

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

► **Kade**

Analyse der Reflexionswirkung einer Photovoltaikanlage

Auftraggeber:

Wattner Projektentwicklungsgesellschaft mbH
Frau Irene Lauber
Maximinenstraße 6
50668 Köln

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: 22.10.2018

Projektnummer: P18243/v.1



Inhalt

1	Zweck und Gegenstand des Gutachtens	4
2	Zusammenfassung der Ergebnisse	5
3	Einleitung	6
3.1	Gesetzliche Grundlagen	6
3.1.1	Nutzung erneuerbarer Energien als ein explizites Ziel von Baurecht und Raumordnung	6
3.1.2	Immissionsschutz	7
3.2	Blendung	8
3.2.1	Blendung im Wohnbereich	8
3.2.2	Blendung im Verkehr	9
3.3	Entstehung von Reflexionen bei Photovoltaikanlagen	12
3.4	Verwendete Azimut-Winkelangaben	13
4	Situation vor Ort	14
4.1	Die Photovoltaikanlage	14
4.2	Nachbarhäuser an der Kader Schleuse	14
4.3	Bahnlinie	16
4.4	Signalanlagen	16
5	Berechnungen	19
5.1	Methodik der Berechnung	19
5.1.1	Geometrische Aspekte	19
5.1.2	Lichttechnische Aspekte	21
5.2	Bahnlinie aus östlicher Richtung	21
5.2.1	Punkt 1 von Osten	22
5.2.2	Punkt 2 von Osten	23
5.2.3	Punkt 3 von Osten	24
5.2.4	Punkt 4 von Osten	25
5.2.5	Punkt 5 von Osten	26



5.2.6	Punkt 6 von Osten.....	27
5.2.7	Punkt 7 von Osten.....	28
5.3	Bahnlinie aus westlicher Richtung.....	29
5.3.1	Punkt 1 von Westen.....	30
5.3.2	Punkt 2 von Westen.....	31
5.3.3	Punkt 3 von Westen.....	31
5.3.4	Punkt 4 bis Punkt 6 von Westen.....	32
5.3.5	Punkt 7 von Westen.....	33
5.4	Siganalanlagen.....	34
5.5	Benachbarte Häuser.....	35
5.5.1	Nördliches Haus.....	35
5.5.2	Südliches Haus.....	35
6	Bewertung der Ergebnisse.....	38
6.1	Bahnlinie.....	38
6.2	Wohnhäuser.....	39
7	Verwendete Materialien.....	40
7.1	Dokumente vom Auftraggeber.....	40
7.2	Literatur.....	40
8	Abbildungsverzeichnis.....	41
9	Tabellenverzeichnis.....	43



1 Zweck und Gegenstand des Gutachtens

Es soll untersucht werden, ob von den Modulen der geplanten Photovoltaikanlage östlich der Kader Schleuse Sonnenlicht auf Nachbarhäuser an der Kader Schleuse oder die südlich verlaufende Bahnlinie reflektiert werden kann und ob dadurch gegebenenfalls störende Blendwirkungen auftreten können. Die Lage der Anlage, der Bahn 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 geplanten Anlage (schwarz gestrichelt umgrenzt), der südlich verlaufenden Bahnlinie (grau) sowie der Häuser der Kader Schleuse



2 Zusammenfassung der Ergebnisse

Es wurde festgestellt, dass alle möglichen Reflexionen die Sicherheit des Bahnbetriebs nicht beeinträchtigen können und potenzielle Lichtimmissionen auf die Nachbarschaft aufgrund ihrer geringen Dauer unproblematisch sind.

Zusätzliche Blendschutzmaßnahmen sind damit nicht erforderlich.



3 Einleitung

Der vorliegende Bericht enthält vertrauliche Informationen. Der Bericht dient nur zur Vorlage bei den finanzierenden Banken, beim Anlagenerrichter bzw. dessen Rechtsnachfolger, beim Auftraggeber sowie zur Klärung genehmigungsrechtlicher Fragen bei den entsprechenden Behörden. Darunter fällt auch die Weitergabe des Berichts als Bestandteil des B-Planes durch die Gemeinde an 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 BauGB¹ 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 (BGBl. 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

¹ 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 BImSchG² 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.

² 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 Leuchtdichteverteilung 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 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 $1,6 \cdot 10^6 \text{ cd/m}^2$ wird die Adaptationsfähigkeit des menschlichen Auges überschritten. Dieser Zustand wird als Absolutblendung bezeichnet.³ 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.⁴

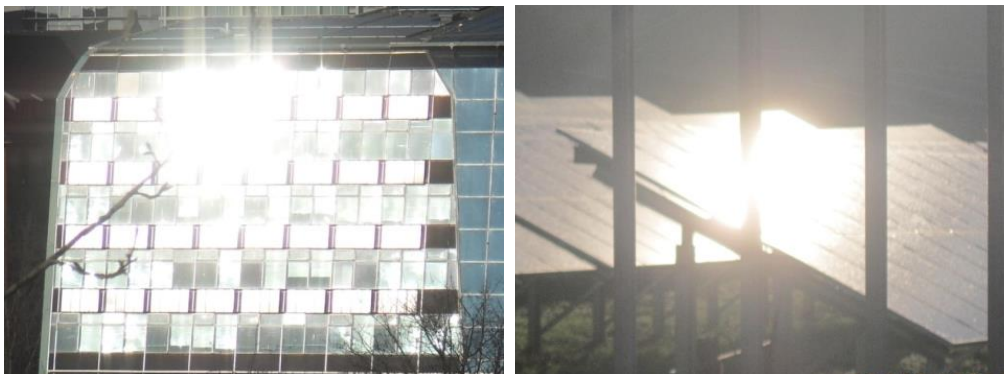


Abbildung 2: Gegenstände auf der Sichtachse zur Blendquelle sind nicht mehr wahrnehmbar

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

³ Wittlich 2010

⁴ 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 2012⁵ 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).⁶

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, 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

⁵ LAI 2012

⁶ 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° 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.^{7 8}

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

⁷ Reidenbach u. a. 2008

⁸ Kaufmann 1986

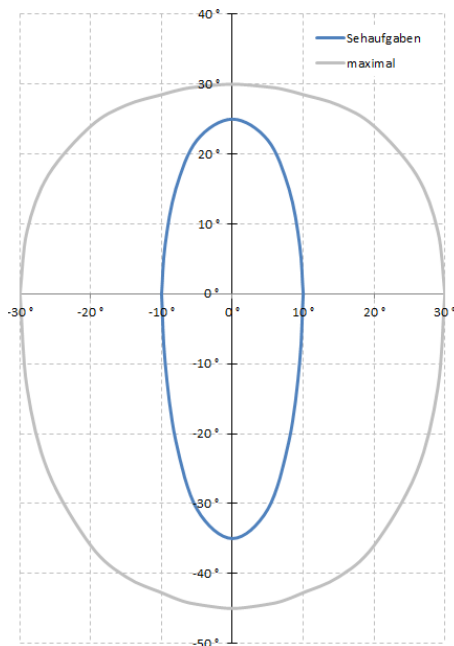


Abbildung 3: Blickfelder von Tabelle 1; der Achsenschnittpunkt $0^\circ/0^\circ$ stellt dabei einen Punkt auf der Blickachse dar, auf den die Augen fokussieren, und nicht notwendigerweise einen Punkt auf dem Horizont

Für die Beurteilung des Bereichs, in dem auftretende Reflexion 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 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.⁹ 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.¹⁰

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

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

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

⁹ Empfehlungen der Strahlenschutzkommission 2006

¹⁰ Fischbach u.a. 2014

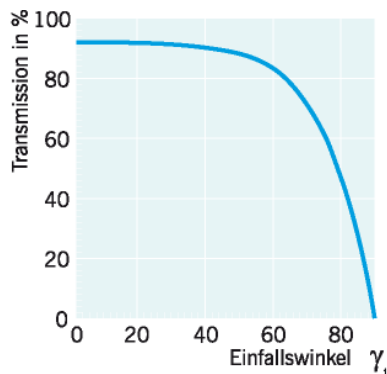


Abbildung 4: Auswirkung des Einfallswinkels auf den Transmissionsgrad für Modulgläser

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 ($> 10^4 \text{ cd/m}^2$) 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° 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 Fläche, auf der die Anlage errichtet werden soll, liegt nördlich der Bahnlinie und ist praktisch eben. Es liegen Höhenvermessungen vor, die über die gesamte Fläche nur zwischen 31,84 m und 32,57 m schwanken. Die Modulreihen werden parallel zur Bahnlinie mit einer Ausrichtung von $10,35^\circ$ errichtet, die Tischneigung beträgt 17° .

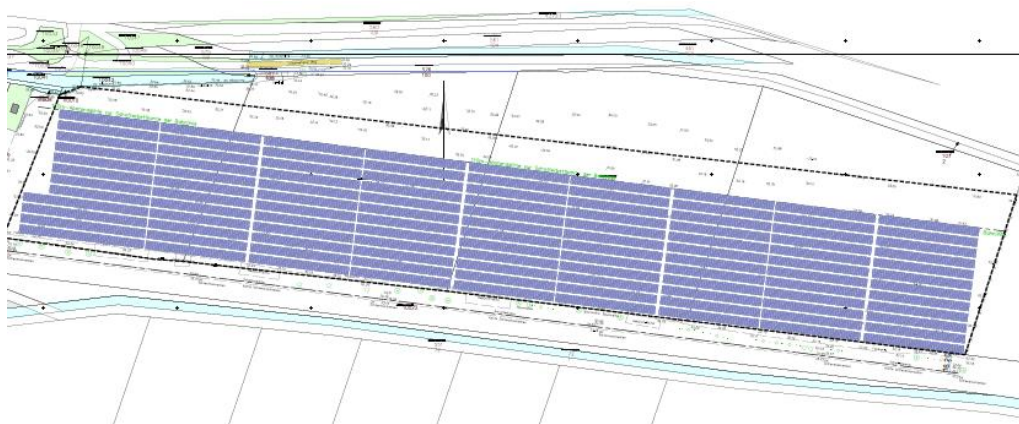


Abbildung 5: Belegungsplan (Modultische blau)

Die Unterkante der Module wird etwa 0,8 m über dem Gelände liegen und ihre Oberkante bei 2,59 m, wie Abbildung 6 zeigt.

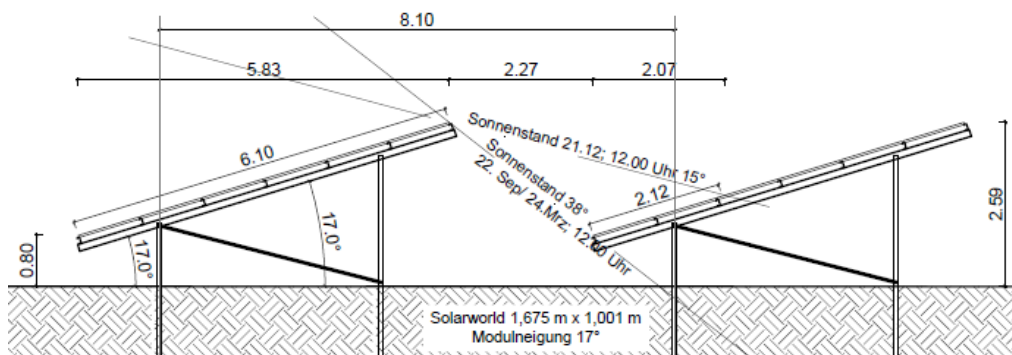


Abbildung 6: Seitlicher Schnitt durch die Modultischreihen

4.2 Nachbarhäuser an der Kader Schleuse

Westlich der geplanten Anlage liegt der Ort Kader Schleuse mit Wohnhäusern (Abbildung 7).



Abbildung 7: Die Häuser im Ort Kader Schleuse; Quelle: Google Earth Pro

Der Mindestabstand zu Modulen beträgt im nördlichen Bereich 89 m, im südlichen 159 m (Abbildung 8). Die Geländehöhe ändert sich nach Angabe von Google Earth zwischen Anlage und Häusern nicht.



Abbildung 8: Abstände zwischen der Anlage und den Häusern

Das höchstgelegene Fenster der Giebelwand im nördlichen Haus wird mit 7 m bis 8 m über Grund angesetzt. Ob es im südlichen Haus überhaupt Fenster zur Anlage hin gibt, ist aus Google Earth nicht ersichtlich. Sicherheitshalber wird angenommen, es gäbe dort ein höher gelegenes breites Fenster, von 10 m bis 11,5 m über Grund mit einer Breite von 3 m.



4.3 Bahnlinie

Für die Schwellenhöhe der Schienen liegen Höhenvermessungsdaten im gleichen System wie für den Anlagengrund vor, zumindest im Bereich der geplanten Anlage. Sie liegen bei 33,2 m. Die Höhe von Zugführeraugen liegt zwischen 2 m und 4 m über der Gleisoberkante, mit einer angenommenen Gleishöhe von 0,1 m ergibt sich für die Sichthöhe eine Spanne von 35,3 m bis 37,3 m.

4.4 Signalanlagen

Im Umkreis der geplanten Anlage befinden sich drei Signalanlagen, deren Standorte und Signalrichtungen in Abbildung 9 dokumentiert sind.



Abbildung 9: Standorte und Richtungen der Signale rot gekennzeichnet

Fotos der Signale finden sich in Abbildung 10 bis Abbildung 12.



Abbildung 10: Westliche Signale



Abbildung 11: Signale direkt südlich der Anlage



Abbildung 12: Östliche Signale

Die untersten Signallichter befinden sich 5,8 m über der Gleisoberkante. Die Signalthöhe wird deshalb mit 39,1 m angesetzt.



5 Berechnungen

5.1 Methodik der Berechnung

5.1.1 Geometrische Aspekte

Zunächst wird eine Aufstellung mit sämtlichen Sonneneinfallswinkeln im Jahresverlauf am Standort Kade (geografische Länge 12,28°, Breite 52,40°) in 6-minütiger Auflösung für 12 Tage im Jahr erstellt (jeweils der 21. jeden Monats)¹¹ 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 13). 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.

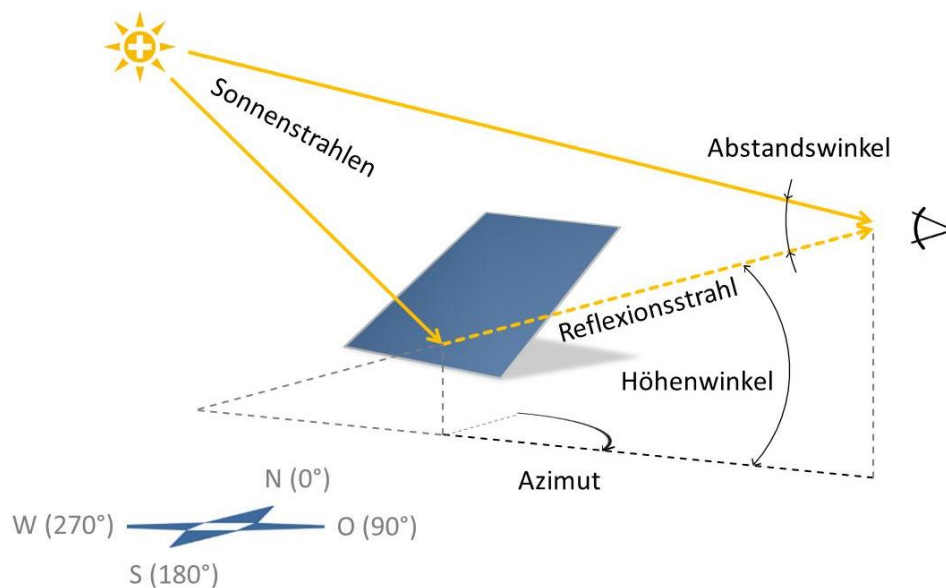


Abbildung 13: Darstellung des Reflexionsstrahls anhand von Azimut und Höhenwinkel wie im Reflexionsdiagramm verwendet und Beschreibung des Abstandswinkels zwischen Blickrichtungen zur Sonne und zum Blendpunkt

¹¹ Berechnung nach Eicker 2001



Ebenfalls in Abbildung 13 ist der Abstandswinkel zwischen den Blickrichtungen zur Sonne und zum Blendpunkt beschrieben.

Für einen beliebigen Punkt der mit einer Südabweichung von $10,35^\circ$ nach Süd-Südwesten ausgerichteten Module mit 17° Neigung ergibt sich so das in Abbildung 14 dokumentierte Reflexionsdiagramm.

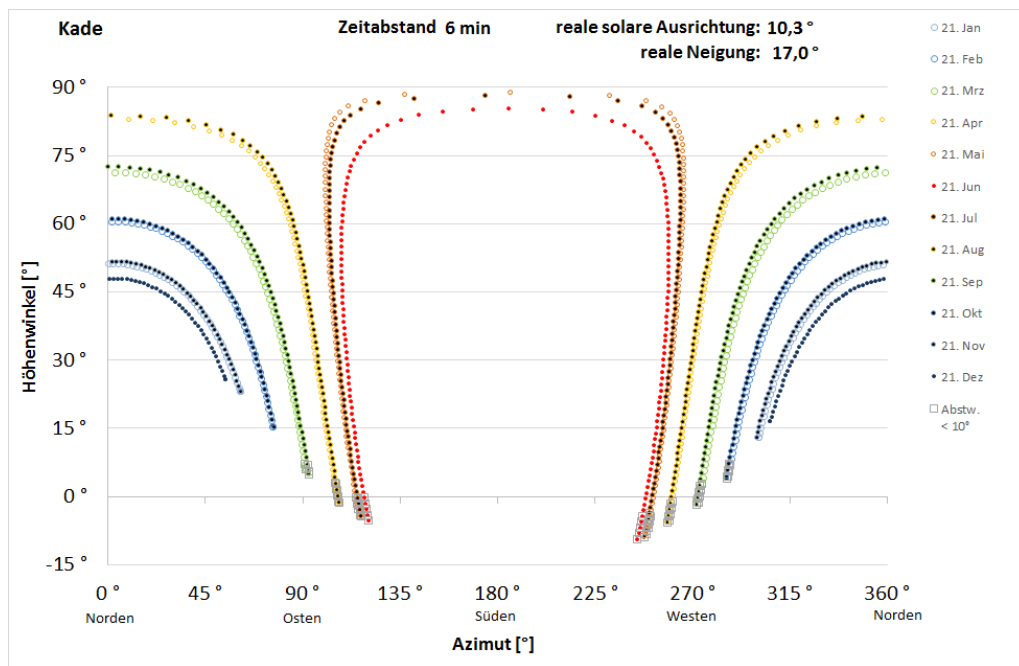


Abbildung 14: Reflexionsdiagramm aus Sicht eines beliebigen potenziellen Blendpunktes der mit $+10,3^\circ$ ausgerichteten Module mit einer Modulneigung von 17° am Standort der Anlage; waagrecht aufgetragen sind die Azimutwinkel von Norden (0°) über Osten (90°), Süden (180°) nach Westen (270°), senkrecht die Höhenwinkel; Reflexionen aus einem Abstand zur Sonne von unter 10° sind grau umrahmt

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 benötigt wird, 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 oder Fahrzeugführeraugen unterschiedliche Höhen haben.



Abbildung 15 verdeutlicht dies skizzenhaft am Beispiel von Fenstern: Maximale Höhenwinkel ergeben sich zu oberen Fensterkanten und minimale Höhenwinkel zu Fensterunterkanten.

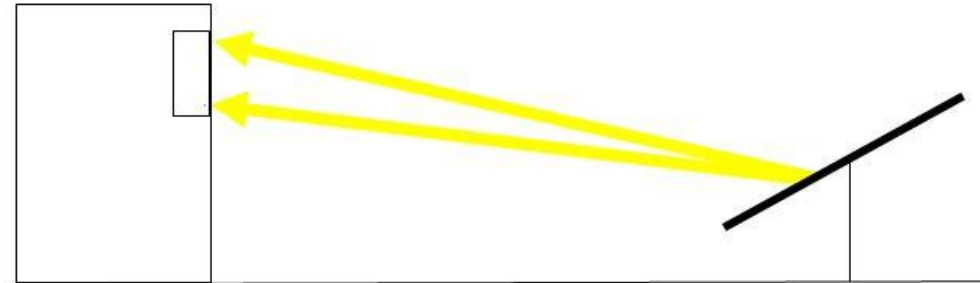


Abbildung 15: Beispiel für Bandbreite möglicher Höhenwinkel

Für die Augenhöhe von Triebfahrzeugführern werden 2 m bis 4 m über der Schienenoberkante angesetzt

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

5.1.2 Lichttechnische Aspekte

Wie in Abschnitt 3.2.2 ausgeführt ist für eine Entscheidung, ob reflektiertes Sonnenlicht eine potenzielle Verkehrsgefährdung darstellen kann oder nicht, das Verhältnis der Beleuchtungsstärke am Auge durch Sonnenlichtreflexionen der zu prüfenden Anlage einerseits und der Beleuchtungsstärke durch direktes, gestreutes oder diffus an der Umgebung reflektiertes Licht andererseits wesentlich.

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

Zunächst werden die Sichtverhältnisse für Zugführer, die aus Osten kommen, anhand von sieben exemplarisch gewählten Punkten auf dieser Strecke untersucht, deren Lage in Abbildung 16 dokumentiert ist.

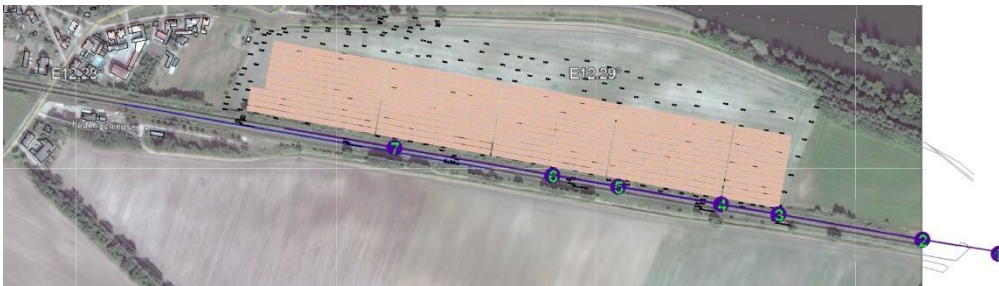


Abbildung 16: Exemplarisch gewählte Punkte auf der Bahnstrecke aus östlicher Richtung (lila Kreise) in Fahrtrichtung durchnummeriert (grün)

Wie in Abbildung 17 zu sehen ist, führt die Bahnstrecke zunächst durch einen Wald, der ca. 230 m vor Beginn der geplanten Anlage endet.

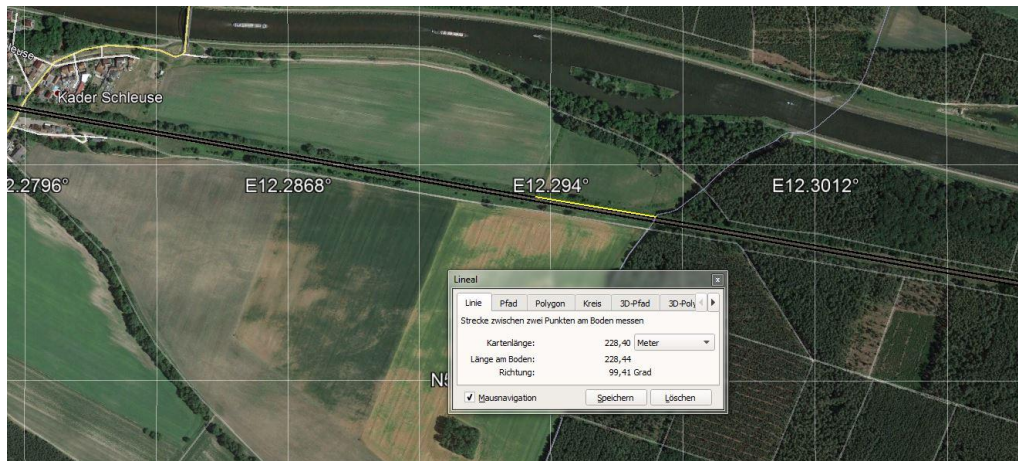


Abbildung 17: Luftbild aus Google Earth Pro mit Entfernungsangabe Waldrand – PV-Anlage (gelb)

Als Punkt 1 wird deshalb ein Punkt ca. 60 m vor dem Waldrand gewählt und als Punkt 2 der Beginn der freien Strecke mit Blick auf die Gesamtanlage.

5.2.1 Punkt 1 von Osten

Als Reflexionsdiagramm für den ersten, noch im Wald befindlichen Punkt ergibt sich Abbildung 18.

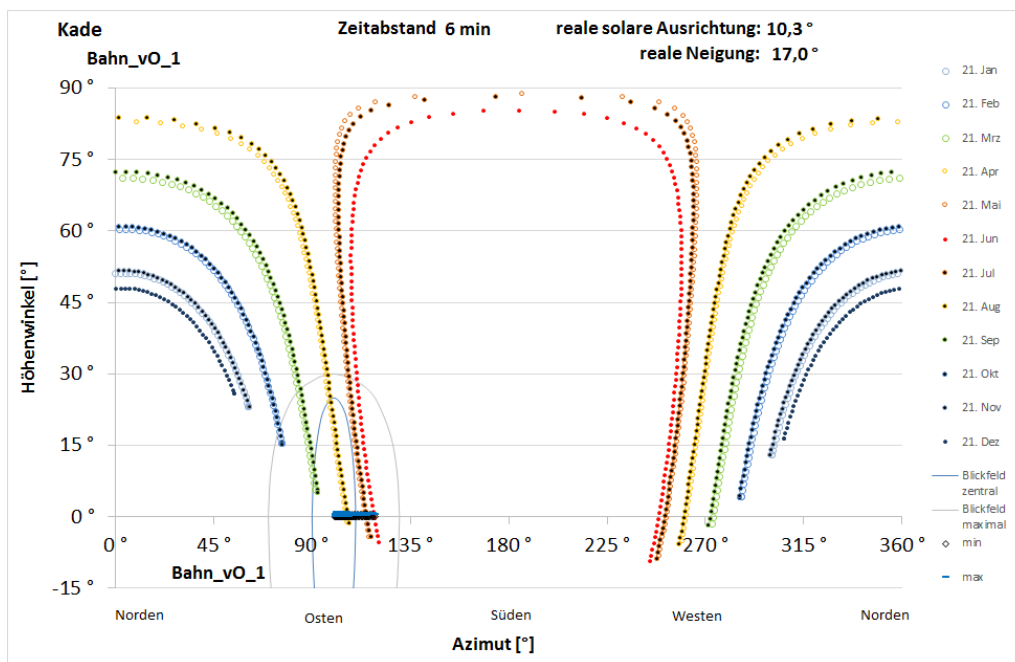


Abbildung 18: Reflexionsdiagramm für den ersten Punkt von Osten

Aus dieser Darstellung kann abgelesen werden, dass in den Abendstunden des Sommerhalbjahres mit Reflexionen im Blickfeld von Zugführern gerechnet werden muss, die zu Beginn und Ende des Sommerhalbjahres bis ins zentrale Blickfeld und dicht an die Blickachse heranreichen können. Deshalb müssen Art und Intensität der möglichen Reflexionen genauer untersucht werden, um ihr Blendpotenzial einschätzen zu können.

Dabei zeigt sich, dass die der Blickachse am nächsten gelegenen Reflexionen nur eine Beleuchtungsstärke von wenigen Lux am Auge von Zugführern bewirken können, während gleichzeitig die Sonne selbst mit ihrem erheblich größeren Blendpotenzial aus nahezu der gleichen Richtung auf die Zugführer trifft. Bis zum Rand des zentralen Blickfeldes, 10° rechts der Blickachse, bleibt die Sonnenhöhe so niedrig (6°), dass sie nicht durch Sonnenschutzblenden abgeschirmt werden kann.

Außerhalb des zentralen Blickfeldes nimmt die Beleuchtungsstärke, die durch die Reflexionen bewirkt werden kann, auf maximal 800 lx zu. Dieser Bereich ist vor dem Punkt 1 noch vollständig vom Wald abgeschirmt und beginnt erst ab hier sichtbar zu werden.

5.2.2 Punkt 2 von Osten

Als Reflexionsdiagramm für den zweiten Punkt, ab dem bereits ein freier Blick auf die Anlage herrscht, ergibt sich Abbildung 19.

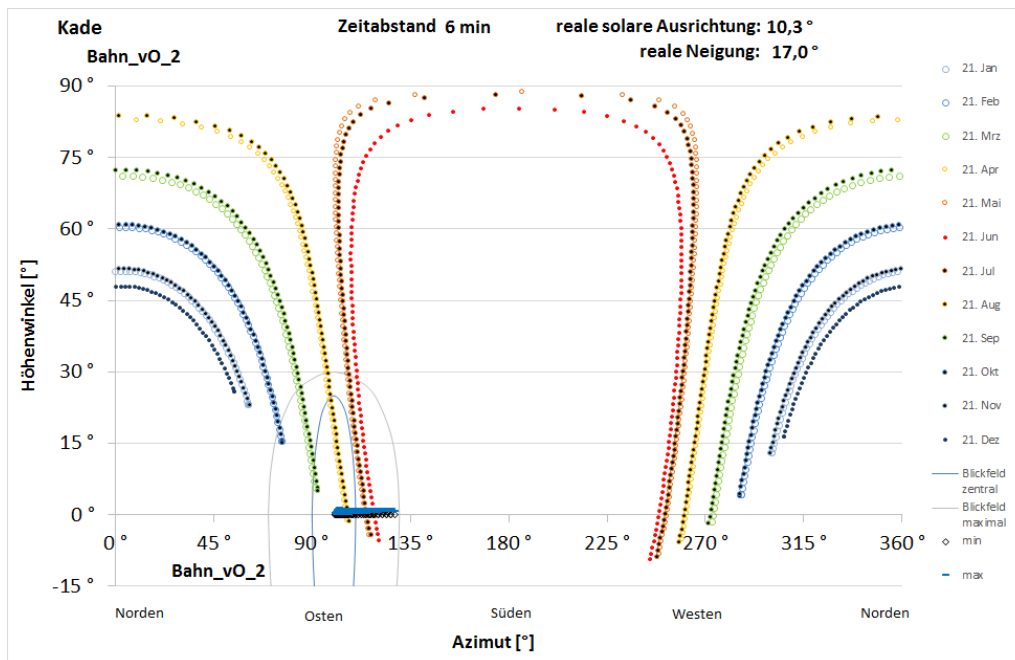


Abbildung 19: Reflexionsdiagramm für den zweiten Punkt von Osten

Daraus wird erkennbar, dass Reflexionen ähnlich wie bei Punkt 1 dicht an die Blickachse heranreichen können und zum Rand des maximalen Blickfeldes sichtbare Module bereits keine Reflexionen mehr zu dem Punkt 2 richten können.

Ähnlich wie bei Punkt 1 erzielen Reflexionen innerhalb des besonders kritischen Bereichs bis 5° rechts der Blickachse nur sehr geringe Beleuchtungsstärken an Zugführeraugen (bis maximal 160 lx) bei gleichzeitigem so niedrigem Sonnenstand (bis 3,5°) dicht bei der Reflexionsquelle, dass die Reflexionen kein eigenständiges Blendpotenzial gegenüber der Sonne selbst haben können. Mit zunehmendem Abstand von der Blickachse wächst die potenziell hervorgerufene Beleuchtungsstärke nicht über 800 lx.

5.2.3 Punkt 3 von Osten

Als Reflexionsdiagramm für den dritten Punkt, in Höhe der ersten Module, ergibt sich Abbildung 20. Durch die unmittelbare Nähe zu den Modulen der südlichsten Reihe ergeben sich hier größere Höhenwinkelspannen.

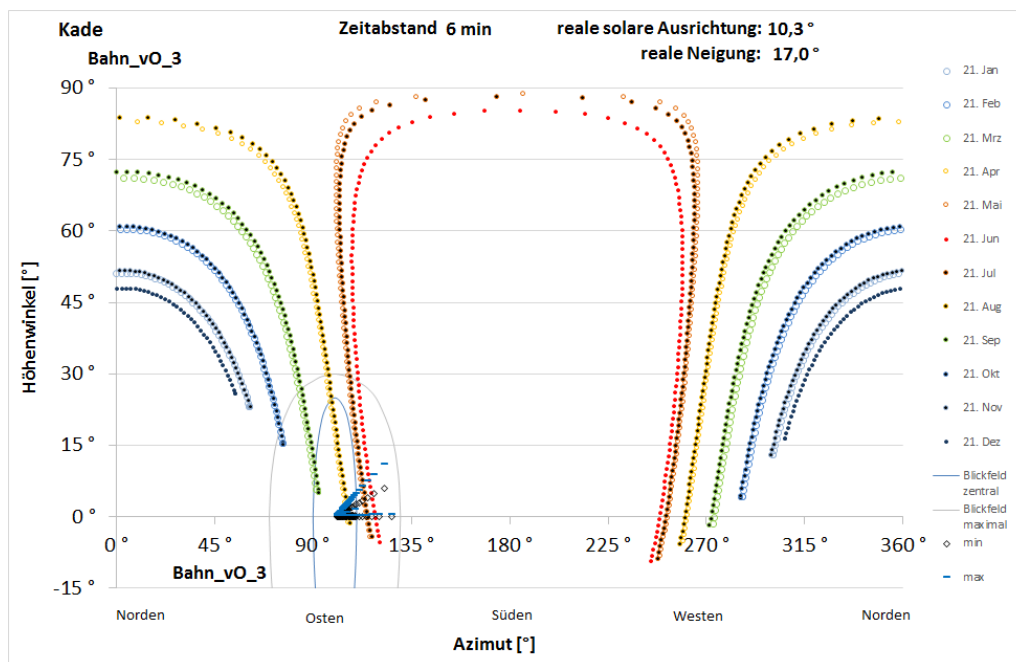


Abbildung 20: Reflexionsdiagramm für den dritten Punkt von Osten

Innerhalb des besonders kritischen Bereichs bis 5° rechts der Blickachse bleiben die Reflexionsbedingungen ähnlich wie bei den vorangegangenen Punkten: Die Sonnenhöhe bleibt unter 5° bei annähernd gleicher Azimutrichtung der Reflexionen. Bis zum Rand des zentralen Blickfeldes, 10° rechts der Blickachse, wächst die durch Reflexionen bewirkte Beleuchtungsstärke auf maximal 800 lx, wobei die Sonne selbst zu diesen Zeiten senkrecht bestrahlte Flächen bereits mit 14.000 lx bis 18.000 lx beleuchtet.

Außerhalb des zentralen Blickfeldes bis zu einem Abstand von 18° zur Blickachse steigert sich die potenziell bewirkte Beleuchtungsstärke am Auge von Zugführern auf 1.700 lx, wobei die Sonne senkrecht bestrahlte Flächen zu diesen Zeiten bereits mit 32.000 lx beleuchtet. Die Flächengröße im Blickfeld, die am besten durch ihren Durchmesserhöhenwinkel gekennzeichnet ist, wächst dabei zum Rand hin auf bis zu 9°.

5.2.4 Punkt 4 von Osten

Als Reflexionsdiagramm für den vierten Punkt ergibt sich Abbildung 21. An den Reflexionsverhältnissen im gesamten Blickfeld ändert sich nichts.

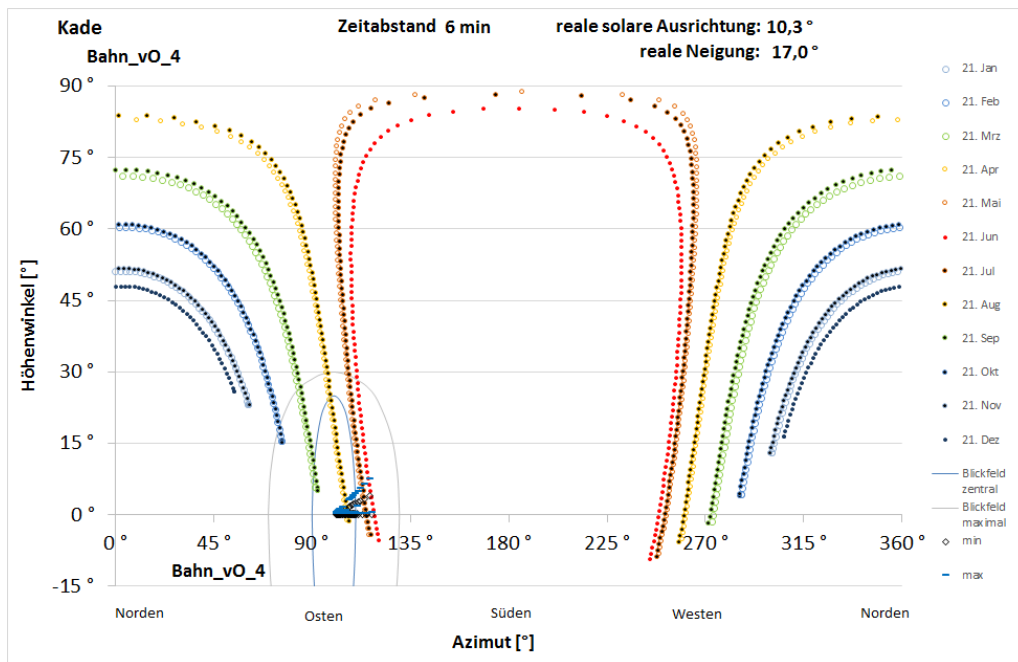


Abbildung 21: Reflexionsdiagramm für den vierten Punkt von Osten

5.2.5 Punkt 5 von Osten

Als Reflexionsdiagramm für den fünften Punkt ergibt sich Abbildung 22. An den Reflexionsverhältnissen im gesamten Blickfeld ändert sich nichts.

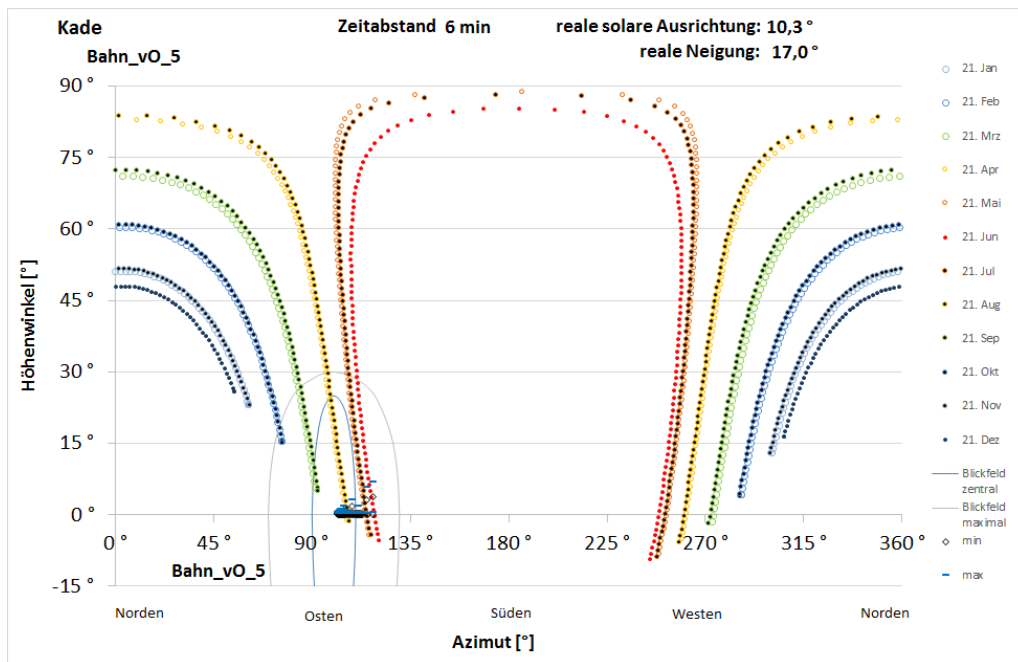


Abbildung 22: Reflexionsdiagramm für den fünften Punkt von Osten

5.2.6 Punkt 6 von Osten

Als Reflexionsdiagramm für den sechsten Punkt ergibt sich Abbildung 23. An den Reflexionsverhältnissen im gesamten Blickfeld ändert sich nur insofern etwas, als die der Blickachse nächstgelegenen Reflexionen wegen des Endes des Modulfeldes sich etwas von der Blickachse zu entfernen beginnen.

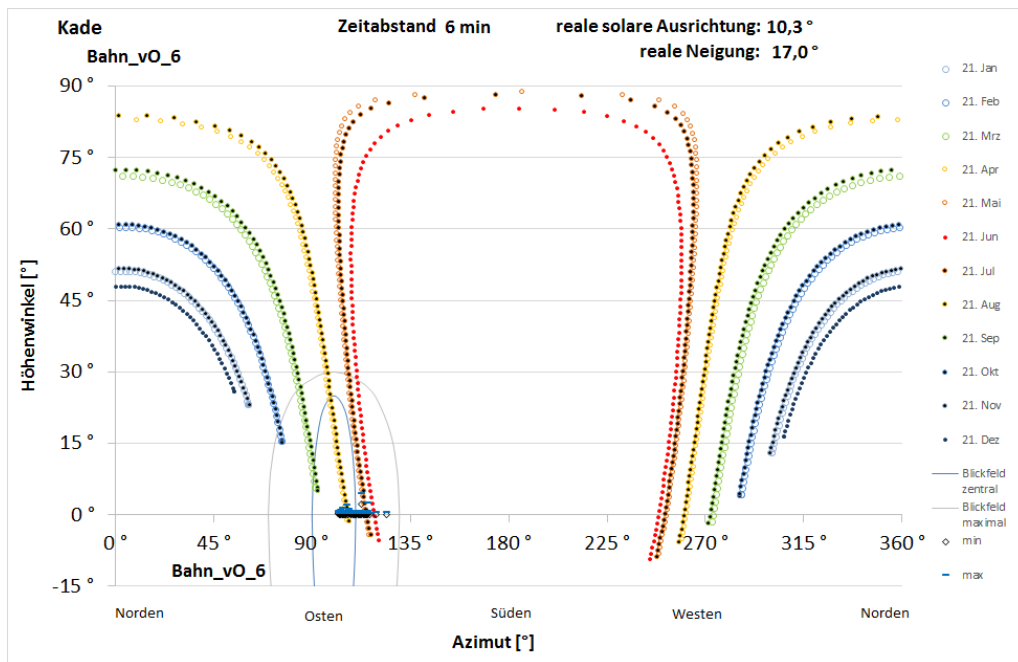


Abbildung 23: Reflexionsdiagramm für den sechsten Punkt von Osten

5.2.7 Punkt 7 von Osten

Als Reflexionsdiagramm für den siebenten Punkt ergibt sich Abbildung 24. An den Reflexionsverhältnissen im Blickfeld ändert sich nur die weiter zunehmende Entfernung der der Blickachse nächstgelegenen Reflexionen von der Blickachse.

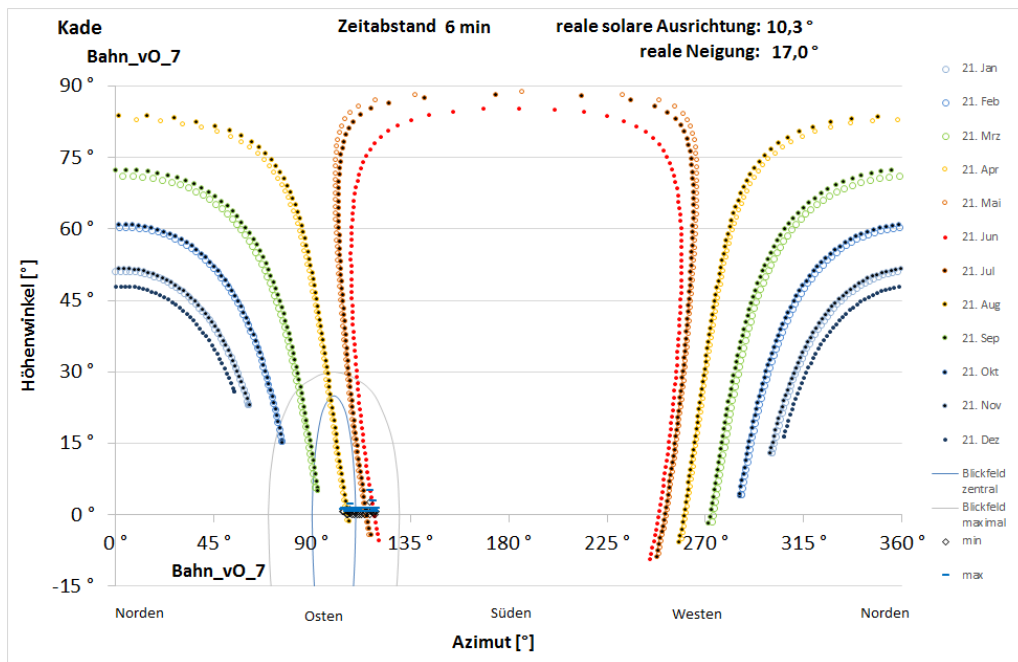


Abbildung 24: Reflexionsdiagramm für den siebenten Punkt von Osten

5.3 Bahnlinie aus westlicher Richtung

Die Sichtverhältnisse für Zugführer, die aus Westen kommen, werden wieder anhand von sieben exemplarisch gewählten Punkten auf dieser Strecke untersucht, deren Lage in Abbildung 25 dokumentiert ist.



Abbildung 25: Exemplarisch gewählte Punkte auf der Bahnstrecke aus westlicher Richtung (lila Kreise) in Fahrtrichtung durchnummeriert (grün)

Betrachtungspunkte westlich von Punkt 1 zu untersuchen ist irrelevant, da für Zugführer erst etwa ab diesem Punkt 1 größere Teile der Anlage sichtbar werden können aufgrund der abschirmenden



Wirkung der Bebauung der Kader Schleuse und der südöstlich der Gebäude befindlichen Büsche und Bäume.

5.3.1 Punkt 1 von Westen

Als Reflexionsdiagramm für den ersten untersuchten Punkt südlich der Kader Schleuse ergibt sich Abbildung 26.

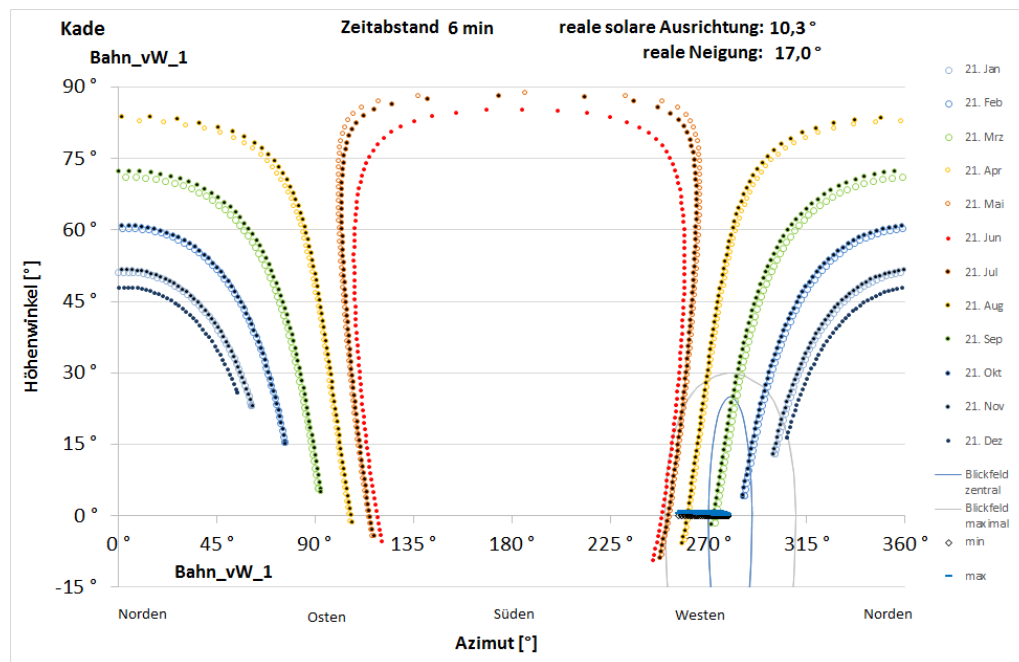


Abbildung 26: Reflexionsdiagramm für den ersten Punkt von Westen

Daraus lässt sich ablesen, dass um die Tag-Nacht-Gleiche des 21. März und des 21. September herum kurz nach Sonnenaufgang Reflexionen in das zentrale Blickfeld von Zugführern gerichtet sein können. Von außerhalb des zentralen Blickfeldes können Reflexionen in den Monaten April und August vor allem auf die Augen von Zugführern gerichtet auftreten.

Innerhalb des besonders kritischen Bereichs bis 5° links der Blickachse treten mögliche Reflexionen nur mit sehr geringer Intensität (bis 160 lx Beleuchtungsstärke an Zugführeraugen) auf, bei Sonnenhöhen unter 4° mit nahezu gleichen Azimutwinkeln. Zum Rand des zentralen Blickfeldes hin steigert sich die von Reflexionen bewirkte Beleuchtungsstärke maximal auf 300 lx und erst am Rand des zentralen Blickfeldes steigt die Sonnenhöhe auf etwas über 6°, so dass sie hier von Sonnenblendschutzeinrichtungen abgeschirmt werden kann. Außerhalb des zentralen Blickfeldes wächst die von Reflexionen bewirkte Beleuchtungsstärke bis 20° Abstand von der Blickachse auf maximal 1.000 lx, wobei die Beleuchtungsstärke der Sonne auf senkrecht bestrahlten Flächen hier schon um 20.000 lx erreicht. Mit wachsendem Abstand zur Blickachse steigert sich die Beleuchtungsstärke durch Reflexionen auf maximal 1.150 lx bei gleichzeitigem Anstieg der Beleuchtungsstärke der Sonne an senkrecht bestrahlten Flächen auf 25.000 lx.



5.3.2 Punkt 2 von Westen

Als Reflexionsdiagramm für den zweiten untersuchten Punkt südöstlich der Kader Schleuse ergibt sich Abbildung 27.

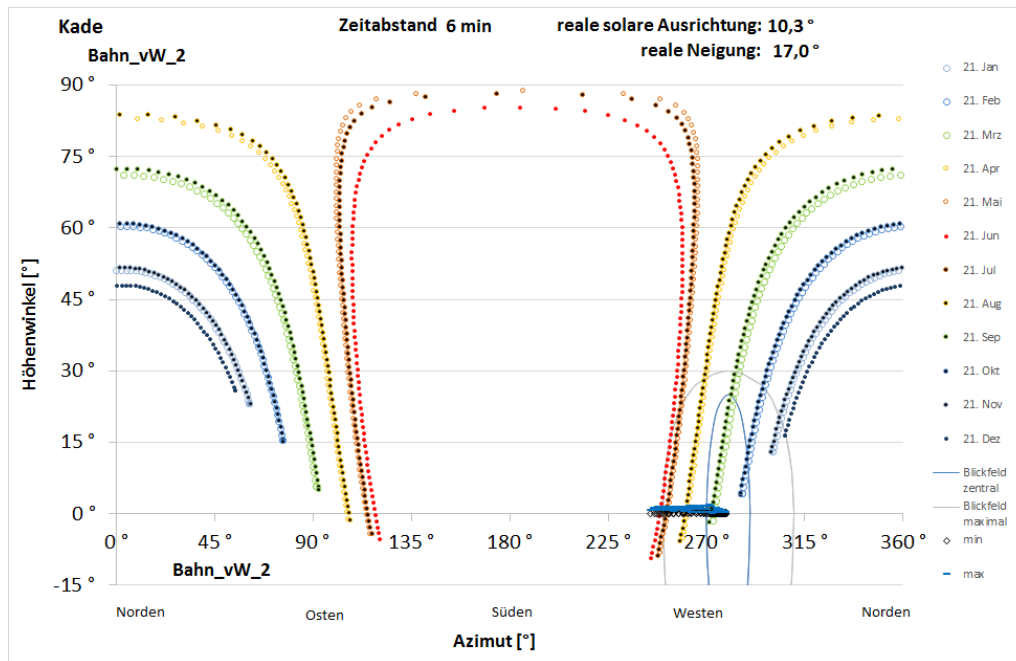


Abbildung 27: Reflexionsdiagramm für den zweiten Punkt von Westen

Innerhalb des zentralen Blickfeldes ändern sich die Reflexionsbedingungen kaum. Lediglich die maximal bewirkte Beleuchtungsstärke durch Reflexionen am Rand des zentralen Blickfeldes wächst leicht auf 400 lx an. Außerhalb des zentralen Blickfeldes steigert sich die durch Reflexionen bewirkte Beleuchtungsstärke auf etwa 1.000 lx bei einem Abstand zur Blickachse von 20° und auf 1.600 lx am äußersten Rand des maximalen Blickfeldes.

5.3.3 Punkt 3 von Westen

Als Reflexionsdiagramm für den dritten untersuchten Punkt ergibt sich Abbildung 28.

Die Reflexionsbedingungen im gesamten Blickfeld ändern sich nicht mehr. Nur die Flächengröße der Reflexion im Blickfeld wächst mit zunehmendem Abstand von der Blickachse bis zum Rand des maximalen Blickfeldes auf 3° Durchmesserhöhe an.

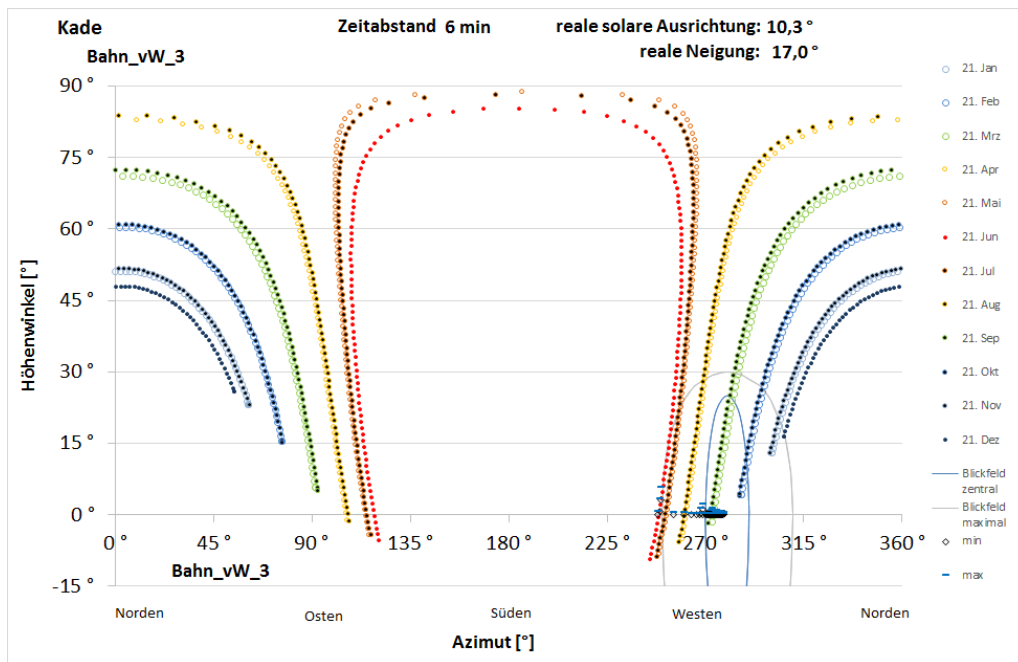


Abbildung 28: Reflexionsdiagramm für den dritten Punkt von Westen

5.3.4 Punkt 4 bis Punkt 6 von Westen

Als Reflexionsdiagramm für den vierten untersuchten Punkt ergibt sich Abbildung 29.

Die Reflexionsbedingungen im gesamten Blickfeld ändern sich auch bis zum Punkt 6 nicht mehr. Die Flächengröße der Reflexion im Blickfeld wächst im selben Maß wie bei Punkt 3 mit zunehmendem Abstand von der Blickachse bis zum Rand des maximalen Blickfeldes auf 3° Durchmesserhöhe an.

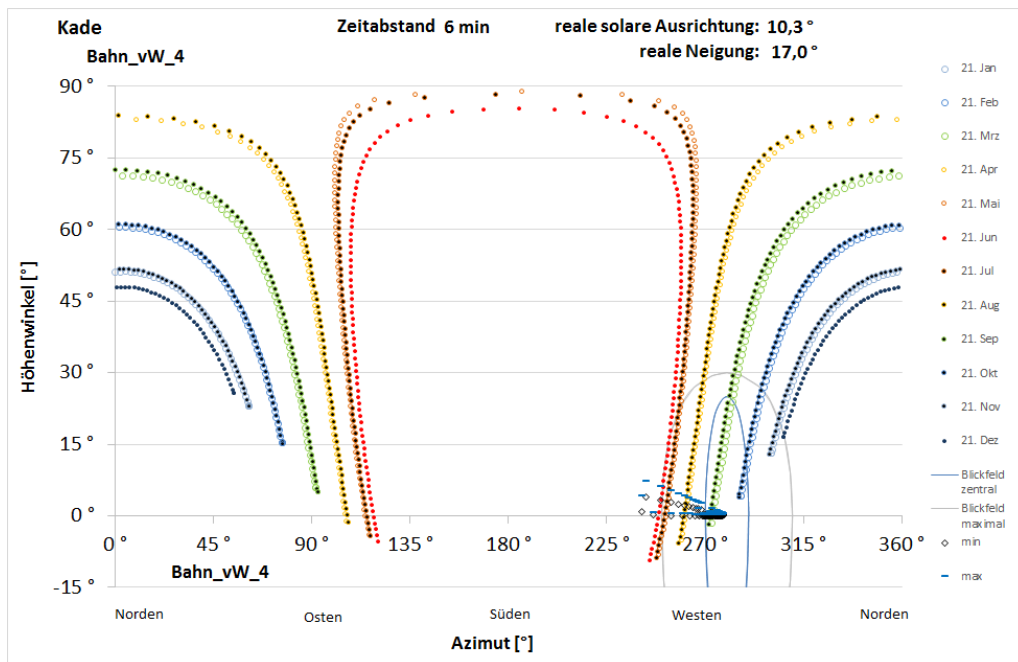


Abbildung 29: Reflexionsdiagramm für den vieren Punkt von Westen

5.3.5 Punkt 7 von Westen

Als Reflexionsdiagramm für den siebenten untersuchten Punkt ergibt sich Abbildung 30.

Hier kommt schon das Ende der Anlage dadurch zur Geltung, dass mögliche Reflexionen erst etwas weiter von der Blickachse entfernt beginnen. Im Bereich außerhalb des zentralen Blickfeldes ändert sich bis hier noch nichts. Erst im Verlauf der folgenden ca. 120 m entfallen sukzessive jegliche mögliche Reflexionen auch aus dem maximalen Blickfeld.

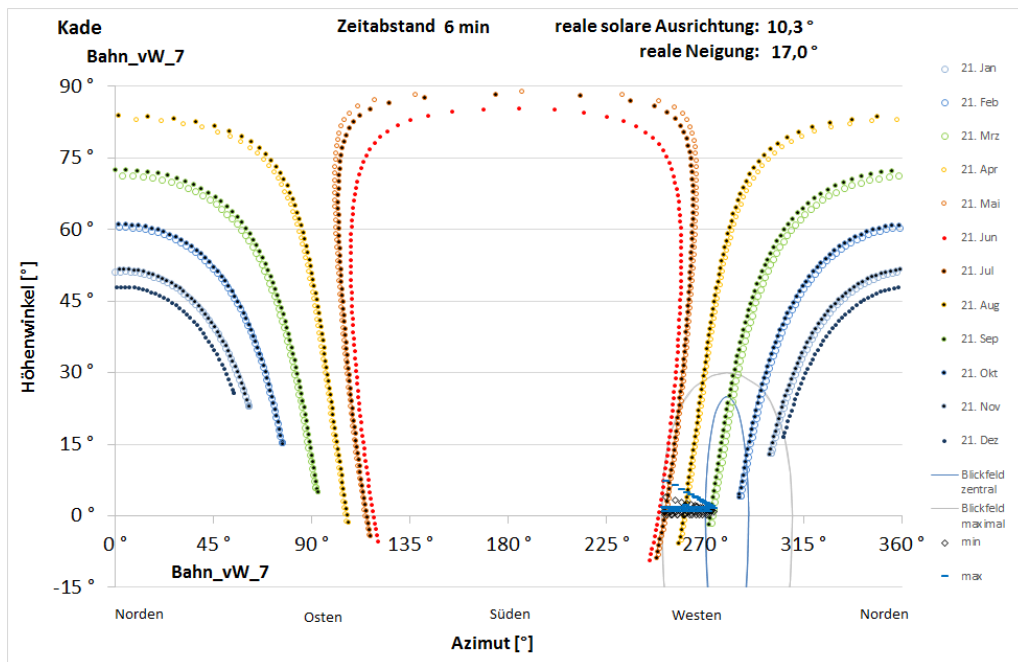


Abbildung 30: Reflexionsdiagramm für den siebenten Punkt von Westen

5.4 Signalanlagen

Die westliche Signalanlage befindet sich in Fahrtrichtung gesehen noch 670 m vor dem als Punkt 1 von Westen betrachteten Punkt. Aufgrund der gleichbleibenden Gleishöhe und der Bebauung der Kader Schleuse sind allenfalls die der Bahnlinie nächstgelegenen Module sichtbar und deren mögliche Reflexionen können nur bei sehr niedrigen Sonnenständen direkt über den reflektierenden Flächen wahrgenommen werden. Eine eigenständige Blendwirkung ist dabei nicht möglich und die Sichtbarkeit des Signals kann somit nicht eingeschränkt sein.

Ähnliches gilt für die östliche Signalanlage. Sie steht 290 m hinter dem Beginn des Waldes in dieser Fahrtrichtung. Sofern hierhin irgendwelche Reflexionen gelangen können, kommen sie aus derselben Richtung wie die Sonnenstrahlen, die eine eigenständige Blendwirkung der Reflexionen ausschließen.

Für Reflexionen, die auf das mittlere Signal treffen können, das für Zugführer aus Osten kommend Bedeutung hat, sind verschiedene Varianten zu unterscheiden:

- Reflexionen der Anlage können aus Zugführersicht keine hinter dem Signal befindliche leuchtende Fläche ergeben, die eine Sichtbarkeit einschränken könnte, da die Anlage unterhalb der Augenhöhe liegt und die Signallichter darüber.
- Soweit Reflexionen aus östlicher bis ost-südöstlicher Richtung das Signal erreichen können und damit nahe der Blickrichtung liegen, leuchten die Sonnenstrahlen aus annähernd derselben Richtung, so dass wieder keine eigenständige Sichtstörung durch Reflexionen möglich ist.
- Reflexionen, die stärker seitlich auf das Signal treffen, können die Sichtbarkeit des Signals ohnehin nicht beeinträchtigen.



5.5 Benachbarte Häuser

5.5.1 Nördliches Haus

Für das Giebelfenster im nördlichsten Haus ergibt sich als Reflexionsdiagramm Abbildung 31.

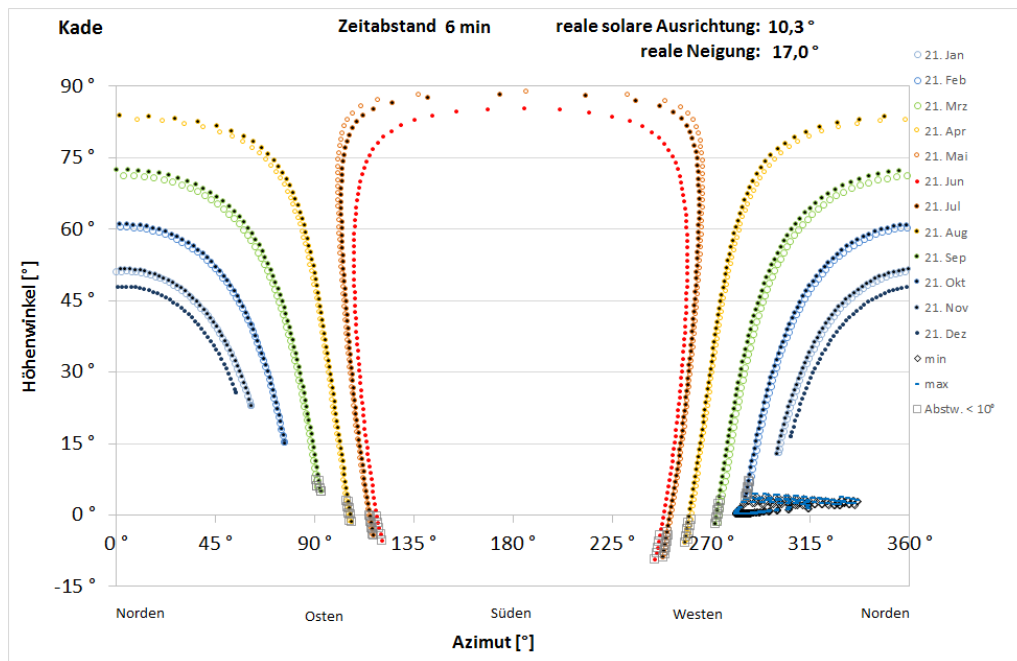


Abbildung 31: Reflexionsdiagramm für das Giebelfenster im nördlichsten Haus

Es zeigt, dass zu diesem Fenster keinerlei Reflexionen gerichtet sein können, die Abstandswinkel zur Sonne von mindestens 10° haben können. Das Fenster wird somit von keinen Immissionen im Sinne der LAI-Richtlinie betroffen.

5.5.2 Südliches Haus

Für das fiktiv angenommene breite Fenster im Obergeschoss des südlichen Hauses ergibt sich als Reflexionsdiagramm Abbildung 32. Daraus lässt sich zunächst ablesen, dass hier Immissionen auftreten können etwa ab dem 21. März bis in die ersten Tage des Mai und von Anfang August bis in die letzten Septembertage.

Für eine genauere Analyse der täglichen und jährlichen Dauer wird der relevante Ausschnitt des Reflexionsdiagramms in Abbildung 33 vergrößert dargestellt und der zeitliche Bereich von potenziellen Immissionen markiert.

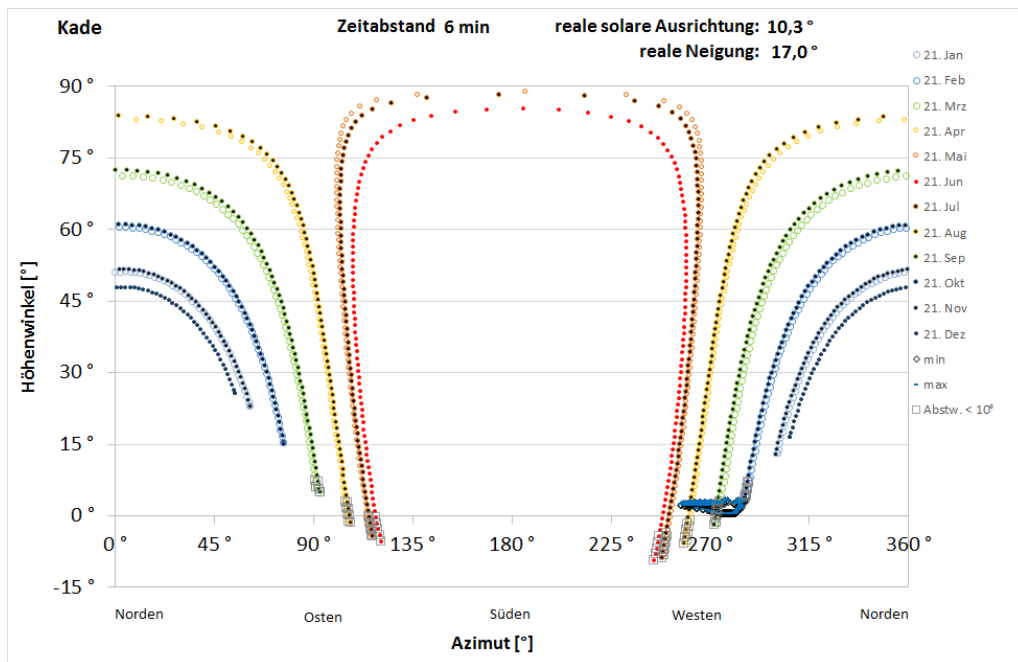


Abbildung 32: Reflexionsdiagramm für das Obergeschossfenster im südlichsten Haus

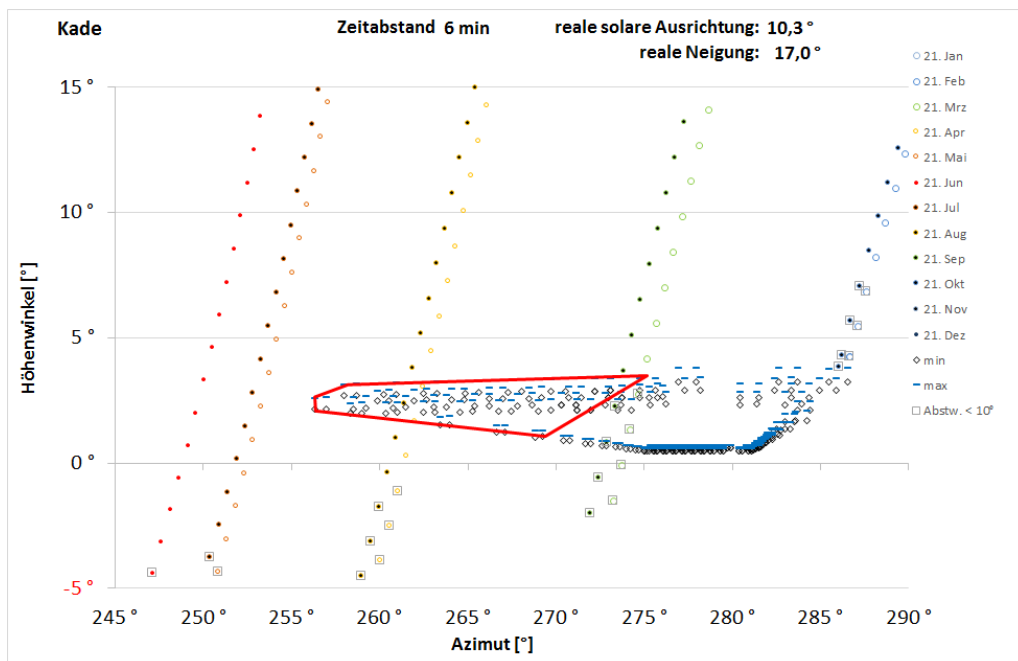


Abbildung 33: Detailvergrößerung von Abbildung 32, Reflexionen mit Abstandswinkeln zur Sonne ab 10° rot umrandet

Da der zeitliche Abstand zwischen zwei Punkten einer Tagesganglinie 6 Minuten beträgt, wird aus dieser Darstellung deutlich, dass die maximale tägliche etwa 10 Minuten betragen kann. Die

kumulierte Jahresdauer kann abgeschätzt werden durch eine durchschnittliche Tagesdauer von 8 Minuten über 2 mal anderthalb Monate hinweg, also 90 bis maximal 100 Tage. Daraus errechnet sich eine Jahresgesamtdauer von etwa 13 Stunden.





6 Bewertung der Ergebnisse

6.1 Bahnlinie

Für beide Fahrtrichtungen wurden weitgehend ähnliche Reflexionseinwirkungen auf das Blickfeld von Zugführern festgestellt:

- ▶ Im besonders kritischen Bereich bis 5° rechts bzw. links der Blickachse können nur dann Reflexionen auftreten, wenn die Sonne aus nahezu derselben Richtung die Augen von Zugführern bestrahlt und dabei eine so geringe Höhe hat, dass sie durch Sonnenschutzeinrichtungen nicht abgeschirmt werden kann.
Unter diesen Bedingungen tritt neben der Blendung durch die Sonne keine eigenständige Blendwirkung durch Reflexionen auf.
- ▶ Zum Rand des zentralen Blickfeldes 10° rechts bzw. links der Blickachse nehmen Sonnenhöhe und Beleuchtungsstärke der Augen durch Reflexionen leicht zu. Bis etwa 8° Abstand zur Blickachse kann die Sonne selbst noch nicht abgeschirmt werden und überstrahlt dadurch die Reflexionen. Am Rand des zentralen Blickfeldes erreicht die maximal auftretende Beleuchtungsstärke der Augen durch Reflexionen etwa 800 lx, wobei die Sonne zu diesen Zeiten bereits senkrecht angestrahlte Objekte mit etwa 15.000 lx beleuchtet.
Bei dieser Relation der Beleuchtungsstärken am Rand des zentralen Blickfeldes behindern die Reflexionen die gute Sicht von Zugführern nicht.
- ▶ Außerhalb des zentralen Blickfeldes treten zur Jahresmitte hin intensivere und großflächigere Reflexionen auf, wobei Intensität und Flächengröße mit dem Abstand zur Blickachse wachsen. Solche Reflexionen können, wenn sie unerwartet auftreten, ungeübte Betrachter dazu verleiten, instinktiv in die grelle Lichtquelle hineinzublicken, was zu einer kurzzeitigen Überlastung der Lichtempfindlichkeit der Augen führen kann. Im vorliegenden Fall ist die Anlage aber aus beiden Fahrtrichtungen bereits eine längere Strecke vor dem Eintreten dieser Reflexionsbedingungen deutlich zu sehen, so dass zunehmende Helligkeit seitlich des zentralen Blickfeldes nicht überrascht und dadurch auch nicht zu einer Blickhinwendung zu den reflektierenden Flächen und weg von den Schienen führt.
Auch diese intensiveren Reflexionen außerhalb des zentralen Blickfeldes behindern somit nicht die gute Sicht von Zugführern.

Für die westliche und die östliche Signalanlage wurde festgestellt, dass keinerlei Sichtbeeinträchtigungen durch Reflexionen auftreten können, da in beiden Fällen Reflexionen, sofern sie überhaupt zu den Signalen gelangen können, nur zusammen mit der stärkeren Sonnenstrahlung aus der gleichen Richtung auftreten und damit kein eigenständiges Störpotenzial aufweisen können.

Für die mittlere Signalanlage wurde festgestellt, dass ihre Erkennbarkeit weder durch Hintergrunderleuchtung noch durch Frontbestrahlung oder seitlich einfallende Reflexionen gefährdet sein kann.

Somit wurde für die gesamte Bahnlinie einschließlich der Signaleinrichtungen festgestellt, dass alle möglichen Reflexionen die Sicherheit des Bahnbetriebs nicht beeinträchtigen können.



6.2 Wohnhäuser

Für die Wohnhäuser der Kader Schleuse wurde festgestellt, dass auch unter den ungünstigsten Bedingungen am fiktiv angenommenen Fenster des südlichen Hauses potenzielle Lichtimmissionen mit 10 Minuten täglich und 13 Stunden jährlich aufsummiert die Grenzwerte der LAI-Richtlinie von täglich 30 Minuten und jährlich 30 Stunden bei weitem unterschritten werden.

Da es auch keinerlei Hinweise auf besondere Bedingungen gibt, die eine abweichende Bewertung erfordern, werden diese Immissionen als unproblematisch bewertet.



7 *Verwendete Materialien*

7.1 *Dokumente vom Auftraggeber*

- ▶ Belegungsplan mit vermessenen Höhenangaben zum Baufeld und zur Gleishöhe als Dateien 2018-09-05 Kade - HS-025-41-02-02-00-A_Kade_Belegung_180905AW.pdf und 2018-09-05 Kade180905AW_Kade_Belegung_Export.dwg
- ▶ Signalstandorte als Datei 2018-08-21 Kade - Büro Knoblich – Signale.jpg

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
- ▶ Technische Universität Dresden, Institut für Bahnsysteme und Öffentlichen Verkehr <https://tu-dresden.de/bu/verkehr/ibv/vst/die-professur/mitarb/ulrich-maschek/grundsaeetze#section-2-3>



8 *Abbildungsverzeichnis*

Abbildung 1: Lage der geplanten Anlage (schwarz gestrichelt umgrenzt), der südlich verlaufenden Bahnlinie (grau) sowie der Häuser der Kader Schleuse	4
Abbildung 2: Gegenstände auf der Sichtachse zur Blendquelle sind nicht mehr wahrnehmbar	8
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	11
Abbildung 4: Auswirkung des Einfallwinkels auf den Transmissionsgrad für Modulgläser	13
Abbildung 5: Belegungsplan (Modultische blau)	14
Abbildung 6: Seitlicher Schnitt durch die Modultischreihen	14
Abbildung 7: Die Häuser im Ort Kader Schleuse; Quelle: Google Earth Pro	15
Abbildung 8: Abstände zwischen der Anlage und den Häusern	15
Abbildung 9: Standorte und Richtungen der Signale rot gekennzeichnet	16
Abbildung 10: Westliche Signale	17
Abbildung 11: Signale direkt südlich der Anlage	17
Abbildung 12: Östliche Signale	18
Abbildung 13: Darstellung des Reflexionsstrahls anhand von Azimut und Höhenwinkel wie im Reflexionsdiagramm verwendet und Beschreibung des Abstandswinkels zwischen Blickrichtungen zur Sonne und zum Blendpunkt	19
Abbildung 14: Reflexionsdiagramm aus Sicht eines beliebigen potenziellen Blendpunktes der mit $+10,3^\circ$ ausgerichteten Module mit einer Modulneigung von 17° am Standort der Anlage; waagerecht aufgetragen sind die Azimutwinkel von Norden (0°) über Osten (90°), Süden (180°) nach Westen (270°), senkrecht die Höhenwinkel; Reflexionen aus einem Abstand zur Sonne von unter 10° sind grau umrahmt	20
Abbildung 15: Beispiel für Bandbreite möglicher Höhenwinkel	21
Abbildung 16: Exemplarisch gewählte Punkte auf der Bahnstrecke aus östlicher Richtung (lila Kreise) in Fahrtrichtung durchnummeriert (grün)	22
Abbildung 17: Luftbild aus Google Earth Pro mit Entfernungsangabe Waldrand – PV-Anlage (gelb)	22
Abbildung 18: Reflexionsdiagramm für den ersten Punkt von Osten	23
Abbildung 19: Reflexionsdiagramm für den zweiten Punkt von Osten	24



Abbildung 20: Reflexionsdiagramm für den dritten Punkt von Osten.....	25
Abbildung 21: Reflexionsdiagramm für den vierten Punkt von Osten	26
Abbildung 22: Reflexionsdiagramm für den fünften Punkt von Osten.....	27
Abbildung 23: Reflexionsdiagramm für den sechsten Punkt von Osten.....	28
Abbildung 24: Reflexionsdiagramm für den siebenten Punkt von Osten	29
Abbildung 25: Exemplarisch gewählte Punkte auf der Bahnstrecke aus westlicher Richtung (lila Kreise) in Fahrtrichtung durchnummeriert (grün).....	29
Abbildung 26: Reflexionsdiagramm für den ersten Punkt von Westen.....	30
Abbildung 27: Reflexionsdiagramm für den zweiten Punkt von Westen.....	31
Abbildung 28: Reflexionsdiagramm für den dritten Punkt von Westen.....	32
Abbildung 29: Reflexionsdiagramm für den vierten Punkt von Westen.....	33
Abbildung 30: Reflexionsdiagramm für den siebenten Punkt von Westen	34
Abbildung 31: Reflexionsdiagramm für das Giebelfenster im nördlichsten Haus.....	35
Abbildung 32: Reflexionsdiagramm für das Obergeschossfenster im südlichsten Haus.....	36
Abbildung 33: Detailvergrößerung von Abbildung 32, Reflexionen mit Abstandswinkeln zur Sonne ab 10° rot umrandet	36

9 Tabellenverzeichnis



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