

Solarpraxis AG · Zinnowitzer Straße 1 · 10115 Berlin, Germany

► **Photovoltaikanlage Tramm-Göthen**

Analyse der Reflexionswirkung einer Photovoltaikanlage auf die Wohnbebauung

Auftraggeber

BELECTRIC Solarkraftwerke GmbH

Frau Tanja Orth
Wadenbrunner Str. 10
97509 Kolitzheim

erstellt von

Michaela Fischbach und Mario Wolff
Solarpraxis AG
Zinnowitzer Straße 1
10115 Berlin Germany
Tel. 030/ 726 296-403
Fax. 030/ 726 296-309
E-Mail: MichaelaFischbach@solarpraxis.de
Internet: www.solarpraxis.de

Datum: 20.11.2013



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
3.3 Entstehung von Reflexionen bei Photovoltaikanlagen	9
3.4 Verwendete Azimut-Winkelangaben	10
4 Situation vor Ort	11
4.1 Der geplante Solarpark	11
4.2 Die zu untersuchende Bebauung	13
4.2.1 Bebauung 1	15
4.2.2 Bebauung 2	15
4.2.3 Bebauung 3	16
4.2.4 Bebauung 4 und 5	16
4.2.5 Bebauung 6	18
4.2.6 Bebauung 7, 8 und 9	19
4.2.7 Bebauung 10	19
4.2.8 Wohnhaus 11	20
4.2.9 Bebauung 12	20
4.2.10 Bebauung 13	21
4.2.11 Bebauung 14-19	21
4.2.12 Bebauung 20	22
5 Berechnungen	23
5.1 Methodik der Berechnung	23
5.2 Reflexionsfreie Bereiche	26
5.3 Reflexionen zu Wohnhäusern	27
5.3.1 Wohnhaus 2	27
5.3.2 Wohnhaus 3	30
5.3.3 Wohnhaus 6	31
5.3.4 Wohnhaus 10	32
5.3.5 Wohnhaus 20	33

6	Bewertung der Ergebnisse	34
6.1	Reflexionseinwirkungen auf die Wohngebäude	34
7	Verwendete Materialien	35
7.1	Dokumente vom Auftraggeber	35
7.2	Literatur.....	35
8	Abbildungsverzeichnis.....	36





1 Zweck und Gegenstand des Gutachtens

Es soll untersucht werden, ob Reflexionen des Sonnenlichts an den Photovoltaikmodulen des geplanten Solarparks "Tramm-Göthen" bei 19089 Tramm auf die westlich gelegene Wohnbebauung reflektiert werden und ob dadurch gegebenenfalls störende Blendwirkungen auftreten können.

Anschließend sind ggfs. Maßnahmen zur Verhinderung evtl. auftretender Blendung zu erarbeiten.

Die Analyse erfolgt auf Basis der vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Daten und Plänen. Ein Ortstermin durch die Solarpraxis AG fand nicht statt.

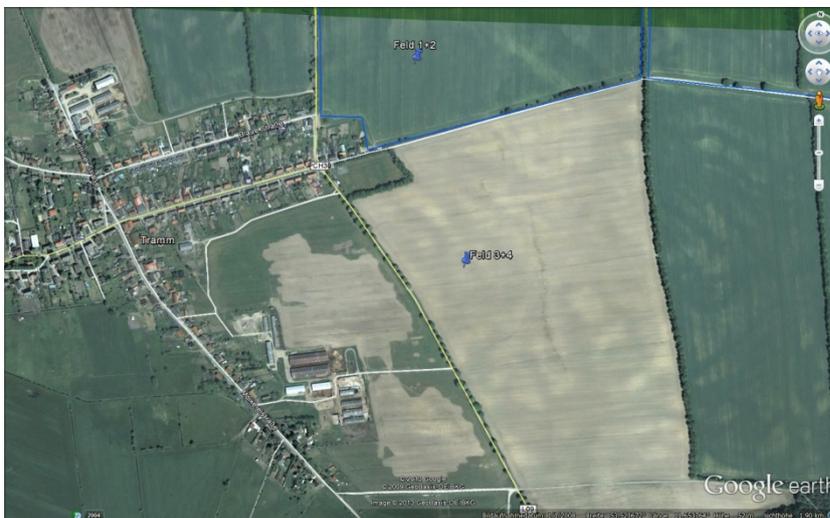


Abbildung 1: Lageplan Luftbild (Quelle: google earth)



2 Zusammenfassung der Ergebnisse

Exemplarisch wurden die Reflexionen für 5 Häuser berechnet.

Fast alle auftretenden Reflektionen an den betrachteten Fenstern liegen so früh am Morgen (bei Sonnenaufgang), dass die auftretenden Reflexionsstrahlen in einem Bereich liegen, indem der Abstandswinkel des Reflexionsstrahls zu den Strahlen der Sonne selbst unter 10° liegt.

Nur bei Haus 2 können Reflexionen auf das Fenster im Obergeschoss fallen, die als Immissionen gewertet werden. Ihre tägliche Dauer beträgt maximal etwa 1 Minute, die Jahressumme 0,2 Stunden.

Zusammenfassend wird die Reflexionswirkung der geplanten PV-Anlage Tramm-Göthen auf die Wohnbebauung als unbedenklich bewertet.

Maßnahmen zum Blendschutz sind somit 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 berechtigte Interessenten nach dem Informationsfreiheitsgesetz. Eine Weitergabe an sonstige Dritte oder die Veröffentlichung des Berichtes unabhängig vom B-Plan als Ganzes oder in Teilen ist nur in Absprache mit der Solarpraxis AG 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 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

- ▶ in §5 Abs. 2 Nr. 2 BauGB die Ausstattung des Gemeindegebietes mit Anlagen zur dezentralen Stromerzeugung in die möglichen Inhalte eines Flächennutzungsplans explizit aufgenommen,

¹ Baugesetzbuch



- ▶ 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. Dabei ist die Leuchtdichte als Lichtstärke pro Fläche ein fotometrisches Maß für die von Menschen empfundene Helligkeit. 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.³

3.2.1 Blendung im Wohnbereich

Das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU) hat bereits vor Jahren damit begonnen, in Ermangelung von zeitlichen Grenzwerten für Sonnenlicht-Reflexionen von Photovoltaikanlagen, Grenzwerte aus einem anderen Regelungsbereich, der sogenannten Schattenwurf-Richtlinie für Windenergieanlagen (WEA)⁴, zu übernehmen und andere Immissionsschutzbehörden folgen diesem Beispiel immer öfter. Nach dieser Schattenwurf-Richtlinie wird eine tägliche Einwirkzeit von 30 Minuten als Zulässigkeitsobergrenze für Sonnenlichtreflexionen auf Fenster oder Balkone angesetzt, kombiniert mit der ebenfalls in dieser Richtlinie festgelegten jährlichen Obergrenze von 30 Stunden. Dabei beurteilt das LfU allerdings nur solche Reflexionen als Immissionen, die einen Abstandswinkel von mehr als 10° zur Sonne haben.

Eine analoge Anwendung dieser Schattenwurf-Richtlinie auf die Beurteilung von Reflexionen des Sonnenlichts an fest montierten, also statisch reflektierenden Photovoltaikmodulen verbietet sich aber eigentlich schon deshalb, weil in Nr. 1.1 dieser Richtlinie explizit als Anwendungsbereich der durch einen Windenergieanlagen-(WEA)-Rotor verursachte periodische Schattenwurf sowie seine Lichtreflexe ("Disco-Effekt") genannt werden. Unter Nr. 3.2 wird dann noch ausgeführt, dass die tägliche 30-Minutengrenze vorsorglich eingeführt wird, da in Labormessungen festgestellt wurde, dass bereits ab einem einmaligen 60-minütigen Einwirken periodischen Schattenwurfs Stressreaktionen auftreten können.

Beruft sich eine Behörde in einem ablehnenden Bescheid bezüglich einer fest installierten Photovoltaikanlage darauf, dass ihr Ermessensspielraum bei der Beurteilung der Blendwirkung durch diese Schattenwurf-Richtlinie eingeschränkt sei, so müsste der Bescheid demzufolge ohne weiteres anfechtbar sein, da sie ihr Ermessen fehlerhaft ausgeübt hat.

Bisher gibt es aber noch keine gerichtliche Überprüfung eines entsprechenden Falles, da Klageverfahren zeitaufwändig sind, und so muss empfohlen werden, die vom LfU seit Jahren

³ Wittlich 2010

⁴ 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



angewendeten Grenzwerte einzuhalten, um langwierige Verzögerungen im Genehmigungsverfahren zu vermeiden.

3.3 Entstehung von Reflexionen bei Photovoltaikanlagen

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

Komponenten, an denen ggf. relevante Reflexionen entstehen können, sind die Deckgläser der PV-Module. Da die PV-Module nach Süden geneigt sind, ergibt sich nach Norden unterhalb der durch die Moduloberfläche festgelegten geometrischen Ebene ein Raum, in den mit Sicherheit nie Strahlung von der Oberfläche reflektiert werden kann, wie Abbildung 2 verdeutlicht.

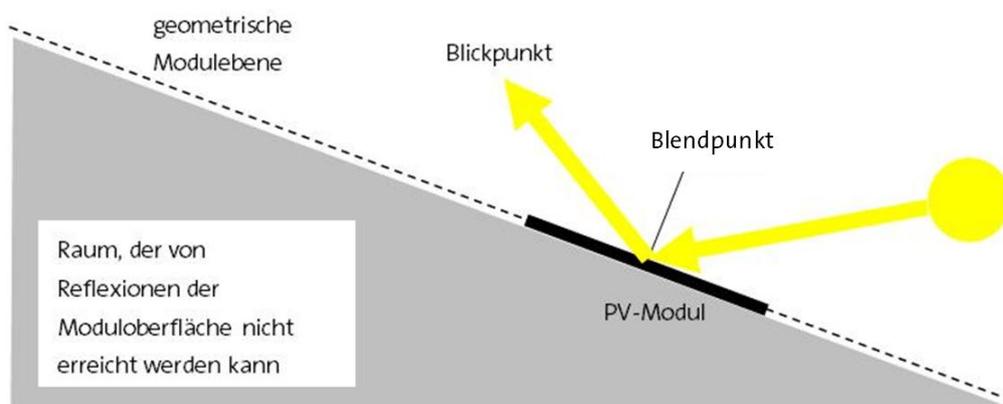


Abbildung 2: Die Moduloberfläche beschreibt eine geometrische Ebene, unterhalb derer keine von der Oberfläche her reflektierte Strahlung auftreten kann

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 eingestrahlteten sichtbaren Lichtes reflektiert werden.

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

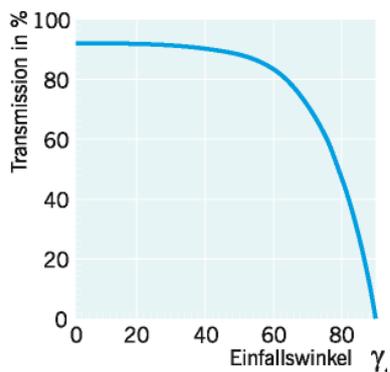


Abbildung 3: Auswirkung des Einfallswinkels auf den Transmissionsgrad für Modulgläser

Ein Einfallswinkel von 0° bedeutet in dieser Grafik einen senkrechten Lichteinfall auf die Modulverglasung. Mit zunehmender Abweichung des Einfallswinkels von 0° sinkt die Transmission und die Reflexion steigt. Bis zu einer Abweichung von etwa 65° vom senkrechten Lichteinfall werden also weniger als 20 % der Einstrahlung reflektiert.

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 im Folgenden die sich daraus ergebenden Azimutangaben verwendet:

Norden = 0° , Osten = 90° , Süden = 180° und Westen = 270°

Zur Erinnerung und leichteren Lesbarkeit für Leser, die in der Regel mit der in der Solartechnik üblichen Bezeichnung zu tun haben, werden ab und zu Azimutwinkel zusätzlich in dieser Solardiktion aufgeführt, z.B. Azimut 121° (in Solardiktion -59°).



4 Situation vor Ort

4.1 Der geplante Solarpark

Das Gelände der geplanten Photovoltaikanlage liegt östlich der Gemeinde Tramm.

Die Module werden mit einer Modulneigung von 8° und einem Azimut von -5° (Süd-Ost) ausgerichtet. Die Modulunterkante liegt 1 m über Bodenniveau, die Oberkante liegt auf einer Höhe von 2,60 m (siehe Abbildung 5).



Abbildung 4: Belegungsplan

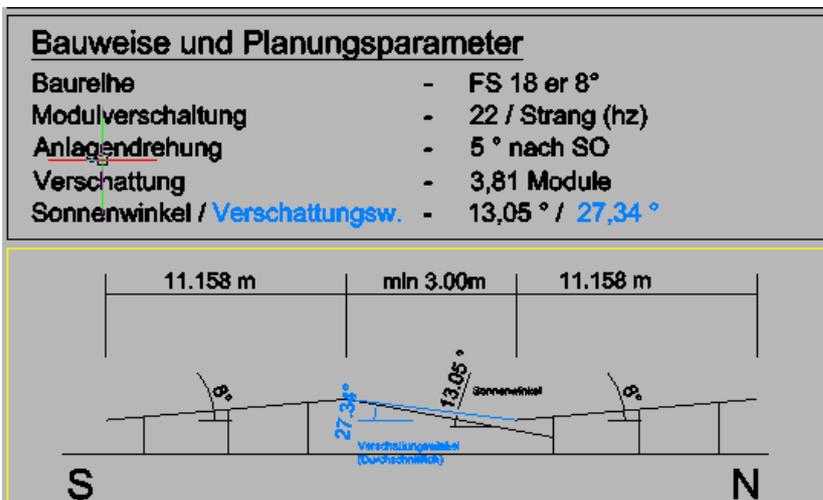


Abbildung 5: Auszug aus dem Belegungsplan mit der Bauweise und den Anlagenparametern

Das Gelände der geplanten Photovoltaikanlage weist geringe Höhenunterschiede auf. Grundsätzlich ist das Höhenniveau über NN der PVA höher gegenüber der Wohnbebauung. Laut den Höhenprofilen in Google Earth steigt das PV Gelände direkt neben der Landesstraße L 09 teilweise nach Osten leicht an (max. 3,2 % Steigung nach Osten, meist eben oder 1-2 % Steigung).

Nur im Süden des geplanten PV-Parks (Feld 4) fällt das Gelände nach Osten hin leicht ab.



4.2 Die zu untersuchende Bebauung

Von den zu untersuchenden Objekten wurden nur die Häuser berechnet, welche aus Erfahrungswerten früherer Projekte potenziell am blendgefährdeten sind und den geringsten Abstand zum nächstliegenden Modulfeld aufweisen. Die Berechnungen erfolgten an den jeweils höchst gelegenen Fenstern, da an diesen Stellen das Blendrisiko am größten ist.

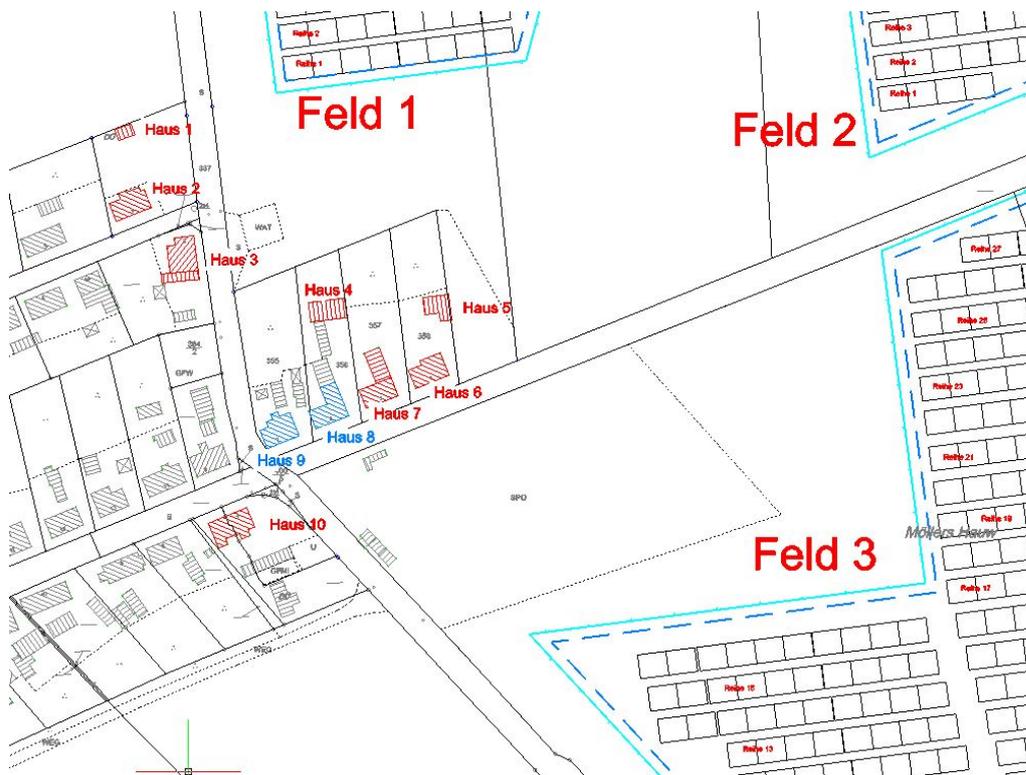


Abbildung 6: Lage der zu untersuchenden Bebauung Objekte 1-10

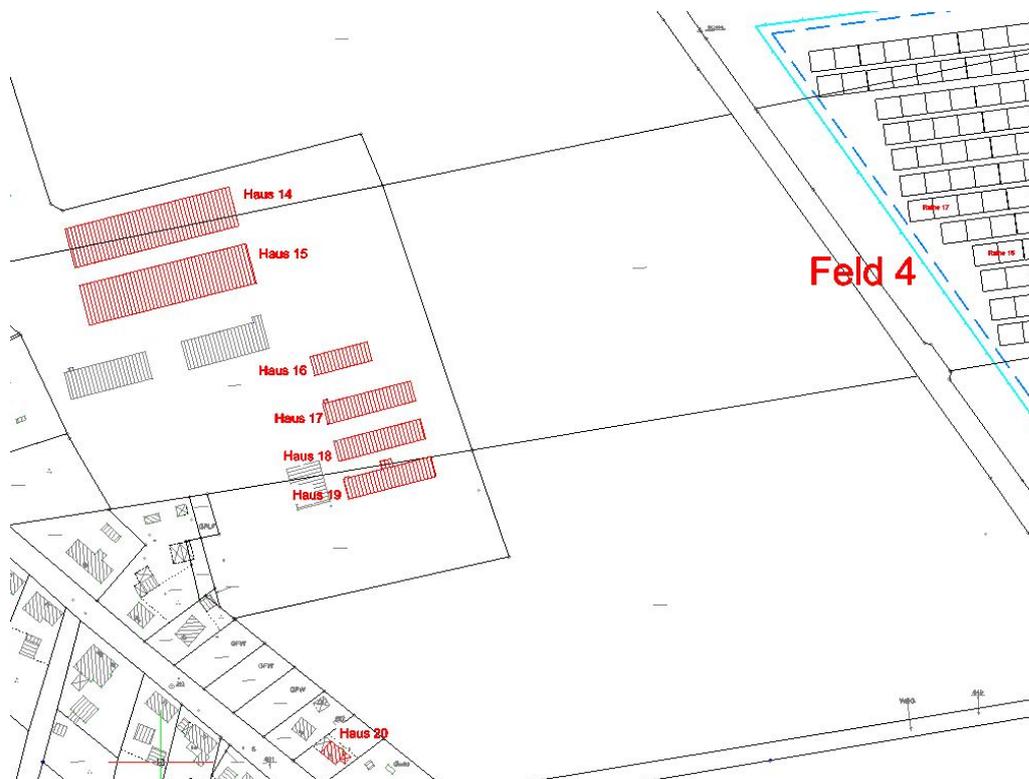


Abbildung 7: Lage der zu untersuchenden Bebauung Objekte 14-20



4.2.1 Bebauung 1

Nach Aussage des Auftraggebers handelt es sich beim Objekt 1 nicht um ein Wohnhaus und wurde daher nicht in die Berechnungen einbezogen. Zudem ist das Objekt aufgrund der Bepflanzung durch Bäume vom PV-Gelände nicht erkennbar.



Abbildung 8: Bebauung 1

4.2.2 Bebauung 2

Bei der Bebauung 2 handelt es sich um ein Wohngebäude. Untersucht wurden die kritischsten Fenster im Obergeschoss auf der Ostseite des Gebäudes. Die Brüstungshöhe der Fenster liegt bei 3,75 m über der Geländeoberkante. Die Fensterbreite beträgt 2,15 m und die Fensterhöhe 1,20 m. Die Firsthöhe des Hauses beträgt ca. 7,50 m.



Abbildung 9: Bebauung 2 (Wohnhaus)



4.2.3 Bebauung 3

Bei der Bebauung 3 handelt es sich um ein Wohngebäude. Untersucht wurden die kritischen Fenster im Dachgeschoss auf der Ostseite des Gebäudes. Die Brüstungshöhe des höchsten Dachfensters liegt bei 5,50 m über der Geländeoberkante. Die Fensterbreiten betragen jeweils 0,80 m, die Fensterhöhen 1,00 m.



Abbildung 10: Bebauung 3 (Wohnhaus)

4.2.4 Bebauung 4 und 5

Die Objekte 4 und 5 werden augenscheinlich als Lagerschuppen genutzt und dienen nicht zu Wohnzwecken. Sie sind daher nicht relevant.





Abbildung 11: Bebauung 4, Ansicht Nord-Ost



Abbildung 12: Bebauung 5, Ansicht Ost



4.2.5 Bebauung 6

Bei der Bebauung 6 handelt es sich um ein Wohngebäude. Untersucht wurde die Fensterreihe im Erdgeschoss auf der Ostseite des Gebäudes. Die Brüstungshöhe der Fenster liegt bei 1,00 m über der Geländeoberkante. Die Fensterbreiten betragen jeweils 0,80 m, die Fensterhöhen 1,00 m. Die Firsthöhe des Hauses beträgt ca. 6,00 m.



Abbildung 13: Bebauung 6 (Wohnhaus), Ansicht Nord



Abbildung 14: Bebauung 6 (Wohnhaus), Teilansicht Ost



4.2.6 Bebauung 7, 8 und 9

Die Wohnhäuser 7, 8 und 9 liegen in einer Flucht westlich des Wohnhauses 6 und werden dadurch von eventuell auftretenden Reflexionen abgeschirmt. Da das Wohngebäude 6 näher an der geplanten PV-Anlage liegt wurde nur dieses untersucht.



Abbildung 15: Bebauung 7, 8 und 9 (Wohnhäuser), Ansicht Nord

4.2.7 Bebauung 10

Bei der Bebauung 10 handelt es sich um ein Wohngebäude. Untersucht wurden die kritischen Fenster im Obergeschoss auf der Ostseite des Gebäudes. Die Brüstungshöhe der zwei Fenster liegt bei 3,30 m über der Geländeoberkante. Die Fensterbreiten betragen sind mit jeweils 0,80 m und die Fensterhöhen wurden mit 1,00 m angesetzt. Die Firsthöhe des Hauses beträgt ca. 6,70 m.



Abbildung 16: Bebauung 10 (Wohnhaus), Ansicht Ost



4.2.8 Wohnhaus 11

Bei der Bebauung 11 handelt es sich um ein Wohngebäude. Das Gebäude befindet sich in einer Entfernung von zirka 350 m zur ersten Modulreihe. Das Wohngebäude verfügt über keine Dachgeschossfenster. Aufgrund der Berechnungen für Häuser, welche sich näher an der PV-Anlage befinden, können Blendwirkungen für dieses Wohngebäude ausgeschlossen werden.



Abbildung 17: Bebauung 11 (Wohnhaus), Ansicht Südost

4.2.9 Bebauung 12

Die Bebauung 12 ist ein Unterstand und wurde nicht in die Berechnungen einbezogen.



Abbildung 18: Bebauung 12, Ansicht Ost



4.2.10 Bebauung 13

Bei der Bebauung 13 handelt es sich um ein Wohngebäude. Das Gebäude befindet sich in einer Entfernung von zirka 580 m zu den nächstgelegenen Modulreihen. Das Wohngebäude verfügt auf der Ostseite über keine Dachgeschossfenster. Die Fenster des Erdgeschoss auf der Ostseite werden durch einen direkt davorstehenden Schuppen vor eventuellen Reflexionen abgeschirmt.



Abbildung 19: Bebauung 13 (Wohnhaus), Ansicht Ost

4.2.11 Bebauung 14-19

Bei der Bebauung 14 -19 handelt es sich um Ställe und Unterstände. Zudem befinden sich in Richtung Osten nur Eingangstore. Für die Bebauung 14-19 sind keine Berechnungen notwendig.



Abbildung 20: Bebauung 14-19, Ansicht Ost



4.2.12 Bebauung 20

Bei der Bebauung 20 handelt es sich um ein Wohngebäude. Untersucht wurde das Dachflächenfenster auf der Nordost Seite des Gebäudes. Die Brüstungshöhe des Fensters liegt bei 4,70 m über der Geländeoberkante. Die Fensterbreite beträgt 0,80 m und die Fensterhöhe 1,00 m.



Abbildung 21: Bebauung 20 (Wohnhaus), Ansicht Nordost



5 Berechnungen

5.1 Methodik der Berechnung

Die Daten der Geländehöhen wurden durch den Auftraggeber zur Verfügung gestellt. Die Höhenangaben der Wohnbebauung und des geplanten Solarparks basieren auf zwei unterschiedlichen Bezugspunkten des Höhensystems. Für die Berechnungen wurden daher die Höhenangaben der Bebauung in die Höhenangaben des Solarparks transformiert. Entscheidend für die Berechnungen sind nur die relativen Bezugshöhen zwischen den zu untersuchenden Objekten und den Solarmodulen.

Die Abmaße und Lage der Fenster wurde mittels Fotodokumentation vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt.

Für die Berechnungen wird zunächst eine Aufstellung mit sämtlichen Sonneneinfallswinkeln im Jahresverlauf am Standort der geplanten Photovoltaikanlage (geografische Länge 11,65°, Breite 53,52°) in 6-minütiger Auflösung für 12 Tage im Jahr erstellt (jeweils der 21. jeden Monats)⁵; die sich daraus ergebenden Reflexionsrichtungen werden bestimmt. Jedem Einfallswinkel des Sonnenlichts entspricht nach dem Reflexionsgesetz („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 23).

⁵ Berechnung nach Eicker 2001

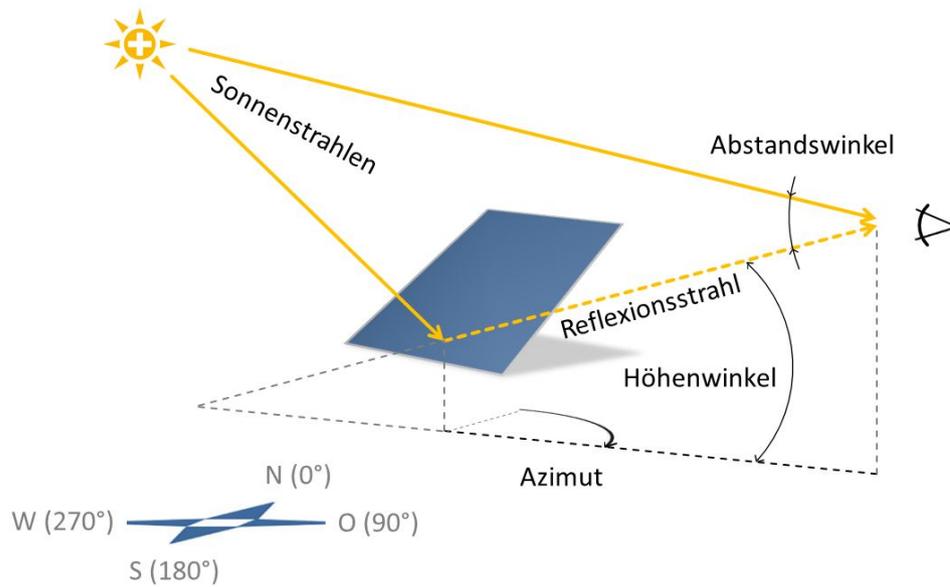


Abbildung 22: Darstellung des Reflexionsstrahls anhand von Azimut und Höhenwinkel wie im Reflexionsdiagramm verwendet und Beschreibung des Abstandswinkels zwischen Blickrichtungen zur Sonne und zum Blendpunkt

Ebenfalls in Abbildung 22 ist der Abstandswinkel zwischen den Blickrichtungen zur Sonne und zum Blendpunkt beschrieben, der bei kleinen Werten kein eigenständiges Blendpotenzial der Reflexion zulässt, da bei kleinen Abstandswinkeln die Blendkraft der Sonne selbst absolut dominiert (s. Abschnitt 3.2).



Aus den Anlagendaten und der geographischen Lage ergibt sich das in Abbildung 23 dargestellte Reflexionsdiagramm.

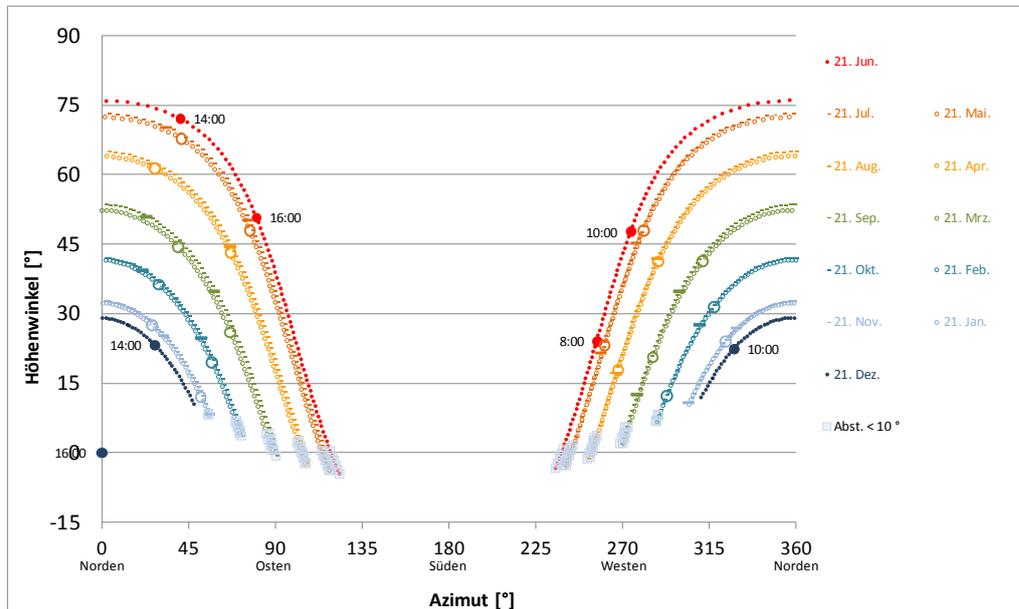


Abbildung 23: Reflexionsdiagramm aus Sicht eines beliebigen potenziellen Blendpunktes in der Reflexionsebene der geplanten Anlage; waagrecht aufgetragen sind die Azimutwinkel von Norden (0°) über Osten (90°), Süden (180°) nach Westen (270°), senkrecht die Höhenwinkel; Reflexionen ohne eigenständiges Blendpotenzial (geringer Abstandswinkel zur Sonne) sind hellblau markiert

Liegt ein Blickpunkt innerhalb des betroffenen Bereichs (d.h. zwischen oder oberhalb der Kurven für den 21. Juni und den 21. Dezember) 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.

Bei Bedarf, wenn die genauere tägliche Einwirkdauer oder jährliche Aufsummierung der Einwirkdauer gewünscht ist, kann für einen definierten Zeitraum und Azimutbereich in einer Auflösung von Minuten ein sogenannter „Blendkalender“ erstellt werden.

Die Zeitangaben mit den hervorgehobenen Markierungspunkten beziehen sich außen an der Dezemberlinie auf die mitteleuropäische Zeit (MEZ), auch Normal- oder Winterzeit genannt, und innen an der Junilinie auf die mitteleuropäische Sommerzeit (MESZ).

Da sich die Wohnsiedlung westlich der geplanten PV-Anlage erstreckt, sind nur die Azimutbereiche zwischen 239 und 311° für eventuell auftretende Reflexionen interessant.



5.2 Reflexionsfreie Bereiche

Wie aus Abbildung 21 hervorgeht, treten Reflexionen in den Azimutbereichen von Südost bis Südwest und von Nordwest bis Nordost nur mit sehr großen Höhenwinkeln auf, das heißt, von Vor- bis Nachmittag werden ganzjährig Sonnenstrahlen durch die Module relativ steil in den Himmel reflektiert.

Zur Veranschaulichung der Höhenwinkel sind in Abbildung 22 potenziell blendende, bodennahe Reflexionen schematisch dargestellt mit maximalem Höhenwinkel zwischen Unterkante eines Moduls und Oberkante eines Fensters sowie mit minimalem Höhenwinkel von Moduloberkante zur Unterkante eines Fensters.



Abbildung 24: Höhenwinkel der Blickpunkte ergeben sich aus Entfernung und Höhendifferenz von Blendpunkt zu Blickpunkt

Da im vorliegenden Fall sämtliche relevanten Blickpunkte von der PVA aus unter Höhenwinkeln von weniger als 12° gesehen werden, kann der näher zu untersuchende Bereich eingegrenzt werden. Reflexionsfreie Bereiche ergeben sich von 119 bis 239° (Südost bis Südwest) und von Nordwest bis Nordost von 311 bis 46° (Nordwest bis Nordost).

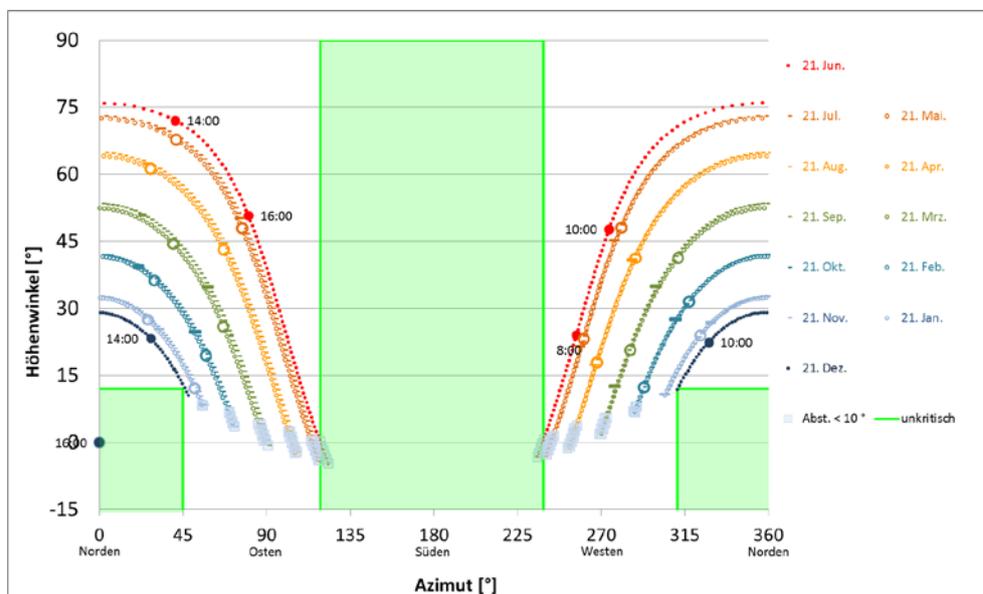


Abbildung 25: Azimutbereiche (grün) in denen keine Reflexionen mit Höhenwinkeln unter 12° auftreten



In der Ebene können so die in Abbildung 25 grün schraffierten Bereiche von vornherein als unkritisch aus den weiteren Betrachtungen ausgeschlossen werden.



Abbildung 26: markierte Bereiche in denen keine bodennahen Reflexionen mit Höhenwinkeln unter 12° auftreten

5.3 Reflexionen zu Wohnhäusern

Aufgrund der reflexionsfreien Bereiche ergibt sich, dass nicht jedes Bebauungsobjekt mit allen Feldern der geplanten PV-Anlage berechnet werden muss. Es wurden nur die Wohnhäuser untersucht an denen eine potenzielle Blendefahr auftreten kann.

Dabei werden im Sinne einer worst-case-Betrachtung bei ähnlicher Fenstergröße jeweils für die obersten und der PVA am nächsten gelegenen Fenster Berechnungen durchgeführt, da tiefer oder entfernt gelegene Fenster bei gleicher Größe weniger von Reflexionen betroffen werden.

Die in 4.1 beschriebenen leichten West-Ost Steigungen oder das West-Ost Gefälle im Süden der geplanten Solaranlage wurde im Folgenden bei den Berechnungen und Reflexionsdiagrammen nicht dargestellt, da der Einfluss vernachlässigbar ist bzw. teilweise eine mögliche Blendefahr vermindert.

5.3.1 Wohnhaus 2

Für die Fenster im Obergeschoss des Wohnhauses ergibt sich das Reflexionsdiagramm in Abbildung 25. Der relevante Ausschnitt ist in Abbildung 26 vergrößert dargestellt.

Es zeigt sich, dass von Anfang April bis Ende August morgens bei Sonnenaufgang Reflexionen auf das Dachfenster fallen können, die jedoch an vielen Tagen nicht als Immissionen gewertet werden,



weil der Abstandswinkel zwischen Reflexionsstrahl und dem Sonnenstrahl unter 10° liegt. Nur an einige Tage um den 21. Juni können Reflexionen auf das OG-Fenster fallen, die als Immissionen gewertet werden. Ihre tägliche Dauer beträgt maximal etwa 1 Minute. Um die kumulierte Jahresdauer zu errechnen, wurde ein minutengenaues Blendkalender erstellt, siehe Abbildung 29. Er liefert die Jahressumme von 0,2 Stunden.

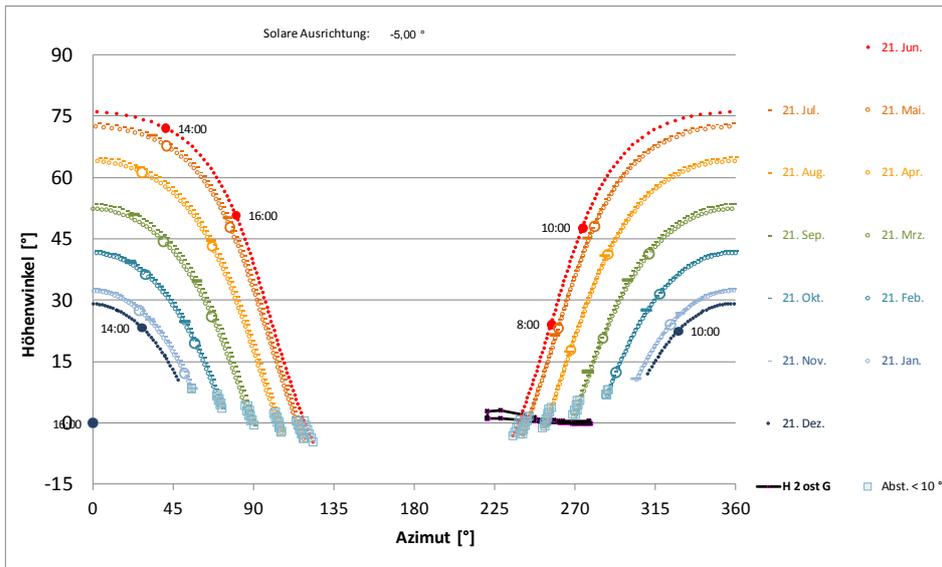


Abbildung 27: Reflexionsdiagramm für das Dachfenster Wohngebäude 2 Ostseite

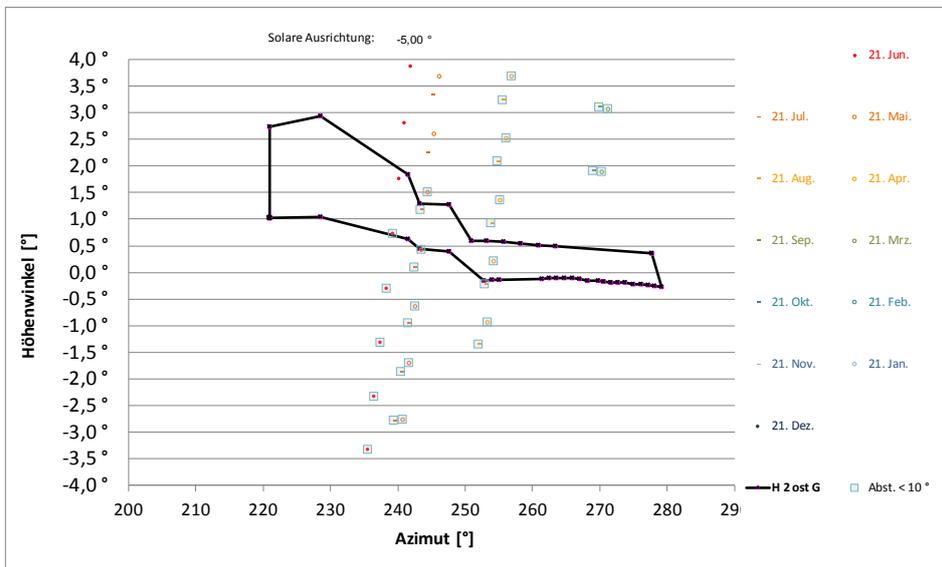


Abbildung 28: Reflexionsdiagramm für das Dachfenster Wohngebäude 2 Ostseite



Auswertung:		Reflexionen der geplanten Anlage auf Haus 2 Ost Giebel																										
0,2 h/a	Berechnung starten	0,5 minütlich												Abst.winkel: 10°														
max: 1 min/d	Vorgaben:	Azimut		220,0°	-	255,0°	Höhenwinkel:							m_{min} =	-0,024	b =	6,052	m_{max} =	-0,077	b =	20,342							
Tagessummen:	Datum	Uhrzeit (MEZ)																										
		4:55	4:55	4:56	4:56	4:57	4:57	4:58	4:58	4:59	4:59	5:00	5:00	5:01	5:01	5:02	5:02	5:03	5:03	5:04	5:04	5:05	5:05	5:06	5:06	5:07	5:07	5:08
0	12. Jun.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,5	13. Jun.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,5	14. Jun.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,5	15. Jun.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	16. Jun.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	17. Jun.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	18. Jun.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,5	19. Jun.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	20. Jun.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	21. Jun.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,5	22. Jun.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	23. Jun.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,5	24. Jun.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	25. Jun.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,5	26. Jun.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,5	27. Jun.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	28. Jun.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,5	29. Jun.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,5	30. Jun.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,5	1. Jul.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,5	2. Jul.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,5	3. Jul.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	4. Jul.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	5. Jul.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	6. Jul.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Abbildung 29: Blendkalender Wohngebäude 2



5.3.2 Wohnhaus 3

Für die obersten Dachfenster ergibt sich das Reflexionsdiagramm in Abbildung 28. Der relevante Ausschnitt ist in Abbildung 29 vergrößert dargestellt. Es zeigt, dass von Anfang April bis Ende August morgens bei Sonnenaufgang Reflexionen auf das Dachfenster fallen können, die jedoch nicht als Immissionen gewertet werden, weil der Abstandswinkel zwischen Reflexionsstrahl und dem Sonnenstrahl unter 10° liegt.

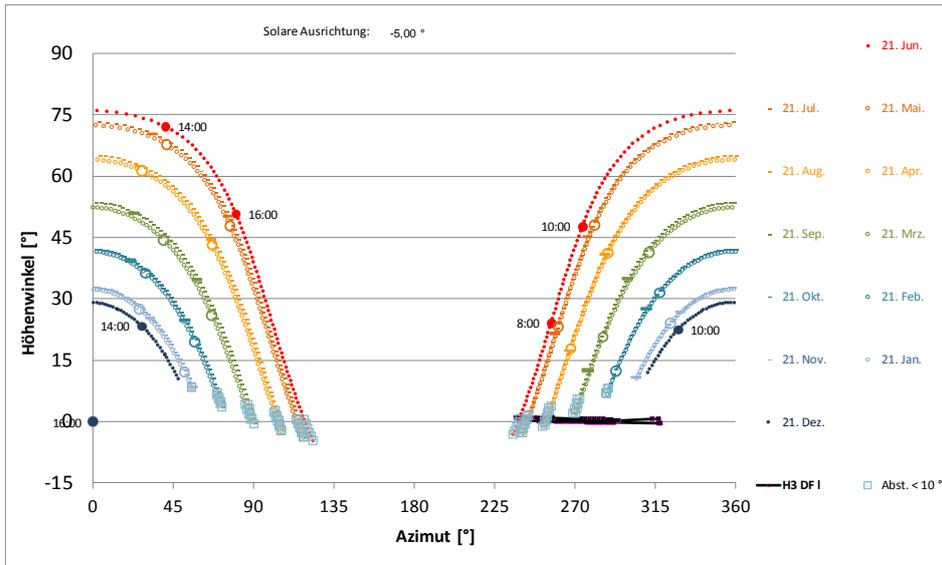


Abbildung 30: Reflexionsdiagramm für das Dachfenster Wohngebäude 3 Ostseite

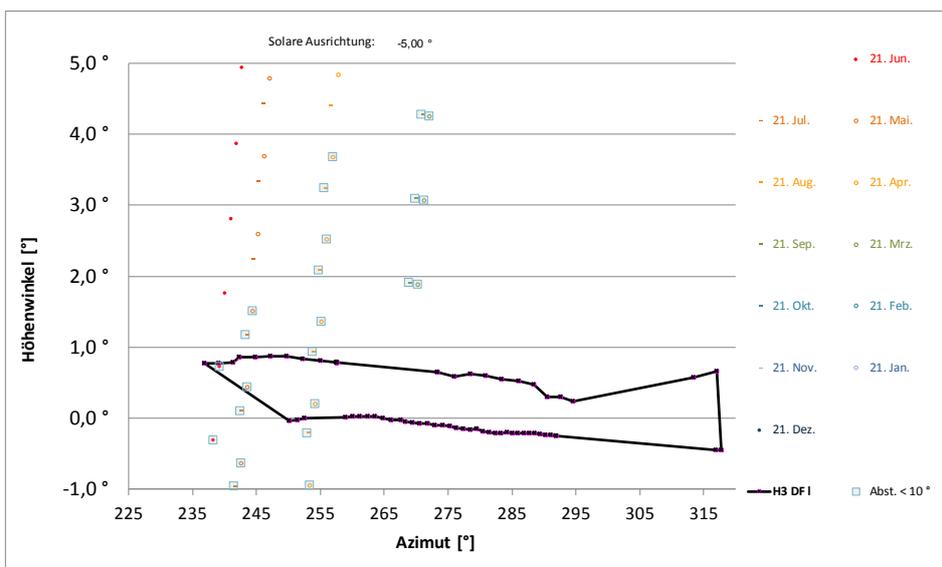


Abbildung 31 Detailausschnitt für das Dachfenster Wohngebäude 3 Ostseite



5.3.3 Wohnhaus 6

Für die Fensterreihe im Erdgeschoss auf der Ostseite des Gebäudes ergibt sich das Reflexionsdiagramm in Abbildung 30. Der relevante Ausschnitt ist in Abbildung 31 vergrößert dargestellt. Es zeigt, dass von Anfang April bis Ende August morgens bei Sonnenaufgang Reflexionen auf das Fenster im Erdgeschoss fallen können, die jedoch nicht als Immissionen gewertet werden, weil der Abstandswinkel zwischen Reflexionsstrahl und dem Sonnenstrahl unter 10° liegt.

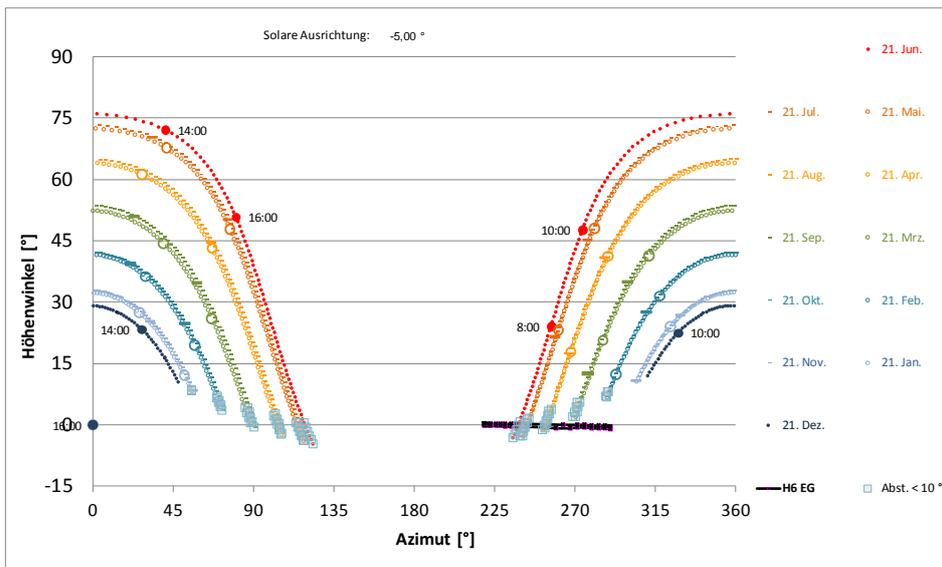


Abbildung 32: Reflexionsdiagramm für das Fenster im Erdgeschoss Wohngebäude 6 Ostseite

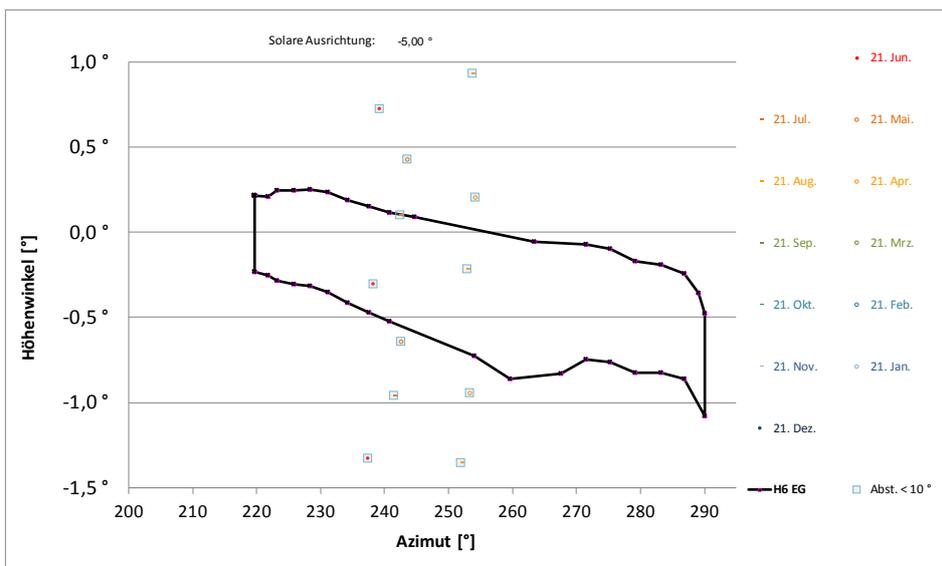


Abbildung 33: Detailausschnitt für das Fenster im Erdgeschoss Wohngebäude 6 Ostseite



5.3.4 Wohnhaus 10

Für das Fenster im Obergeschoss auf der Ostseite ergibt sich das Reflexionsdiagramm in Abbildung 33. Der relevante Ausschnitt ist in Abbildung 34 vergrößert dargestellt.

Es zeigt, dass von Ende April bis Ende August morgens bei Sonnenaufgang Reflexionen auf das Fenster im Obergeschoss fallen können, die jedoch nicht als Immissionen gewertet werden, weil der Abstandswinkel zwischen Reflexionsstrahl und dem Sonnenstrahl unter 10° liegt.

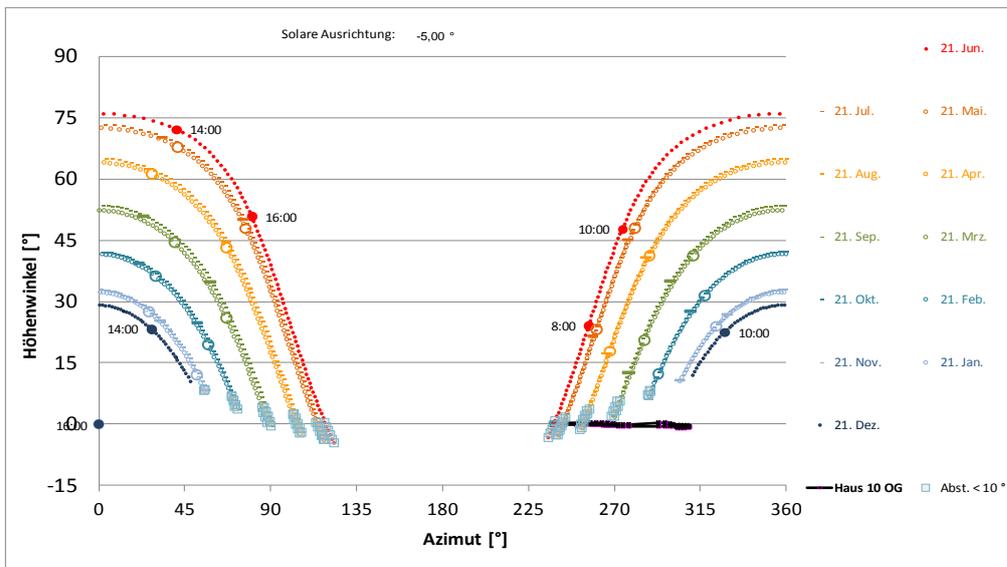


Abbildung 34: Reflexionsdiagramm für das Fenster im Obergeschoss Wohngebäude 6 Ostseite

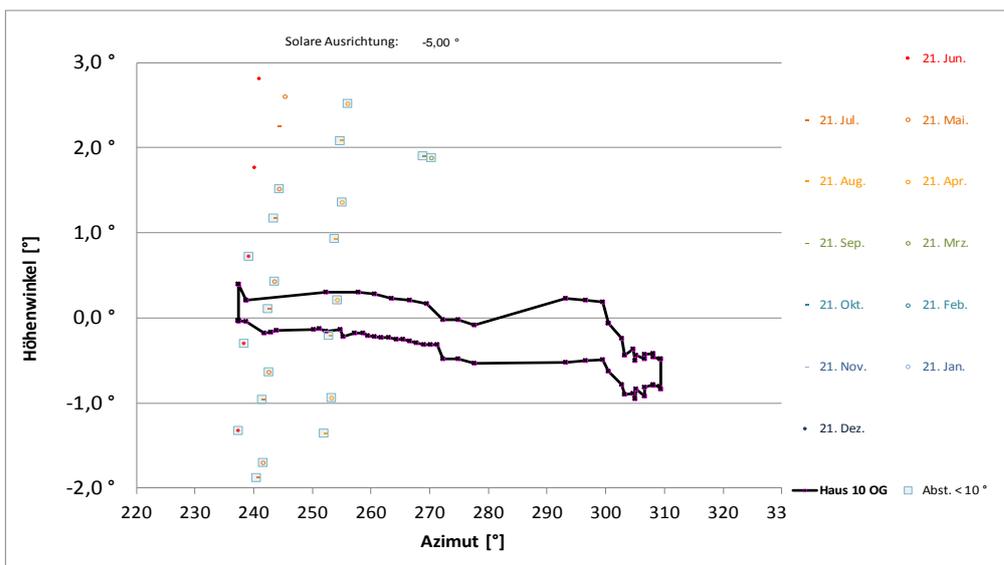


Abbildung 35: Detailausschnitt für das Fenster im Obergeschoss Wohngebäude 10 Ostseite



5.3.5 Wohnhaus 20

Für das Fenster im Dachgeschoss auf der Nordost Seite ergibt sich das Reflexionsdiagramm in Abbildung 33. Der relevante Ausschnitt ist in Abbildung 34 vergrößert dargestellt.

Es zeigt, dass von Mitte April bis Ende August morgens bei Sonnenaufgang Reflexionen auf das Fenster im Dachgeschoss fallen können, die jedoch nicht als Immissionen gewertet werden, weil der Abstandswinkel zwischen Reflexionsstrahl und dem Sonnenstrahl unter 10° liegt.

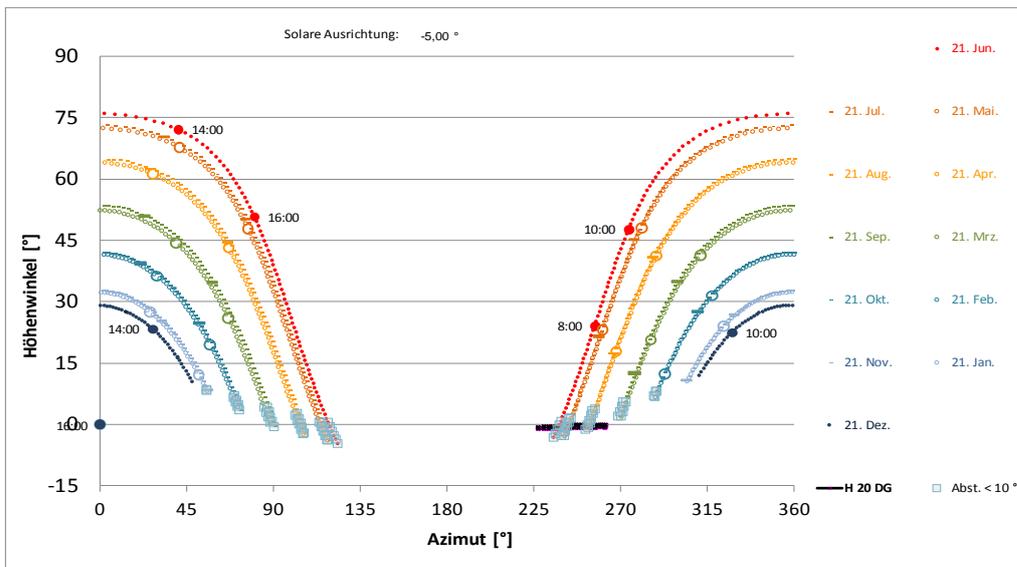


Abbildung 36: Reflexionsdiagramm für das Fenster im Dachgeschoss Wohngebäude 20 Nord-Ost Seite

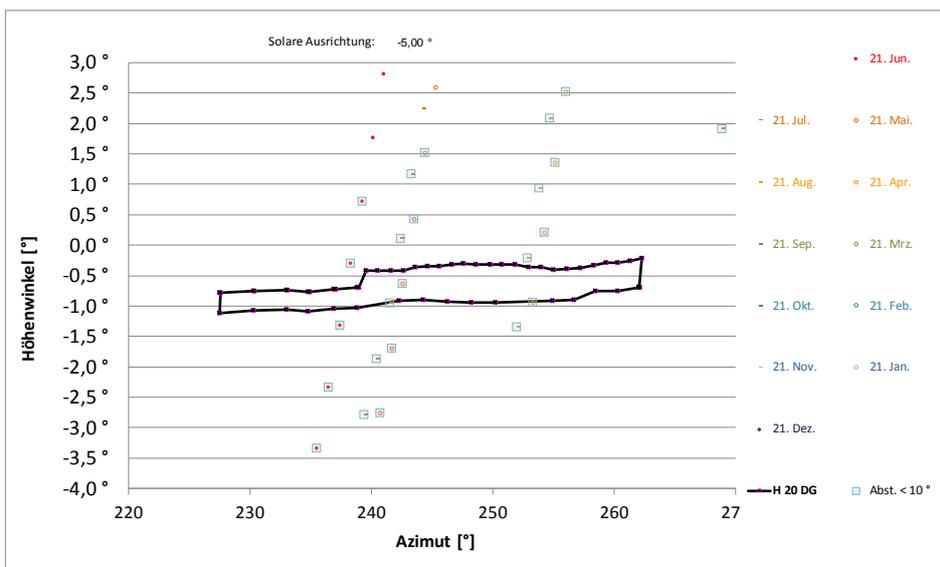


Abbildung 37: Detailausschnitt für das Fenster im Dachgeschoss Wohngebäude 20 Nord-Ost Seite



6 *Bewertung der Ergebnisse*

6.1 *Reflexionseinwirkungen auf die Wohngebäude*

Fast alle auftretenden Reflektionen an den betrachteten Fenstern liegen so früh am Morgen (bei Sonnenaufgang), dass die auftretenden Reflexionsstrahlen in einem Bereich liegen, indem der Abstandswinkel des Reflexionsstrahls zu den Strahlen der Sonne selbst unter 10° liegt.

Nur bei Haus 2 können Reflexionen auf das Fenster im Obergeschoss fallen, die als Immissionen gewertet werden. Ihre tägliche Dauer beträgt maximal etwa 1 Minute, die Jahressumme 0,2 Stunden.

Zusammenfassend wird die Reflexionswirkung der geplanten PV-Anlage Tramm-Göthen auf die Wohnbebauung als unbedenklich bewertet.

Maßnahmen zum Blendschutz sind somit nicht erforderlich.



7 *Verwendete Materialien*

7.1 *Dokumente vom Auftraggeber*

- ▶ Luftbild der Anlagenumgebung
- ▶ CAD Zeichnung mit Belegungsplan, Höhenangaben zu Straßen, Häusern und dem PV-Gelände Göthen_Blendgutachten_AutoCAD_2010.dwg
- ▶ Fotomaterial mit Häuseransichten und Übersichtsplan

7.2 *Literatur*

- ▶ Wittlich, M.: Blendung – Theoretischer Hintergrund, Informationen des Instituts für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA); Sankt Augustin 2010
- ▶ 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
- ▶ Schierz, C.: Über Blendungsbewertung von reflektiertem Sonnenlicht bei Solaranlagen; Tagungsband Licht 20|12, Gemeinschaftstagung 12.-14. September 2012 Deutsche Lichttechnische Gesellschaft e.V., Lichttechnische Gesellschaft Österreichs, Schweizer Licht Gesellschaft und Nederlandsche Stichting voor Verlichtingskunde; Hsg.: Deutsche Lichttechnische Gesellschaft e.V. (LiTG)



8 *Abbildungsverzeichnis*

Abbildung 1: Lageplan Luftbild (Quelle: google earth)	4
Abbildung 2: Die Moduloberfläche beschreibt eine geometrische Ebene, unterhalb derer keine von der Oberfläche her reflektierte Strahlung auftreten kann	9
Abbildung 3: Auswirkung des Einfallswinkels auf den Transmissionsgrad für Modulgläser	10
Abbildung 4: Belegungsplan	11
Abbildung 5: Auszug aus dem Belegungsplan mit der Bauweise und den Anlagenparametern	12
Abbildung 6: Lage der zu untersuchenden Bebauung Objekte 1-10	13
Abbildung 7: Lage der zu untersuchenden Bebauung Objekte 14-20	14
Abbildung 8: Bebauung 1	15
Abbildung 9: Bebauung 2 (Wohnhaus)	15
Abbildung 10: Bebauung 3 (Wohnhaus)	16
Abbildung 11: Bebauung 4, Ansicht Nord-Ost	17
Abbildung 12: Bebauung 5, Ansicht Ost	17
Abbildung 13: Bebauung 6 (Wohnhaus), Ansicht Nord	18
Abbildung 14: Bebauung 6 (Wohnhaus), Teilansicht Ost	18
Abbildung 15: Bebauung 7, 8 und 9 (Wohnhäuser), Ansicht Nord	19
Abbildung 16: Bebauung 10 (Wohnhaus), Ansicht Ost	19
Abbildung 17: Bebauung 11 (Wohnhaus), Ansicht Südost	20
Abbildung 18: Bebauung 12, Ansicht Ost	20
Abbildung 19: Bebauung 13 (Wohnhaus), Ansicht Ost	21
Abbildung 20: Bebauung 14-19, Ansicht Ost	21
Abbildung 21: Bebauung 20 (Wohnhaus), Ansicht Nordost	22
Abbildung 22: Darstellung des Reflexionsstrahls anhand von Azimut und Höhenwinkel wie im Reflexionsdiagramm verwendet und Beschreibung des Abstandswinkels zwischen Blickrichtungen zur Sonne und zum Blendpunkt	24
Abbildung 23: Reflexionsdiagramm aus Sicht eines beliebigen potenziellen Blendpunktes in der Reflexionsebene der geplanten Anlage; waagrecht aufgetragen sind die Azimutwinkel von Norden (0°) über Osten (90°), Süden (180°) nach Westen (270°), senkrecht die Höhenwinkel;	



Reflexionen ohne eigenständiges Blendpotenzial (geringer Abstandswinkel zur Sonne) sind hellblau markiert 25

Abbildung 24: Höhenwinkel der Blickpunkte ergeben sich aus Entfernung und Höhendifferenz von Blendpunkt zu Blickpunkt 26

Abbildung 25: Azimutbereiche (grün) in denen keine Reflexionen mit Höhenwinkeln unter 12° auftreten 26

Abbildung 26: markierte Bereiche in denen keine bodennahen Reflexionen mit Höhenwinkeln unter 12° auftreten 27

Abbildung 27: Reflexionsdiagramm für das Dachfenster Wohngebäude 2 Ostseite 28

Abbildung 28: Reflexionsdiagramm für das Dachfenster Wohngebäude 2 Ostseite 28

Abbildung 29: Blendkalender Wohngebäude 2 29

Abbildung 30: Reflexionsdiagramm für das Dachfenster Wohngebäude 3 Ostseite 30

Abbildung 31: Detailausschnitt für das Dachfenster Wohngebäude 3 Ostseite 30

Abbildung 32: Reflexionsdiagramm für das Fenster im Erdgeschoss Wohngebäude 6 Ostseite 31

Abbildung 33: Detailausschnitt für das Fenster im Erdgeschoss Wohngebäude 6 Ostseite 31

Abbildung 34: Reflexionsdiagramm für das Fenster im Obergeschoss Wohngebäude 6 Ostseite .. 32

Abbildung 35: Detailausschnitt für das Fenster im Obergeschoss Wohngebäude 10 Ostseite 32

Abbildung 36: Reflexionsdiagramm für das Fenster im Dachgeschoss Wohngebäude 20 Nord-Ost Seite 33

Abbildung 37: Detailausschnitt für das Fenster im Dachgeschoss Wohngebäude 20 Nord-Ost Seite 33