

Dr. Hans Meseberg
LSC Lichttechnik und Straßenausstattung Consult
Fährstr. 10
D-13503 Berlin
Tel.: 030/82707832
Mobil: 0177/3733744
Email: hmeseberg@t-online.de

Berlin, den 28. 5. 2025

G u t a c h t e n
G33/2025
zur Frage der eventuellen Blend- und Störf Wirkung von Straßennutzern
durch eine bei Grebenau zu installierende Photovoltaikanlage

(Dieses Gutachten besteht aus 7 Seiten
und einem Anhang mit weiteren 2 Seiten)

1 Auftraggeber

Den Auftrag zur Erarbeitung des Gutachtens erteilte die solargrün GmbH, Marie-Curie-Ring 15 in 55291 Saulheim.

Auftragsdatum: 9. 4. 2025

2 Auftragsache

Die solargrün GmbH plant die Errichtung einer Freiflächen-Photovoltaikanlage in der Nähe der Stadt Grebenau. Es stellt sich die Frage, ob Kraftfahrer, die die an der PV-Anlage vorbeiführende Landesstraße L 3161 befahren, durch die PV-Anlage in unzumutbarer Weise geblendet oder belästigt werden könnten. Dieses Gutachten dient der Untersuchung der Frage, ob und mit welcher Häufigkeit solche Situationen entstehen können und falls ja, welche Abhilfemöglichkeiten bestehen.

3 Definitionen

Im Folgenden wird der Richtung Nord der horizontale Winkel α , ν , $\tau = 0^\circ$ zugeordnet; der Winkel steigt mit dem Uhrzeigersinn (Ost: $\alpha = 90^\circ$; Süd: $\alpha = 180^\circ$ usw.).

Es werden folgende Winkel verwendet:

Sonnenhöhenwinkel (vertikaler Sonnenwinkel)	γ
Azimut (horizontaler Sonnenwinkel) bzw. momentane Fahrtrichtung eines Kfz	α
Orientierung der Modultischreihen	ν
vertikaler Winkel des von den Solarmodulen reflektierten Lichts	δ
Neigung der PV-Module gegen Süd	ε
vertikaler Blickwinkel Kraftfahrer - vor ihm liegende Fahrbahn	σ
im Raum liegender Blickwinkel (gebildet durch die Blickrichtung eines Kraftfahrers - Richtung reflektiertes Sonnenlicht)	θ

horizontaler Blickwinkel Kraftfahrer - PV-Anlage	τ
Differenz $\alpha - \tau$ (horizontale Blickrichtung Kraftfahrer - PV-Anlage)	ψ
vertikaler Blickwinkel Kraftfahrer - PV-Anlage	λ

4 Informationen zur Photovoltaik-Anlage

Die topografischen Daten und die Beschreibung der Anlage beruhen auf folgenden Informationen, die von der Fa. greentech zur Verfügung gestellt wurden:

- Lageplan
- Modulbelegungsplan
- Modultischquerschnitt

Die Geländehöhen, Entfernungen und horizontalen Winkel wurden mit google earth ermittelt. Der monatliche Sonnenstand für Grebenau (Sonnenhöhe und -azimut) wurde mit der Website www.stadtklima-stuttgart.de bestimmt. Die Berechnung der Winkel des reflektierten Sonnenlichts erfolgte mit eigenen Excel-Programmen. Weitere Informationen wurden mit street view gewonnen.

5 Beschreibung der PV-Anlage Grebenau und topografische Daten

5.1 Die PV-Anlage

Die PV-Anlage besteht aus zwei räumlich voneinander getrennten Teilflächen TF1 und TF2, s. Bild 1 im Anhang, und wird auf einem bisher landwirtschaftlich genutzten Gelände errichtet. Die Geländeoberkante (GOK) von TF1 beträgt 287 m über Normalhöhennull (NHN) an der Ostecke und steigt auf 323 m an der Nordecke bzw. auf 366 m an der Westecke. Die GOK von TF2 beträgt 296 m an der Ost- und der Südecke und steigt bis zur Westecke auf 318 m und bis zur Nordecke auf 312 m. Es werden Module des Herstellers Aiko, Typ Aiko G660-MCH72Dw mit einer Modulleistung von $660 W_{\text{peak}}$ eingesetzt. Die PV-Leistung ist mit $35,529 MW_{\text{peak}}$ geplant. Die Module werden auf sogenannten Modultischreihen montiert, die von Ost nach West verlaufen. Die Modulneigung ε beträgt 20° . Die Moduloberkante liegt maximal 4 m über GOK, die Modulunterkante liegt 0,80 m über GOK.

5.2 Die L 3161

Die Straße verläuft etwa von Nordost nach Südwest. Von Norden kommend, ist die PV-Anlage erst nach der Vorbefahrt an einem Wäldchen bei Markierung A sichtbar. Dort beträgt der Fahrtrichtungswinkel 212° , dreht ca. 100 m hinter Markierung B in einer Rechtskurve auf 233° und dreht nach weiteren 55 m in einer Linkskurve zurück auf 196° . Die Fahrbahnoberkante liegt zwischen Markierung A auf 280 m bis 281 m und steigt dann bis zu Markierung C auf 292 m. Von Markierung A bis Markierung C ist ein freier Blick zur PV-Anlage gegeben.

6 Beschreibung der eventuell von PV-Anlagen ausgehenden Blend- und Störwirkungen für Kraftfahrer

Unter Blendung versteht man eine vorübergehende Funktionsstörung des Auges, die, ganz allgemein ausgedrückt, durch ein Übermaß an Licht hervorgerufen wird. Liegt eine messbare Beeinträchtigung der Sehleistung vor, spricht man von **physio-**

logischer Blendung, wird die Blendwirkung dagegen subjektiv als unangenehm, störend oder ablenkend empfunden, ohne dass eine messbare Beeinträchtigung der Sehleistung vorhanden ist, liegt **psychologische Blendung** vor. Sind die Leuchtdichten des Umfeldes so groß, dass das visuelle System nicht mehr in der Lage ist, auf diese zu adaptieren, handelt es sich um **Absolutblendung**, sonst um **Adaptationsblendung**. Weiterhin differenziert man zwischen **direkter Blendung**, die durch eine Lichtquelle selbst ausgelöst wird, und **indirekter Blendung**, die durch das Reflexbild einer Lichtquelle erzeugt wird.

Die bei Tageslicht am häufigsten auftretende Blendung wird von der Sonne verursacht. Befindet sich die Sonne im zentralen Gesichtsfeld eines Beobachters, tritt Absolutblendung auf, bei der man nicht mehr in der Lage wäre, z.B. ein Kfz sicher zu führen, da im Gesichtsfeld des Autofahrers keine Kontraste mehr erkennbar sind. Dieser sehr gefährlichen Situation entzieht man sich, indem die Sonne gegenüber dem Auge durch eine Sonnenblende bzw. Jalousie oder durch eine Hand abgeschattet wird. Das Aufsetzen einer Sonnenbrille hilft hier kaum, da dadurch nicht nur die Intensität des Sonnenlichtes, sondern auch die Helligkeiten aller anderen Objekte im Gesichtsfeld herabgesetzt werden.

Häufig wird das Licht der Sonne auch durch glänzende Objekte ins Auge eines Betrachters gespiegelt: Wasseroberflächen, Fensterfronten von Gebäuden, verglaste Treibhäuser. Gegenüber der direkten Sonnenblendung ist bei dieser indirekten Blendung die tatsächliche Blendefahrer geringer:

1. Das reflektierte Sonnenlicht hat immer eine geringere Intensität als das direkte Sonnenlicht, es kommt selten zu einer Absolutblendung, sondern meist „nur“ zu Adaptationsblendung; d.h., die Helligkeitskontraste sind zwar verringert und die Wahrnehmung von Objekten wird erschwert, aber selten so stark, dass verkehrgefährdende Situationen entstehen.
2. Die Blendwirkung durch reflektierende Objekte ist zeitlich und örtlich sehr begrenzt, während die Sonnenblendung über längere Zeit auf den Menschen einwirken kann.

Ob Blendung auftritt, ist sehr stark vom Winkel θ , gebildet von der Blickrichtung eines Beobachters und der Verbindungslinie Auge des Beobachters - blendende Lichtquelle (Auge des Kraftfahrers zur PV-Anlage), abhängig. **Bei Nacht** nimmt die Blendempfindlichkeit B proportional mit dem reziproken Wert des Winkelquadrats ab: $B \sim 1/\theta^2$. Bei Nacht wird physiologische Blendung deshalb nur in einem Winkelbereich $\theta \pm 30^\circ$, bezogen auf die Blickrichtung, berücksichtigt; Licht aus größeren Winkeln liefert keinen nennenswerten Betrag zur Blendung. **Bei Tageslicht** hat man andere Verhältnisse: Die Gesamthelligkeit ist um mehrere Zehnerpotenzen höher als bei Nacht. Die evtl. blendenden Objekte werden nicht wie bei Nacht gegen eine meist lichtlose Umgebung gesehen, sondern die Umgebung hat ebenfalls eine gewisse Helligkeit. Diese beiden Unterschiede führen dazu, dass tagsüber Blendungseffekte eher selten auftreten. Die reziprok quadratische Abhängigkeit der Blendung vom Winkel θ gilt auch nicht mehr unbedingt; allerdings nimmt auch bei Tageslicht die Blendung deutlich zu, wenn der Blickwinkel θ kleiner wird.

Für die Nacht gibt es klare Anforderungen an die Begrenzung der Blendung, die von leuchtenden Objekten ausgeht. Für die Bewertung von Blend- oder anderen visuellen Störeffekten, die von Bauwerken oder anderen technischen Anlagen bei Tageslicht erzeugt werden, gibt es überhaupt keine Regelwerke oder Vorschriften. Deshalb ist man hier auf Einzelfallbetrachtungen und -entscheidungen angewiesen.

Der Blickwinkel θ ist bei Tageslicht weniger kritisch zu sehen als bei Nacht. Bei Tageslicht liefert störendes Licht aus **Winkeln $\theta > 20^\circ$** keinen merklichen Beitrag zur Blendung und kann außer Betracht bleiben. Störendes Licht aus einem **Winkelbereich $10^\circ < \theta \leq 20^\circ$** kann u.U. eine moderate Blendung erzeugen. I.a. kann man Blendung wie oben beschrieben durch leichtes Zur-Seite-Schauen oder „Ausblenden“ der störenden Lichtquelle vermeiden. Dieser Winkelbereich sollte aber bei einer Blendungsbewertung mit in Betracht gezogen werden. Kritischer sind **Blickwinkel $5^\circ \leq \theta \leq 10^\circ$** , und besonders kritisch Winkel $\theta \leq 5^\circ$, wenn also die störende Lichtquelle direkt im Gesichtsfeld des Beobachters liegt. Ein Kraftfahrer hat nicht mehr die Möglichkeit, diese Lichtquelle „auszublenden“: Er muss die vor ihm liegende Straße und dessen Umgebung beobachten und alle Licht- und sonstigen Signale sowie die Anzeigeeinstrumente im Pkw eindeutig erkennen können. Deshalb kann man in solchen Situationen seinen Blick nicht beliebig zur Seite richten, um einem evtl. vorhandenen Blendreflex auszuweichen.

Bei allen Situationen, in denen evtl. eine Blendgefahr besteht, ist jedoch zu berücksichtigen, dass sich die Sonne ebenfalls im Blickfeld des Beobachters befindet und das direkte Sonnenlicht **gleichzeitig** mit dem Blendreflex auf den Beobachter einwirkt.

Um eine Aussage über die Blendwirkung einer PV-Freiflächenanlage machen zu können, muss im Zweifelsfall unter Beachtung des Blickwinkels die Beleuchtungsstärke (Lichtintensität) der Blendlichtquelle ins Verhältnis zur Beleuchtungsstärke der Sonne gesetzt werden.

7 Blend- und Störpotential der geplanten PV-Anlage für Kraftfahrer

7.1 Sehbedingungen eines Kraftfahrers

Um die evtl. von der PV-Anlage ausgehende Blendung zu bewerten, ist es zunächst notwendig, die Wahrscheinlichkeit dafür zu ermitteln, dass von der Anlage reflektiertes Licht in die Blickrichtung eines Kraftfahrers gelangt. Ist eine gewisse Wahrscheinlichkeit gegeben, muss die Intensität des reflektierten, ins Auge des Vorbeifahrenden gerichteten Lichts ermittelt werden. Das Blendrisiko insgesamt ergibt sich aus der Bewertung der Wahrscheinlichkeit des Auftretens und der Intensität des ins Auge eines Vorbeifahrenden reflektierten Sonnenlichts.

Die Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines Blendrisikos kann mithilfe eines so genannten Sonnenstandsdiagramms ermittelt werden. Bild 2 zeigt das Sonnenstandsdiagramm für Grebenau in Form eines Polardiagramms. Die roten Linien zeigen den Sonnenstand (Sonnenhöhe γ und Azimut α) für den 15. Tag jedes Monats in Abhängigkeit von der Uhrzeit an. Die Darstellung erfolgt für die Mitteleuropäische Zeit (MEZ) ohne Berücksichtigung der Mitteleuropäischen Sommerzeit (MESZ). Die Uhrzeit ist durch blaue und grüne Punkte gekennzeichnet.

Zunächst muss der im Raum liegende Winkel Blickwinkel θ zwischen Kraftfahrer und PV-Anlage ermittelt werden. θ ergibt sich aus folgender Formel:

$$\cos \theta = \cos \sigma \cdot \cos \lambda \cdot \cos \psi \quad (1)$$

Die in dieser Formel genannten Winkel müssen gemäß den Sehbedingungen für bestimmte Situationen der Vorbeifahrt von Kraftfahrern an der PV-Anlage ermittelt werden.

Die Berechnungen wurden für die Sehbedingungen eines Lkw-Fahrers durchgeführt, die hinsichtlich einer Sonnenlichtreflexion ins Fahrerauge kritischer anzusehen sind als die Bedingungen für einen Pkw-Fahrer: Die maximale Augenhöhe eines Lkw-Fahrers beträgt ca. 2,40 m, die des Pkw-Fahrers ca. 1,12 m; deshalb kann eine PV-Anlage vom höher sitzenden Lkw-Fahrer u.U. zeitlich eher und auf größere Entfernungen gesehen werden, wodurch theoretisch die Sonnenlichtreflexion zum Kraftfahrer erhöht werden kann. Es kann angenommen werden, dass der Fahrer bei einer Fahrt auf einer Landstraße normalerweise auf einen Punkt auf der Fahrbahn blickt, der etwa 50 m vor ihm liegt. Daraus ergibt sich mit der mittleren Augenhöhe eines Lkw-Fahrers h_F von 2,40 m ein vertikaler Winkel σ von ca. $-2,9^\circ$ (Blick leicht nach unten). Dieser Winkel σ wurde bei den weiteren Berechnungen zugrunde gelegt.

7.2 Auswertung mittels des Sonnenstandsdiagramms

ψ ist der horizontale Winkel zwischen der momentanen Fahrtrichtung α und der horizontalen Blickrichtung τ Kraftfahrerauge - bestimmter Punkt der PV-Anlage. Fährt ein Kfz an der PV-Anlage vorbei, ändert sich ständig die Blickrichtung τ des Kraftfahrerauges zur Anlage und damit auch der Winkel ψ .

Damit Sonnenlicht in Richtung Kraftfahrerauge reflektiert werden kann, muss der vertikale Blickwinkel des Kraftfahrerauges λ dem vertikalen Winkel des von den Solarmodulen reflektierten Lichts δ entsprechen: $\lambda = -\delta$ (wenn λ abwärts gerichtet ist, muss δ aufwärts gerichtet sein und umgekehrt).

Für bestimmte Punkte der Annäherung eines Kfz an die bzw. Vorbeifahrt an der PV-Anlage werden nun mittels google earth die Winkel τ , α , ψ bestimmt, dann wird nach obiger Formel (1) der Winkel θ berechnet. Mit den weiteren Parametern Neigung der Module $\varepsilon = 20^\circ$ nach Süd und dem vertikalen Winkel λ werden dann die trigonometrischen Berechnungen zur Ermittlung des Sonnenazimuts α und der vertikalen Sonnenhöhenwinkel γ durchgeführt, unter denen das Sonnenlicht auf die PV-Module fallen müsste, damit das reflektierte Licht ins Auge eines Kraftfahrers fallen kann.

Die Ergebnisse der Berechnungen für α und γ werden in das Sonnenstandsdiagramm für Grebenau eingetragen. Die Berechnungen werden für eine Teilfläche der PV-Anlage von einem Beobachterstandort aus durchgeführt, daher stellen die ermittelten α/γ -Werte Flächen in Form von geschlossenen Polygonzügen dar, die im Folgenden als γ -Flächen bezeichnet werden. Haben diese γ -Flächen Schnittpunkte mit den roten Sonnenstandslinien, fällt Sonnenlicht ins Auge eines Kraftfahrers; die dazugehörigen Jahres- und Tageszeiten können aus dem Polardiagramm abgelesen

werden. Bei fehlenden Schnittpunkten ist keine Sonnenlichtreflexion zum Kraftfahrer möglich.

8 Ergebnisse

8.1 Markierung A, Fahrtrichtung Südwest

Von dieser Markierung aus sieht ein Kraftfahrer TF2 unter einem Blickwinkel θ von mindestens $21,5^\circ$, eine Blendwirkung durch TF2 ist nicht möglich. TF1 wird unter kleineren Blickwinkeln gesehen; die für TF1 berechnete γ -Fläche ist in Bild 2 in grüner Farbe eingezeichnet. Sie liegt unterhalb der Sonnenstandslinien, sogar unterhalb/außerhalb des Polardiagramms und hat keine Schnittpunkte mit den Sonnenstandslinien, gemäß den Erläuterungen in Abschnitt 7.2 tritt keine Kraftfahrerblendung auf.

Dieser Sachverhalt gibt die Tatsache wieder, dass ein Kraftfahrer, der in südliche Richtungen zur PV-Anlage blickt, nur die Modulrückseiten sieht und dass das Sonnenlicht von den Modulflächen immer über den Kraftfahrer hinweg reflektiert wird.

8.2 Markierung B

Fahrtrichtung Südwest: Von dieser Markierung aus sieht ein Kraftfahrer TF1 unter einem Blickwinkel θ von mindestens $22,5^\circ$, eine Blendwirkung durch TF1 ist nicht möglich.

Fahrtrichtung Nordost: In dieser Fahrtrichtung hat der Kraftfahrer TF1 im Rücken und kann durch diese Teilfläche nicht geblendet werden. Die für TF2 berechnete γ -Fläche ist in Bild 2 in blauer Farbe eingezeichnet. Sie liegt oberhalb der Sonnenstandslinien, wegen der fehlenden Schnittpunkte mit den Sonnenstandslinien kann ein Kraftfahrer auch von TF2 nicht geblendet werden.

Diese Tatsache ergibt sich daraus, dass auf der nördlichen Erdhalbkugel die Sonne nicht aus nördlichen Richtungen scheint und das Sonnenlicht daher nicht in südliche Richtungen reflektiert werden kann, d.h. nicht ins Auge eines Kraftfahrers gelangen kann, der in Richtung Nord zu einer PV-Anlage blickt.

8.3 Markierung C, Fahrtrichtung Nordost

In Bild 2 sind ebenfalls die γ -Flächen für einen Kraftfahrerblickpunkt bei Markierung C in brauner und schwarzer Farbe für TF1 bzw. TF2 eingetragen. Auch diese γ -Flächen liegen oberhalb der Sonnenstandslinien, wegen der fehlenden Schnittpunkte mit diesen werden Kraftfahrer auch bei Markierung C von der PV-Anlage nicht geblendet.

9 Zusammenfassung

Es wurde untersucht, ob Kraftfahrer auf der an der PV-Anlage Grebenau vorbeiführenden L 3161 durch diese Anlage geblendet werden können. Die Berechnungen ergeben, dass in beiden Fahrtrichtungen keine Kraftfahrerblendung möglich ist. Gegen die Errichtung der PV-Freiflächenanlage Grebenau mit dem geplanten Modullayout ist aus Sicht des Unterzeichners nichts einzuwenden.



Dieses Gutachten wurde nach bestem Wissen und Gewissen angefertigt.

Anhang



Bild 1: Übersicht der geplanten PV-Anlage Grebenau (rot umrandet) mit den Teilflächen TF1 und TF2 sowie den untersuchten Blickpunkten A bis C eines Kraftfahrers auf der L 3161

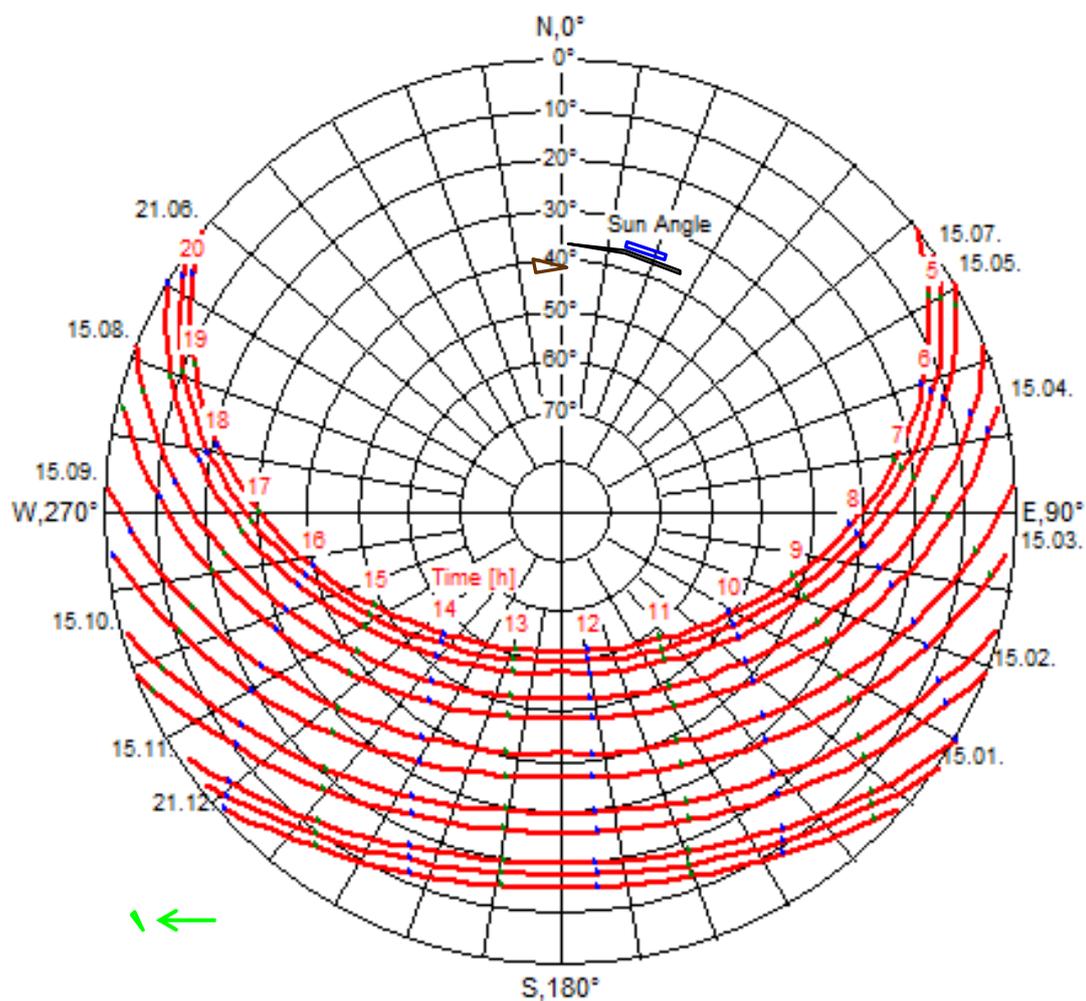


Bild 2: Monatlicher Sonnenstand (Sonnenhöhe und -richtung) für Grebenau mit γ -Flächen zur Bewertung der Vorbeifahrt auf der L 3161 an der PV-Anlage Grebenau

Blickpunkt eines Kraftfahrers bei

- : Markierung A zu TF1, Fahrtrichtung Südwest (s. ←)
- : Markierung B zu TF2, Fahrtrichtung Nordost
- : Markierung C zu TF1, Fahrtrichtung Nordost
- : Markierung C zu TF2, Fahrtrichtung Nordost

Quelle des Sonnenstandsdiagramms: www.stadtklima-stuttgart.de;
Copyright: © Lohmeyer GmbH & Co. KG, Karlsruhe 2007