

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

## ► **Bebauungsplan „Grüner Weg“**

### *Potenzielle Betroffenheit durch Reflexionen zweier bestehender PV- Anlagen*

**Auftraggeber:**

Stadt Finsterwalde  
Herr 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: 30.09.2020

Projektnummer: P20415/v.1



## Inhalt

1	Zweck und Gegenstand des Gutachtens .....	4
2	Zusammenfassung der Ergebnisse .....	5
3	Einleitung .....	6
3.1	Gesetzliche Grundlagen .....	6
3.1.1	Nutzung erneuerbarer Energien als ein explizites Ziel von Baurecht und Raumordnung .....	6
3.1.2	Immissionsschutz .....	7
3.2	Blendung .....	8
3.2.1	Blendung im Wohnbereich .....	8
3.2.2	Blendung im Verkehr .....	9
3.3	Entstehung von Reflexionen bei Photovoltaikanlagen .....	12
3.4	Verwendete Azimut-Winkelangaben .....	13
4	Situation vor Ort .....	14
4.1	Die Photovoltaikanlagen .....	14
4.2	Bebaubare Fläche nach Bebauungsplan .....	14
5	Berechnungen .....	16
5.1	Methodik der Berechnung .....	16
5.1.1	Geometrische Aspekte .....	16
5.1.2	Lichttechnische Aspekte .....	19
5.2	Potenzielle Betroffenheit im Allgemeinen Wohngebiet .....	19
6	Bewertung der Ergebnisse .....	22
7	Verwendete Materialien .....	23
7.1	Dokumente vom Auftraggeber .....	23
7.2	Literatur .....	23
8	Abbildungsverzeichnis .....	24

9 Tabellenverzeichnis ..... 25





## 1 Zweck und Gegenstand des Gutachtens

Es soll untersucht werden, inwieweit künftig zu errichtende Gebäude innerhalb des Bebauungsplans „Grüner Weg“ der Stadt Finsterwalde von Reflexionen der beiden bestehenden Photovoltaikanlagen auf den Flurstücken 10/2 und 712 einerseits und 711 und 766 andererseits betroffen sein können.

Die Lage der Anlagen und der Baugrenze für neu zu errichtende Häuser ist in Abbildung 1 zu erkennen.

Anschließend sind Empfehlungen zur Vermeidung störender Belästigung durch Blendung zu erarbeiten.

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



Abbildung 1: Lage der Modulreihen (Westanlage rot, Ostanlage im Luftbild enthalten) sowie der Baugrenze für neu zu errichtende Häuser (blau) unter Verwendung von Geobasisdaten: ©GeoBasis-DE/LGB



## 2 Zusammenfassung der Ergebnisse

Es wird festgestellt, dass in dem in Abbildung 2 grün schraffierten Teilgebiet A keinerlei Reflexionen der bestehenden Solaranlagen auftreten können.

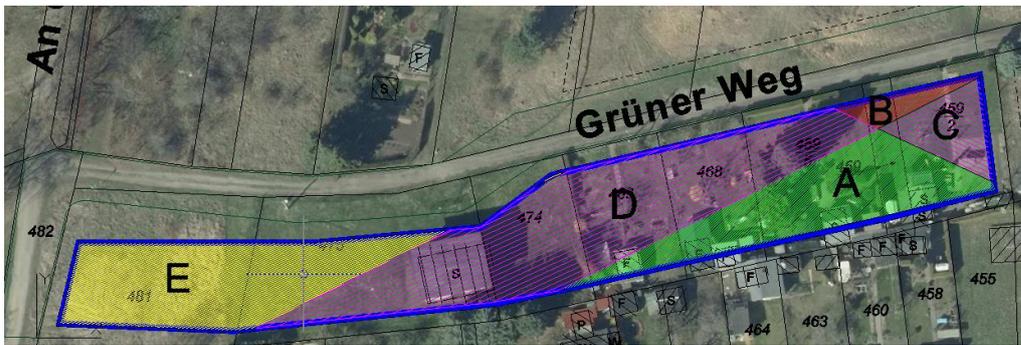


Abbildung 2: Teilgebiete unterschiedlicher Orientierung potenziell betroffener Fenster, Türen oder Balkone unter Verwendung von Geobasisdaten: ©GeoBasis-DE/LGB; im Zusammenhang mit Solaranlagen dargestellt in Abbildung 13

In den übrigen Bereichen kann es zu Lichtimmissionen durch Reflexionen kommen, sofern Sichtfreiheit von Fenstern, Balkonen oder Terrassen zu den Solaranlagen besteht. Über die zeitliche Dauer, die für eine Belästigungswirkung wesentlich ist, kann keine allgemeingültige Aussage getroffen werden, da sie abhängig ist von Position, Höhe und Größe der Fenster, Balkone oder Terrassen.

Je nach Teilgebiet kann aber die Orientierung eventuell betroffener Fenster, Balkone oder Terrassen (Immissionsorte) eingegrenzt werden:

- ▶ Teilgebiet B: westlich oder nördlich ausgerichtete Immissionsorte mit Sichtfreiheit zur Westanlage und nördlich oder östlich ausgerichtete mit Sichtfreiheit zur Ostanlage
- ▶ Teilgebiet C: westlich oder nördlich ausgerichtete Immissionsorte mit Sichtfreiheit zur Westanlage
- ▶ Teilgebiet D: nördlich oder östlich ausgerichtete Immissionsorte mit Sichtfreiheit zur Ostanlage
- ▶ Teilgebiet E: nördlich oder östlich ausgerichtete Immissionsorte mit Sichtfreiheit zu einer der beiden Anlagen

Es wird empfohlen, Bauwillige in den Bereichen B bis E darauf hinzuweisen, dass sie Fenster mit den teilgebieteigenen Merkmalen zur eigenen Sicherheit mit Jalousien ausstatten sollten oder vor Realisierung einer konkreten Planung ein Blendgutachten einholen sollten. Für Balkone und Terrassen mit diesen Merkmalen wird in jedem Fall eine genauere Bestimmung möglicher Immissionen z.B. durch ein Blendgutachten empfohlen, da sie nicht so einfach wie ein Fenster durch Jalousien abschirmbar sind.



## 3 Einleitung

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

---

<sup>1</sup> Baugesetzbuch



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

Abbildung 3 zeigt zwei Beispiele für Blendsituationen. Auf der Sichtachse zur Blendquelle werden Gegenstände unerkennbar.<sup>4</sup>



Abbildung 3: 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. 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 4 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

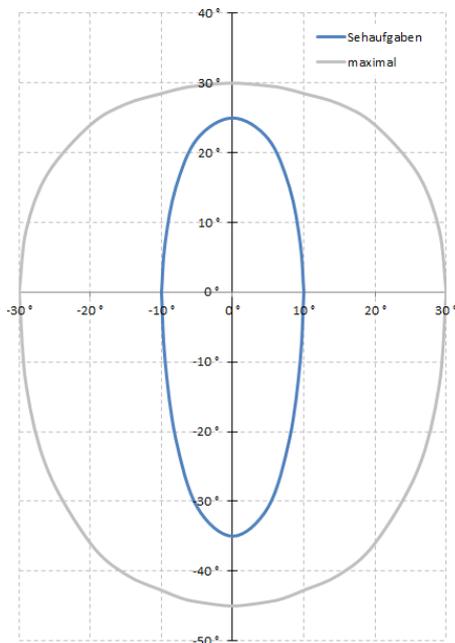


Abbildung 4: Blickfelder von Tabelle 1; der Achsenschnittpunkt 0°/0° stellt dabei einen Punkt auf der Blickachse dar, auf den die Augen fokussieren, und nicht notwendigerweise einen Punkt auf dem Horizont

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

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



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

### 3.3 Entstehung von Reflexionen bei Photovoltaikanlagen

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

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

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

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

Die Reflexionseigenschaften von Glas variieren mit dem Einfallswinkel der Sonnenstrahlen, wie Abbildung 5 verdeutlicht.

---

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

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

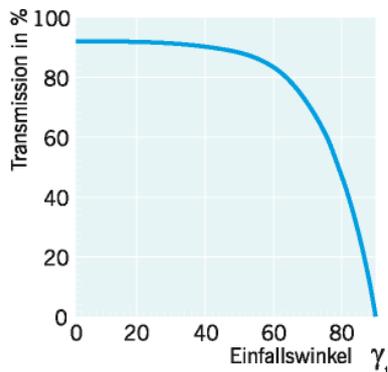


Abbildung 5: Auswirkung des Einfallswinkels auf den Transmissionsgrad für Modulgläser

Die Transmission ist bei senkrechtem Einfall auf die Modulebene ( $0^\circ$ ) am größten. Mit zunehmendem Einfallswinkel sinkt die Transmission und die Reflexion am Glas steigt an. Als Beispiel beträgt der Transmissionsgrad bei einem Einfallswinkel von  $65^\circ$  etwa 80 %. In diesem Falle werden für das Beispiel in Abbildung 5 ca. 20 % der auftretenden Strahlung reflektiert.

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

### 3.4 Verwendete Azimut-Winkelangaben

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

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

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

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



## 4 Situation vor Ort

### 4.1 Die Photovoltaikanlagen

Die Flurstücke, auf denen die Anlagen errichtet sind (Abbildung 6), sind weitgehend eben und liegen auf demselben Höhenniveau wie die zukünftig zu errichtenden Gebäude.



Abbildung 6: Westanlage auf den Flurstücken 10/2 und 712 (Modulreihen rot gezeichnet) und Ostanlage in Google Earth Luftbild erkennbar unter Verwendung von Geobasisdaten: ©GeoBasis-DE/LGB

Die Ausrichtung der westlichen Modulreihen weicht um  $-3,1^\circ$  von Süden ab, bei der Ostanlage beträgt die Abweichung  $-1^\circ$ . Die Neigung der Module gegenüber der Waagerechten beträgt  $17^\circ$ .

Die Unterkanten der Module liegen mindestens 0,66 m über dem Gelände und ihre Oberkanten erreichen maximal 2,58 m.

### 4.2 Bebaubare Fläche nach Bebauungsplan

Im Vorentwurf zum Bebauungsplan „Grüner Weg“ vom 2.6.2020 werden die Baugrenzen des Allgemeinen Wohngebiets festgelegt mit einem Abstand von mindestens 3 m zu Verkehrsflächen. In Abbildung 7 ist die Lage gekennzeichnet.



Abbildung 7: Grenze der überbaubaren Fläche (blau) in ihrer Lage zu den Bestandsphotovoltaikanlagen unter Verwendung von Geobasisdaten: ©GeoBasis-DE/LGB

In diesem Allgemeinen Wohngebiet soll die Höhe auf zwei Vollgeschosse begrenzt sein.



## 5 Berechnungen

### 5.1 Methodik der Berechnung

#### 5.1.1 Geometrische Aspekte

Zunächst wird eine Aufstellung mit sämtlichen Sonneneinfallswinkeln im Jahresverlauf am Standort Finsterwalde (geografische Länge 13,7°, Breite 51,63°) 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 8). Mögliche Abweichungen der realen Reflexionen von den ideal gerichteten (durch Bündelauflösung oder Versatz) werden im Rahmen der Einzelberechnungen und -bewertungen bei Bedarf durch Sicherheitszuschläge abgeschätzt.

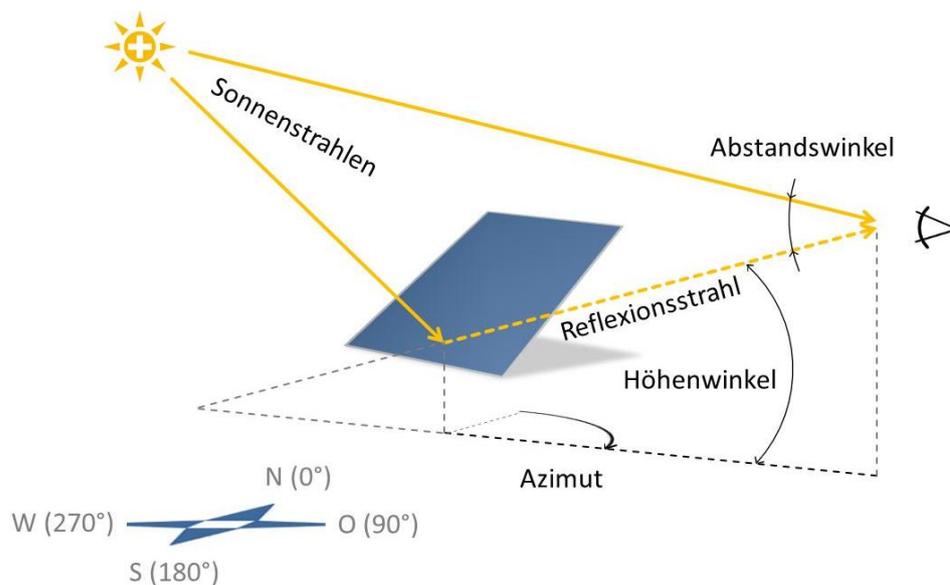


Abbildung 8: Darstellung des Reflexionsstrahls anhand von Azimut und Höhenwinkel wie im Reflexionsdiagramm verwendet und Beschreibung des Abstandswinkels zwischen Blickrichtungen zur Sonne und zum Blendpunkt

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



Ebenfalls in Abbildung 8 ist der Abstandswinkel zwischen den Blickrichtungen zur Sonne und zum Blendpunkt beschrieben.

Für einen beliebigen Punkt der mit einer leichten Abweichung von  $-3,1^\circ$  nach Süden ausgerichteten Module der Westanlage mit  $17^\circ$  Neigung ergibt sich so das in Abbildung 9 dokumentierte Reflexionsdiagramm.

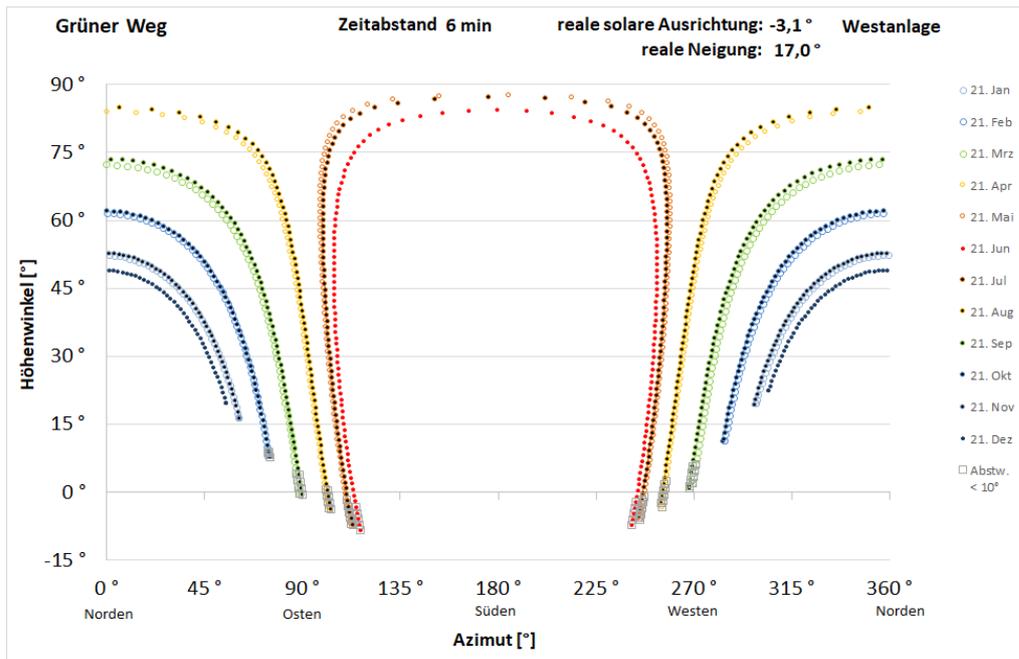


Abbildung 9: Reflexionsdiagramm aus Sicht eines beliebigen potenziellen Blendpunktes der mit  $-3,1^\circ$  ausgerichteten Module mit einer Modulneigung von  $17^\circ$  am Standort der Anlage; waagrecht aufgetragen sind die Azimutwinkel von Norden ( $0^\circ$ ) über Osten ( $90^\circ$ ), Süden ( $180^\circ$ ) nach Westen ( $270^\circ$ ), senkrecht die Höhenwinkel; Reflexionen aus einem Abstand zur Sonne von unter  $10^\circ$  sind grau umrahmt

Für die Ostanlage mit ihrer noch geringeren Südabweichung von nur  $-1^\circ$  ergibt sich das Reflexionsdiagramm in Abbildung 10.

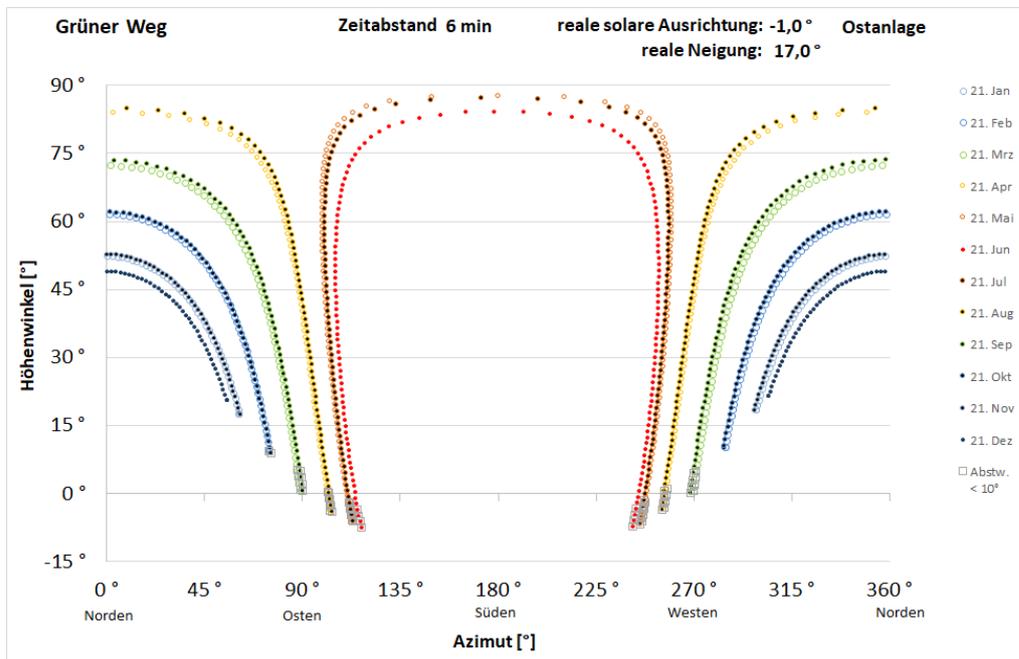


Abbildung 10: Entsprechendes Reflexionsdiagramm für die Ostanlage

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

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

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

Abbildung 11 verdeutlicht dies skizzenhaft: Maximale Höhenwinkel ergeben sich zu oberen Fensterkanten und minimale Höhenwinkel zu Fensterunterkanten.

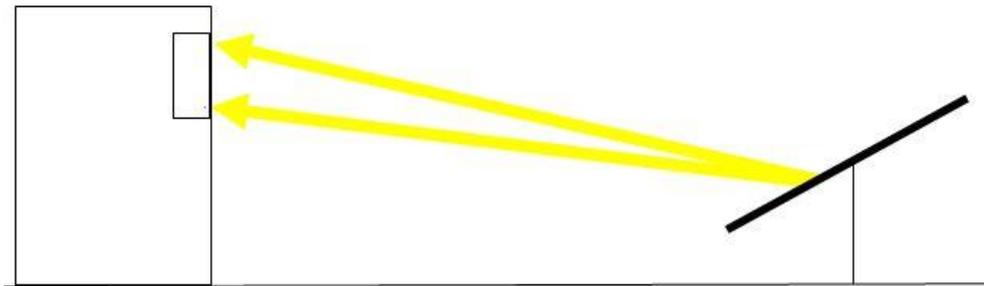


Abbildung 11: Beispiel für Bandbreite möglicher Höhenwinkel

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 Potenzielle Betroffenheit im Allgemeinen Wohnggebiet

Da es derzeit noch keine konkreten Baupläne gibt, aus denen feste Maße für Lage und Größe von Fenstern, Balkonen oder Terrassen hervorgehen, werden im Folgenden mögliche Reflexionsrichtungen berechnet und dargestellt.

Die Reflexionsdiagramme zeigen, dass Reflexionen mit kleinen Höhenwinkeln ausschließlich zwischen West und Südwest bzw. Ost und Südost auftreten. Zwischen Südwest und Südost dagegen befindet sich ein großer Azimutbereich, in dem Reflexionen nur mit großen Höhenwinkeln auftreten können, das heißt, die Reflexionen sind so steil in den Himmel gerichtet, dass sie benachbarte zweistöckige Häuser nicht betreffen können.

In Abbildung 12 ist am Beispiel der Westanlage der unkritische Azimutbereich zwischen den Azimutwinkeln 115° und 243° dargestellt, in dem Reflexionen, die nach LAI-Richtlinie als Immissionen zu werten sind, nur mit Höhenwinkeln von mehr als 60° auftreten können. Für die Ostanlage, deren Reflexionsdiagramm sich von dem der Westanlage kaum unterscheidet, gelten dieselben Grenzen. Für den Fall, dass die Modulneigung von 17° abweicht, wurden auch noch Neigungen von 15° und 20° getestet, ohne dass sich wesentliche Änderungen ergaben.

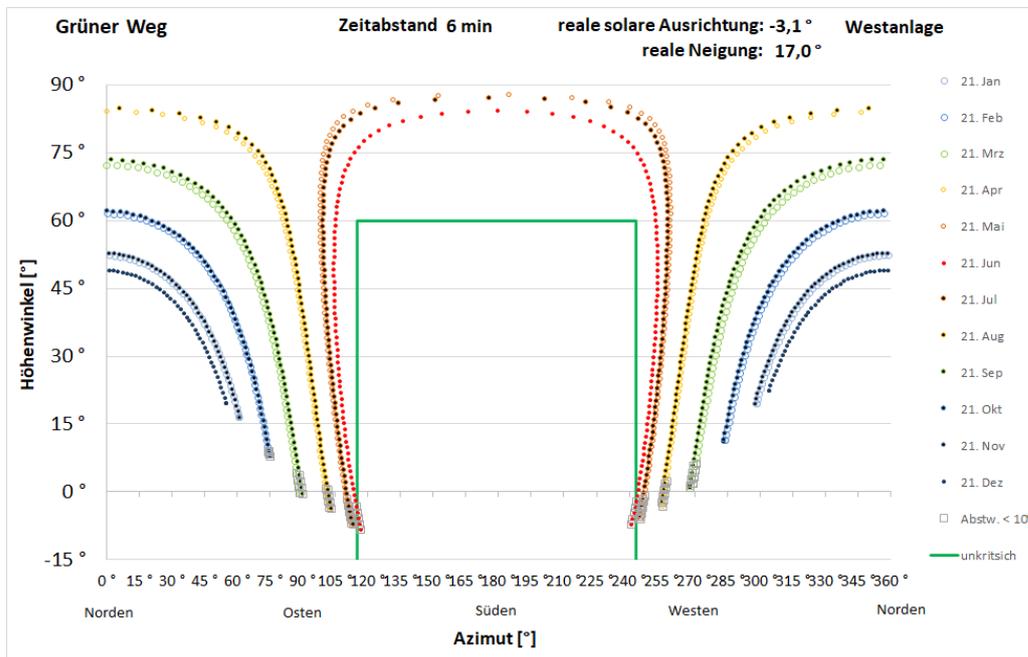


Abbildung 12: Unkritischer Azimutbereich zwischen  $115^\circ$  und  $243^\circ$  (grün umrahmt)

In der Ebene ergeben sich daraus zunächst Gebiete unterschiedlicher möglicher Betroffenheit, die in Abbildung 13 dargestellt sind.

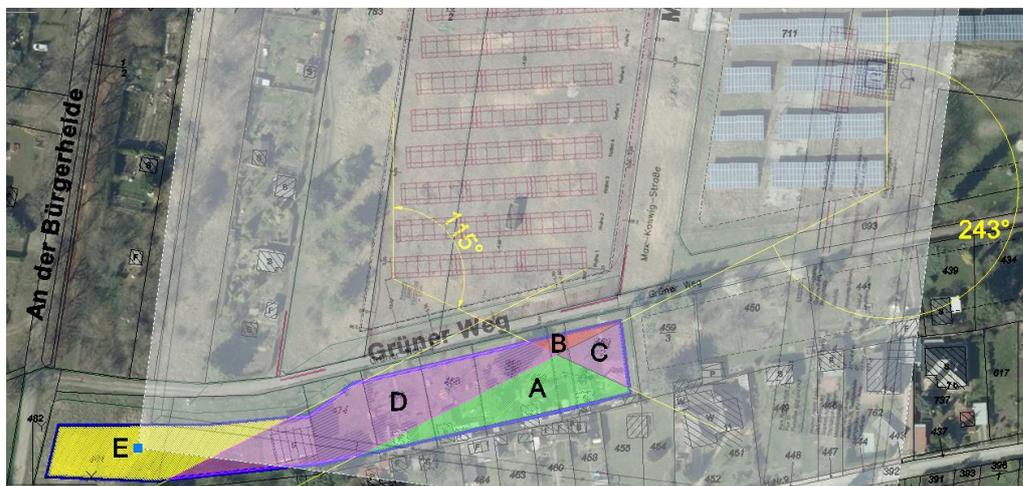


Abbildung 13: Gebiete möglicher Betroffenheit durch Reflexionen unter Verwendung von Geobasisdaten: ©GeoBasis-DE/LGB; A: keine Reflexionen möglich; B und E: Reflexionen von beiden Anlagen möglich; C und D: Betroffenheit jeweils nur von Reflexionen einer Anlage

In das grün schraffierte Gebiet A können keinerlei Reflexionen gerichtet sein. In das Gebiet B können sowohl abendliche Reflexionen der Westanlage als auch morgendliche der Ostanlage treffen. Gebiet C kann nur von abendlichen Reflexionen der Westanlage betroffen sein und Gebiet D nur von

morgendlichen der Ostanlage. Und Gebiet E kann morgens von Reflexionen beider Anlagen betroffen sein.





## 6 *Bewertung der Ergebnisse*

Es wird festgestellt, dass es in einem Teilbereich, der in Abbildung 13 grün schraffiert als Bereich A gekennzeichnet ist, zu keinerlei Reflexionen kommen kann.

In den übrigen Bereichen kann es zu Reflexionen kommen, wobei im Bereich C ausschließlich nördlich oder westlich orientierte Fenster, Balkone oder Terrassen betroffen sein können, in den Bereichen D und E ausschließlich solche, die nach Norden oder Osten gerichtet sind und nur im Bereich B westlich, nördlich und östlich ausgerichtete Fenster, Balkone oder Terrassen betroffen sein können.

Häufigkeit und Dauer der jeweiligen Immissionen hängen stark ab von Größe und Höhe der Immissionsorte sowie ihrer Entfernung zu den Anlagen. Eine generelle Klassifizierung über diese Gebietseinteilung und die Ausrichtung der Fenster etc. hinaus ist nicht möglich. Ebenso erscheint es nicht sinnvoll, im Bebauungsplan Vorgaben zu machen für Fenster o. ä., die eine spätere Belästigung durch Reflexionen von vornherein ausschließen. Denn derartige Vorgaben würden die Gestaltungsfreiheit künftiger Bauherren unnötig einschränken.

Vielmehr erscheint es sinnvoll, Bauwillige in den Bereichen B bis E darauf hinzuweisen, dass sie Fenster mit Sichtfreiheit auf mindestens eine der Anlagen zur eigenen Sicherheit mit Jalousien ausstatten sollten oder vor Realisierung einer konkreten Planung ein Blendgutachten einholen sollten.



## 7 Verwendete Materialien

### 7.1 Dokumente vom Auftraggeber

- ▶ Belegungsplan der westlichen Anlage als Datei Solarpark West.pdf
- ▶ Belegungsplan der östlichen Anlage als Datei Solarpark Ost.pdf
- ▶ Lageplan mit Flurstücken auf Google Earth Hintergrund als Datei Übersicht Grüner Weg.pdf
- ▶ B-Plan-Vorentwurf als Datei 20200602 Begründung Vorentwurf Grüner Weg.pdf
- ▶ Lageplan mit Flurstücken, Verkehrsflächen und B-Plan-Baugrenze auf Google Earth Hintergrund als Datei BP\_Grüner\_Weg\_1.ÄBrunnenstraße\_nur Verkehrsflächen und Baugrenzen.pdf
- ▶ Katasterplan als Datei dxf\_B\_Plan\_Grüner\_Weg\_1.ÄBrunnenstraße\_nur Verkehrsflächen und Baugrenzen.dxf

### 7.2 Literatur

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



## 8 *Abbildungsverzeichnis*

Abbildung 1: Lage der Modulreihen (Westanlage rot, Ostanlage im Luftbild enthalten) sowie der Baugrenze für neu zu errichtende Häuser (blau).....	4
Abbildung 2: Teilgebiete unterschiedlicher Orientierung potenziell betroffener Fenster, Türen oder Balkone; im Zusammenhang mit Solaranlagen dargestellt in Abbildung 13 .....	5
Abbildung 3: Gegenstände auf der Sichtachse zur Blendquelle sind nicht mehr wahrnehmbar.....	8
Abbildung 4: 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 .....	11
Abbildung 5: Auswirkung des Einfallwinkels auf den Transmissionsgrad für Modulgläser.....	13
Abbildung 6: Westanlage auf den Flurstücken 10/2 und 712 (Modulreihen rot gezeichnet) und Ostanlage in Google Earth Luftbild erkennbar .....	14
Abbildung 7: Grenze der überbaubaren Fläche (blau) in ihrer Lage zu den Bestandsphotovoltaikanlagen .....	15
Abbildung 8: Darstellung des Reflexionsstrahls anhand von Azimut und Höhenwinkel wie im Reflexionsdiagramm verwendet und Beschreibung des Abstandswinkels zwischen Blickrichtungen zur Sonne und zum Blendpunkt.....	16
Abbildung 9: Reflexionsdiagramm aus Sicht eines beliebigen potenziellen Blendpunktes der mit -3,1° ausgerichteten Module mit einer Modulneigung von 17° am Standort der Anlage; waagrecht aufgetragen sind die Azimutwinkel von Norden (0°) über Osten (90°), Süden (180°) nach Westen (270°), senkrecht die Höhenwinkel; Reflexionen aus einem Abstand zur Sonne von unter 10° sind grau umrahmt .....	17
Abbildung 10: Entsprechendes Reflexionsdiagramm für die Ostanlage.....	18
Abbildung 11: Beispiel für Bandbreite möglicher Höhenwinkel .....	19
Abbildung 12: Unkritischer Azimutbereich zwischen 115° und 243° (grün umrahmt) .....	20
Abbildung 13: Gebiete möglicher Betroffenheit durch Reflexionen; A: keine Reflexionen möglich; B und E: Reflexionen von beiden Anlagen möglich; C und D: Betroffenheit jeweils nur von Reflexionen einer Anlage .....	20

## 9 Tabellenverzeichnis



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