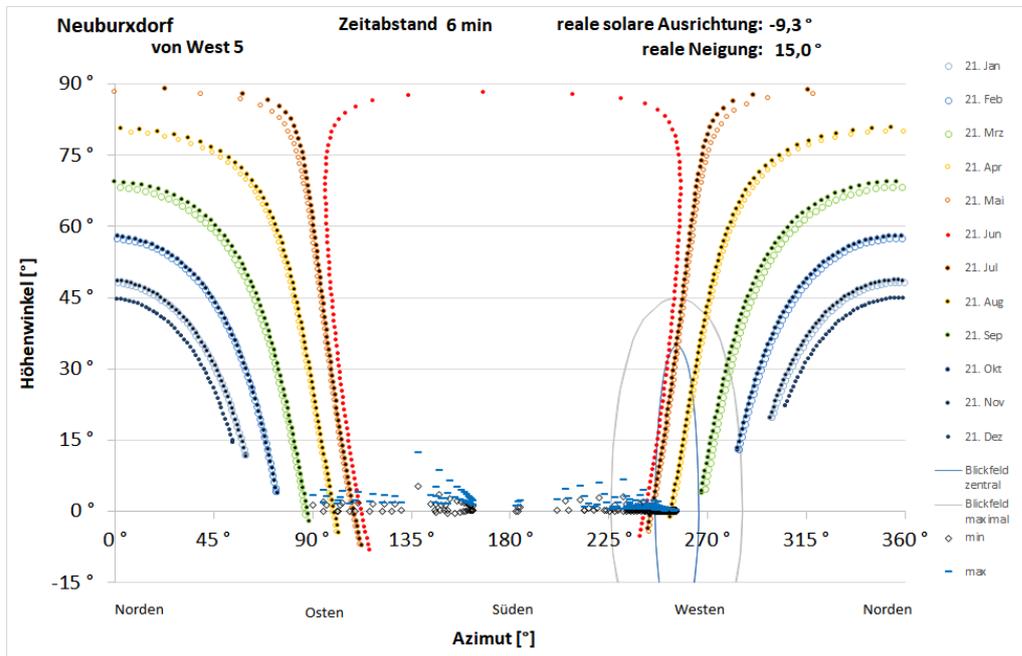


Abbildung 32: Reflexionsdiagramm für den fünften untersuchten Punkt aus westlicher Richtung für hangbedingt minimale Südabweichung als ungünstigster Fall

### 5.3.6 Punkt 6 von Westen

Für den sechsten Punkt ergibt sich im ungünstigsten Fall das Reflexionsdiagramm in Abbildung 33.

Bedingt durch die leichte Wendung der Gleise in etwas nördlichere Richtung treten hier Reflexionen in und beidseitig dicht neben der Blickachse auf. Bis  $2^\circ$  Abstand zur Blickachse gehen Reflexionen nur von Sonnenständen unter  $6^\circ$  aus und die nicht abschirmbare Sonne stellt die dominierende Blendquelle dar. Im übrigen Bereich der besonders kritischen Nähe zur Blickachse bis  $5^\circ$  Abstand können auftretende Reflexionen maximal 450 lx Beleuchtungsstärke an Zugführeraugen bewirken bei gleichzeitiger Beleuchtung senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte von 13.000 lx.

Zum Rand des zentralen Blickfeldes bei  $10^\circ$  Abstand zur Blickachse können auftretende Reflexionen maximal 800 lx Beleuchtungsstärke an Zugführeraugen bewirken bei gleichzeitiger Beleuchtung senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte von 19.000 lx. Die Flächenhöhe im Blickfeld wächst mit zunehmendem Abstand von der Blickachse auf  $2,5^\circ$  an. Danach enden mögliche Reflexionen.

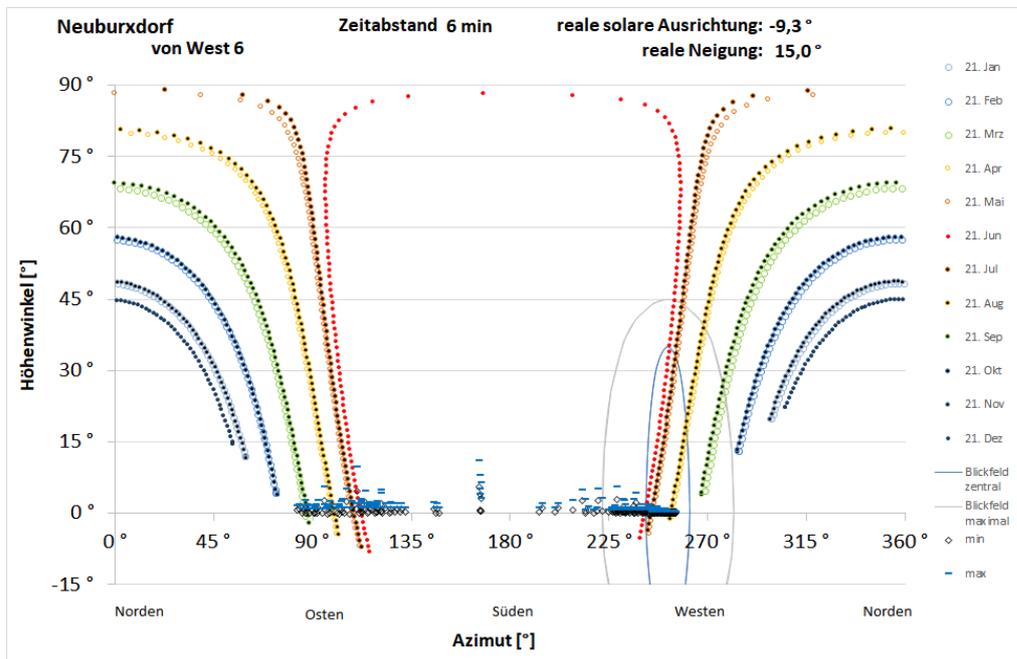


Abbildung 33: Reflexionsdiagramm für den sechsten untersuchten Punkt aus westlicher Richtung für hangbedingt minimale Südabweichung als ungünstigster Fall

### 5.3.7 Punkt 7 von Westen

Für den siebenten Punkt ergibt sich im ungünstigsten Fall das Reflexionsdiagramm in Abbildung 34.

Auch hier treten noch Reflexionen in und beidseitig dicht neben der Blickachse auf. Bis  $5^\circ$  Abstand zur Blickachse gehen Reflexionen aber nur von Sonnenständen unter  $6^\circ$  aus und die nicht abschirmbare Sonne stellt die dominierende Blendquelle dar. Im übrigen Bereich des zentralen Blickfeldes bis  $10^\circ$  Abstand können auftretende Reflexionen maximal 600 lx Beleuchtungsstärke an Zugführeraugen bewirken bei gleichzeitiger Beleuchtung senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte von 16.000 lx. Bei  $14^\circ$  Abstand zur Blickachse enden mögliche Reflexionen. Bis hier können auftretende Reflexionen maximal 900 lx Beleuchtungsstärke an Zugführeraugen bewirken bei gleichzeitiger Beleuchtung senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte von 20.000 lx.

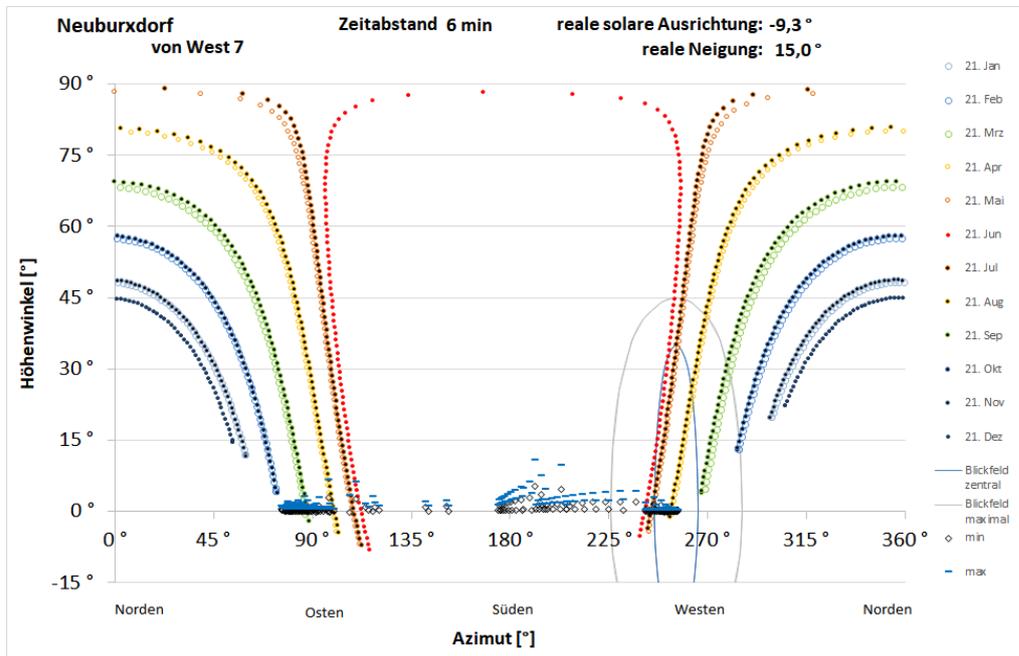


Abbildung 34: Reflexionsdiagramm für den siebenten untersuchten Punkt aus westlicher Richtung für hangbedingt minimale Südabweichung als ungünstigster Fall

### 5.3.8 Punkt 8 von Westen

Für den achten Punkt ergibt sich im ungünstigsten Fall das Reflexionsdiagramm in Abbildung 35.

Bis  $6^\circ$  Abstand zur Blickachse gehen Reflexionen nur von Sonnenständen unter  $5,2^\circ$  aus und die nicht abschirmbare Sonne stellt die dominierende Blendquelle dar. Zum Rand des zentralen Blickfeldes bei  $10^\circ$  Abstand zur Blickachse können auftretende Reflexionen maximal 550 lx Beleuchtungsstärke an Zugführeraugen bewirken bei gleichzeitiger Beleuchtung senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte von 15.000 lx. Die Flächenhöhe im Blickfeld wächst mit zunehmendem Abstand von der Blickachse auf  $2^\circ$  an. Bei  $16,3^\circ$  Abstand zur Blickachse enden mögliche Reflexionen und die durch Reflexionen bewirkte Beleuchtungsstärke an Zugführeraugen erreicht maximal 1.000 lx bei gleichzeitiger Beleuchtung senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte von 22.000 lx. Die Flächenhöhen im Blickfeld wachsen bis auf  $3^\circ$  an.

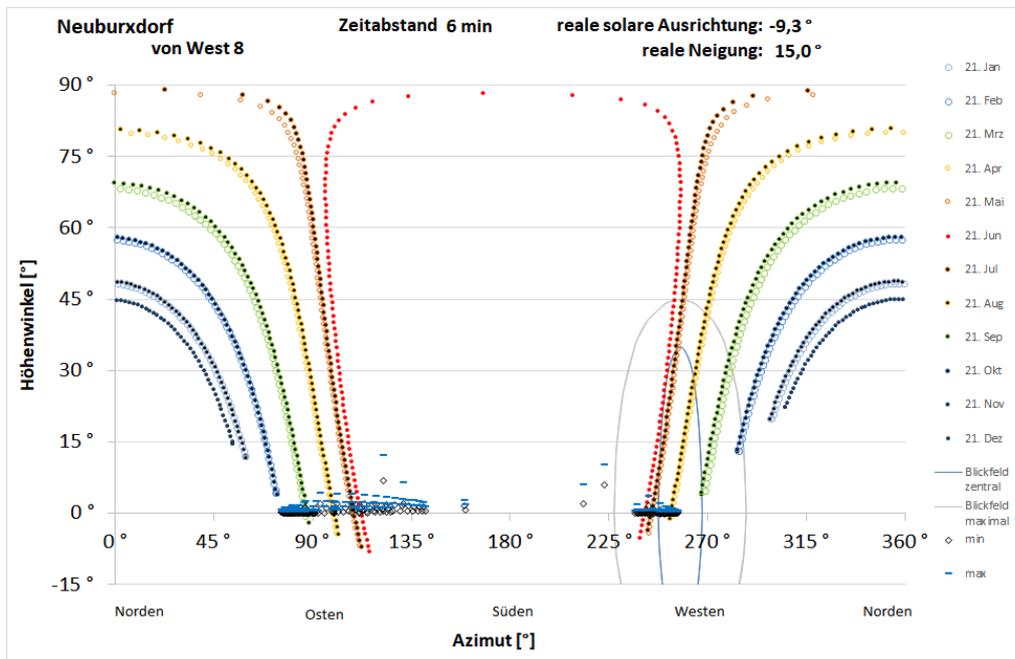


Abbildung 35: Reflexionsdiagramm für den achten untersuchten Punkt aus westlicher Richtung für hangbedingt minimale Südabweichung als ungünstigster Fall

### 5.3.9 Punkt 9 von Westen

Für den neunten Punkt ergibt sich im ungünstigsten Fall das Reflexionsdiagramm in Abbildung 36.

Im besonders kritischen Bereich bis  $5^\circ$  Abstand zur Blickachse gehen Reflexionen nur von Sonnenständen unter  $5,2^\circ$  aus und die nicht abschirmbare Sonne stellt die dominierende Blendquelle dar. Zum Rand des zentralen Blickfeldes bei  $10^\circ$  Abstand zur Blickachse können auftretende Reflexionen maximal 500 lx Beleuchtungsstärke an Zugführeraugen bewirken bei gleichzeitiger Beleuchtung senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte von 14.000 lx. Die Flächenhöhe im Blickfeld wächst mit zunehmendem Abstand von der Blickachse auf  $2^\circ$  an. Bei  $16^\circ$  Abstand zur Blickachse enden mögliche Reflexionen. Die durch Reflexionen bewirkte Beleuchtungsstärke an Zugführeraugen erreicht maximal 930 lx bei gleichzeitiger Beleuchtung senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte von 21.000 lx und Flächenhöhen im Blickfeld von  $3^\circ$ .

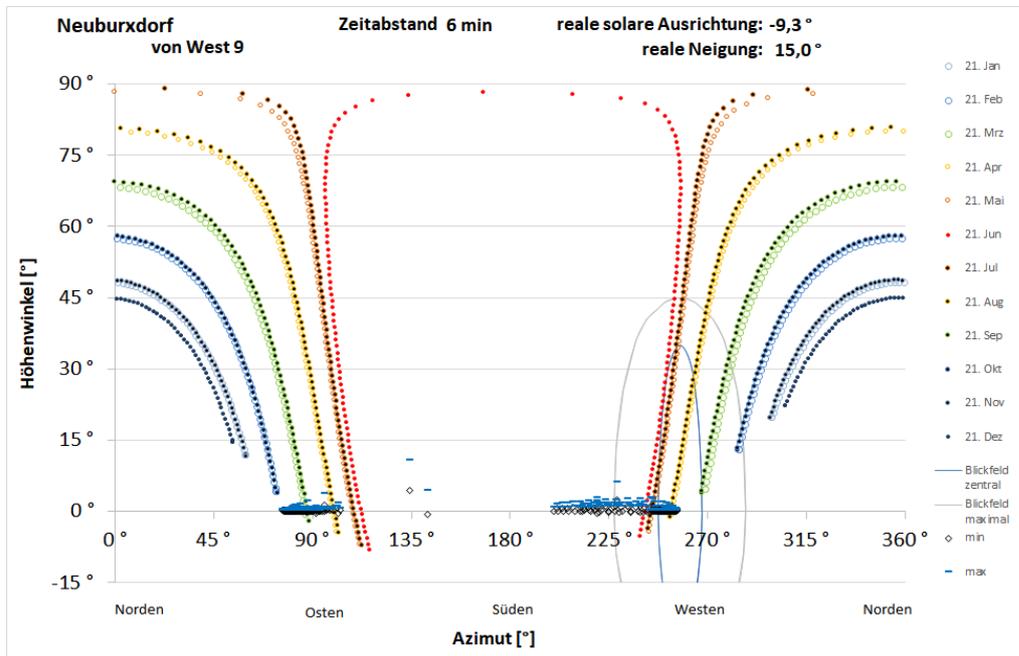


Abbildung 36: Reflexionsdiagramm für den neunten untersuchten Punkt aus westlicher Richtung für hangbedingt minimale Südabweichung als ungünstigster Fall

### 5.3.10 Punkt 10 von Westen

Für den zehnten Punkt ergibt sich im ungünstigsten Fall das Reflexionsdiagramm in Abbildung 37.

Im besonders kritischen Bereich bis  $5^\circ$  Abstand zur Blickachse gehen Reflexionen nur von Sonnenständen unter  $5,2^\circ$  aus und die nicht abschirmbare Sonne stellt die dominierende Blendquelle dar. Zum Rand des zentralen Blickfeldes bei  $10^\circ$  Abstand zur Blickachse können auftretende Reflexionen maximal  $570 \text{ lx}$  Beleuchtungsstärke an Zugführeraugen bewirken bei gleichzeitiger Beleuchtung senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte von  $15.000 \text{ lx}$ . Die Flächenhöhe im Blickfeld wächst mit zunehmendem Abstand von der Blickachse auf  $2^\circ$  an. Bei  $16,3^\circ$  Abstand zur Blickachse enden mögliche Reflexionen. Die durch Reflexionen bewirkte Beleuchtungsstärke an Zugführeraugen erreicht maximal  $990 \text{ lx}$  bei gleichzeitiger Beleuchtung senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte von  $21.000 \text{ lx}$  und Flächenhöhen im Blickfeld von  $3^\circ$ .

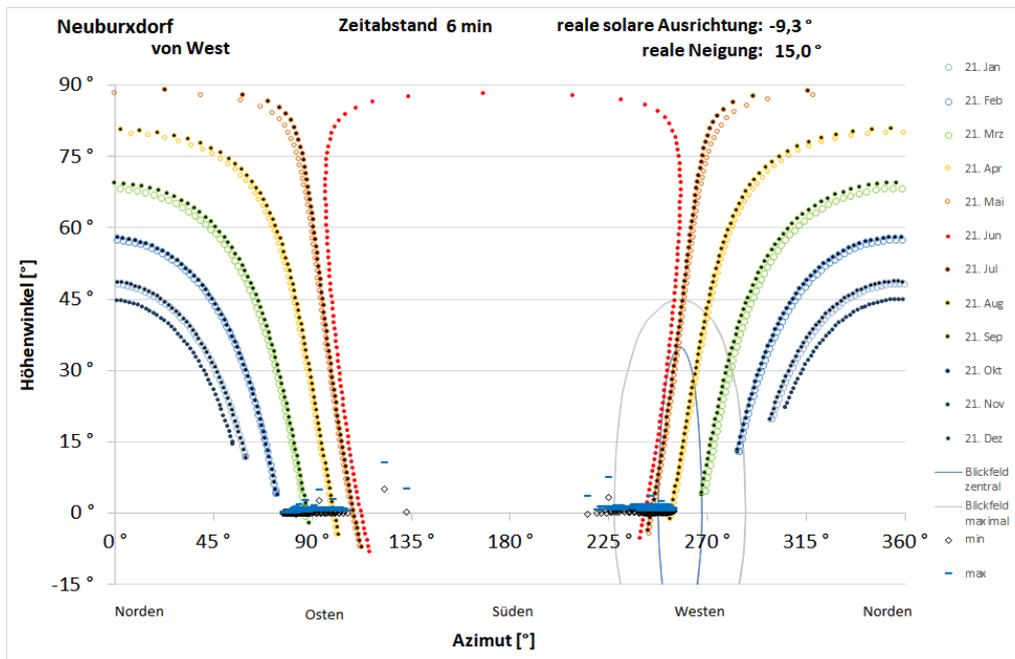


Abbildung 37: Reflexionsdiagramm für den zehnten untersuchten Punkt aus westlicher Richtung für hangbedingt minimale Südabweichung als ungünstigster Fall

### 5.3.11 Punkt 11 von Westen

Für den elften Punkt ergibt sich im ungünstigsten Fall das Reflexionsdiagramm in Abbildung 38.

Reflexionen beginnen hier erst außerhalb des zentralen Blickfeldes und enden bei  $13,6^\circ$  Abstand zur Blickachse. Die durch Reflexionen bewirkte Beleuchtungsstärke an Zugführeraugen erreicht maximal  $900 \text{ lx}$  bei gleichzeitiger Beleuchtung senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte von  $21.000 \text{ lx}$  und Flächenhöhen im Blickfeld von  $2,5^\circ$ .

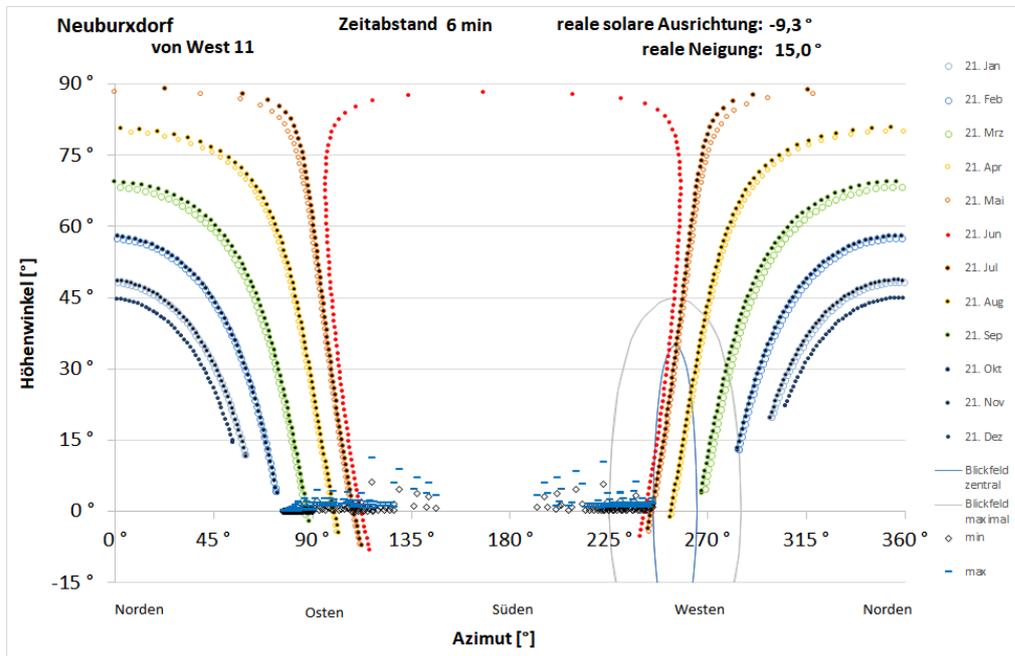


Abbildung 38: Reflexionsdiagramm für den elften untersuchten Punkt aus westlicher Richtung für hangbedingt minimale Südabweichung als ungünstigster Fall

### 5.3.12 Punkt 12 von Westen

Für den zwölften Punkt ergibt sich im ungünstigsten Fall das Reflexionsdiagramm in Abbildung 39.

Zu diesem Punkt können bereits keine Reflexionen mehr gerichtet sein.

Damit erübrigt sich auch eine Untersuchung zu Punkt 13.

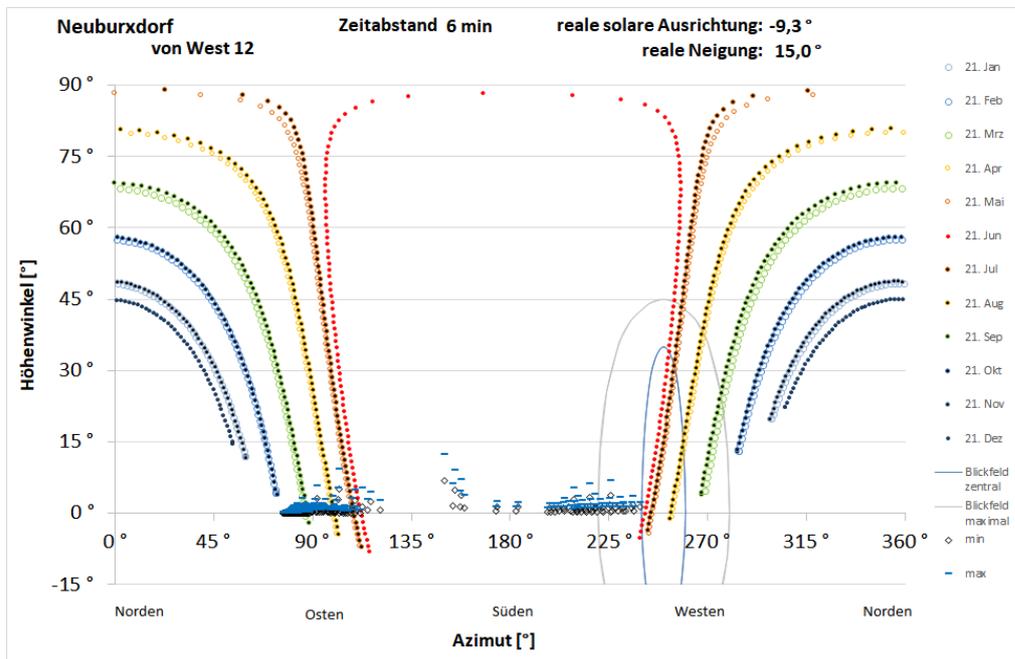


Abbildung 39: Reflexionsdiagramm für den zwölften untersuchten Punkt aus westlicher Richtung für hangbedingt minimale Südabweichung als ungünstigster Fall

## 5.4 Wohnhäuser

Die östlichsten Module haben zu den Fenstern des nächstgelegenen Hauses An der Hauptstraße 28 einen Abstand von 280 m. Bei dieser Entfernung genügt es, die Reflexionsdiagramme für die durchschnittliche Ausrichtung ebenerdig errichteter Modultische von  $-12,6^\circ$  zu erstellen. Sie finden sich in Abbildung 40 und Abbildung 41.

Sie zeigen, dass die Fenster nur von Reflexionen betroffen sein können, deren Abstand zur Sonne unter  $10^\circ$  liegt und die damit nicht als Immissionen zu werten sind.

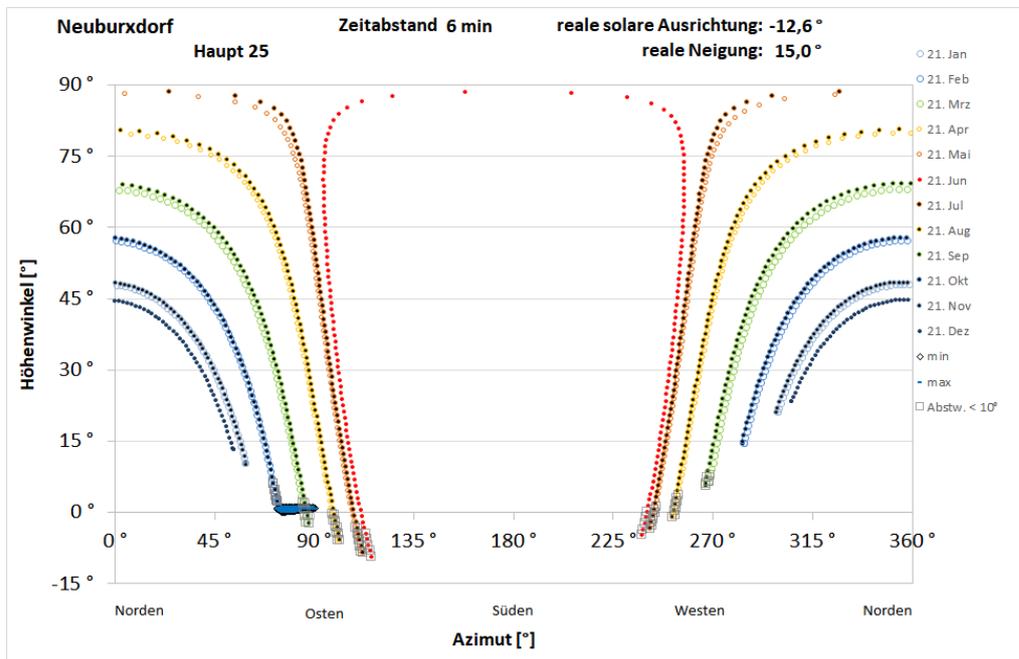


Abbildung 40: Reflexionsdiagramm für durchschnittliche Ausrichtung ebenerdig errichteter Modultische und die Giebelfenster des Hauses An der Hauptstraße 25

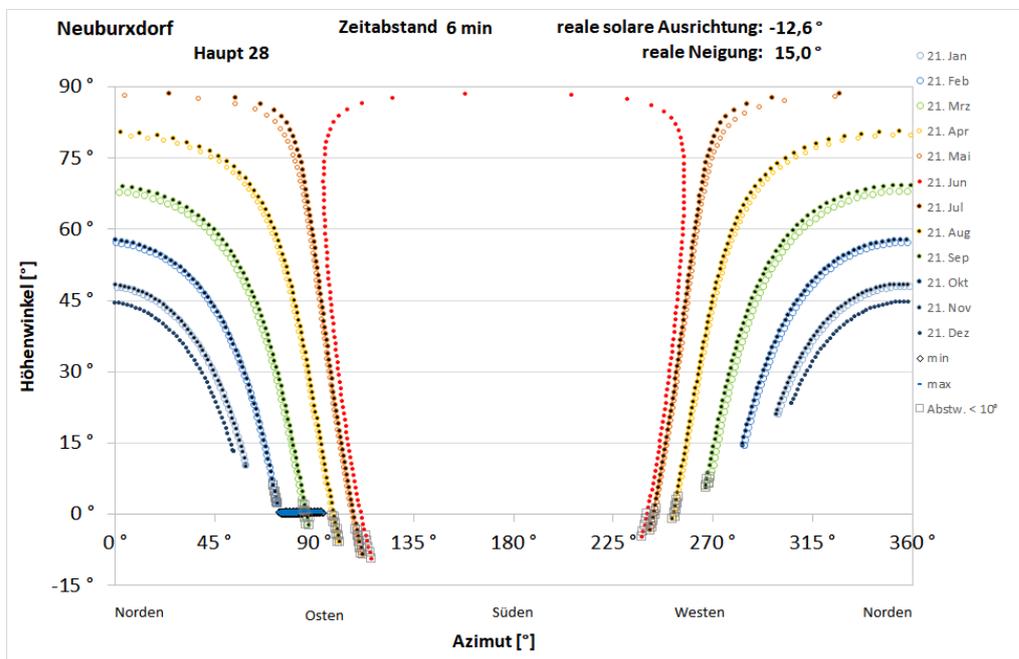


Abbildung 41: Reflexionsdiagramm für durchschnittliche Ausrichtung ebenerdig errichteter Modultische und die Giebelfenster des Hauses An der Hauptstraße 28



## 6 Bewertung der Ergebnisse

### 6.1 Wohnhäuser östlich der Anlage

Es wird festgestellt, dass die Wohnhäuser östlich der Anlage nur von Reflexionen betroffen sein können, die keine Immissionen im Sinne der LAI-Richtlinie darstellen. Somit liegt keine Belästigung vor.

### 6.2 Bahnlinie

Für die Bahnlinie wird festgestellt, dass aus Neuburxdorf kommende Zugführer beim Durchfahren des Gleisbogens im Osten der Anlage von Reflexionen betroffen sein können, die von links nach rechts durch das Blickfeld wandern. Die dabei auftretenden Intensitäten und Flächengrößen im Blickfeld erreichen zwar keine Größenordnungen, bei denen mit vollkommenem Ausfall der Sehfähigkeit gerechnet werden müsste, aber eine Beeinträchtigung durch kurzzeitigen Zwang zu Blickabwendung kann nicht ausgeschlossen werden. Berücksichtigt man, dass von den bestehenden Anlagen südlich der Bahnlinie bereits Reflexionen auf Zugführer einwirken können, so sollte eine zusätzliche Einwirkung der neu zu errichtenden Anlage vermieden werden. Zu diesem Zweck wird empfohlen, den Zaun an der Ostseite der Anlage sichtsichernd zu gestalten, sei es durch eine immergrüne Hecke oder andere bauliche Maßnahmen.

Für die übrige Strecke aus östlicher Richtung wird zusammenfassend festgestellt, dass in jedem Fall der besonders kritische Bereich bis 5° Abstand zur Blickachse allenfalls dann von Reflexionen betroffen sein kann, wenn die Sonne selbst so dicht über der reflektierenden Fläche steht, dass sie durch Sonnenschutzvorrichtungen nicht abgeschirmt werden kann und durch ihre eigene Blendwirkung eine eigenständige Blendwirkung der Reflexionen ausschließt. Zum Rand des zentralen Blickfeldes hin bis 10° Abstand zur Blickachse treten streckenweise zwar etwas höhere Sonnenstände auf, die eine Abschirmung der Sonne ermöglichen, aber auch in diesen Fällen übersteigt die durch Reflexionen an Zugführeraugen bewirkte Beleuchtungsstärke 800 lx nirgends, bei mehr als 20-facher Beleuchtungsstärke senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte. Derartige Beleuchtungsverhältnisse am äußeren Rand des zentralen Blickfeldes stellen keine Sichtbeeinträchtigung dar auf einer nahezu geraden und ebenen Strecke. Die sich jenseits des zentralen Blickfeldes mit zunehmendem Abstand von der Blickachse ergebende Steigerung der Beleuchtungsintensitäten durch mögliche Reflexionen geht einher mit einer in ähnlichem Verhältnis wachsenden Beleuchtungsintensität senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte und stellt auf dieser übersichtlichen Strecke keine Beeinträchtigung der Sehfähigkeit dar.

Für Zugführer aus Westen kann zusammenfassend festgestellt werden, dass – mit Ausnahme des Streckenabschnitts zwischen den untersuchten Punkten 6 und 7 aus Abbildung 27 südlich von Baufeld A – auftretende Reflexionen im besonders kritischen Bereich bis 5° Abstand zur Blickachse ausschließlich von so niedrigen Sonnenständen herrühren, dass die Reflexionen keine eigenständige Blendwirkung erzielen können. Zum Rand des zentralen Blickfeldes hin bis 10° Abstand zur Blickachse treten auch hier streckenweise etwas höhere Sonnenstände auf, die eine Abschirmung der Sonne



ermöglichen, aber in diesen Fällen übersteigt die durch Reflexionen an Zugführeraugen bewirkte Beleuchtungsstärke 620 lx nirgends, bei mehr als 20-facher Beleuchtungsstärke senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte. Derartige Beleuchtungsverhältnisse am äußeren Rand des zentralen Blickfeldes stellen keine Sichtbeeinträchtigung dar auf der nahezu geraden und ebenen Strecke. Die sich jenseits des zentralen Blickfeldes mit zunehmendem Abstand von der Blickachse ergebende Steigerung der Beleuchtungsintensitäten durch mögliche Reflexionen geht einher mit einer in ähnlichem Verhältnis wachsenden Beleuchtungsintensität senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte und stellt auf dieser übersichtlichen Strecke keine Beeinträchtigung der Sehfähigkeit dar.

Nur in dem Streckenabschnitt zwischen den genannten Punkten 6 und 7 kommt es durch die leicht veränderte Blickrichtung zu einer Situation, in der ab 2° neben der Blickachse, also im besonders kritischen Bereich des zentralen Blickfeldes, Reflexionen von höheren Sonnenständen auftreten können, bei denen eine Abschirmung der Sonne nicht möglich ist, so dass die Reflexionen eine eigenständige Blendwirkung hervorrufen können. Auch wenn die dabei auftretenden Intensitäten und Flächengrößen im Blickfeld keine Größenordnungen erreichen können, bei denen mit vollkommenem Ausfall der Sehfähigkeit gerechnet werden müsste, drängen derartige Beleuchtungsverhältnisse die Augen unwillkürlich zum Ausweichen. Die Strecke, auf der dies geschehen kann, hat eine Länge von 170 m. Bei einer Geschwindigkeit von 60 km/h hält diese Beleuchtungssituation damit über 10 Sekunden lang an. Eine solche Beeinträchtigung sollte vermieden werden. Zu diesem Zweck wird empfohlen, den Zaun an der Südseite der Anlage auf einer Länge von fast 200 m sichtschießend zu gestalten, sei es durch eine immergrüne Hecke oder andere bauliche Maßnahmen. Die genaue Lage wird im folgenden Kapitel gekennzeichnet.



## 7 Blendschutzmaßnahmen

Wie im vorangegangenen Kapitel erläutert, wird an zwei Stellen, die in Abbildung 42 gekennzeichnet sind, empfohlen, den Zaun bis zu seiner Oberkante von 2 m über dem Boden als Sichtschutz zu verblenden, sei es durch eine immergrüne Hecke oder andere bauliche Maßnahmen. Unterhalb von 80 cm über dem Boden ist eine Verblendung nicht erforderlich. Eine Laubhecke würde nicht ausreichen, da abzuschirmende Reflexionen teilweise schon im April beginnen, wo noch nicht mit ausreichender Belaubung gerechnet werden kann.

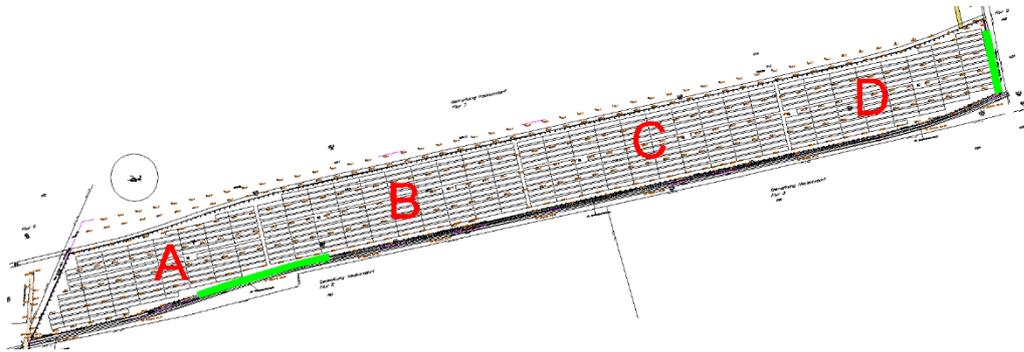


Abbildung 42: Lage der empfohlenen Blendschutzmaßnahmen (breite grüne Linie) südlich der Felder A und B und östlich von Feld D

Die genaue Lage ist in den Detailvergrößerungen in Abbildung 43 und Abbildung 44 zu erkennen.

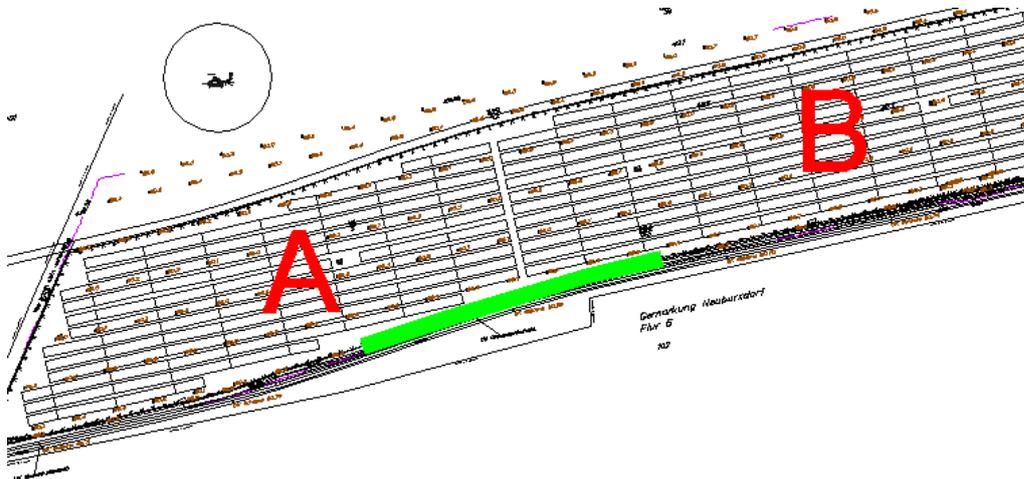


Abbildung 43: Genaue Lage des Blendschutzes südlich der Felder A und B

Die Zaunverblendung im südlichen Bereich sollte 8 m nach Beginn der drittletzten Tischreihe von Feld A beginnen und 10 m nach Ende der zweiten Tischreihe von Feld B enden.

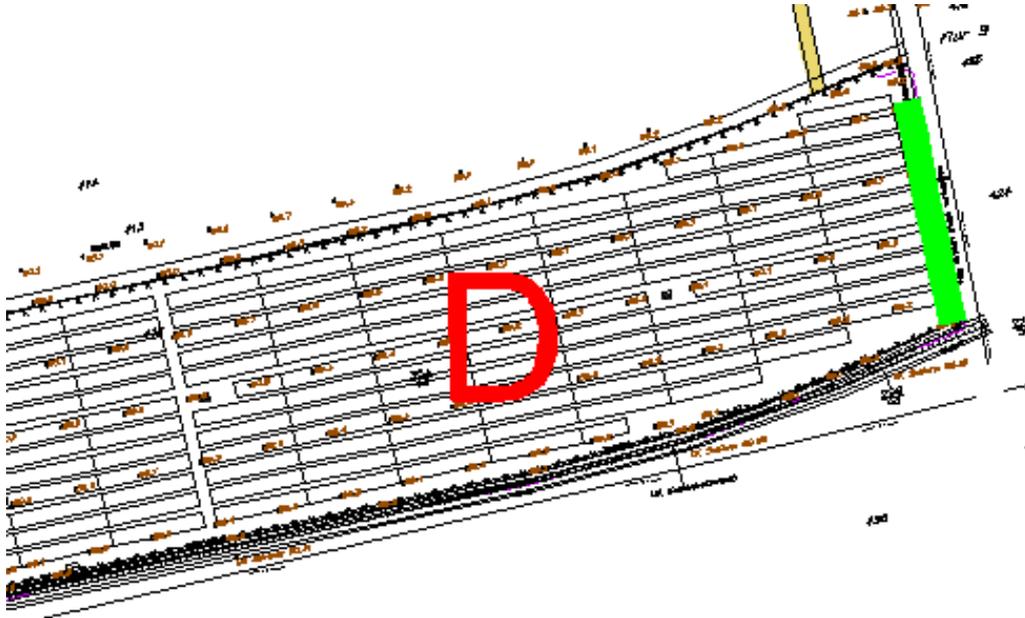


Abbildung 44: Genaue Lage des Blendschutzes östlich von Feld D

Die Zaunverblendung am östlichen Rand sollte in 16 m Abstand von der nördlichsten Baufeldecke beginnen und bis zur südöstlichen Ecke reichen.



## 8 *Verwendete Materialien*

### 8.1 *Dokumente vom Auftraggeber*

- ▶ Belegungsplan mit vermessenen Höhen als Datei 2018\_001\_Neuburxdorf\_190823\_ALP-anSolarpraxis.dxf

### 8.2 *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



## 9 *Abbildungsverzeichnis*

Abbildung 1: Lage der Modulreihen (schwarz) nördlich der Bahnlinie und der zu untersuchenden Häuser im Osten (rot umkreist); bestehende und nicht zu untersuchende PV-Anlagen südlich der Bahnlinie .....	5
Abbildung 2: Gegenstände auf der Sichtachse zur Blendquelle sind nicht mehr wahrnehmbar.....	9
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 .....	12
Abbildung 4: Auswirkung des Einfallwinkels auf den Transmissionsgrad für Modulgläser .....	14
Abbildung 5: Belegungsplan (Modultische schwarz); Baufeldbezeichnungen rot .....	15
Abbildung 6: Seitlicher Schnitt durch zwei Modultischreihen.....	15
Abbildung 7: Lichtsignal hinter der geplanten Anlage für Züge in Richtung Neuburxdorf.....	16
Abbildung 8: Blick aus Richtung der geplanten Anlage zu den Häusern An der Hauptstraße 28 und 25 dahinter .....	17
Abbildung 9: 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 10: Reflexionsdiagramm aus Sicht eines beliebigen potenziellen Blendpunktes der mit $-12,6^\circ$ ausgerichteten Module mit einer Modulneigung von $15^\circ$ am Standort der Anlage; waagrecht aufgetragen sind die Azimutwinkel von Norden ( $0^\circ$ ) über Osten ( $90^\circ$ ), Süden ( $180^\circ$ ) nach Westen ( $270^\circ$ ), senkrecht die Höhenwinkel; Reflexionen aus einem Abstand zur Sonne von unter $10^\circ$ sind grau umrahmt .....	19
Abbildung 11: Reflexionsdiagramme für hangbedingt auftretende maximale Abweichungen von der durchschnittlichen Ausrichtung, links für $-9,3^\circ$ und rechts für $-16,1^\circ$ .....	19
Abbildung 12: Beispiel für Bandbreite möglicher Höhenwinkel .....	20
Abbildung 13: Exemplarisch untersuchte Punkte auf der Bahnlinie aus östlicher Richtung rot markiert und in Fahrtrichtung grün durchnummeriert.....	21
Abbildung 14: Reflexionsdiagramme für den ersten untersuchten Punkt aus östlicher Richtung, links für hangbedingt maximale Südabweichung der Ausrichtung und rechts für minimale .....	21
Abbildung 15: Reflexionsdiagramm für den zweiten untersuchten Punkt aus östlicher Richtung für hangbedingt maximale Südabweichung als ungünstigster Fall .....	22
Abbildung 16: Reflexionsdiagramm für den dritten untersuchten Punkt aus östlicher Richtung für hangbedingt maximale Südabweichung als ungünstigster Fall .....	23



Abbildung 17: Reflexionsdiagramm für den vierten untersuchten Punkt aus östlicher Richtung für hangbedingt maximale Südabweichung als ungünstigster Fall .....	25
Abbildung 18: Reflexionsdiagramm für den fünften untersuchten Punkt aus östlicher Richtung für hangbedingt maximale Südabweichung als ungünstigster Fall .....	26
Abbildung 19: Reflexionsdiagramm für den sechsten untersuchten Punkt aus östlicher Richtung für hangbedingt maximale Südabweichung als ungünstigster Fall .....	27
Abbildung 20: Reflexionsdiagramm für den siebenten untersuchten Punkt aus östlicher Richtung für hangbedingt maximale Südabweichung als ungünstigster Fall .....	28
Abbildung 21: Reflexionsdiagramm für den achten untersuchten Punkt aus östlicher Richtung für hangbedingt maximale Südabweichung als ungünstigster Fall .....	29
Abbildung 22: Reflexionsdiagramm für den neunten untersuchten Punkt aus östlicher Richtung für hangbedingt maximale Südabweichung als ungünstigster Fall .....	30
Abbildung 23: Reflexionsdiagramm für den zehnten untersuchten Punkt aus östlicher Richtung für hangbedingt maximale Südabweichung als ungünstigster Fall .....	31
Abbildung 24: Reflexionsdiagramm für den elften untersuchten Punkt aus östlicher Richtung für hangbedingt maximale Südabweichung als ungünstigster Fall .....	32
Abbildung 25: Reflexionsdiagramm für den zwölften untersuchten Punkt aus östlicher Richtung für hangbedingt maximale Südabweichung als ungünstigster Fall .....	33
Abbildung 26: Reflexionsdiagramm für den dreizehnten untersuchten Punkt aus östlicher Richtung für hangbedingt maximale Südabweichung als ungünstigster Fall .....	34
Abbildung 27: Exemplarisch untersuchte Punkte auf der Bahnlinie aus westlicher Richtung rot markiert und in Fahrtrichtung grün durchnummeriert .....	34
Abbildung 28: Reflexionsdiagramme für den ersten untersuchten Punkt aus westlicher Richtung, links für hangbedingt maximale Südabweichung der Ausrichtung und rechts für minimale .....	35
Abbildung 29: Reflexionsdiagramm für den zweiten untersuchten Punkt aus westlicher Richtung für hangbedingt minimale Südabweichung als ungünstigster Fall .....	36
Abbildung 30: Reflexionsdiagramm für den dritten untersuchten Punkt aus westlicher Richtung für hangbedingt minimale Südabweichung als ungünstigster Fall .....	37
Abbildung 31: Reflexionsdiagramm für den vierten untersuchten Punkt aus westlicher Richtung für hangbedingt minimale Südabweichung als ungünstigster Fall .....	38
Abbildung 32: Reflexionsdiagramm für den fünften untersuchten Punkt aus westlicher Richtung für hangbedingt minimale Südabweichung als ungünstigster Fall .....	39
Abbildung 33: Reflexionsdiagramm für den sechsten untersuchten Punkt aus westlicher Richtung für hangbedingt minimale Südabweichung als ungünstigster Fall .....	40



Abbildung 34: Reflexionsdiagramm für den siebenten untersuchten Punkt aus westlicher Richtung für hangbedingt minimale Südabweichung als ungünstigster Fall .....	41
Abbildung 35: Reflexionsdiagramm für den achten untersuchten Punkt aus westlicher Richtung für hangbedingt minimale Südabweichung als ungünstigster Fall .....	42
Abbildung 36: Reflexionsdiagramm für den neunten untersuchten Punkt aus westlicher Richtung für hangbedingt minimale Südabweichung als ungünstigster Fall .....	43
Abbildung 37: Reflexionsdiagramm für den zehnten untersuchten Punkt aus westlicher Richtung für hangbedingt minimale Südabweichung als ungünstigster Fall .....	44
Abbildung 38: Reflexionsdiagramm für den elften untersuchten Punkt aus westlicher Richtung für hangbedingt minimale Südabweichung als ungünstigster Fall .....	45
Abbildung 39: Reflexionsdiagramm für den zwölften untersuchten Punkt aus westlicher Richtung für hangbedingt minimale Südabweichung als ungünstigster Fall .....	46
Abbildung 40: Reflexionsdiagramm für durchschnittliche Ausrichtung ebenerdig errichteter Modultische und die Giebelfenster des Hauses An der Hauptstraße 25 .....	47
Abbildung 41: Reflexionsdiagramm für durchschnittliche Ausrichtung ebenerdig errichteter Modultische und die Giebelfenster des Hauses An der Hauptstraße 28 .....	47
Abbildung 42: Lage der empfohlenen Blendschutzmaßnahmen (breite grüne Linie) südlich der Felder A und B und östlich von Feld D .....	50
Abbildung 43: Genaue Lage des Blendschutzes südlich der Felder A und B .....	50
Abbildung 44: Genaue Lage des Blendschutzes östlich von Feld D .....	51

## 10 Tabellenverzeichnis



Tabelle 1: Menschliches Gebrauchsblickfeld (vertikal positiv ist oben, negativ unten) .....11