

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

## ► **Bebauungsplan „Dröbiger Straße“**

### *Ersteinschätzung der Blendrisiken einer Solaranlage*

**Auftraggeber:**

Stadt Finsterwalde  
Herr Bürgermeister Gampe  
Schloßstraße 7/8  
03238 Finsterwalde

**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: 05.05.2021



Projektnummer: P21123/v.3



## Inhalt

1	Zweck und Gegenstand der Ersteinschätzung.....	4
2	Zusammenfassung der Ergebnisse.....	6
3	Einleitung.....	7
3.1	Gesetzliche Grundlagen.....	7
3.1.1	Nutzung erneuerbarer Energien als ein explizites Ziel von Baurecht und Raumordnung.....	7
3.1.2	Immissionsschutz.....	8
3.2	Blendung.....	9
3.2.1	Blendung im Wohnbereich.....	9
3.2.2	Blendung im Verkehr.....	10
3.3	Entstehung von Reflexionen bei Solaranlagen.....	13
3.4	Verwendete Azimut-Winkelangaben.....	15
4	Situation vor Ort.....	17
4.1	Vorbemerkung zur Ausrichtung.....	17
4.2	Das Sondergebiet Solarenergie.....	17
4.3	Bestands-PV-Anlage.....	17
4.4	Nachbarhäuser an der Schellingstraße.....	18
4.5	Schulstandort Nehesdorf.....	19
4.6	Schellingstraße.....	20
5	Berechnungen.....	21
5.1	Methodik der Berechnung für ebene Oberflächen.....	21
5.1.1	Geometrische Aspekte.....	21
5.1.2	Lichttechnische Aspekte.....	24
5.2	Wohnhäuser der Nachbarschaft.....	24
5.2.1	Nordwestfenster Schellingstraße 7.....	24
5.2.2	Terrasse Schellingstraße 5.....	27
5.3	Eckfenster Obergeschoss Schulneubau.....	29



5.3.1	Betroffenheit durch Bestandsanlage .....	29
5.3.2	Betroffenheit durch neue Anlagen mit Flachkollektoren oder PV-Modulen.....	31
5.4	Schellingstraße.....	33
5.5	Reflexionen von Vakuumröhrenkollektoren .....	33
6	Bewertung der Ergebnisse .....	35
6.1	Schellingstraße 7.....	35
6.2	Schellingstraße 5.....	35
6.3	Eckfenster Obergeschoss Schulneubau .....	36
6.4	Verkehr auf der Schellingstraße .....	36
6.5	Reflexionen von Vakuumröhrenkollektoren .....	36
7	Empfehlungen für den weiteren Planungsprozess .....	38
8	Verwendete Materialien.....	39
8.1	Dokumente vom Auftraggeber.....	39
8.2	Literatur.....	39
9	Abbildungsverzeichnis.....	40
10	Tabellenverzeichnis .....	42



## 1 Zweck und Gegenstand der Ersteinschätzung

Es soll untersucht werden, ob durch die geplanten Photovoltaik- und/oder Solarthermieanlagen im Geltungsbereich der 3. Bebauungsplanänderung „Drößiger Straße“ unter Berücksichtigung der vorhandenen Photovoltaikanlagen im Geltungsbereich der 2. Änderung keine erheblichen Beeinträchtigungen durch Blendwirkung für die Wohnbebauung an der Schellingstraße und am Schulstandort Nehesdorf entstehen. Die Lage des geplanten Sondergebiets Solarenergie, der vorhandenen Photovoltaikanlage (PVA), der Häuser und des Schulstandorts ist in Abbildung 1 zu erkennen.



Abbildung 1: Lage des Sondergebiets Solarenergie (orange), Modulreihen der vorhandenen PVA (grau auf Google Earth Hintergrund) sowie der Häuser an der Schellingstraße und des Schulstandorts Nehesdorf

Anschließend sind Empfehlungen für den weiteren Planungsprozess (z. B. Hinweise auf vertiefende Untersuchungen, ggf. erforderliche Schutzvorkehrungen oder weitergehende Berechnungen für an die schutzwürdige Bebauung heranrückende Solarparks) zu formulieren.

Die Analyse erfolgt auf Basis der von der Stadt Finsterwalde zur Verfügung gestellten Daten, Fotos und Pläne, ergänzt durch Angaben aus Google Earth Pro.





## 2 Zusammenfassung der Ergebnisse

Es wird festgestellt, dass Beeinträchtigungen durch Lichtimmissionen in der Umgebung nicht ausgeschlossen werden können. Es ist sogar sehr wahrscheinlich, dass zumindest die scharfe Biegung der Schellingstraße im Nordwesten vor sichtbeeinträchtigender Blendung geschützt werden muss.

So erscheint es sinnvoll, einen Teil der vorgesehen Blühwiesen zumindest offen zu halten für die Anpflanzung von Buschwerk. Das gilt für die Flurstücke 242 – 244, 426 im südlichen Drittel und Flurstück 415.

Für künftige konkrete Belegungsplanungen wird die Erstellung eines Blendgutachtens empfohlen.



## 3 Einleitung

Eine Veröffentlichung des Berichtes unabhängig vom B-Plan als Ganzes oder in Teilen ist nur in Absprache mit der Solarpraxis Engineering GmbH zulässig.

### 3.1 Gesetzliche Grundlagen

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

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

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

Nach den dramatischen Ereignissen in Japan im März 2011 und dem von weiten Teilen der Bevölkerung mitgetragenen Entschluss der Regierung, aus der nuklearen Stromerzeugung baldmöglichst auszusteigen und umgehend die Weichen für eine nachhaltigere Energie- und damit auch Stromversorgung zu stellen, basierend auf unbefristet verfügbaren erneuerbaren Energiequellen, wurde das Gesetz zur Stärkung der klimagerechten Entwicklung in den Städten und Gemeinden (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,
- ▶ 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,

---

<sup>1</sup> Baugesetzbuch



- ▶ in §35 Abs. 1 als Nr. 8 eine Privilegierung von gebäudeintegrierten Solaranlagen im Außenbereich aufgenommen.

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

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

### 3.1.2 Immissionsschutz

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

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

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

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

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.

---

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





## 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 ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ) und stellt ein fotometrisches Maß für die von Menschen empfundene Helligkeit dar. Zu große Leuchtdichteunterschiede oder ungünstige Leuchtdichteverteilungen im Gesichtsfeld können zu einem unangenehmen Gefühl (psychologische Blendung) oder einer tatsächlich messbaren Herabsetzung der Sehleistung (physiologische Blendung) führen. Ab einer Leuchtdichte von  $10^4$  bis  $1,6 \cdot 10^6 \text{ cd}/\text{m}^2$  wird die Adaptationsfähigkeit des menschlichen Auges überschritten. Dieser Zustand wird als Absolutblendung bezeichnet.<sup>3</sup> Normalerweise treten Abwehrreaktionen wie Blinzeln und Blickabwendung auf, ohne die eine thermische Schädigung der Netzhaut eintreten kann.

Abbildung 2 zeigt zwei Beispiele für Blendsituationen. Auf der Sichtachse zur Blendquelle werden Gegenstände unerkennbar.<sup>4</sup>

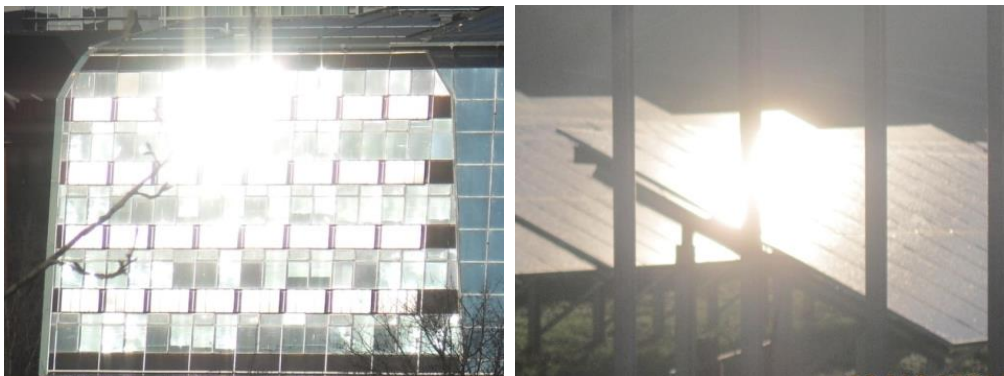


Abbildung 2: Gegenstände auf der Sichtachse zur Blendquelle sind nicht mehr wahrnehmbar

### 3.2.1 Blendung im Wohnbereich

Das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU) hat bereits vor über 10 Jahren damit begonnen, in Ermangelung von zeitlichen Grenzwerten für Sonnenlichtreflexionen von Photovoltaikanlagen, Grenzwerte aus einem anderen Regelungsbereich, der sogenannten Schattenwurf-Richtlinie für Windenergieanlagen (WEA), zu übernehmen und die Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) empfahl seit 2012<sup>5</sup> bundesweit, diese zeitlichen Grenzwerte als ersten Anhaltspunkt für die Zumutbarkeit im Wohn- und Arbeitsbereich zu nutzen. Danach liegt ein Hinweis auf Unzumutbarkeit vor, wenn ein Wohn- oder Arbeitsbereich länger als 30 Minuten am Tag oder

---

<sup>3</sup> Wittlich 2010

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

<sup>5</sup> LAI 2012



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. In Brandenburg wurde diese LAI-Lichtrichtlinie als Lichtleitlinie des Ministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz übernommen. Aufgrund der realen Größe der Sonnenscheibe mit einem Durchmesser von 0,56° können real auftretende Reflexionen etwas länger andauern, als die schematische Berechnung ergibt.

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

### 3.2.2 Blendung im Verkehr

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

Für die physiologische Blendung bewegter Beobachter, die in der Regel nicht direkt in die Blendquelle hineinsehen, spielt deren Leuchtdichte nur im Zusammenhang mit ihrer Größe im Blickfeld eine Rolle. Wesentlich ist die Beleuchtungsstärke (Einheit: lx), die im Auge durch Brechung und Streuung an den Augenmedien eine Schleierleuchtdichte hervorruft und dadurch die Kontrasterkennung vermindert. Entscheidend für die Gefährdungsbeurteilung ist letztlich die Beleuchtungsstärke am Auge von Verkehrsteilnehmern, die sich aus dem Produkt von Leuchtdichte und Blendquellengröße im Blickfeld und dem Winkel zwischen Blickrichtung und Blendquelle ergibt, in Relation zur Beleuchtungsstärke am Auge durch direktes, gestreutes und diffus von der Umgebung reflektiertes Sonnenlicht. Darüber hinaus ist die jeweils mögliche Einwirkzeit zu berücksichtigen.

Für die Bewertung der möglichen Blendung durch Reflexionen auf Verkehrsteilnehmer sind demgemäß das Blickfeld und die räumliche Lage der Blendquelle darin wesentlich. Beim Menschen unterscheidet man folgende Arten von Blickfeldern:

- ▶ das **monokulare Blickfeld**, das sich aus der Exkursionsfähigkeit (maximale Beweglichkeit) des jeweils rechten und linken Auges ergibt
- ▶ das **binokulare Blickfeld**, der Bereich, in dem beide Augen gemeinsam mit maximaler Sehschärfe (foveolar) fixieren können
- ▶ das **Fusionsblickfeld**, in dem binokulares Einfachsehen möglich ist

---

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



- ▶ das **Umblickfeld**, das die Summe der Wahrnehmungen ergibt, die bei unveränderter Standposition mit allen Blickbewegungen und maximalen Kopf- und Körperdrehungen erzielt werden können
- ▶ das **Gebrauchsblickfeld** als Bereich innerhalb des binokularen Blickfeldes, innerhalb dessen Objekte ohne zusätzliche, unterstützende Kopfbewegungen fixiert werden können; in der Literatur wird dieser Bereich mit  $+25^{\circ}/-40^{\circ}$  vertikal und  $30^{\circ}$  Rechts- und Linksblick definiert.

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

Das maximale Gebrauchsblickfeld (im Allgemeinen hier einfach als „Blickfeld“ benannt) und das eingeschränkte für Sehaufgaben („zentrales Blickfeld“) werden in Tabelle 1 und in Abbildung 3 einander betragsmäßig und grafisch gegenübergestellt.

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

Gebrauchsblickfeld	Benennung im Text	horizontal	vertikal
für Sehaufgaben	zentrales Blickfeld	$\pm 9^{\circ} - \pm 10^{\circ}$	$+25^{\circ}, -35^{\circ}$
maximal	Blickfeld	$\pm 30^{\circ}$	$+30^{\circ}, -45^{\circ}$

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

<sup>8</sup> Kaufmann 1986

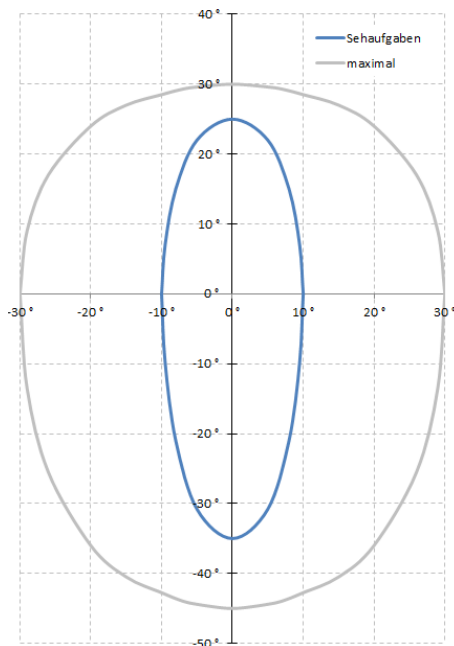


Abbildung 3: Blickfelder von Tabelle 1; der Achsenschnittpunkt 0°/0° stellt dabei einen Punkt auf der Blickachse dar, auf den die Augen fokussieren, und nicht notwendigerweise einen Punkt auf dem Horizont

Für die Beurteilung des Bereichs, in dem auftretende Reflexion als Blendung empfunden wird, wird typischerweise das maximale Gebrauchsblickfeld mit je 30° rechts und links der Blickrichtung als Blickfeld herangezogen. Diese Eingrenzung basiert auf umfangreichen Untersuchungen zu nächtlicher Blendung. Nächtliches, sog. skotopisches Sehen oder Stäbchensehen wird ermöglicht durch die große Lichtempfindlichkeit der Fotorezeptoren im Auge, die als Stäbchen bezeichnet werden. Sie sind ausschließlich außerhalb der Foveola (oder Sehgrube) angeordnet, die im zentralen Bereich der Netzhaut rundum die Sehachse liegt. Die beim photopischen Sehen (Tages- oder Zapfensehen) aktivierten farbmpfindlichen Zapfen haben ihre größte Dichte in der Foveola. Ihre hohe Dichte ermöglicht auch die höchste Sehschärfe nahe der Sehachse bei ausreichender Helligkeit. Zu Blendung unter Tageslichtbedingungen gibt es so gut wie keine Untersuchungen. Die Unterschiedlichkeit der Sehvorgänge, eigene Beobachtungen, Informationen von Betroffenen und Diskussionen mit anderen Sachverständigen in diesem Bereich legen es nahe, unter Tageslichtbedingungen nicht den gesamten Bereich des maximalen Blickfeldes gleich stark zu bewerten.

Bei der Gefährdungsbeurteilung bzgl. Blendung von Fahrzeugführern bei Tageslicht wird deshalb der Bereich im zentralen Blickfeld von  $\pm 5^\circ$  neben der Blickachse als höchst kritisch und derjenige von  $\pm 10^\circ$  als kritisch angesehen (zentrales Blickfeld). Wahrnehmbare Reflexionen außerhalb von  $\pm 30^\circ$  werden hier als physiologisch unerheblich bewertet. Zwischen  $\pm 10^\circ$  und  $\pm 30^\circ$  werden abgestufte Anforderungen an das Verhältnis der Beleuchtungsstärken durch Reflexionen und direkt einfallendes Sonnenlicht gestellt, da sich die Schleierleuchtdichte, die im Auge durch Streuung eindringenden Lichts erzeugt wird und die Sehleistung beeinträchtigen kann, reziprok zum Quadrat des



Abstandswinkels zwischen Strahlungsquelle und Blickrichtung verhält.<sup>9</sup> Bei Einmündungen oder Kreuzungen muss ein größerer Blickbereich frei von Blendrisiken sein.

### 3.3 Entstehung von Reflexionen bei Solaranlagen

Komponenten, an denen ggf. relevante direkte Reflexionen entstehen können, sind in erster Linie die Deckgläser bei PV-Modulen oder Flachkollektoren, bei Vakuumröhrenkollektoren sind es die gläsernen Hüllrohre. Daneben bewirken Reflexionen an inneren Grenzflächen, dass auch Anteile diffuser Reflexion auftreten können. Innere Grenzflächen sind bei PV-Modulen Einbettmaterialien oder Rückseitenfolien sowie die Texturierung der Oberflächen, bei thermischen Kollektoren die Absorber. Diese Reflexionen an inneren Grenzflächen können zu Bündelaufweitung und Versatz der ideal gerichteten Reflexionsstrahlen führen.<sup>10</sup>

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

Deck- und Hüllgläser, die für PV-Module und Kollektoren 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 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.

---

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

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

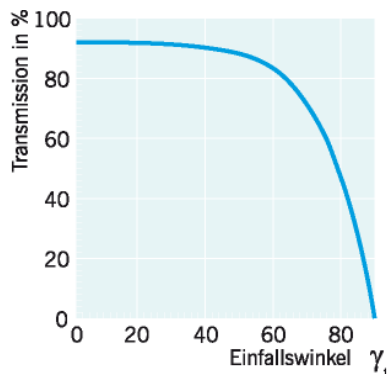


Abbildung 4: Auswirkung des Einfallswinkels auf den Transmissionsgrad für Modulgläser

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

Da die Leuchtdichte der Sonne bei klarer Sicht bereits kurz über dem Horizont  $6 \cdot 10^6$  cd/m<sup>2</sup> beträgt und um die Mittagszeit  $1,5 \cdot 10^9$  cd/m<sup>2</sup> erreicht, muss aber auch bei den niedrigen Reflexionsgraden von PV-Modulen und Flachkollektoren mit dem Eintritt von Absolutblendung ( $>10^4$  cd/m<sup>2</sup>) bei Beobachtern gerechnet werden.

Vakuurröhrenkollektoren stellen hier eine Besonderheit dar, da die reflektierende Ebene nicht der Kollektorebene entspricht. Vielmehr wird das parallel einfallende Sonnenlicht an jeder einzelnen Röhre in viele verschiedene Richtungen reflektiert. Abbildung 5 verdeutlicht das Prinzip anhand von drei ausgewählten parallel einfallenden Sonnenstrahlen. Die jeweilige Reflexionsebene ist eine Tangentialebene, die in der schematischen Darstellung schwarz angedeutet ist. Gestrichelt dargestellt ist deren Ebenennormale, zu der Einfalls- und Ausfallswinkel gleich sind.

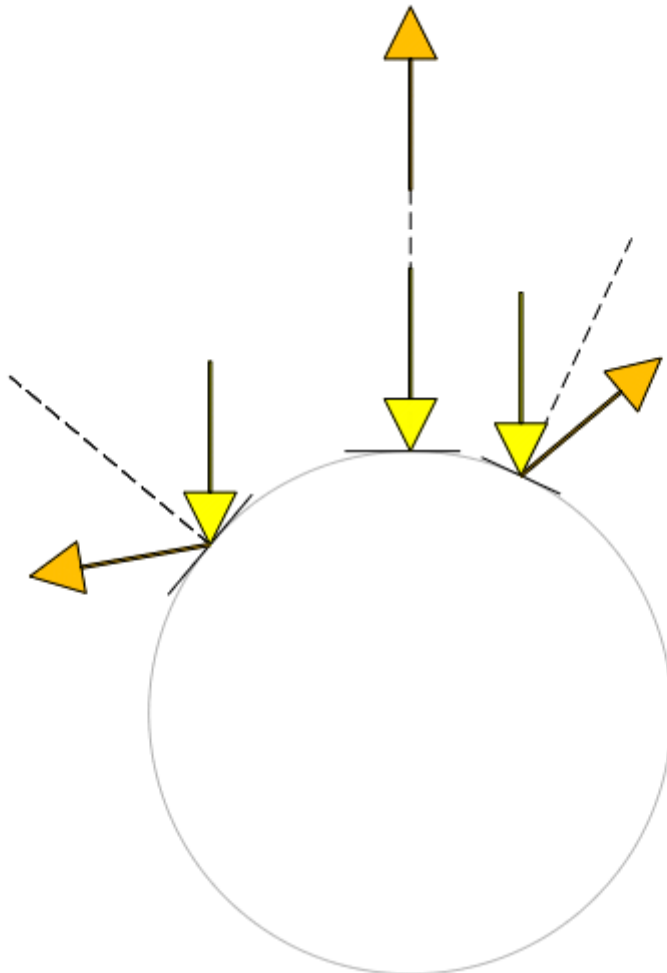


Abbildung 5: Schematische Beschreibung von Reflexionsrichtungen (orange) parallel einfallenden Sonnenlichts (gelb) an einer Vakuumröhre (grau)

### 3.4 *Verwendete Azimut-Winkelangaben*

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

Da die Berechnungsmethode zur Bestimmung der Reflexionen jedoch aus der Geodäsie entnommen worden ist und dort allgemein vom Norden ( $=0^\circ$ ) aus im Uhrzeigersinn gerechnet wird, werden in den Reflexionsdiagrammen und bei der Beschreibung von Blickrichtungen die sich daraus ergebenden Azimutangaben verwendet:

Norden =  $0^\circ$ , Osten =  $90^\circ$ , Süden =  $180^\circ$  und Westen =  $270^\circ$

Zur leichteren Lesbarkeit für Leser, die in der Regel mit der in der Solartechnik üblichen Bezeichnung zu tun haben, wird dagegen die Ausrichtung der Anlagen regelmäßig in der Solardiktion aufgeführt.







## 4 Situation vor Ort

### 4.1 Vorbemerkung zur Ausrichtung

Katasterpläne, die meist zur Planung von Solaranlagen genutzt werden, sind in der Regel an einem Gitternord ausgerichtet, der nur im Bereich des jeweiligen Mittelmeridians mit geografisch Nord, der für Sonnenstands- und Reflexionsberechnungen ausschlaggebend ist, genau übereinstimmt. Nach Abgleich mit Google Earth Pro, das an jedem Ort den geografischen Norden anzeigt, sind die Pläne hier um  $-1^\circ$  gedreht, so dass „südliche Ausrichtung“ im Folgenden in Wahrheit eine Ausrichtung von  $-1^\circ$  bedeutet.

### 4.2 Das Sondergebiet Solarenergie

Die Fläche, die als Sondergebiet Solarenergie festgelegt werden soll, ist in Abbildung 1 auf S. 4 orange eingefärbt. Welche Art der Solarenergienutzung erfolgen soll, ob photovoltaisch oder thermisch, soll zunächst offenbleiben. Ebenso bleibt zunächst offen, ob im Falle thermischer Nutzung Flach- oder Vakuumröhrenkollektoren zur Anwendung kommen werden. Von einer Südausrichtung der Module oder Kollektoren kann ausgegangen werden, der Neigungswinkel zur Waagerechten wird im Bereich zwischen  $25^\circ$  und  $50^\circ$  liegen.

### 4.3 Bestands-PV-Anlage

Südlich des Sondergebiets ist bereits eine PV-Anlage errichtet, deren Reflexionen in die Betrachtungen einzubeziehen sind. Gemäß den hierzu vorliegenden Planungsunterlagen (Abbildung 6) beträgt deren Neigung  $25^\circ$ , Unter- und Oberkante der Module haben einen Abstand zum Grund von  $0,75\text{ m}$  bzw.  $3,4\text{ m}$ .

#### Konstruktionsprinzip - Senkrechtschnitt, $25^\circ$ Modulneigung

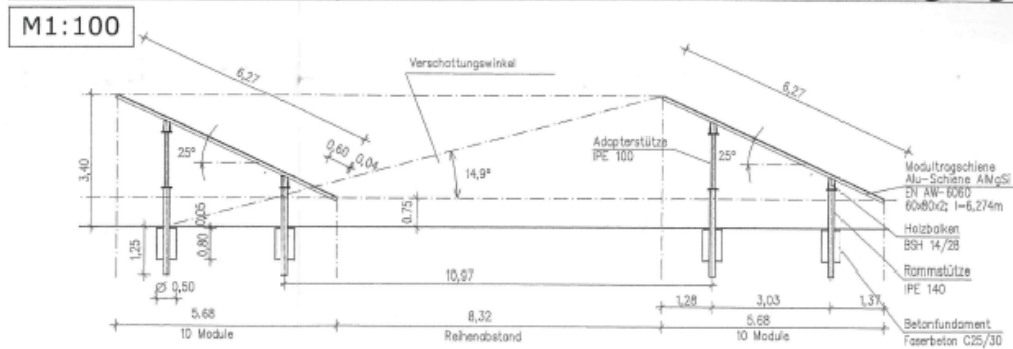


Abbildung 6: Seitlicher Schnitt durch die Modulreihen der Bestandsanlage



#### 4.4 Nachbarhäuser an der Schellingstraße

Das dem Sondergebiet nächstgelegene Wohnhaus ist die Nr. 7. Auf dem Foto in Abbildung 7 ist es das erste Haus auf der rechten Seite. Es hat kein Obergeschoss und nach Nordwesten zum Sondergebiet hin nur ein schmales Fenster, dessen Breite mit 60 cm abgeschätzt wird und dessen Unter- und Oberkante bei 1 m bis 2,2 m über Grund liegen dürften.

Dahinter auf dem Foto sieht man das Haus Nr. 5, das ein Obergeschoss mit einem Fenster in der Giebelfront hat.



Abbildung 7: Blick aus Richtung des Sondergebiets in die Schellingstraße

In Google Earth Pro (Abbildung 8) erkennt man auch noch eine Terrasse, die schon jetzt von Reflexionen der Bestandsanlage betroffen sein kann.

Ihre Fläche wird mit 6,5 m mal 5 m abgeschätzt und ihre Höhenlage wird mit 3 m über Grund angesetzt, da sie vom Obergeschoss aus zugänglich zu sein scheint. Damit stellt sie gegenüber dem Fenster in der Giebelfront den Immissionsort mit der größten potenziellen Betroffenheit dar.



Abbildung 8: Terrasse nach Südwesten am Haus Nr. 5

## 4.5 Schulstandort Nehesdorf

Die Schule mit der Adresse Kantstraße 1 erhält derzeit einen Anbau nach West-Südwesten hin, wie auf dem Foto in Abbildung 9 zu erkennen ist.



Abbildung 9: Blick aus Nordwesten auf Schule und Anbau

Abbildung 10 und Abbildung 11 zeigen Planzeichnungen von der Schule und dem Neubau.

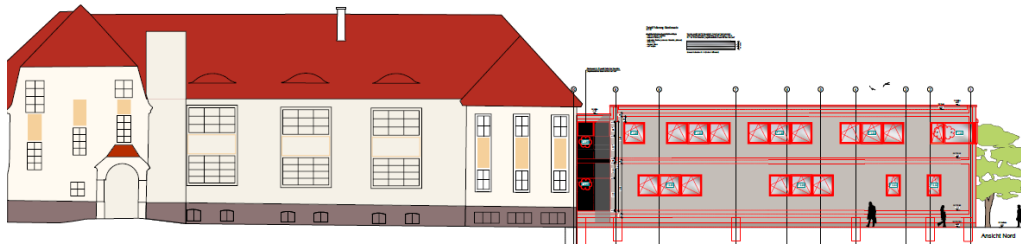


Abbildung 10: Planzeichnung von Schule und Anbau von Norden

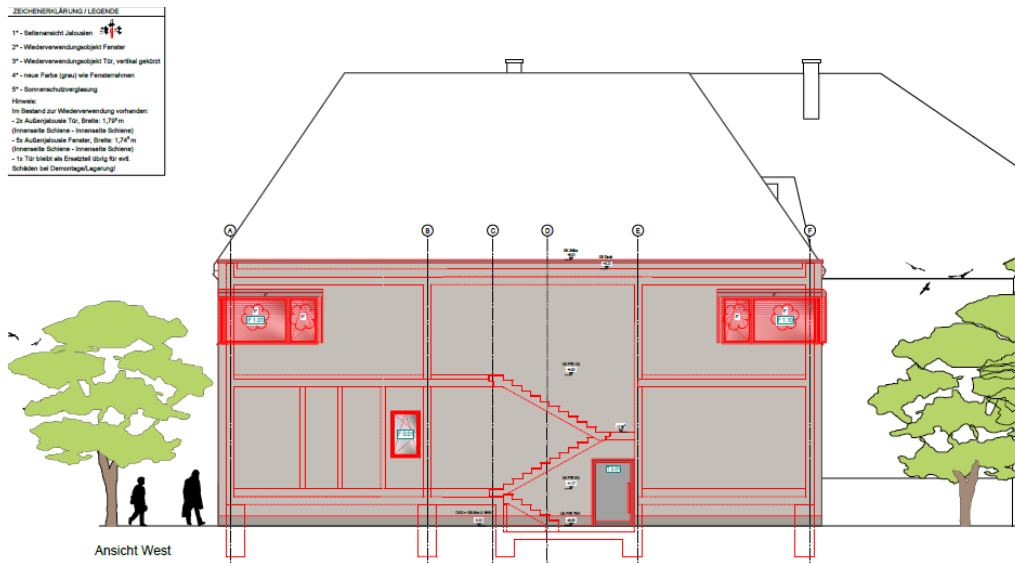


Abbildung 11: Planzeichnung vom Anbau aus Westen

Der Raum im Obergeschoss des Anbaus, der nach Nordwesten gerichtet ist, hat Fenster nach Norden und Westen, so dass wegen seiner Lage und Höhe mit der stärksten Betroffenheit durch Reflexionen zu rechnen ist. Die Höhe von Unter- und Oberkante lassen sich aus den Planzeichnungen genau ermitteln zu 114,26 m ü. NN und 115,92 m ü. NN.

## 4.6 Schellingstraße

Die Schellingstraße führt gradlinig von Südost nach Nordwest mit einer Azimutrichtung von 303,65° genau auf das Sondergebiet zu. Sofern mit Reflexionen in der Gegenrichtung zu rechnen ist, also mit Azimutrichtungen um 123,65°, sollten Verkehrsteilnehmer vor einer Blendung genau auf ihrer Blickachse geschützt werden. An der scharfen Biegung neben der Schule muss jederzeit ein Rundumblick gewährleistet sein, da hier häufig mit Kindern auf der Straße gerechnet werden muss.



## 5 Berechnungen

### 5.1 Methodik der Berechnung für ebene Oberflächen

#### 5.1.1 Geometrische Aspekte

Zunächst wird eine Aufstellung mit sämtlichen Sonneneinfallswinkeln im Jahresverlauf am Standort des Sondergebiets (geografische Länge 13,71°, Breite 51,62°) in 6-minütiger Auflösung für 12 Tage im Jahr erstellt (jeweils der 21. jeden Monats)<sup>11</sup> und die sich daraus ergebenden Reflexionsrichtungen werden bestimmt. Jedem Einfallswinkel des Sonnenlichts entspricht nach dem Reflexionsgesetz bei ideal gerichteter Reflexion („Einfallswinkel = Ausfallswinkel“) genau ein Ausfallswinkel reflektierter Strahlung bei gegebener reflektierender Ebene. Die danach physikalisch möglichen Reflexionsrichtungen lassen sich wiederum anschaulich in einem Diagramm darstellen, das über dem Horizont, aus Sicht eines beliebigen Reflexions- oder potenziellen Blendpunktes heraus, alle möglichen Reflexionsrichtungen durch die Koordinaten Azimut- und Höhenwinkel beschreibt (siehe Abbildung 12). Mögliche Abweichungen der realen Reflexionen von den ideal gerichteten (durch Bündelaufweitung oder Versatz) werden im Rahmen der Einzelberechnungen und -bewertungen bei Bedarf durch Sicherheitszuschläge abgeschätzt.

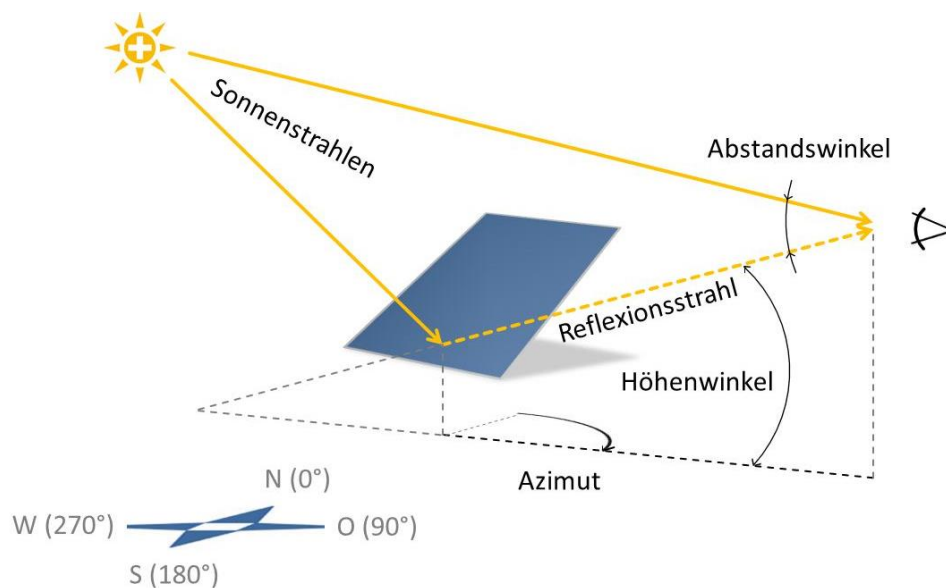


Abbildung 12: Darstellung des Reflexionsstrahls anhand von Azimut und Höhenwinkel wie im Reflexionsdiagramm verwendet und Beschreibung des Abstandswinkels zwischen Blickrichtungen zur Sonne und zum Blendpunkt

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



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

Für einen beliebigen Punkt einer mit  $-1^\circ$  nach Süden ausgerichteten PV- oder Flachkollektoranlage mit  $25^\circ$  Neigung ergibt sich so das in Abbildung 13 dokumentierte Reflexionsdiagramm.

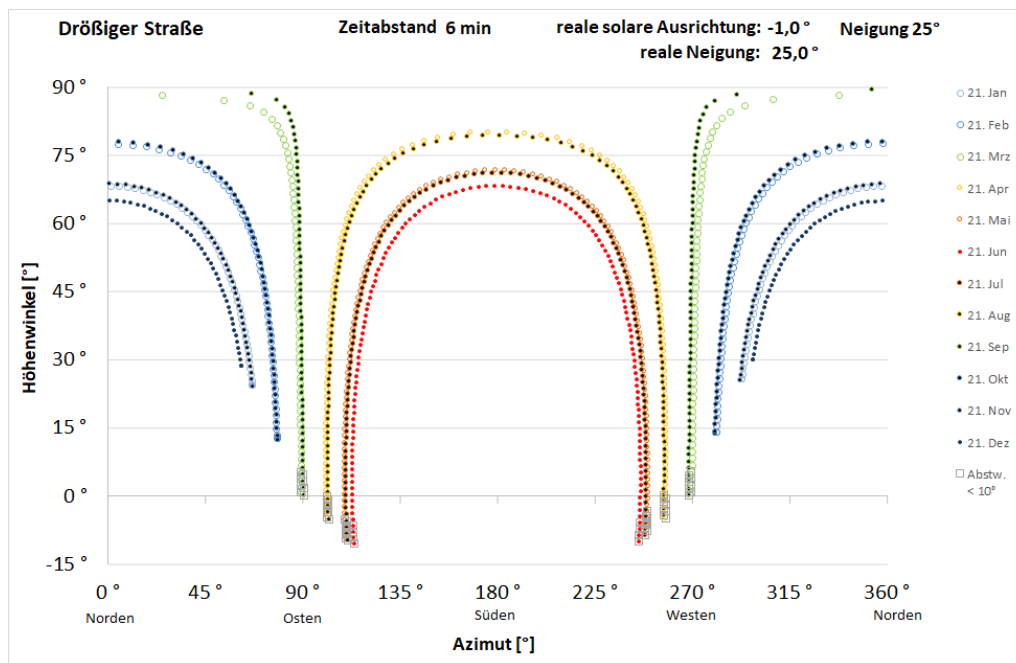


Abbildung 13: Reflexionsdiagramm aus Sicht eines beliebigen potenziellen Blendpunktes der mit  $-1^\circ$  ausgerichteten Module mit einer Modulneigung von  $25^\circ$  am Standort der Anlage; waagrecht aufgetragen sind die Azimutwinkel von Norden ( $0^\circ$ ) über Osten ( $90^\circ$ ), Süden ( $180^\circ$ ) nach Westen ( $270^\circ$ ), senkrecht die Höhenwinkel; Reflexionen aus einem Abstand zur Sonne von unter  $10^\circ$  sind grau umrahmt

Bei einer Neigung von  $50^\circ$  dagegen ergibt sich das Reflexionsdiagramm in Abbildung 14.

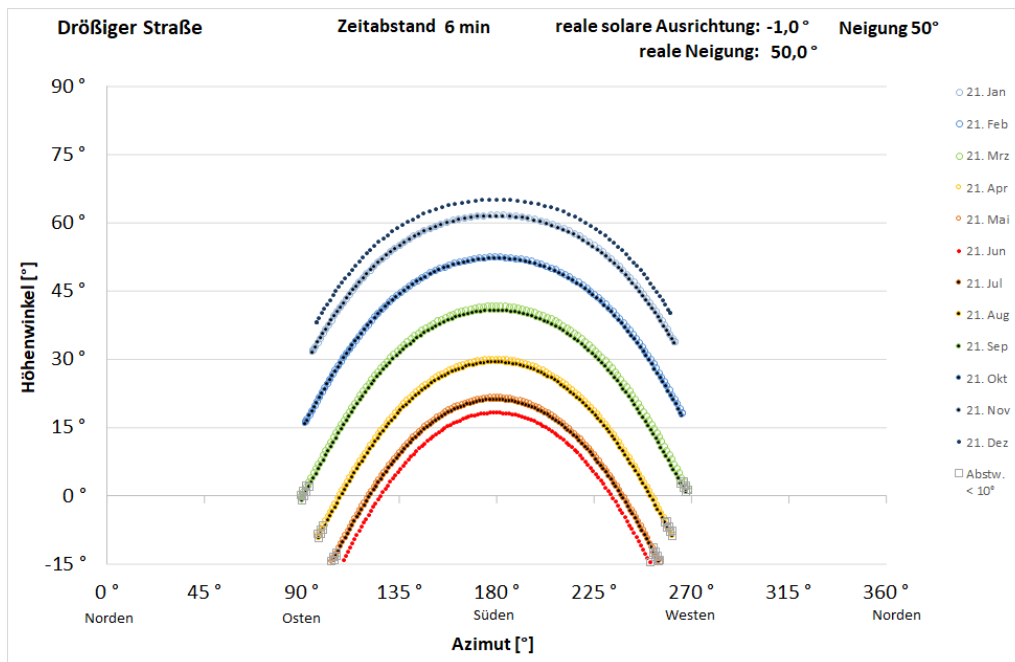


Abbildung 14: Reflexionsdiagramm aus Sicht eines beliebigen potenziellen Blendpunktes der mit  $-1^\circ$  ausgerichteten Module mit einer Modulneigung von  $50^\circ$  am Standort der Anlage; waagrecht aufgetragen sind die Azimutwinkel von Norden ( $0^\circ$ ) über Osten ( $90^\circ$ ), Süden ( $180^\circ$ ) nach Westen ( $270^\circ$ ), senkrecht die Höhenwinkel; Reflexionen aus einem Abstand zur Sonne von unter  $10^\circ$  sind grau umrahmt

Liegt ein Blickpunkt innerhalb des betroffenen Bereichs (d.h. zwischen den 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.

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 unterschiedliche Höhen haben.

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

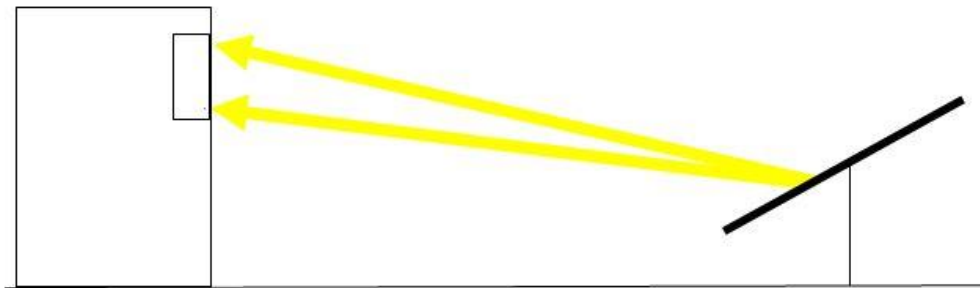


Abbildung 15: Beispiel für Bandbreite möglicher Höhenwinkel

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

### 5.1.2 Lichttechnische Aspekte

Das Verhältnis der Beleuchtungsstärken am menschlichen Auge – einerseits verursacht durch Sonnenlichtreflexionen der zu prüfenden Anlage, andererseits verursacht durch direktes, gestreutes oder diffus reflektiertes Licht – ist wesentlich für die Beurteilung, ob Anlagenreflexionen eine potenzielle Gefährdung darstellen (s. Abschnitt 3.2.2).

Zur Abschätzung der Beleuchtungsstärken ist zunächst der Sonnenhöhenwinkel zu Zeitpunkten möglicher Betroffenheit durch Anlagenreflexionen zu bestimmen, um aus ihm auf diese Parameter schließen zu können. Dazu werden die Berechnungsformeln der DIN 5034 Teil 2 Abschnitt 4.2 für die Bedingungen von klarem Himmel verwendet, um sicherheitshalber den für Blendung ungünstigsten Fall zu betrachten.

## 5.2 Wohnhäuser der Nachbarschaft

### 5.2.1 Nordwestfenster Schellingstraße 7

Werden die Eckpunkte des Fensters ins Reflexionsdiagramm für die Bestandsanlage eingetragen, ergibt sich das Diagramm in Abbildung 16. Darin lässt sich eine Betroffenheit durch Lichtimmissionen im Frühling und Herbst erkennen, deren zeitliche Dauer besser abschätzbar ist in einer Detailvergrößerung des relevanten Ausschnitts, die in Abbildung 17 dargestellt ist. In dieser Vergrößerung ist der Bereich potenzieller Betroffenheit von Reflexionen mit Abstandswinkeln zur Sonne von über  $10^\circ$  blau umgrenzt.

Da der Abstand zwischen zwei Punkten einer Tagesganglinie 6 Minuten repräsentiert, kann die tägliche Dauer maximal 9 Minuten betragen. Die jährliche Gesamtdauer wird für 2 Monate mit durchschnittlich 9 Minuten zu 9 Stunden abgeschätzt.



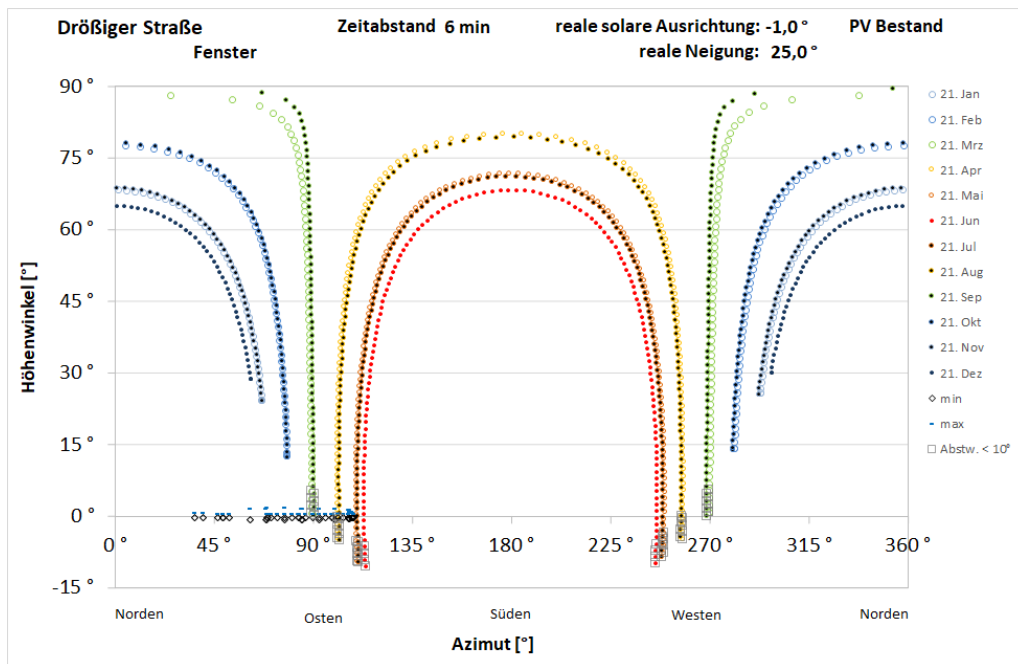


Abbildung 16: Reflexionsdiagramm für die Bestandsanlage und das Fenster Schellingstraße 7

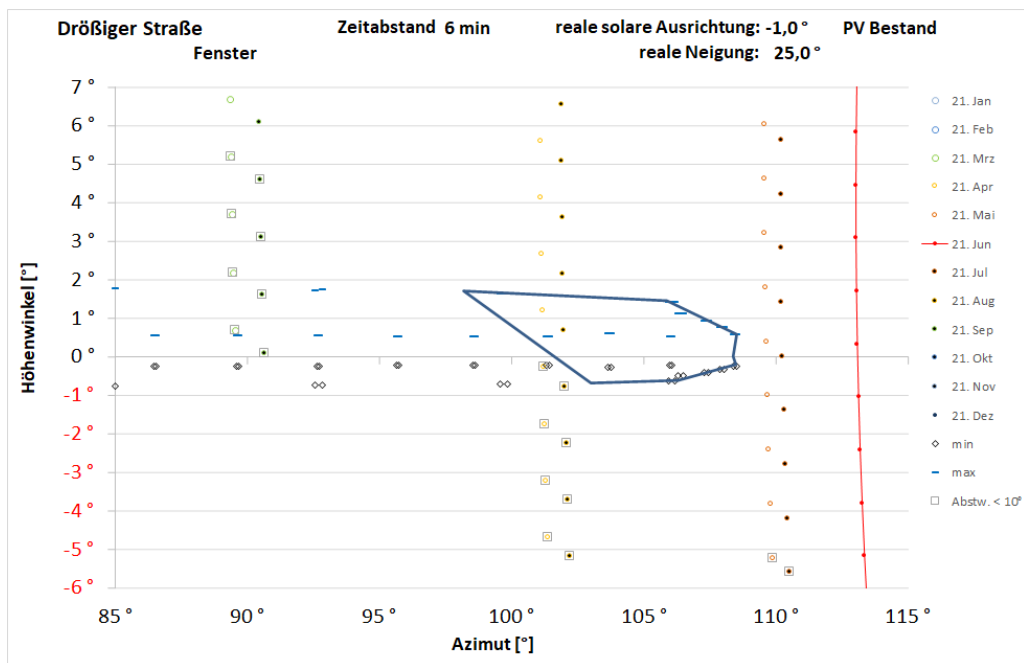


Abbildung 17: Detailvergrößerung von Abbildung 16 mit blauer Eingrenzung potenziell von Lichtimmissionen im Sinne der Lichtleitlinie (Abstand zur Sonne über 10°) betroffener Zeitpunkte



Für die Randpunkte des Sondergebiets Solarenergie und das Fenster ergeben sich je nach Neigungswinkel die Diagramme in Abbildung 18.

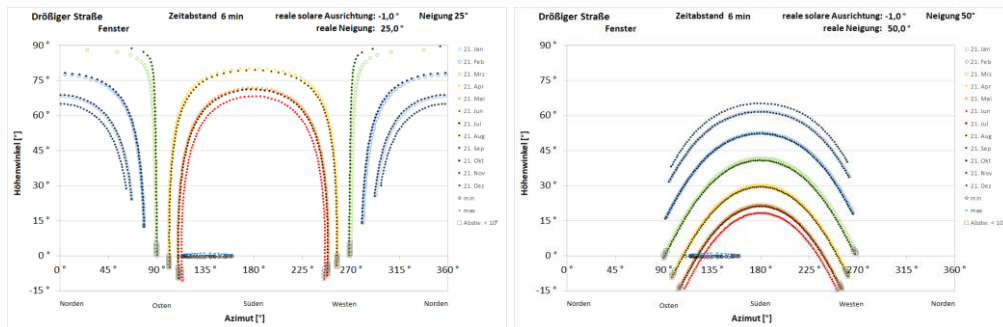


Abbildung 18: Reflexionsdiagramme für das Fenster von Haus Nr. 7 und Randpunkte des Sondergebiets, links für Neigung 25°, rechts für 50°

Sie zeigen, dass schon bei geringerem Neigungswinkel mit einer Betroffenheit durch Lichtimmissionen gerechnet werden muss, die sich mit steileren Neigungswinkeln deutlich vergrößert. Zur Abschätzung der längsten Dauer wird der relevante Ausschnitt des Diagramms für 50° Neigung vergrößert dargestellt in Abbildung 19.

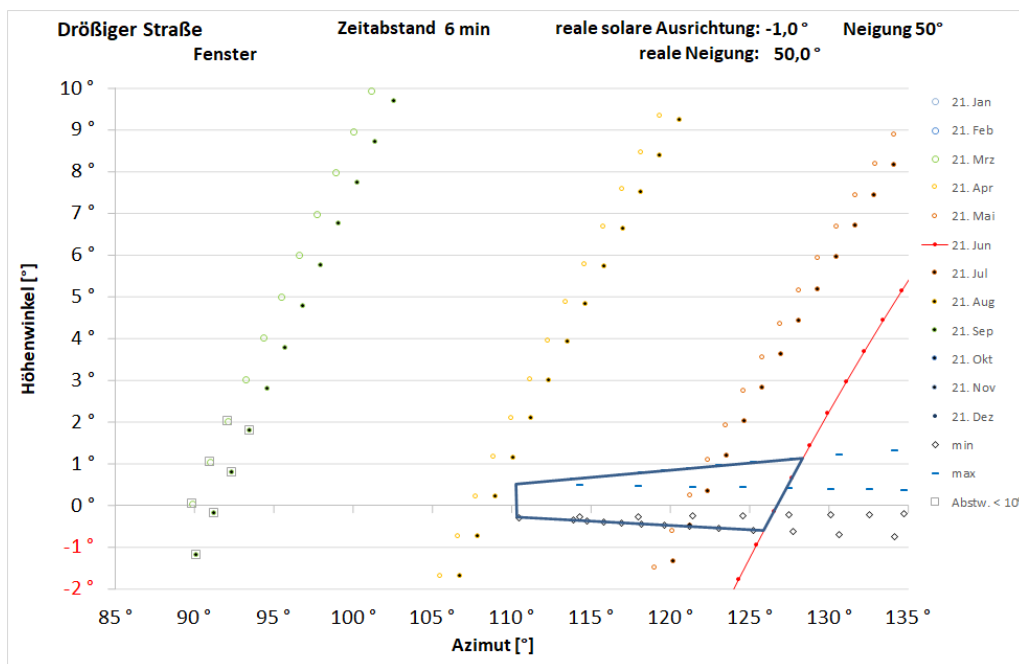


Abbildung 19: Detailvergrößerung des relevanten Ausschnitts des Diagramms für 50° Neigung im Sondergebiet Solarenergie und das Fenster von Haus Nr. 7

Der Beginn möglicher Reflexionen liegt hier Ende April und das Ende der Reflexionen bei Mitte August, die tägliche Dauer beträgt um den 21. Juni 14 Minuten. Wird als durchschnittliche Dauer 10 Minuten angesetzt, ergibt sich eine Jahresdauer von 18,75 Stunden.



### 5.2.2 Terrasse Schellingstraße 5

Werden die Eckpunkte der Terrasse ins Reflexionsdiagramm für die Bestandsanlage eingetragen, ergibt sich das Diagramm in Abbildung 20.

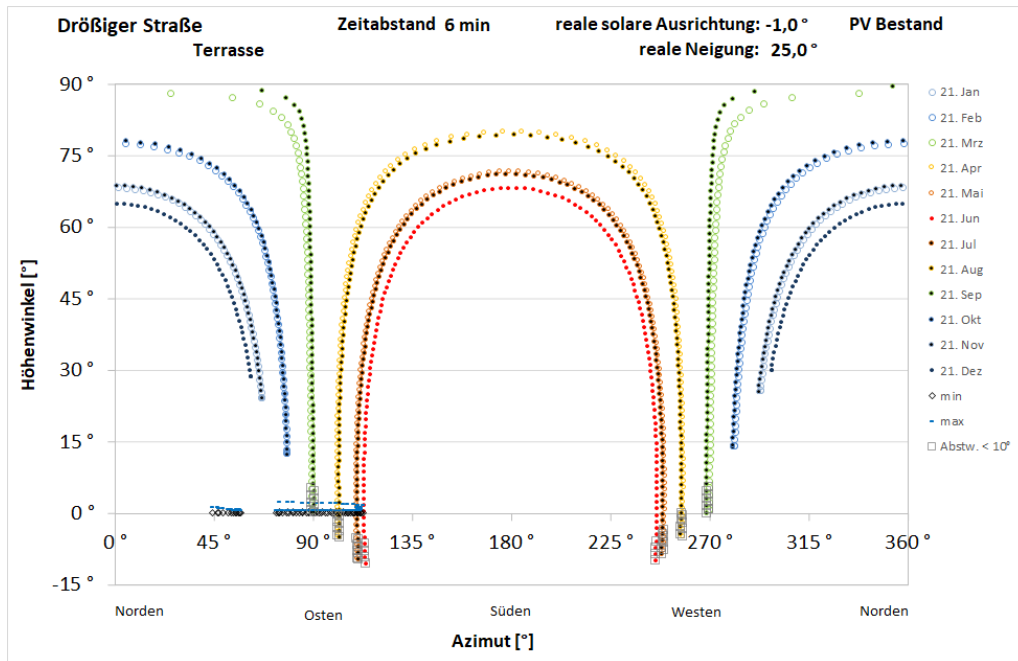


Abbildung 20: Reflexionsdiagramm für die Bestandsanlage und die Terrasse im Obergeschoss Schellingstraße 5

Darin lässt sich eine Betroffenheit durch Lichtimmissionen im Sommer erkennen, deren zeitliche Dauer besser abschätzbar ist in einer Detailvergrößerung des relevanten Ausschnitts, die in Abbildung 21 dargestellt ist. In dieser Vergrößerung ist der Bereich potenzieller Betroffenheit von Reflexionen mit Abstandswinkeln zur Sonne von über  $10^\circ$  blau umgrenzt.

Da der Abstand zwischen zwei Punkten einer Tagesganglinie 6 Minuten repräsentiert, kann die tägliche Dauer maximal 8 Minuten betragen. Die jährliche Gesamtdauer wird für dreieinhalb Monate mit durchschnittlich 8 Minuten zu 14 Stunden abgeschätzt.

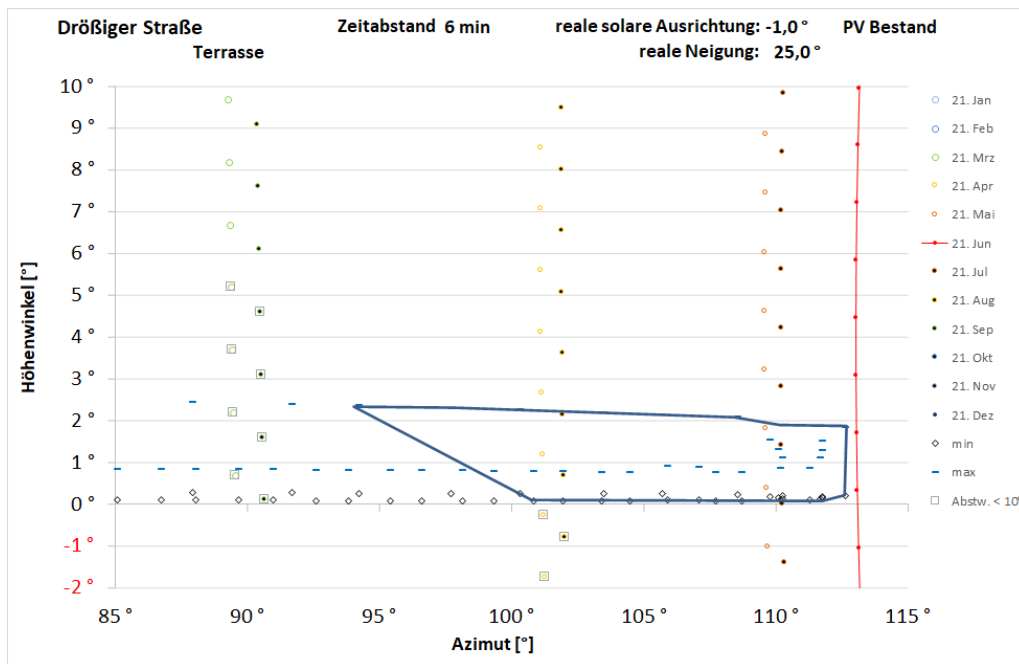


Abbildung 21: Detailvergrößerung von Abbildung 20 mit blauer Eingrenzung potenziell von Lichtimmissionen im Sinne der Lichtleitlinie (Abstand zur Sonne über 10°) betroffener Zeitpunkte

Für die Randpunkte des Sondergebiets Solarenergie und die Terrasse ergeben sich je nach Neigungswinkel die Diagramme in Abbildung 22.

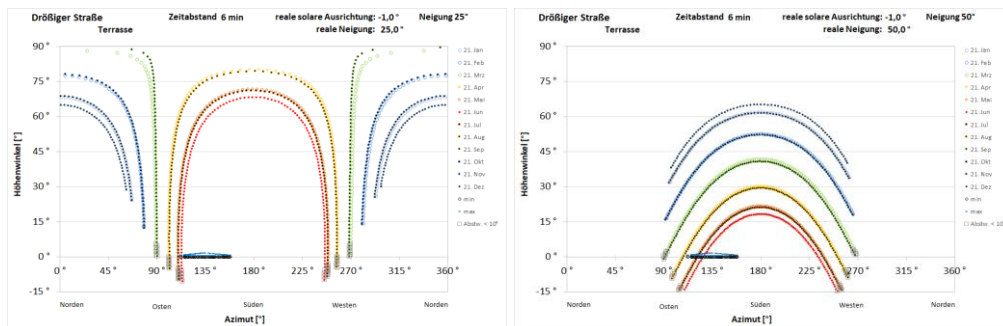


Abbildung 22: Reflexionsdiagramme für die Terrasse und Randpunkte des Sondergebiets, links für Neigung 25°, rechts für 50°

Sie zeigen, dass schon bei geringerem Neigungswinkel mit einer Betroffenheit durch Lichtimmissionen gerechnet werden muss, die sich mit steileren Neigungswinkeln deutlich vergrößert. Zur Abschätzung der längsten Dauer wird der relevante Ausschnitt des Diagramms für 50° Neigung vergrößert in Abbildung 23 dargestellt.

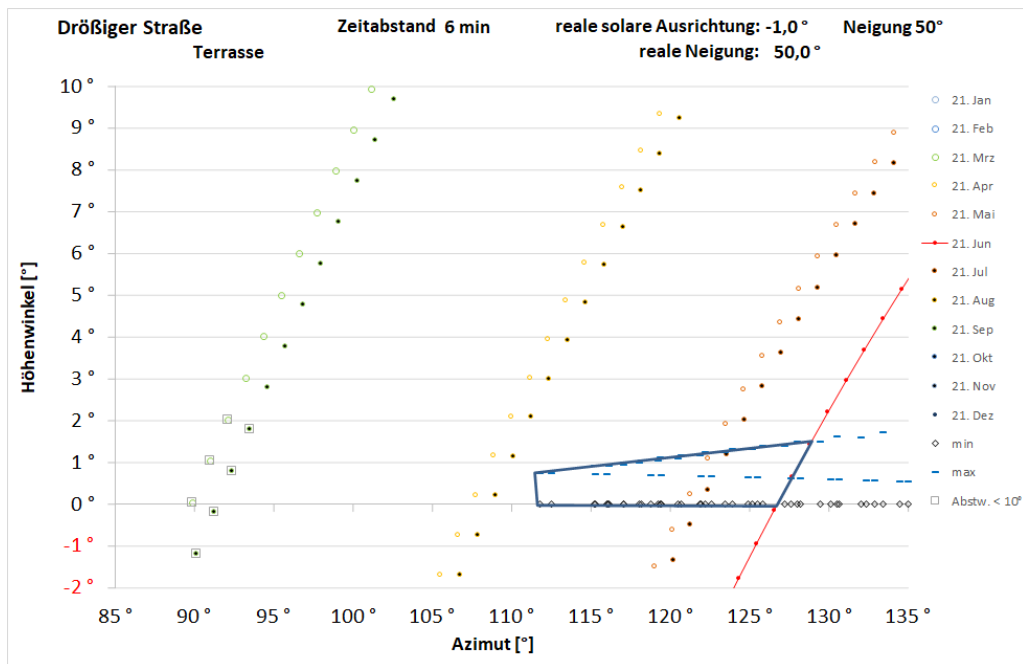


Abbildung 23: Detailvergrößerung des relevanten Ausschnitts des Diagramms für  $50^\circ$  Neigung im Sondergebiet Solarenergie und die Terrasse

Der Beginn möglicher Reflexionen liegt hier Anfang Mai und das Ende bei Mitte August, die tägliche Dauer beträgt um den 21. Juni 12 Minuten. Wird als durchschnittliche Dauer 9 Minuten angesetzt, ergibt sich eine Jahresdauer von 15,75 Stunden.

### 5.3 Eckfenster Obergeschoss Schulneubau

#### 5.3.1 Betroffenheit durch Bestandsanlage

Zunächst wird berechnet, inwieweit Reflexionen der Bestandsanlage das Eckfenster im Obergeschoss des Schulneubaus beeinträchtigen können. Dazu werden Blickverbindungen zwischen Fenstereckpunkten und Eckpunkten der Bestandsanlage im Reflexionsdiagramm in Abbildung 24 mit möglichen Reflexionsrichtungen abgeglichen.

Im Diagramm ist zunächst erkennbar, dass Reflexionen der Bestandsanlage allenfalls gegen Abend um die Tag-Nacht-Gleiche des 21. März und des 21. September das Eckfenster treffen können und dabei hauptsächlich Abstände von weniger als  $10^\circ$  zur Sonne haben, so dass sie nach Lichtleitlinie keine Immissionen darstellen.

Um genauer abzuschätzen, ob und ggf. wie lange Reflexionen mit Abständen zur Sonne von über  $10^\circ$  auftreten, wird der relevante Teil des Diagramms in Abbildung 25 vergrößert dargestellt und die Zeitpunkte von Immissionen werden rot umgrenzt.

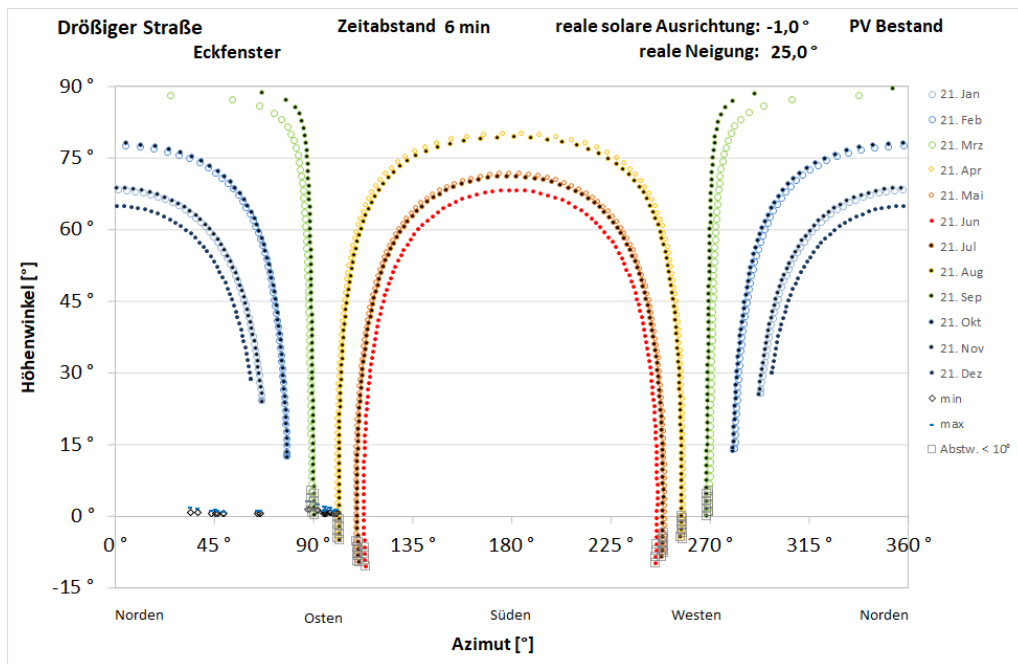


Abbildung 24: Reflexionsdiagramm für die Bestandsanlage und das Eckfenster im Obergeschoss des Schulneubaus

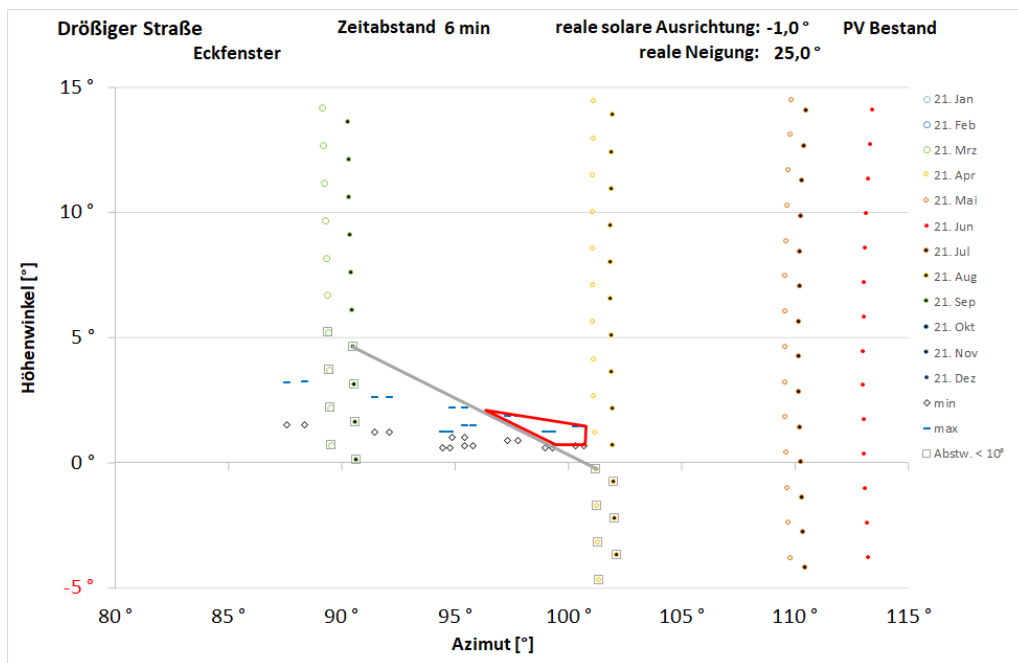


Abbildung 25: Detailvergrößerung von Abbildung 24; grau abgegrenzt sind die nicht als Immissionen zu wertenden Reflexionen mit Abständen zur Sonne unter 10°, rot umgrenzt sind die verbleibenden, als Immissionen zu wertenden Zeitpunkte



Da der Abstand zwischen zwei Punkten einer Tagesganglinie einen Zeitraum von 6 Minuten repräsentiert, kann die maximale tägliche Immissionsdauer hier 5 Minuten betragen. Zur Abschätzung der kumulierten Jahresdauer werden zwei mal 10 Tage (Frühjahr und Herbst) mit je durchschnittlich 3 Minuten angesetzt, was insgesamt 1 Stunde ergibt.

### 5.3.2 Betroffenheit durch neue Anlagen mit Flachkollektoren oder PV-Modulen

In derselben Weise werden Blickverbindungen zwischen dem Obergeschoss-Eckfenster des Neubaus und Umrandungspunkten des Sondergebiets Solarenergie im Reflexionsdiagramm abgeglichen. Für die beiden zu untersuchenden Extremwerte der Neigung ergeben sich die Diagramme in Abbildung 26.

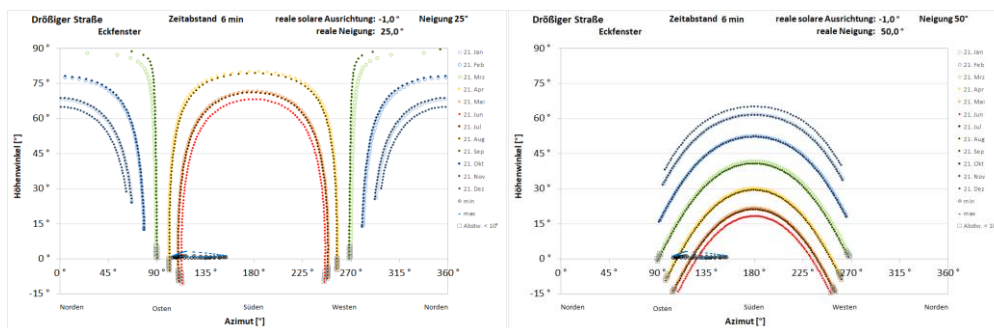


Abbildung 26: Reflexionsdiagramme für OG-Eckfenster Neubau und Randpunkte des Sondergebiets, links für Neigung 25°, rechts für 50°

Schon an dieser Darstellung wird deutlich, dass mit einer Betroffenheit des Fensters durch Lichtimmissionen gerechnet werden muss, die bei steileren Neigungswinkeln stärker ausfällt. Zur genaueren Abschätzung der möglichen täglichen und kumulierten Jahresgesamtdauer werden die relevanten Ausschnitte vergrößert dargestellt und der Bereich möglicher Blickverbindungen wird blau umgrenzt in Abbildung 27 für 25° Neigung und in Abbildung 28 für 50° Neigung. In diesen Diagrammen wird die Tagesganglinie für den 21. Juni zusätzlich durch eine durchgehende Linie gekennzeichnet. Sie grenzt Zeitpunkte möglicher Betroffenheit ab von niemals betroffenen.

Für 25° Neigung lässt sich ein Zeitraum von Anfang Mai bis Mitte August mit einer durchschnittlichen Tagesdauer von 7 Minuten ansetzen, da der Abstand zwischen zwei Punkten einer Tagesganglinie 6 Minuten markiert. Dies ergibt überschlägig eine kumulierte Jahresdauer von 12,3 Stunden.

Für 50° Neigung beginnen mögliche Reflexionen bereits Mitte April und enden erst in den ersten Septembertagen. Als maximale Tagesdauer kann 20 Minuten abgeschätzt werden und als durchschnittliche Tagesdauer über 4,75 Monate hinweg mindestens 15 Minuten, woraus sich eine kumulierte Jahresdauer von über 35 Stunden ergibt.

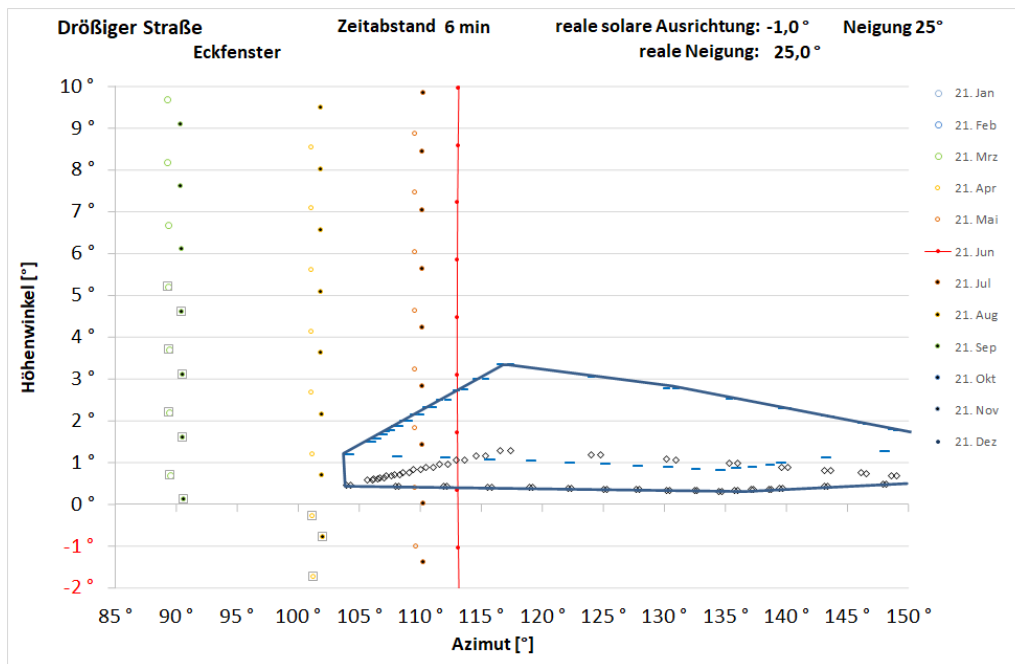


Abbildung 27: Detailvergrößerung des linken Diagramms von Abbildung 26 mit blauer Umgrenzung möglicher Blickverbindungen zwischen Fenster und Sondergebiet

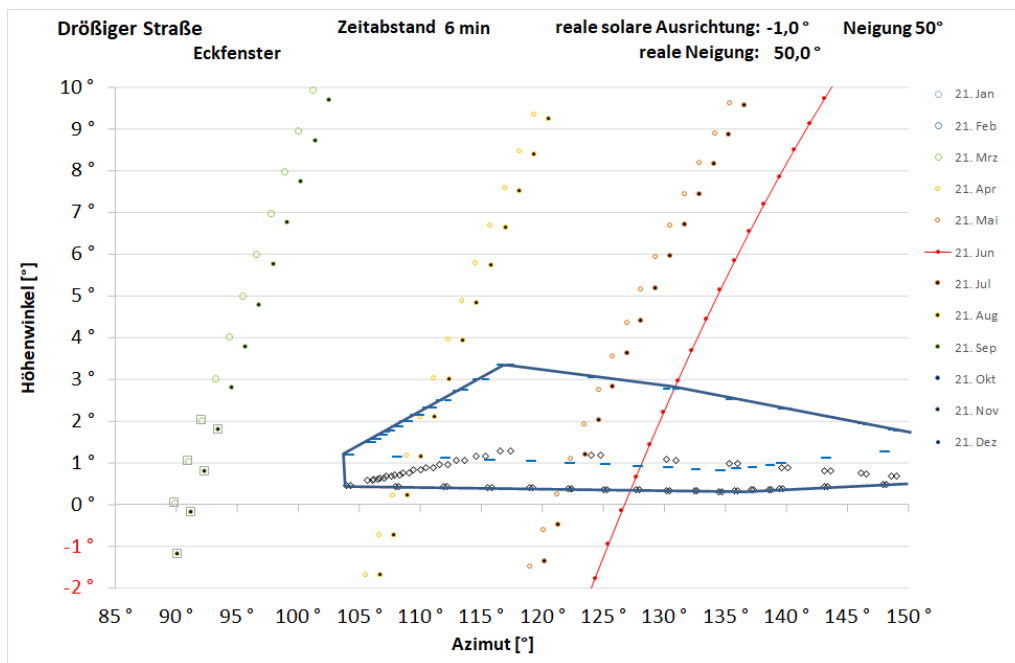


Abbildung 28: Detailvergrößerung des rechten Diagramms von Abbildung 26 mit blauer Umgrenzung möglicher Blickverbindungen zwischen Fenster und Sondergebiet





## 5.4 Schellingstraße

Für die Schellingstraße ergibt sich, dass bodennahe Reflexionen mit Azimutrichtungen um 123° und 124° bei steileren Neigungswinkeln auftreten können, nicht aber bei flacheren.

Für die scharfe Biegung im Nordwesten, gegenüber des Sondergebiets, ergeben sich die Reflexionsdiagramme in Abbildung 29.

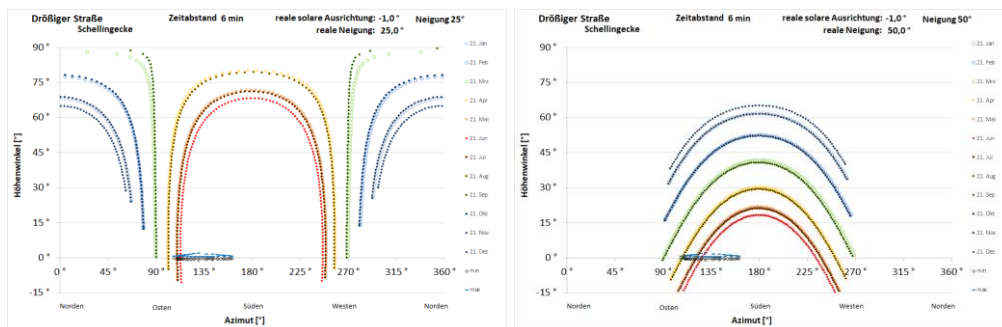


Abbildung 29: Reflexionsdiagramme für nordwestliche scharfe Biegung der Schellingstraße und Randpunkte des Sondergebiets, links für Neigung 25°, rechts für 50°

Sie zeigen, dass diese Ecke im Sommer bei jedem Neigungswinkel betroffen sein kann.

## 5.5 Reflexionen von Vakuumröhrenkollektoren

Wie in Abschnitt 3.3 dargelegt unterscheiden sich Reflexionen an Vakuumröhrenkollektoren wesentlich von denen an Flachkollektoren oder PV-Modulen. Einerseits treten Reflexionen zu einem bestimmten Immissionsort bei sehr viel mehr verschiedenen Sonnenständen auf, da jede einzelne Röhre quasi unendlich viele Tangentialebenen als Reflexionsebenen aufweist. Andererseits reflektiert eine Röhre nur von der Berührungslinie zwischen ihr und der (theoretischen) Tangentialebene. Der auf ein Betrachterauge gerichtete Lichtstrom entspringt damit vielen einzelnen leuchtenden Linien, zwischen denen jeweils ein großer nicht reflektierender Abstand besteht. Dies reduziert die am Auge bewirkte Beleuchtungsstärke deutlich und führt zu schmalen, langgezogenen Reflexionsmustern, wie sie beispielhaft in Abbildung 30 zu sehen sind.



Abbildung 30: Foto von Reflexionen auf einer Vakuumröhrenanlage; Quelle: [https://www.google.com/search?source=univ&tbm=isch&q=Ritter+Solar&client=firefox-b-d&sa=X&ved=2ahUKewiFqo\\_e0orwAhXL2aQKHXgHAIsQ7A16BAgcEFI&biw=1782&bih=888](https://www.google.com/search?source=univ&tbm=isch&q=Ritter+Solar&client=firefox-b-d&sa=X&ved=2ahUKewiFqo_e0orwAhXL2aQKHXgHAIsQ7A16BAgcEFI&biw=1782&bih=888)

Eine Übertragbarkeit der Berechnungsvorschriften und Grenzwerte der Brandenburger Lichtleitlinie ist damit für Vakuumröhrenkollektoren nicht möglich.



## 6 Bewertung der Ergebnisse

### 6.1 Schellingstraße 7

Für das Fenster in der Nordwestwand errechnen sich für die tägliche Betroffenheit durch Lichtimmissionen im Sinne der Brandenburger Lichtrichtlinie maximal 9 Minuten durch die Bestandsanlage und maximal 14 Minuten durch neu zu errichtende Anlagen im Sondergebiet Solarenergie. Selbst wenn diese Maximalzeiten an ein und demselben Tag auftreten würden, wäre der zeitliche Grenzwert von 30 Minuten deutlich unterschritten. Für die Jahresgesamtdauer ergeben sich für die Bestandsanlage 9 Stunden und für neu zu errichtende Anlagen weniger als 19 Stunden. Auch im ungünstigsten Fall wird damit der Grenzwert von 30 Stunden pro Jahr unterschritten.

Die Grenzwerte der Lichtleitlinie sind nur als erster Anhaltspunkt für Unzumutbarkeit zu verwenden, Besonderheiten des Einzelfalles sind gegebenenfalls zu berücksichtigen.

Für das Wohnhaus Schellingstraße 7 sind keine Besonderheiten zu erkennen, die eine von der Lichtleitlinie abweichende Beurteilung erfordern würden.

Eine Beeinträchtigung des Hauses ist damit bei Neigungswinkeln neuer Anlagen zwischen 25° und 50° nicht zu erwarten.

### 6.2 Schellingstraße 5

Für die Terrasse als größtem potenziellen Immissionsort errechnen sich für die tägliche Betroffenheit durch Lichtimmissionen im Sinne der Brandenburger Lichtrichtlinie maximal 8 Minuten durch die Bestandsanlage und maximal 12 Minuten durch neu zu errichtende Anlagen im Sondergebiet Solarenergie. Selbst wenn diese Maximalzeiten an ein und demselben Tag auftreten würden, wäre der zeitliche Grenzwert von 30 Minuten deutlich unterschritten. Für die Jahresgesamtdauer ergeben sich für die Bestandsanlage 14 Stunden und für neu zu errichtende Anlagen weniger als 15,75 Stunden. Auch im ungünstigsten Fall wird damit der Grenzwert von 30 Stunden pro Jahr noch unterschritten.

Die Grenzwerte der Lichtleitlinie sind nur als erster Anhaltspunkt für Unzumutbarkeit zu verwenden, Besonderheiten des Einzelfalles sind gegebenenfalls zu berücksichtigen.

Für die Terrasse am Wohnhaus Schellingstraße 5 sind keine Besonderheiten zu erkennen, die eine von der Lichtleitlinie abweichende Beurteilung erfordern würden.

Eine Beeinträchtigung des Hauses ist damit bei Neigungswinkeln neuer Anlagen zwischen 25° und 50° nicht zu erwarten.



### 6.3 Eckfenster Obergeschoss Schulneubau

Für das potenziell am stärksten betroffene Eckfenster errechnen sich für die tägliche Betroffenheit durch Lichtimmissionen im Sinne der Brandenburger Lichtrichtlinie maximal 5 Minuten durch die Bestandsanlage und maximal 20 Minuten durch neu zu errichtende Anlagen im Sondergebiet Solarenergie. Selbst wenn diese Maximalzeiten an ein und demselben Tag auftreten würden, wäre der zeitliche Grenzwert von 30 Minuten deutlich unterschritten. Für die Jahresgesamtdauer ergeben sich für die Bestandsanlage 1 Stunde und für neu zu errichtende Anlagen bis zu 35 Stunden bei Neigungswinkeln von 50°. Im ungünstigsten Fall wird damit der Grenzwert von 30 Stunden pro Jahr deutlich überschritten.

Die Grenzwerte der Lichtleitlinie sind nur als erster Anhaltspunkt für Unzumutbarkeit zu verwenden, Besonderheiten des Einzelfalles sind gegebenenfalls zu berücksichtigen.

Für Eckfenster sind keine Besonderheiten zu erkennen, die eine von der Lichtleitlinie abweichende Beurteilung erfordern würden.

Eine Beeinträchtigung des Schulneubaus ist damit bei steileren Neigungswinkeln neuer Anlagen zu erwarten.

### 6.4 Verkehr auf der Schellingstraße

Für Fahrzeugführer, die von Südosten gradlinig auf die Anlage zufahren, muss bei steileren Neigungswinkeln mit Reflexionen direkt auf der Blickachse gerechnet werden. Auf einer geraden Straße für mehrere Sekunden eine helle Strahlungsquelle, die Reflexionen darstellen, direkt auf der Blickachse zu haben, schränkt die Sehfähigkeit nicht unerheblich ein. In einem Wohngebiet sollten Fahrzeugführer zwar auch bei unerwarteten Einschränkungen des Sichtfeldes ihre Geschwindigkeit schnell so stark reduzieren können, dass es zu keinen Unfällen kommen kann. Sind aber solche Gegebenheiten durch Errichtung einer Anlage vorhersehbar, sollten bauliche Vorkehrungen getroffen werden.

Am Ende der gradlinigen Strecke, an der die Straße in spitzem Bogen nach Osten biegt, ist sogar bei allen Neigungswinkeln zwischen 25° und 50° mit Sichtbeeinträchtigungen durch Reflexionen zu rechnen.

Hiergegen sollten in jedem Fall Blendschutzmaßnahmen vorgesehen werden, zumal in direkter Schulnähe häufig Kinder auf der Straße sein werden.

### 6.5 Reflexionen von Vakuumröhrenkollektoren

Bei Vakuumröhrenkollektoren treten gänzlich andere Reflexionsverhältnisse auf als bei PV-Modulen oder Flachkollektoren. Es treten bei südlich ausgerichteten Anlagen schmale Reflexionsstreifen über den sichtbaren Anlageteil hinweg auf, die sich langsam von einer Seite zur anderen bewegen und



deutlich geringere Beleuchtungsstärken an Betrachteraugen bewirken als Reflexionen an den ebenen Oberflächen von PV-Modulen oder Flachkollektoren.

Die Berechnungsvorschriften und Grenzwerte der Lichtleitlinie sind auf diese Art von Reflexionen nicht anwendbar. Würde man nur auf die Dauer der Wahrnehmbarkeit potenzieller Reflexionen abstellen, so wären die zeitlichen Grenzwerte eigentlich immer schnell überschritten. Aber in der Lichtleitlinie wird eben nicht ausschließlich die Dauer der Wahrnehmbarkeit ungewöhnlicher Helligkeit als Immission eingestuft, sondern es werden ausdrücklich Reflexionen, die von der Sonne weniger als  $10^\circ$  Abstand haben, nicht als potenzielle Belästigung gewertet, und als Grund für die – ohnehin sehr umstrittene – Gleichsetzung mit dem periodischen Schattenwurf von Windkraftanlagen wird die von Reflexionen bewirkte Absolutblendung herangezogen, die ab  $10^5 \text{ cd/m}^2$  gegeben ist. Ob und wenn, unter welchen Umständen, von Reflexionen an Vakuumröhren eine Absolutblendung ausgehen kann, darüber gibt es bisher keine Untersuchungen. Da Vakuumröhren außerdem bisher noch relativ selten installiert werden, sind auch sonst keine Informationen verfügbar, inwieweit ihre Reflexionen eine besondere Belästigung darstellen.

Aus diesen Gründen sollte vorliegend angenommen werden, dass Flachkollektoren oder PV-Module installiert werden, und Blendschutzmaßnahmen sollten für diese Fälle vorgesehen werden, da ebene reflektierende Oberflächen aller Wahrscheinlichkeit nach die stärkere Beeinträchtigung hervorrufen.



## **7 Empfehlungen für den weiteren Planungsprozess**

Da mit Sicherheit die Straßenbiegung der Schellingstraße in Schulinähe vor sichtbeeinträchtigenden Reflexionen geschützt werden sollte, empfiehlt es sich, auf den Flursücken 242 – 244, 426 im südlichen Drittel und auf Flurstück 415 auch die Anpflanzung von Buschwerk zuzulassen. Da störende Reflexionen ganz überwiegend in der beliebten Jahreszeit auftreten können, braucht dieses Buschwerk nicht immergrün zu sein.

Eine Bepflanzung in diesem Bereich kann auf jeden Fall eine erhebliche Reduktion potenzieller Störungen bewirken.

Darüber hinaus sollte allerdings bei konkreter Belegungsplanung noch ein detailliertes Blendgutachten erstellt werden.



## 8 Verwendete Materialien

### 8.1 Dokumente vom Auftraggeber

- ▶ Bebauungsplanentwurf vom 25.01.2021 als Dateien  
210125 FiWa DröStraße B-Plan-Änd Nr.3 Entwurf 1\_Blendwirkung.pdf und ~.dwg
- ▶ Umgebungsübersicht als Dateien BP\_angrenzende\_Nutzungen.pdf und ~.dwg
- ▶ Querschnittsansicht der Bestandsanlage als Datei Schnitt\_Bestandssolarpark.pdf
- ▶ Textliche Festsetzungen des Bebauungsplans als Datei Text\_Dröbiger\_18.02.2021.pdf

### 8.2 Literatur

- ▶ Wittlich, M.: Blendung – Theoretischer Hintergrund, Informationen des Instituts für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA); Sankt Augustin 2010
- ▶ Schattenwurf-Richtlinie: Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen (WEA-Schattenwurf-Hinweis, verabschiedet auf der 103. Sitzung des Länderausschusses für Immissionsschutz (LAI), 6.-8.5.2002
- ▶ LAI (Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz): Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen; Beschluss der LAI vom 13.09.2012, Anhang 2 – Stand 3.11.2015; <http://www.lai-immissionsschutz.de/servlet/is/20170/Hinweise%20zur%20Messung%20Beurteilung%20und%20Minderung%20von%20Lichtimmissionen.pdf?command=downloadContent&filename=Hinweise%20zur%20Messung%20Beurteilung%20und%20Minderung%20von%20Lichtimmissionen.pdf>
- ▶ Fischbach, M.; Mack, M.; Haselhuhn, R.: Blendgutachten Photovoltaik – ein Statusbericht aus der Gutachterpraxis; Tagungsband 29. Symposium Photovoltaische Solarenergie 12.-14.3.2014 Bad Staffelstein; Hsg.: OTTI e.V.
- ▶ Eicker, U.: Solare Technologien für Gebäude; 1. Aufl. B. G. Teubner GmbH Stuttgart/Leipzig/Wiesbaden, 2001
- ▶ Reidenbach H.-D., Dollinger K., Ott G., Janßen M., Brose M. (2008): Blendung durch optische Strahlungsquellen. Bericht der BAUA, Forschung Projekt 2185
- ▶ Kaufmann, H.: Strabismus. Stuttgart, Enke, 1986
- ▶ Empfehlungen der Strahlenschutzkommission: Blendung durch natürliche und neue künstliche Lichtquellen und ihre Gefahren; verabschiedet in der 205. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 16./17. Februar 2006
- ▶ DIN 5034-2:1985-02 Tageslicht in Innenräumen; Grundlagen



## 9 *Abbildungsverzeichnis*

Abbildung 1: Lage des Sondergebiets Solarenergie (orange), Modulreihen der vorhandenen PVA (grau auf Google Earth Hintergrund) sowie der Häuser an der Schellingstraße und des Schulstandorts Nehesdorf .....	4
Abbildung 2: Gegenstände auf der Sichtachse zur Blendquelle sind nicht mehr wahrnehmbar.....	9
Abbildung 3: Blickfelder von Tabelle 1; der Achsenschnittpunkt $0^{\circ}/0^{\circ}$ stellt dabei einen Punkt auf der Blickachse dar, auf den die Augen fokussieren, und nicht notwendigerweise einen Punkt auf dem Horizont .....	12
Abbildung 4: Auswirkung des Einfallwinkels auf den Transmissionsgrad für Modulgläser .....	14
Abbildung 5: Schematische Beschreibung von Reflexionsrichtungen (orange) parallel einfallenden Sonnenlichts (gelb) an einer Vakuumröhre (grau).....	15
Abbildung 6: Seitlicher Schnitt durch die Modulreihen der Bestandsanlage .....	17
Abbildung 7: Blick aus Richtung des Sondergebiets in die Schellingstraße.....	18
Abbildung 8: Terrasse nach Südwesten am Haus Nr. 5.....	19
Abbildung 9: Blick aus Nordwesten auf Schule und Anbau.....	19
Abbildung 10: Planzeichnung von Schule und Anbau von Norden.....	20
Abbildung 11: Planzeichnung vom Anbau aus Westen.....	20
Abbildung 12: Darstellung des Reflexionsstrahls anhand von Azimut und Höhenwinkel wie im Reflexionsdiagramm verwendet und Beschreibung des Abstandswinkels zwischen Blickrichtungen zur Sonne und zum Blendpunkt.....	21
Abbildung 13: Reflexionsdiagramm aus Sicht eines beliebigen potenziellen Blendpunktes der mit $-1^{\circ}$ ausgerichteten Module mit einer Modulneigung von $25^{\circ}$ am Standort der Anlage; waagrecht aufgetragen sind die Azimutwinkel von Norden ( $0^{\circ}$ ) über Osten ( $90^{\circ}$ ), Süden ( $180^{\circ}$ ) nach Westen ( $270^{\circ}$ ), senkrecht die Höhenwinkel; Reflexionen aus einem Abstand zur Sonne von unter $10^{\circ}$ sind grau umrahmt .....	22
Abbildung 14: Reflexionsdiagramm aus Sicht eines beliebigen potenziellen Blendpunktes der mit $-1^{\circ}$ ausgerichteten Module mit einer Modulneigung von $50^{\circ}$ am Standort der Anlage; waagrecht aufgetragen sind die Azimutwinkel von Norden ( $0^{\circ}$ ) über Osten ( $90^{\circ}$ ), Süden ( $180^{\circ}$ ) nach Westen ( $270^{\circ}$ ), senkrecht die Höhenwinkel; Reflexionen aus einem Abstand zur Sonne von unter $10^{\circ}$ sind grau umrahmt .....	23
Abbildung 15: Beispiel für Bandbreite möglicher Höhenwinkel .....	24
Abbildung 16: Reflexionsdiagramm für die Bestandsanlage und das Fenster Schellingstraße 7 .....	25





Abbildung 17: Detailvergrößerung von Abbildung 16 mit blauer Eingrenzung potenziell von Lichtimmissionen im Sinne der Lichtleitlinie (Abstand zur Sonne über 10°) betroffener Zeitpunkte	25
Abbildung 18: Reflexionsdiagramme für das Fenster von Haus Nr. 7 und Randpunkte des Sondergebiets, links für Neigung 25°, rechts für 50°	26
Abbildung 19: Detailvergrößerung des relevanten Ausschnitts des Diagramms für 50° Neigung im Sondergebiet Solarenergie und das Fenster von Haus Nr. 7	26
Abbildung 20: Reflexionsdiagramm für die Bestandsanlage und die Terrasse im Obergeschoss Schellingstraße 5	27
Abbildung 21: Detailvergrößerung von Abbildung 20 mit blauer Eingrenzung potenziell von Lichtimmissionen im Sinne der Lichtleitlinie (Abstand zur Sonne über 10°) betroffener Zeitpunkte	28
Abbildung 22: Reflexionsdiagramme für die Terrasse und Randpunkte des Sondergebiets, links für Neigung 25°, rechts für 50°	28
Abbildung 23: Detailvergrößerung des relevanten Ausschnitts des Diagramms für 50° Neigung im Sondergebiet Solarenergie und die Terrasse	29
Abbildung 24: Reflexionsdiagramm für die Bestandsanlage und das Eckfenster im Obergeschoss des Schulneubaus	30
Abbildung 25: Detailvergrößerung von Abbildung 24; grau abgegrenzt sind die nicht als Immissionen zu wertenden Reflexionen mit Abständen zur Sonne unter 10°, rot umgrenzt sind die verbleibenden, als Immissionen zu wertenden Zeitpunkte	30
Abbildung 26: Reflexionsdiagramme für OG-Eckfenster Neubau und Randpunkte des Sondergebiets, links für Neigung 25°, rechts für 50°	31
Abbildung 27: Detailvergrößerung des linken Diagramms von Abbildung 26 mit blauer Umgrenzung möglicher Blickverbindungen zwischen Fenster und Sondergebiet	32
Abbildung 28: Detailvergrößerung des rechten Diagramms von Abbildung 26 mit blauer Umgrenzung möglicher Blickverbindungen zwischen Fenster und Sondergebiet	32
Abbildung 29: Reflexionsdiagramme für nordwestliche scharfe Biegung der Schellingstraße und Randpunkte des Sondergebiets, links für Neigung 25°, rechts für 50°	33
Abbildung 30: Foto von Reflexionen auf einer Vakuumröhrenanlage; Quelle: <a href="https://www.google.com/search?source=univ&amp;tbm=isch&amp;q=Ritter+Solar&amp;client=firefox-b-d&amp;sa=X&amp;ved=2ahUKewiFqo_e0orwAhXL2aQKHxgHAIsQ7Al6BAgcEF1&amp;biw=1782&amp;bih=888">https://www.google.com/search?source=univ&amp;tbm=isch&amp;q=Ritter+Solar&amp;client=firefox-b-d&amp;sa=X&amp;ved=2ahUKewiFqo_e0orwAhXL2aQKHxgHAIsQ7Al6BAgcEF1&amp;biw=1782&amp;bih=888</a>	34

## 10 Tabellenverzeichnis



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