

Gemeinde Crinitz
Amt Kleine Elster (Niederlausitz)



Vorhabenbezogener Bebauungsplan
**„Solarpark
ehemaliges Steinzeugwerk Crinitz“**
Entwurf

**Anlage 2 zum Umweltbericht
– Analyse der Reflexionswirkung –**

Stand: 30. November 2022

Auftraggeber: **Enerparc AG**
Spittelmarkt 11
10117 Berlin



Bearbeitung: **Solarpraxis Engineering GmbH**
Alboisstraße 36-42
12103 Berlin



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

► **Crinitz**

Analyse der Reflexionswirkung einer Photovoltaikanlage

Auftraggeber:

Enerparc AG
Hendrik Schramm
Zirkusweg 2 / Astra Tower
20359 Hamburg

erstellt von:

Wolfgang Rosenthal und Sandra Steinmetz (Datenaufnahme, Modellierung)
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: 30.11.2022



Projektnummer: P22449/v.1



Inhalt

1	Zweck und Gegenstand des Gutachtens	3
2	Zusammenfassung der Ergebnisse	4
3	Einleitung	5
3.1	Gesetzliche Grundlagen	5
3.1.1	Nutzung erneuerbarer Energien in Raumordnung und Baurecht	5
3.1.2	Immissionsschutz	6
3.2	Blendung im Wohnbereich	6
3.3	Entstehung von Reflexionen bei Photovoltaikanlagen	8
3.4	Verwendete Azimut-Winkelangaben	9
4	Situation vor Ort	10
4.1	Die Photovoltaikanlage	10
4.2	Nachbarhäuser	11
5	Berechnungen	13
5.1	Methodik der Berechnung	13
5.2	Eingrenzung potenziell kritischer Azimutbereiche	15
5.3	Behindertenwohnstätte eines gemeinnützigen Vereins (Lebenshilfe Finsterwalde e.V.)	19
5.4	Grenzweg 4	21
5.5	Grenzweg 6	23
5.6	Grenzweg 8	25
6	Bewertung der Ergebnisse	27
7	Verwendete Materialien	28
7.1	Dokumente vom Auftraggeber	28
7.2	Literatur	28
8	Abbildungsverzeichnis	29
9	Tabellenverzeichnis	31



1 Zweck und Gegenstand des Gutachtens

Es soll untersucht werden, ob von den Modulen der geplanten Photovoltaikanlage am nordöstlichen Ortsrand von Crinitz Sonnenlicht

- ▶ auf die Häuser Grenzweg 4, 6 und 8 im Osten oder
- ▶ auf die Behindertenwohnstätte eines gemeinnützigen Vereins (Lebenshilfe Finsterwalde e.V.) im Westen

reflektiert werden kann und ob dadurch gegebenenfalls störende Blendwirkungen auftreten können. Die Lage der Anlage und der Häuser ist in Abbildung 1 zu erkennen.



Abbildung 1: Lage der geplanten PV-Anlage (blau), bestehend aus drei Feldern, und der Häuser Grenzweg 4, 6 und 8 sowie der Behindertenwohnstätte (rot umkreist)

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

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



2 Zusammenfassung der Ergebnisse

Es wird festgestellt, dass auch die höchstgelegenen Fenster bzw. Balkone der Behindertenwohnstätte eines gemeinnützigen Vereins (Lebenshilfe Finsterwalde e.V.) und der Häuser am Grenzweg allenfalls in zumutbarem Rahmen von Lichtimmissionen der geplanten Anlage betroffen sein können.

Zusätzliche Blendschutzmaßnahmen sind damit nicht erforderlich.



3 Einleitung

Der vorliegende Bericht enthält vertrauliche Informationen. Der Bericht dient nur zur Vorlage bei den finanzierenden Banken, beim Anlagenerrichter bzw. dessen Rechtsnachfolger, beim Auftraggeber sowie zur Klärung genehmigungsrechtlicher Fragen bei den entsprechenden Behörden. Darunter fällt auch die Weitergabe des Berichts als Bestandteil des Bebauungsplanes (B-Plan) durch die Gemeinde an berechnigte Interessenten nach dem Informationsfreiheitsgesetz. Eine Weitergabe an sonstige Dritte oder eine Veröffentlichung des Berichtes unabhängig vom B-Plan als Ganzes oder in Teilen ist nur in Absprache mit der Solarpraxis Engineering GmbH zulässig.

3.1 Gesetzliche Grundlagen

3.1.1 Nutzung erneuerbarer Energien in Raumordnung und Baurecht

Die Ziele der Raumordnung der Bundesrepublik Deutschland liegen in der Sicherung der nachhaltigen Daseinsvorsorge, der Unterstützung von nachhaltigem Wirtschaftswachstum und Innovation, der Sicherung von Entwicklungspotenzialen und dem nachhaltigen Ressourcenschutz. Als Aufgabe der Raumordnung benennt das Gesetz u.a., die Versorgung mit Infrastrukturen der Daseinsvorsorge zu gewährleisten und die Schaffung der räumlichen Voraussetzungen für den Ausbau der erneuerbaren Energien.

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

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

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

Das Erneuerbare-Energien-Gesetz 2023 verlangt eine noch höhere Priorisierung der Nutzung von erneuerbaren Energien gegenüber anderen Schutzgütern. In § 2 des Gesetzes wird festgelegt: „Die Errichtung und der Betrieb von Anlagen sowie den dazugehörigen Nebenanlagen liegen im überragenden öffentlichen Interesse und dienen der öffentlichen Sicherheit. Bis die Stromerzeugung im Bundesgebiet nahezu treibhausgasneutral ist, sollen die erneuerbaren Energien als vorrangiger Belang in die jeweils durchzuführenden Schutzgüterabwägungen eingebracht werden.“



3.1.2 Immissionsschutz

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

Nach den Vorschriften des BImSchG sind sowohl genehmigungspflichtige als auch nicht genehmigungsbedürftige Anlagen so zu errichten und zu betreiben, dass schädliche Umwelteinwirkungen, sonstige Gefahren sowie erhebliche Nachteile und Belästigungen für die Allgemeinheit und die Nachbarschaft vermieden werden. Für genehmigungspflichtige Anlagen wird eine entsprechende Vorsorge nach dem Stand der Technik gefordert. Bei nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen sind schädliche Umweltwirkungen nach dem Stand der Technik auf ein Mindestmaß zu beschränken.

Bei der Bauleitplanung sind im Rahmen der Abwägung von öffentlichen und privaten Belangen auch Lichtreflexionen als Immissionen zu betrachten und zu bewerten. Es existiert aber keine die Errichtung und den Betrieb von Photovoltaikanlagen regelnde Immissionsschutz-Verordnung.

3.2 Blendung im Wohnbereich

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 einer selbstleuchtenden oder beleuchteten Fläche dar. Zu große Leuchtdichteunterschiede oder ungünstige Leuchtdichteverteilungen im Gesichtsfeld können zu einem unangenehmen Gefühl (psychologische Blendung) oder einer tatsächlich messbaren Herabsetzung der Sehleistung (physiologische Blendung) führen. Ab einer Leuchtdichte von 10^4 bis $1,6 \cdot 10^6$ cd/m^2 wird die Adaptationsfähigkeit des menschlichen Auges überschritten. Dieser Zustand wird als Absolutblendung bezeichnet.¹ Normalerweise treten Abwehrreaktionen wie Blinzeln und Blickabwendung auf, ohne die eine thermische Schädigung der Netzhaut eintreten kann.

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

¹ Wittlich 2010

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



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

Das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU) hat bereits vor über 15 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 Immissionsschutz (LAI) empfahl seit 2012³ bundesweit, diese zeitlichen Grenzwerte als ersten Anhaltspunkt für die Zumutbarkeit im Wohn- und Arbeitsbereich zu nutzen. Die Umsetzung in Brandenburg erfolgt durch die „Licht-Leitlinie“. Danach liegt ein Hinweis auf Unzumutbarkeit vor, wenn ein Wohn- oder Arbeitsbereich länger als 30 Minuten am Tag oder kumuliert mehr als 30 Stunden im Jahr von Lichtimmissionen einer PV-Anlage 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 wurde die Zumutbarkeit von Lichtimmissionen in der Vergangenheit nach der durch die Gebietsart und die tatsächlichen Verhältnisse zu bestimmenden Schutzwürdigkeit und Schutzbedürftigkeit der betroffenen Nachbarschaft beurteilt, wobei wertende Elemente wie Herkömmlichkeit, soziale Adäquanz und allgemeine Akzeptanz einzubeziehen sind. Zeitdauern von bis zu einer Stunde wurden auch bisher schon keinesfalls grundsätzlich als unzumutbar angesehen (LG Frankfurt / Main 2/12 O 322/06; OLG Stuttgart 3 U 46/13).

Die jetzt im Erneuerbare-Energien-Gesetz 2023 verlangte Priorisierung der Nutzung erneuerbarer Energien als vorrangiger Belang bei Schutzgüterabwägungen verschiebt die Grenze der Zumutbarkeit, sofern für eine Unzumutbarkeit von Sonnenlichtreflexionen von PV-Anlagen überhaupt noch Raum bleibt.

³ LAI 2012



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.⁴

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

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

Die Reflexionseigenschaften von Glas variieren mit dem Einfallswinkel der Sonnenstrahlen, wie Abbildung 3 verdeutlicht.

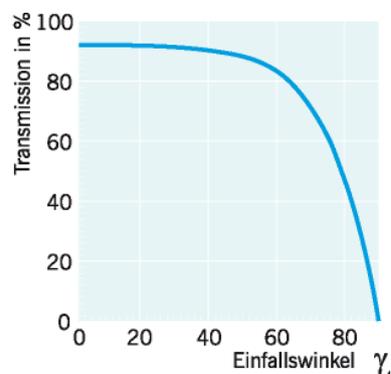


Abbildung 3: Auswirkung des Einfallswinkels auf den Transmissionsgrad für Modulgläser

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 3 ca. 20 % der auftretenden Strahlung reflektiert.

⁴ Fischbach u.a. 2014



Da die Leuchtdichte der Sonne bei klarer Sicht bereits kurz über dem Horizont $6 \cdot 10^6$ cd/m² beträgt und um die Mittagszeit $1,5 \cdot 10^9$ cd/m² erreicht, muss aber auch bei den niedrigen Reflexionsgraden von Solarmodulen mit dem Eintritt von Absolutblendung ($> 10^5$ cd/m²) bei Beobachtern gerechnet werden.

3.4 *Verwendete Azimut-Winkelangaben*

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

Da die Berechnungsmethode zur Bestimmung der Reflexionen jedoch aus der Geodäsie entnommen worden ist und dort allgemein vom Norden (=0°) aus im Uhrzeigersinn gerechnet wird, werden in den Reflexionsdiagrammen und bei der Beschreibung von Blickrichtungen die sich daraus 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 geplante Anlage untergliedert sich in drei Teilfelder, die im Belegungsplan in Abbildung 4 dargestellt sind. Auf den Tischen werden jeweils sechs Module querliegend übereinander mit 20° Neigung montiert. Die Modultischunterkante hat einen Abstand von 80 cm zum jeweiligen Untergrund, die Oberkante reicht bis 3,2 m hoch.



Abbildung 4: Belegungsplan (Modultische blau)

Feld 1 im Südwesten ist in der Planebene genau südlich ausgerichtet, die beiden Felder 2 und 3 sind mit einer geringfügigen Südabweichung nach Osten hin mit $-3,28^\circ$ bzw. $-3,38^\circ$ in der Planebene versehen. Die Flächen weisen allerdings stark variierende Höhen auf, die je nach seitlicher Tischneigung die Ausrichtung und Neigung der real sich ergebenden reflektierenden Ebenen verändern.

Feld 1 weist Höhen zwischen 95,5 m ü. NN im Nordwesten und 98,6 m ü. NN im Süden auf. Die seitliche Tischneigung reicht von West-Ost-Gefälle mit $-4,8^\circ$ (im Süden des Feldes) bis zu West-Ost-



Steigung von $+5,0^\circ$ (im Norden) an einzelnen Tischen. Daraus ergeben sich Abweichungen der realen solaren Ausrichtungen zwischen $-13,1^\circ$ und $+13,5^\circ$ für die jeweils reflektierenden Ebenen. Die real sich ergebenden Neigungen weichen nur bis zu $20,5^\circ$ von der Planneigung ab.

Feld 2 weist Höhen zwischen 92 m ü. NN im Norden und 98 m ü. NN im Südwesten auf. In der Ebene ist eine leichte Südabweichung der Ausrichtung von $-3,28^\circ$ vorgesehen. Die seitliche Tischneigung reicht von West-Ost-Gefälle mit $-4,1^\circ$ (in der Mitte des Feldes) bis zu West-Ost-Steigung von $+1,5^\circ$ (am westlichen Rand des Feldes) an einzelnen Tischen. Zusammen mit der Ausrichtung in der Ebene von $-3,28^\circ$ ergibt sich daraus eine Bandbreite der realen solaren Ausrichtungen zwischen $-14,3^\circ$ und $+0,8^\circ$ für die jeweils reflektierenden Ebenen. Die real sich ergebenden Neigungen weichen nur bis zu $20,3^\circ$ von der Planneigung ab.

Feld 3 weist Höhen zwischen 90 m ü. NN im Norden und 91,2 m ü. NN im Süden auf. In der Ebene ist eine leichte Südabweichung der Ausrichtung von $-3,38^\circ$ vorgesehen. Die seitliche Tischneigung reicht von West-Ost-Gefälle mit $-1,7^\circ$ (im Süden des Feldes) bis zu West-Ost-Steigung von $+0,9^\circ$ (in der nördlichen Mitte des Feldes) an einzelnen Tischen. Zusammen mit der Ausrichtung in der Ebene von $-3,38^\circ$ ergibt sich daraus eine Bandbreite der realen solaren Ausrichtungen zwischen $-8,0^\circ$ und $-0,8^\circ$ für die jeweils reflektierenden Ebenen. Die real sich ergebenden Neigungen weichen nur bis zu $20,1^\circ$ von der Planneigung ab.

Tabelle 1 zeigt die Werte im Überblick.

Tabelle 1: Zusammenfassung der auftretenden Extremwerte in den drei Feldern

	west-östliche Tischneigung	reale Ausrichtung	reale Neigung
Feld 1	$-4,8^\circ$ bis $+5,0^\circ$	$-13,1^\circ$ bis $+13,5^\circ$	$20,0^\circ$ bis $20,5^\circ$
Feld 2	$-4,1^\circ$ bis $+1,5^\circ$	$-14,3^\circ$ bis $+0,8^\circ$	$20,0^\circ$ bis $20,3^\circ$
Feld 3	$-1,7^\circ$ bis $+0,9^\circ$	$-8,0^\circ$ bis $-0,8^\circ$	$20,0^\circ$ bis $20,1^\circ$

4.2 Nachbarhäuser

Östlich vom Grenzweg stehen die drei Einfamilienhäuser Nr. 4, 6 und 8. Haus Nr. 4 und 6 sind zweistöckig und stehen auf einer Geländehöhe von 95 m ü. NN, Haus Nr. 8 ist einstöckig und steht auf einer Geländehöhe von 93 m ü. NN.

Haus Nr. 4 hat im ersten Obergeschoss zur Westseite hin einen Balkon, dessen Breite mit 5 m angesetzt wird in einer Höhe von 3,5 m über Gelände.

Haus Nr. 6 weist an seiner Westseite im Dachgeschoss ein Giebelfenster auf, dessen Breite mit 4,2 m und einer Höhe von 1,5 m angesetzt wird mit einer Fensterunterkante 7 m über Gelände.

Haus Nr. 8 weist an seiner Westseite im Dachgeschoss ebenfalls ein Giebelfenster auf, dessen Breite mit 2,5 m und einer Höhe von 2 m angesetzt wird mit einer Fensterunterkante von 3,5 m über Gelände.



Die Behindertenwohnstätte eines gemeinnützigen Vereins (Lebenshilfe Finsterwalde e.V.) im Westen liegt auf einer Geländehöhe von 104 m ü. NN hat als höchste Fenster im Dachgeschoss kleine, etwa 70 cm breite Fenster, deren Höhe mit 7,5 m über Grund angesetzt werden.



5 Berechnungen

5.1 Methodik der Berechnung

Zunächst wird eine Aufstellung mit sämtlichen Sonneneinfallswinkeln im Jahresverlauf am Standort Crinitz (geografische Länge 13,77°, Breite 51,74°) in 6-minütiger Auflösung für 12 Tage im Jahr erstellt (jeweils der 21. jeden Monats)⁵ 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 Kugelkoordinaten Azimut- und Höhenwinkel beschreibt (siehe Abbildung 5). 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.

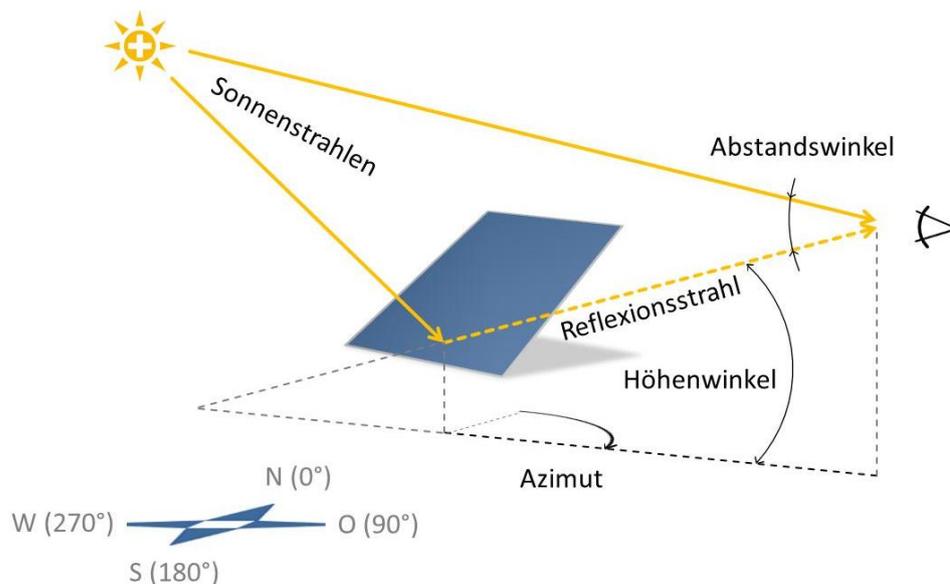


Abbildung 5: Darstellung des Reflexionsstrahls anhand von Azimut und Höhenwinkel wie im Reflexionsdiagramm verwendet und Beschreibung des Abstandswinkels zwischen Blickrichtungen zur Sonne und zum Blendpunkt

Ebenfalls in Abbildung 5 ist der Abstandswinkel zwischen den Blickrichtungen zur Sonne und zum Blendpunkt beschrieben.

⁵ Berechnung nach Eicker 2001



Für einen beliebigen Punkt nach Süden ausgerichteter Modultische mit 20° Neigung auf ebenem Gelände ergibt sich so das in Abbildung 6 dokumentierte Reflexionsdiagramm.

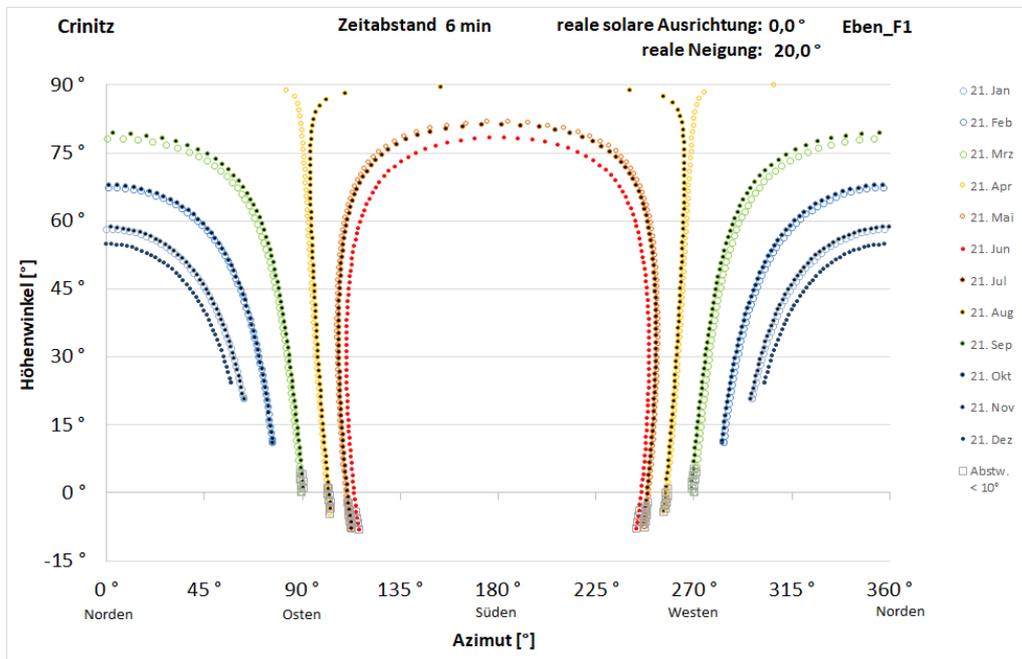


Abbildung 6: Reflexionsdiagramm aus Sicht eines beliebigen potenziellen Blendpunktes südlich ausgerichteter Modultische mit einer Modulneigung von 20° am Standort der Anlage; waagrecht aufgetragen sind die Azimutwinkel von Norden (0°) über Osten (90°), Süden (180°) nach Westen (270°), senkrecht die Höhenwinkel; Reflexionen aus einem Abstand zur Sonne von unter 10° sind grau umrahmt

Bei hangbedingter seitlicher Tischneigung und leicht von Süden abweichender Planausrichtung ergeben sich Abweichungen bis zu den in Abbildung 7 gezeigten Diagrammen.

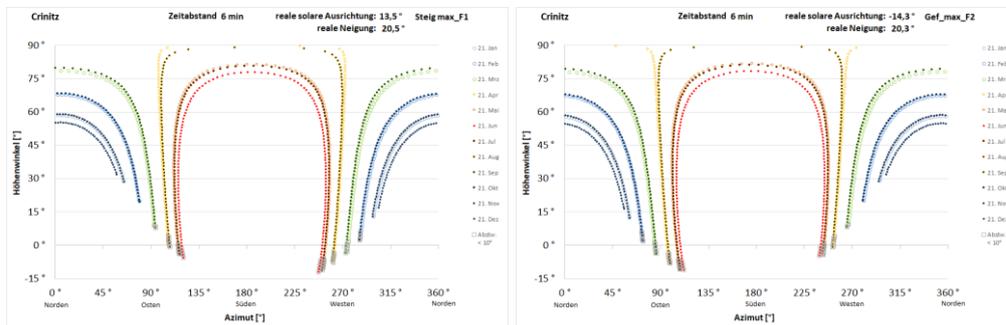


Abbildung 7: Reflexionsdiagramme für maximal auftretende Abweichungen der sich ergebenden realen solaren Ausrichtung, links für maximale Westausrichtung, rechts für maximale Ostausrichtung

Liegen Blickpunkte mit ihren Kugelkoordinaten Azimut- und Höhenwinkel aus Sicht eines beliebigen Blendpunktes innerhalb des betroffenen Bereichs (d.h. zwischen den Kurven für den 21. Juni und den 21. Dezember oder darüber) im Reflexionsdiagramm, so kann anhand des Diagramms die Dauer und Jahreszeit potenzieller Reflexionen abgeschätzt werden (der Abstand zwischen zwei Markierungspunkten eines Tages entspricht 6 Minuten). Sofern es auf konkrete Uhr- und Jahreszeiten oder die jeweilige Dauer potenzieller Reflexion ankommt, erlauben die Datentabellen eine noch genauere Ermittlung.

Die Höhenwinkel zwischen Anlagenpunkt und Immissionsort können mehr oder weniger variieren, da Fenster unterschiedliche Höhen haben.

Abbildung 8 verdeutlicht dies skizzenhaft: Maximale Höhenwinkel ergeben sich zu oberen Fensterkanten und minimale Höhenwinkel zu Fensterunterkanten.



Abbildung 8: 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.

5.2 Eingrenzung potenziell kritischer Azimutbereiche

Die gezeigten Reflexionsdiagramme zeigen die Gemeinsamkeit, dass kleine Höhenwinkel nur in stark eingegrenzten Azimutbereichen nach westlichen oder östlichen Richtungen auftreten können.



Nach Westen zur Behindertenwohnstätte eines gemeinnützigen Vereins (Lebenshilfe Finsterwalde e.V.) hin besteht ein Mindestabstand zu nächstgelegenen Modulen von 112 m und die Höhendifferenz zwischen niedrigsten Modulunterkanten an der Westseite von Feld 1 und der Oberkante der Dachfenster der Behindertenwohnstätte beträgt 15,7 m. Aus Entfernung und Höhendifferenz ergibt sich ein maximaler Höhenwinkel von 8,0°, mit dem Reflexionen diese Dachfenster noch erreichen können.

Nach Osten zu den Wohnhäusern hin besteht ein Mindestabstand zu nächstgelegenen Modulen von 95 m und die Höhendifferenz zwischen niedrigsten Modulunterkanten und höchsten Fensteroberkanten beträgt 10,7 m, woraus sich ein maximaler Höhenwinkel für relevante Reflexionen von 6,4° ergibt.

Mit diesen Obergrenzen für Höhenwinkel potenziell relevanter Reflexionen können die zu untersuchenden Azimutrichtungen nach Westen und Osten hin eingegrenzt werden auf die Bereiche 74° bis 119° und 240° bis 290°. Abbildung 9 veranschaulicht, dass diese Bereiche alle potenziell als Immissionen zu wertenden Reflexionen mit Abstandswinkeln zur Sonne von mehr als 10° umgrenzen.

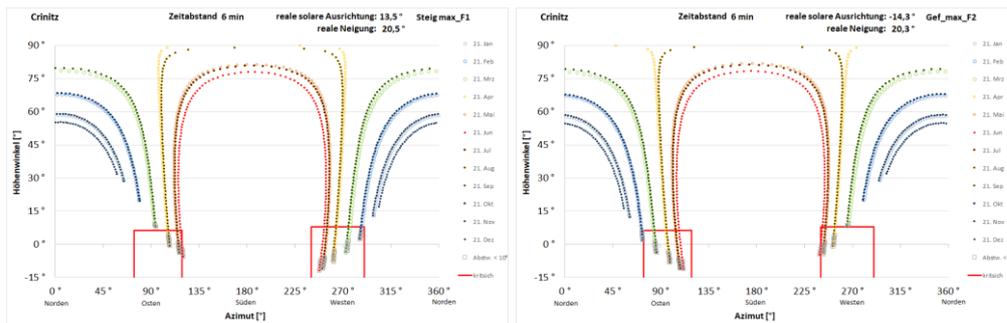


Abbildung 9: Reflexionsdiagramme für maximal auftretende Abweichungen der innerhalb der Gesamtanlage auftretenden realen solaren Ausrichtung, links für maximale Westausrichtung, rechts für maximale Ostausrichtung, und rot abgegrenzt die potenziell kritischen Bereiche zwischen 74° und 119° für maximale Höhenwinkel von 6,4° und zwischen 240° und 290° für maximale Höhenwinkel von 8°

In der Ebene bedeutet das für die Behindertenwohnstätte, wie Abbildung 10 verdeutlicht, dass nur aus dem südlichen Bereich von Feld 1 und allenfalls noch zwischen den Gebäuden hindurch von wenigen Tischen von Feld 2 Reflexionen zu ihr gerichtet sein können.

Für die Wohnhäuser sind in Abbildung 11 die entsprechenden östlich gerichteten Azimutbereiche zwischen 74° und 119° eingezeichnet.

Daraus lässt sich ablesen, dass Haus Nr. 4 allenfalls von der nördlichsten Reihe von Feld 1, hauptsächlich vom nördlichen Bereich von Feld 2 und von zwei südlichen Tischen von Feld 3 betroffen sein kann.

Haus Nr. 6 kann von den nördlichen beiden Reihen von Feld 1, von den sieben nördlichen Reihen von Feld 2 und dem südwestlichen Teil von Feld 3 betroffen sein.

Haus Nr. 8 kann nur von den südlichen drei Tischen von Feld 3 betroffen sein, da die übrigen Reihen von Feld 3 durch Gebäude abgeschirmt sind.





Abbildung 10: Azimutbereich westlich zur Behindertenwohnstätte gerichteter Reflexionen mit Winkeln zwischen 240° und 290° durch gelbe Linien abgegrenzt



Abbildung 11: Azimutbereiche östlich zu den Wohnhäusern gerichteter Reflexionen mit Winkeln zwischen 74° und 119° durch gelbe Linien abgegrenzt



5.3 Behindertenwohnstätte eines gemeinnützigen Vereins (Lebenshilfe Finsterwalde e.V.)

Von den 54 Tischen, die anhand von Abbildung 10 als potenziell relevant für Reflexionen ausgewählt werden können, werden potenzielle Reflexionen mindestens von den sieben westlichsten Tischen durch die 6 m hohe steile Böschung am westlichen Rand der geplanten Anlage abgeschirmt, die das Höhenprofil in Abbildung 12 zeigt.



Abbildung 12: Höhenprofil aus Google Earth Pro

Untersucht man die verbleibenden 47 Tische näher auf ihre reale Ausrichtung hin, so zeigt sich, dass 43 Tische Ausrichtungen zwischen $-4,3^\circ$ und $+1,5^\circ$ aufweisen und nur vier Tische mit Ausrichtungen von $-13,1^\circ$, $-10,7^\circ$, $-6,8^\circ$ und $+6,2^\circ$ deutlich aus diesem Rahmen herausfallen. Abbildung 13 zeigt die Verteilung grafisch.

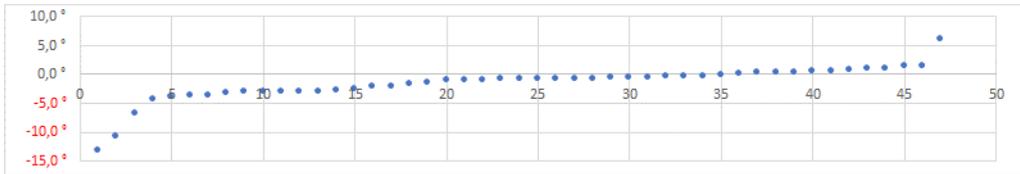


Abbildung 13: Geordnete Verteilung der Tischausrichtungen über der Anzahl der Tische, die eventuell Reflexionen zur Behindertenwohnstätte richten können

Werden die Kugelkoordinaten Azimut und Höhenwinkel des exemplarisch untersuchten Dachfensters aus Sicht aller Eckpunkte der 43 Tische in ein Reflexionsdiagramm für eine mittlere Ausrichtung von $-1,1^\circ$ eingetragen, ergibt sich Abbildung 14.

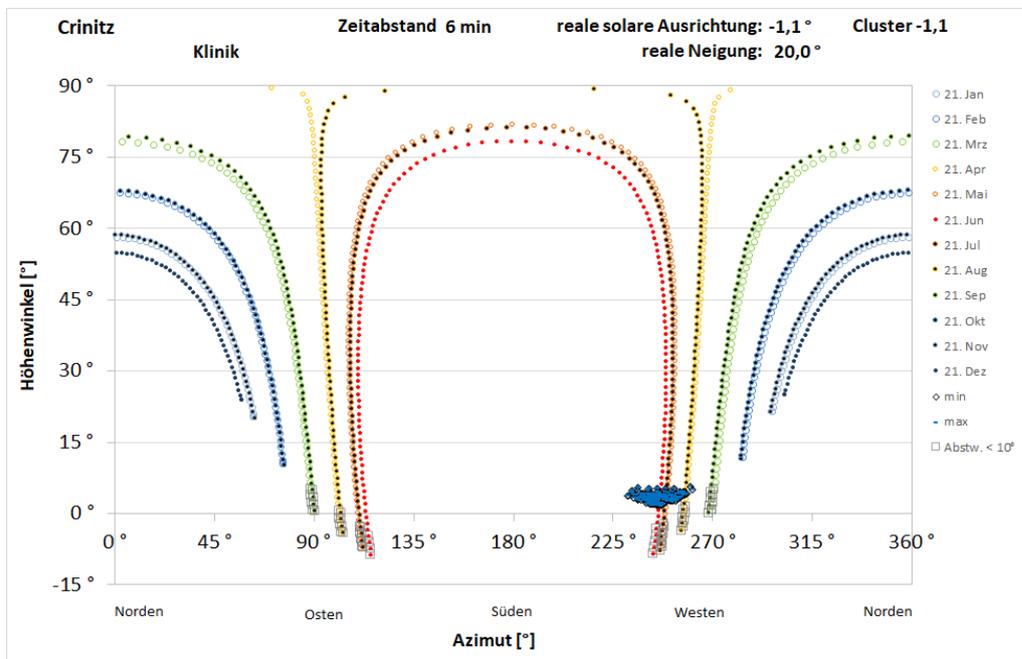


Abbildung 14: Reflexionsdiagramm für Dachfenster in der Behindertenwohnstätte und potenziell relevante Tische der Anlage unter Annahme einer einheitlichen Ausrichtung von $-1,1^\circ$

Um die Immissionszeiten abschätzen zu können, wird der relevante Ausschnitt des Diagramms vergrößert dargestellt in Abbildung 15 und die Immissionszeitpunkte werden darin umgrenzt.

Anhand dieser Darstellung kann abgelesen werden, dass die maximale Immissionsdauer innerhalb eines Tages im Juni bei 16 Minuten liegt, da der Abstand zwischen zwei Punkten einer Tagesganglinie 6 Minuten repräsentiert. Die kumulierte Gesamtdauer über das Jahr kann abgeschätzt werden mit 16 Minuten täglich im Juni, 13 Minuten durchschnittlich im Mai und Juli und 6 Minuten durchschnittlich im April und August, was insgesamt auf eine Jahresdauer von etwa 27 Stunden hinausläuft.

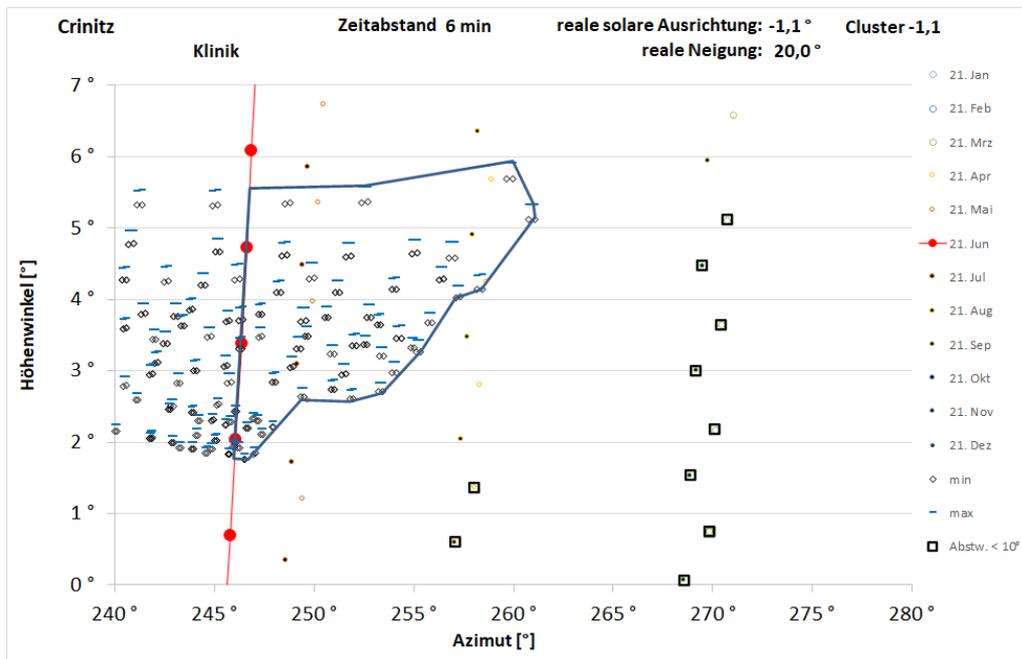


Abbildung 15: Ausschnittsvergrößerung von Abbildung 14 mit Umgrenzung der Immissionszeitpunkte

5.4 Grenzweg 4

Anhand von Abbildung 11 lassen sich insgesamt 47 Tische identifizieren, die näher auf mögliche Reflexionen zu diesem Haus hin untersucht werden müssen.

Die beiden südlichen Tische von Feld 3, die in dieser ersten Grobauswahl noch enthalten sind, entfallen aber, da sie aufgrund ihrer Hanglage maximal bis 114° Azimut reflektieren können und damit das Haus Nr. 4 nicht mehr erreichen können.

Die Ausrichtungen der verbleibenden 45 Tische verteilen sich stärker als im Fall der Behindertenwohnstätte auf Werte zwischen $-14,3^\circ$ und $+13,5^\circ$, wie Abbildung 16 zeigt.

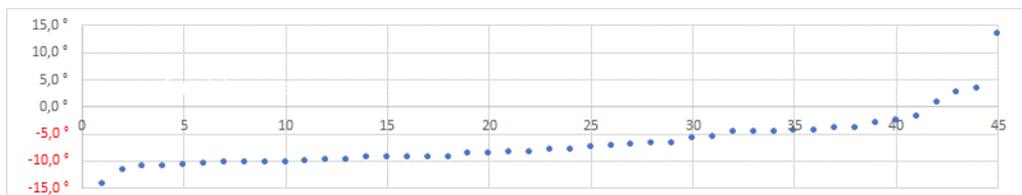


Abbildung 16: Geordnete Verteilung der Tischausrichtungen über der Anzahl der Tische, die eventuell Reflexionen zum Haus N. 4 richten können

Eine Untersuchung der fünf Tische mit positiven oder nur leicht negativen Werten bis $-1,7^\circ$ sowie des Tisches mit der stärksten Ostausrichtung von $-14,3^\circ$ ergibt, dass von ihnen ausgehende Reflexionen das untersuchte Fenster entweder gar nicht erreichen können oder nur zu Zeiten, in denen die Sonne



aus Sicht des Fensters keinen Abstand von über 10° zur reflektierenden Fläche aufweist, so dass diese Reflexionen nicht als Immissionen im Sinne der LAI-Lichtrichtlinie zu werten sind.

Wird für die übrigen Tische eine mittlere Ausrichtung von $-6,9^\circ$ angesetzt, ergibt sich das Reflexionsdiagramm in Abbildung 17.

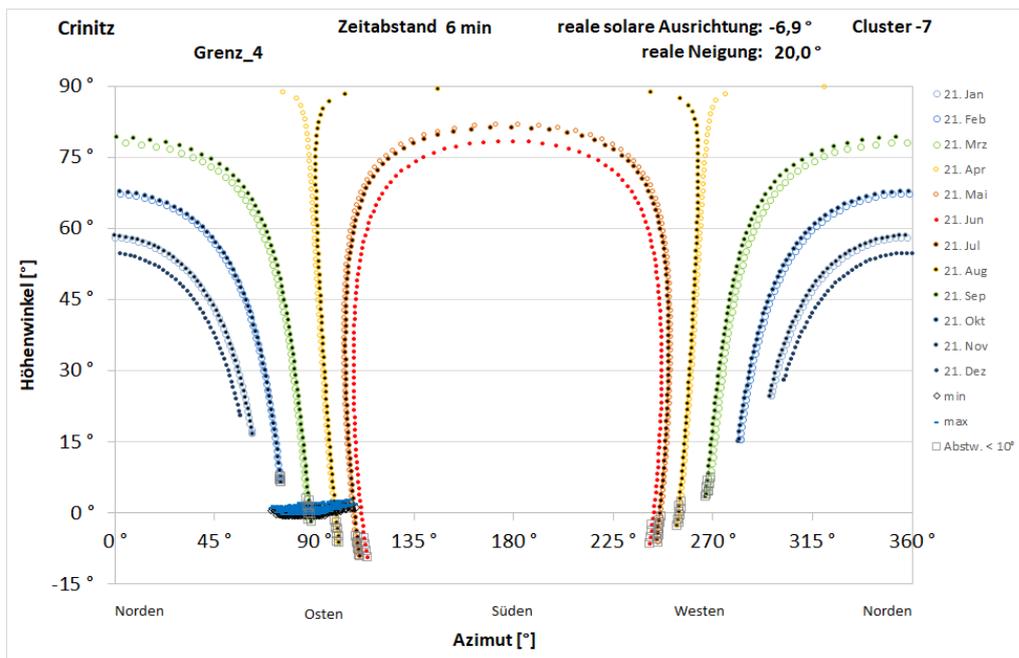


Abbildung 17: Reflexionsdiagramm für den Balkon im Obergeschoss von Haus Nr. 4 unter Annahme einer einheitlichen Ausrichtung von $-6,9^\circ$

Um die Immissionszeiten abschätzen zu können, wird der relevante Ausschnitt des Diagramms vergrößert dargestellt in Abbildung 18 und die Immissionszeitpunkte werden darin umgrenzt.

Anhand dieser Darstellung kann abgelesen werden, dass die maximale Immissionsdauer innerhalb eines Tages bei etwa 11 Minuten liegt, da der Abstand zwischen zwei Punkten einer Tagesganglinie 6 Minuten repräsentiert. Die kumulierte Gesamtdauer über das Jahr kann abgeschätzt werden mit durchschnittlich 10 Minuten täglich über 4 Monate hinweg, was insgesamt auf eine Jahresdauer von etwa 20 Stunden hinausläuft.

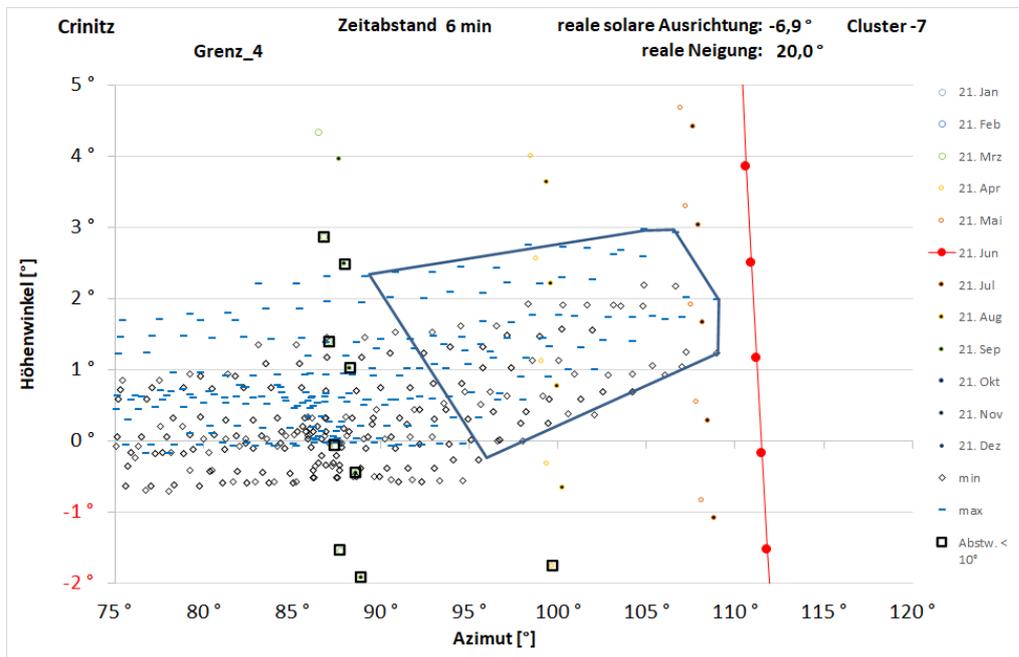


Abbildung 18: Ausschnittsvergrößerung von Abbildung 17 mit Umgrenzung der Immissionszeitpunkte

5.5 Grenzweg 6

Anhand von Abbildung 11 lassen sich insgesamt 34 Tische identifizieren, die näher auf mögliche Reflexionen zu diesem Haus hin untersucht werden müssen.

Die Ausrichtungen der Tische verteilen sich auf Werte zwischen $-11,7^\circ$ und $+13,5^\circ$, wie Abbildung 19 zeigt.

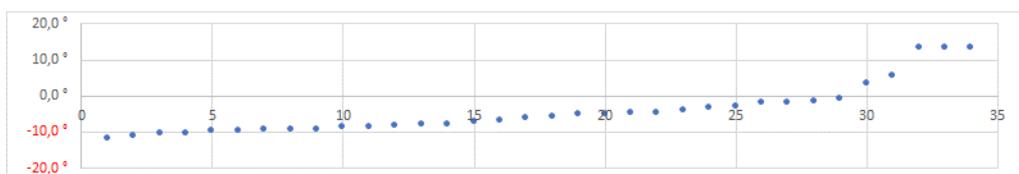


Abbildung 19: Geordnete Verteilung der Tische ausrichtungen über der Anzahl der Tische, die eventuell Reflexionen zum Haus N. 6 richten können

Eine Untersuchung aller Tische von Feld 1, zu denen die fünf Tische mit positiven Ausrichtungswerten gehören, ergibt, dass von ihnen ausgehende Reflexionen das untersuchte Fenster entweder gar nicht erreichen können oder nur zu Zeiten, in denen die Sonne aus Sicht des Fensters keinen Abstand von über 10° zur reflektierenden Fläche aufweist, so dass diese Reflexionen nicht als Immissionen im Sinne der LAI-Lichtrichtlinie zu werten sind.

Für die Tische von Feld 2 und Feld 3 wird wieder eine durchschnittliche Ausrichtung von $-6,9^\circ$ angesetzt, woraus sich das Diagramm in Abbildung 20 ergibt.

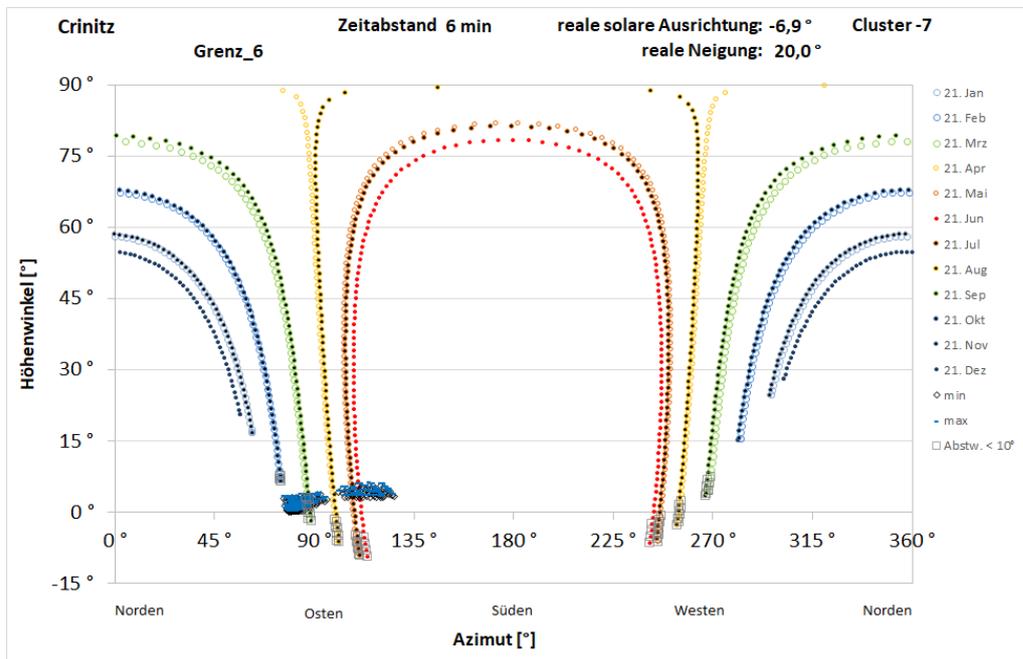


Abbildung 20: Reflexionsdiagramm für das Giebfenster im Dachgeschoss von Haus Nr. 6 unter Annahme einer einheitlichen Ausrichtung von $-6,9^\circ$

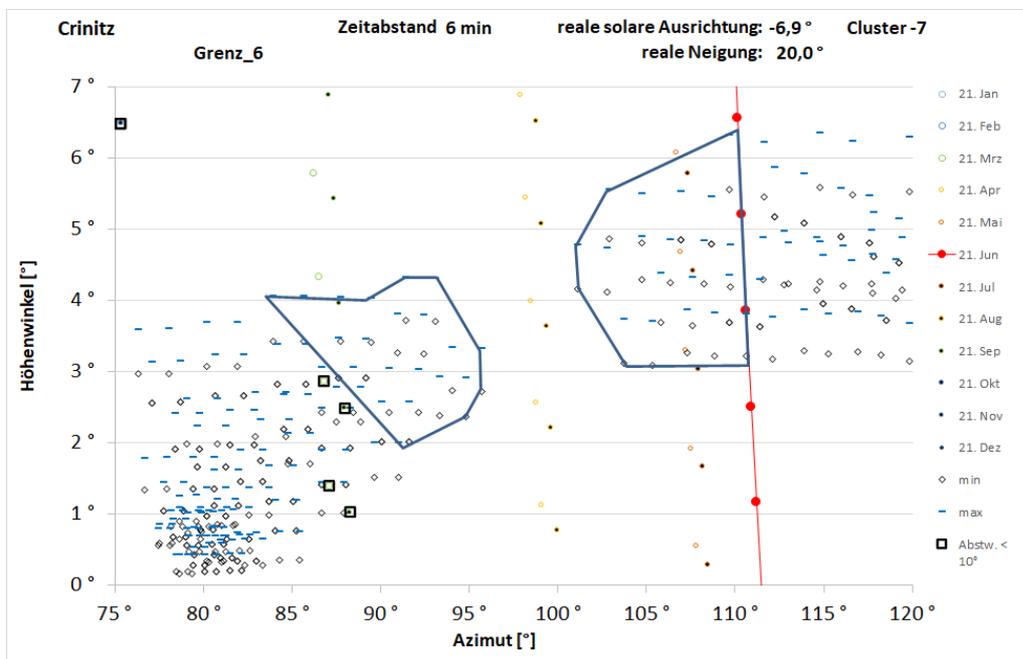


Abbildung 21: Ausschnittsvergrößerung von Abbildung 20 mit Umgrenzung der Immissionszeitpunkte

In der Ausschnittsvergrößerung in Abbildung 21 sind die Immissionszeitpunkte wieder umgrenzt.



Es ergibt sich eine Sommerperiode von etwa drei Monaten mit maximal 15 Minuten Tagesdauer, die von Feld 3 ausgeht und zwei Perioden im Frühling und Herbst von jeweils einem dreiviertel Monat mit maximal 9 Minuten Tagesdauer, die von Feld 2 ausgehen. Mit einer durchschnittlichen Tagesdauer von 13 Minuten im Sommer und 8 Minuten in den Übergangszeiten ergibt sich eine kumulierte Jahresdauer von 27,5 Stunden.

5.6 Grenzweg 8

Anhand von Abbildung 11 lässt sich erkennen, dass ausschließlich Tische von Feld 3 näher auf mögliche Reflexionen zu diesem Haus hin untersucht werden müssen. Zwischen Feld 3 und dem Wohnhaus stehen aber auch noch Gebäude, die mindestens die drei nördlichen Reihen abschirmen. So bleiben nur fünf Tische zu untersuchen, deren Ausrichtungen zwischen $-1,6^\circ$ und -8° variieren. Abbildung 22 zeigt die Verteilung.



Abbildung 22: Geordnete Verteilung der Tischausrichtungen über der Anzahl der Tische, die eventuell Reflexionen zum Haus N. 86 richten können

Mit einer mittleren Ausrichtung von $-6,9^\circ$ ergibt sich für das Giebelfenster von Haus Nr. 8 das Reflexionsdiagramm in Abbildung 23. Hier zeigt sich bereits, dass der ganz überwiegende Teil möglicher Reflexionen Abstände zur Sonne von weniger als 10° aufweist und damit nicht als Immission zu zählen ist. Die verbleibenden als Immissionen zu wertenden Reflexionen dauern nur wenige Minuten an wenigen Tagen um den 21. März und den 21. September herum.

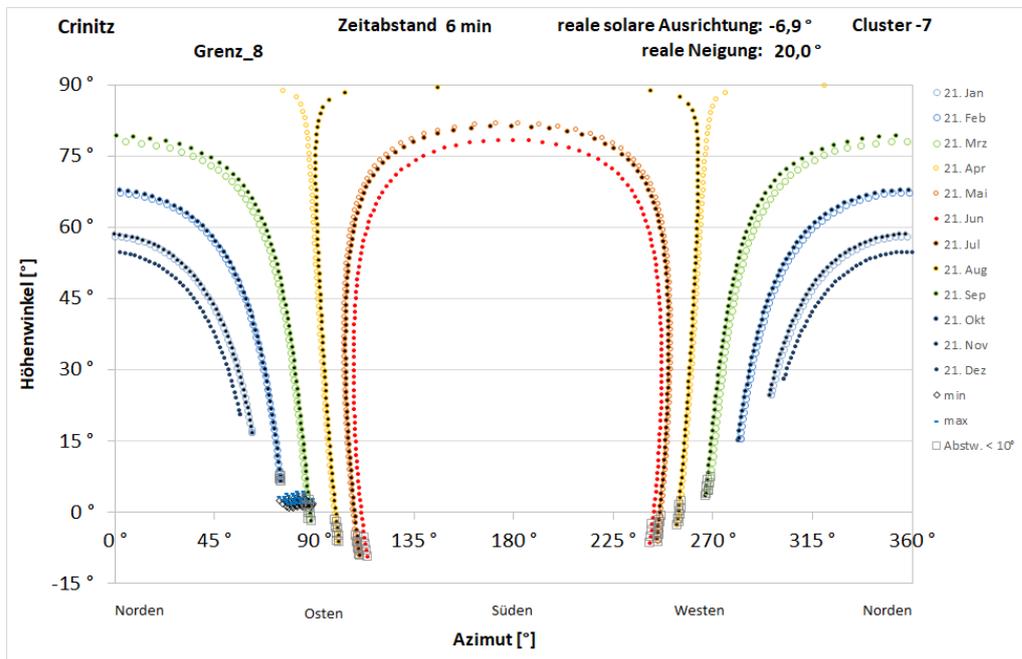


Abbildung 23: Reflexionsdiagramm für das Giebelfenster im Dachgeschoss von Haus Nr. 6 unter Annahme einer einheitlichen Ausrichtung von $-6,9^\circ$



6 *Bewertung der Ergebnisse*

Es wird festgestellt, dass auch die höchstgelegenen Fenster der Behindertenwohnstätte eines gemeinnützigen Vereins (Lebenshilfe Finsterwalde e.V.) maximal 16 Minuten lang innerhalb eines Tages von Reflexionen der Anlage betroffen sein können, die mit Abständen von der Sonne mit mehr als 10° als Immissionen zu bewerten sind. Die kumulierte Jahresdauer beläuft sich dabei auf etwa 27 Stunden.

Die entsprechenden Werte für die höchstgelegenen Immissionsorte der Häuser am Grenzwert betragen:

- ▶ Haus 4: 11 Minuten im Tagesverlauf, 20 Stunden im Jahresverlauf
- ▶ Haus 6: 15 Minuten im Tagesverlauf, 27,5 Stunden im Jahresverlauf
- ▶ Haus 8: wenige Minuten im Verlauf einiger Tage um den 21. März und den 21. September herum

Alle diese Werte liegen unterhalb der Schwellenwerte der LAI-Lichtrichtlinie und wären damit nur in Ausnahmefällen als unzumutbar einzustufen. Da keine Hinweise dafür vorliegen, dass in einem der Fälle besondere Gründe für eine verschärfte Beurteilung vorliegen, werden die möglichen Immissionen für unproblematisch erachtet.

Zusätzliche Blendschutzmaßnahmen sind damit nicht erforderlich.



7 Verwendete Materialien

7.1 Dokumente vom Auftraggeber

- ▶ Belegungs- und Lageplan als Datei 2022-07-18_Crinitz_Layout_bereinigt.dwg
- ▶ Lageplan der Behindertenwohnstätte eines gemeinnützigen Vereins (Lebenshilfe Finsterwalde e.V.) als Datei Sondergebiet_Klinik_Crinitz.pdf
- ▶ Stellungnahme des LfU als Datei Stellungnahme Blendung 12_LfU.pdf

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>
- ▶ Leitlinie des Ministeriums für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz zur Messung und Beurteilung von Lichtimmissionen (Licht-Leitlinie) vom 16. April 2014
- ▶ Fischbach, M.; Mack, M.; Haselhuhn, R.: Blendgutachten Photovoltaik – ein Statusbericht aus der Gutachterpraxis; Tagungsband 29. Symposium Photovoltaische Solarenergie 12.-14.3.2014 Bad Staffelstein; Hsg.: OTTI e.V.
- ▶ Eicker, U.: Solare Technologien für Gebäude; 1. Aufl. B. G. Teubner GmbH Stuttgart/Leipzig/Wiesbaden, 2001
- ▶ Reidenbach H.-D., Dollinger K., Ott G., Janßen M., Brose M. (2008): Blendung durch optische Strahlungsquellen. Bericht der BAUA, Forschung Projekt 2185
- ▶ Kaufmann, H.: Strabismus. Stuttgart, Enke, 1986
- ▶ Empfehlungen der Strahlenschutzkommission: Blendung durch natürliche und neue künstliche Lichtquellen und ihre Gefahren; verabschiedet in der 205. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 16./17. Februar 2006
- ▶ DIN 5034-2:2021-08 Tageslicht in Innenräumen – Teil 2: Grundlagen



8 *Abbildungsverzeichnis*

Abbildung 1: Lage der geplanten PV-Anlage (blau), bestehend aus drei Feldern, und der Häuser Grenzweg 4, 6 und 8 sowie der Behindertenwohnstätte (rot umkreist).....	3
Abbildung 2: Gegenstände auf der Sichtachse zur Blendquelle sind nicht mehr wahrnehmbar.....	7
Abbildung 3: Auswirkung des Einfallwinkels auf den Transmissionsgrad für Modulgläser.....	8
Abbildung 4: Belegungsplan (Modultische blau).....	10
Abbildung 5: Darstellung des Reflexionsstrahls anhand von Azimut und Höhenwinkel wie im Reflexionsdiagramm verwendet und Beschreibung des Abstandswinkels zwischen Blickrichtungen zur Sonne und zum Blendpunkt.....	13
Abbildung 6: Reflexionsdiagramm aus Sicht eines beliebigen potenziellen Blendpunktes südlich ausgerichteter Modultische mit einer Modulneigung von 20° 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	14
Abbildung 7: Reflexionsdiagramme für maximal auftretende Abweichungen der sich ergebenden realen solaren Ausrichtung, links für maximale Westausrichtung, rechts für maximale Ostausrichtung	15
Abbildung 8: Beispiel für Bandbreite möglicher Höhenwinkel	15
Abbildung 9: Reflexionsdiagramme für maximal auftretende Abweichungen der innerhalb der Gesamtanlage auftretenden realen solaren Ausrichtung, links für maximale Westausrichtung, rechts für maximale Ostausrichtung, und rot abgegrenzt die potenziell kritischen Bereiche zwischen 74° und 119° für maximale Höhenwinkel von 6,4° und zwischen 240° und 290° für maximale Höhenwinkel von 8°	16
Abbildung 10: Azimutbereich westlich zur Behindertenwohnstätte gerichteter Reflexionen mit Winkeln zwischen 240° und 290° durch gelbe Linien abgegrenzt.....	18
Abbildung 11: Azimutbereiche östlich zu den Wohnhäusern gerichteter Reflexionen mit Winkeln zwischen 74° und 119° durch gelbe Linien abgegrenzt.....	18
Abbildung 12: Höhenprofil aus Google Earth Pro.....	19
Abbildung 13: Geordnete Verteilung der Tischausrichtungen über der Anzahl der Tische, die eventuell Reflexionen zur Behindertenwohnstätte richten können	20
Abbildung 14: Reflexionsdiagramm für Dachfenster in der Behindertenwohnstätte und potenziell relevante Tische der Anlage unter Annahme einer einheitlichen Ausrichtung von -1,1°	20
Abbildung 15: Ausschnittsvergrößerung von Abbildung 14 mit Umgrenzung der Immissionszeitpunkte	21



Abbildung 16: Geordnete Verteilung der Tischausrichtungen über der Anzahl der Tische, die eventuell Reflexionen zum Haus N. 4 richten können	21
Abbildung 17: Reflexionsdiagramm für den Balkon im Obergeschoss von Haus Nr. 4 unter Annahme einer einheitlichen Ausrichtung von $-6,9^\circ$	22
Abbildung 18: Ausschnittsvergrößerung von Abbildung 17 mit Umgrenzung der Immissionszeitpunkte	23
Abbildung 19: Geordnete Verteilung der Tischausrichtungen über der Anzahl der Tische, die eventuell Reflexionen zum Haus N. 6 richten können	23
Abbildung 20: Reflexionsdiagramm für das Giebelfenster im Dachgeschoss von Haus Nr. 6 unter Annahme einer einheitlichen Ausrichtung von $-6,9^\circ$	24
Abbildung 21: Ausschnittsvergrößerung von Abbildung 20 mit Umgrenzung der Immissionszeitpunkte	24
Abbildung 22: Geordnete Verteilung der Tischausrichtungen über der Anzahl der Tische, die eventuell Reflexionen zum Haus N. 86 richten können.....	25
Abbildung 23: Reflexionsdiagramm für das Giebelfenster im Dachgeschoss von Haus Nr. 6 unter Annahme einer einheitlichen Ausrichtung von $-6,9^\circ$	26

9 Tabellenverzeichnis



Tabelle 1: Zusammenfassung der auftretenden Extremwerte in den drei Feldern11