

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 2. 5. 2023

G u t a c h t e n
G25/2023
zur Frage der eventuellen Blend- und Störfwirkung von Straßennutzern
durch eine am Einsiedlhof/Bodenkirchen zu installierende Photovoltaikanlage

(Dieses Gutachten besteht aus 9 Seiten
und einem Anhang mit weiteren 2 Seiten)

1 Auftraggeber

Den Auftrag zur Erarbeitung des Gutachtens erteilte die Elektro Ecker GmbH & Co. KG in 84036 Landshut.

Auftragsdatum: 22. 3. 2023

2 Auftragsache

Die Fa. Elektro Ecker plant die Errichtung einer Freiflächen-Photovoltaikanlage am Einsiedlhof, Gemeinde 84155 Bodenkirchen. Es stellt sich die Frage, ob Nutzer der in der Nähe befindlichen Bundesstraßen 299 und 388 und der an der PV-Anlage vorbeiführenden Bergstraße 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 $\alpha = 0^\circ$ 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 gegen Ost oder West	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/ Mitte Fensterfläche - PV-Anlage	τ
Differenz $\alpha - \tau$ (horizontale Blickrichtung Kraftfahrer/Anwohner - PV-Anlage	ψ
vertikaler Blickwinkel Kraftfahrer/Anwohner - PV-Anlage	λ

4 Informationen zur Photovoltaik-Anlage

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

- Lageplan/Bebauungsplan
- Modulbelegungsplan
- Modultischquerschnitt
- Datenblatt Modultyp
- Fotos
- Mündliche und Emailinformationen durch Frau Franziska Kraus, Fa. Elektro Ecker

Die Geländehöhen der PV-Anlage und der Straßen, die Entfernungen und horizontalen Winkel wurden mit google earth ermittelt. Der monatliche Sonnenstand für Bodenkirchen (Sonnenhöhe und -azimut) wurde mit der Website www.stadtklima-stuttgart.de bestimmt. Die Berechnung der Winkel des reflektierten Sonnenlichts erfolgte mit eigenen Excel-Programmen.

5 Beschreibung der PV-Anlage Einsiedlhof und topografische Daten

5.1 Die PV-Anlage

Die PV-Anlage wird auf einem bisher landwirtschaftlich genutzten Gelände errichtet, s. Bild 1 im Anhang. Die Anlage besteht aus vier unregelmäßig geformten Teilflächen TF 1 bis TF 4; das Gelände steigt von Süd nach Nord von 498 m über Normalhöhen-null (NHN) auf 502 m und von Ost nach West von 492 m auf 503 m an. An der Südecke von TF 1 befindet sich eine Senke mit einer Tiefe von 498 m. Die PV-Anlage wird im Nordosten von der Bergstraße, im Nordwesten und Westen von Wald, im Süden und Osten von Ackerland und an der Ostecke vom Einsiedlhof begrenzt.

Es werden Module des Herstellers Heckert Solar, Typ NEMO 4.1 80 M mit einer Moduleistung von $400 W_{\text{peak}}$ eingesetzt. Die AC-Nennleistung beträgt ca. $9,8 MW_{\text{peak}}$. Die Module werden auf sogenannten Modultischreihen montiert, deren maximale Länge der jeweils verfügbaren Breite des PV-Anlagengeländes entspricht. Gemäß aktueller Planung werden die Modultischreihen in Ost-West-Richtung ausgerichtet. Die Modulneigung gegen Süd ε beträgt 15° . Die Modulober- und unterkante befinden in einer Höhe von 2,80 m bzw. 1,00 m über Geländeoberkante (GOK). Der um die PV-Anlage zu errichtende Zaun hat eine Höhe von 2,20 m.

5.2 Die untersuchten Straßen

5.2.1 B 388

Von Westen kommend, führt die B 388 südöstlich an der PV-Anlage in Fahrtrichtung Nordost ($\tau = \text{ca. } 62^\circ$) vorbei. Der kleinste Abstand zur PV-Anlage beträgt ca. 380 m (Südspitze von TF 3). Zwischen B 388 und PV-Anlage befindet sich jedoch fast im

ganzen interessierenden Abschnitt Wald, der Blickwinkel θ von der B 388 zur PV-Anlage ist zudem größer als 20° ; gemäß Kapitel 6 müssen Straßenabschnitte, von denen aus der Blickwinkel eines Kraftfahrers $\theta > 20^\circ$ ist, nicht in die Blenduntersuchungen einbezogen werden.

5.2.2 B 299

Von Osten kommend, verläuft die B 299 zunächst bis zur Überquerung der B 388 (Markierung 1 in Bild 1) in Fahrtrichtung Nordwest ($\tau = \text{ca. } 292^\circ$). Nach der Überquerung wird die Straße in einem weiten Bogen nach links geführt und mündet in die B 388 ein. Die PV-Anlage ist vor der Brücke und auch ab Brückenmitte bis zur Markierung 2 wegen leichter Hügel zwischen Straße und PV-Anlage nicht einsehbar. Der freie Blick zur PV-Anlage ist erst bei Fahrt durch die Rampe zur B 388, etwa ab Markierung 3 (Höhe 490 m), gegeben.

Für die Gegenrichtung, Ausfahrt von B 388 über die Rampe in Richtung B 299 oder Bergstraße, ist der immer Blickwinkel $\theta > 20^\circ$, diese Situation muss daher ebenfalls nicht untersucht werden.

5.2.3 Bergstraße

Ca. 60 m westlich von Markierung 3 zweigt die Bergstraße von der B 299 ab und führt in Fahrtrichtung Nordwest ($\tau = \text{ca. } 304^\circ$) unmittelbar an der Nordgrenze der PV-Anlage vorbei. Die Fahrbahnoberkante liegt bei der Abzweigung bei 490 m und steigt bis zur Markierung 5 auf 498 m. Der nördliche Teil von TF 1 ist durch die Gebäude des Einsiedlhofes verdeckt.

In Fahrtrichtung Südost ist die PV-Anlage erst ab Ende des Waldes bei Markierung 6 und dann bis zur Vorbeifahrt an der Anlage erkennbar.

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 **physiologischer 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 Blendgefahr 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 verkehrsgefährdende 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 (z.B. 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 Bodenkirchen 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 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 mittlere Augenhöhe eines 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 Sonnenlichtre-

flexion zum Kraftfahrer erhöht werden kann. Es kann angenommen werden, dass der Fahrer bei einer Fahrt auf einer Straße 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. Die γ -Flächen müssen nur die Teilfläche der PV-Anlage berechnet werden, bei der der Blickwinkel θ des Kraftfahrers zur PV-Anlage maximal 20° beträgt, da nach Abschnitt 6 unter größeren Blickwinkeln betrachtete Teilflächen keine Blendung erzeugen.

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 $\varepsilon = 15^\circ$ 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 Bodenkirchen eingetragen. Da die Berechnungen für die gesamte Fläche der PV-Anlage von einem festen Beobachterstandort aus durchgeführt werden, 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.

7.3 Zeitliche Wahrscheinlichkeit der Sonnenlichtreflexion ins Auge eines Kraftfahrers

7.3.1 B 299

Fahrtrichtung West: Nach den Erläuterungen in Abschnitt 5.2.2 ist die PV-Anlage erst ab Markierung 3 einsehbar. Fährt der Kraftfahrer weiter in Richtung der B 388, wird der Blickwinkel sofort $> 20^\circ$. Es genügt also, in dieser Fahrtrichtung die Berechnungen für Markierung 3 durchzuführen. In Bild 2 ist die berechnete γ -Fläche für den Blickpunkt eines Kraftfahrers in grüner Farbe eingezeichnet, der sich bei Markie-

zung 3 in Fahrtrichtung West befindet. Die γ -Fläche hat Schnittpunkte mit den roten Sonnenstandslinien, Sonnenlicht kann von der PV-Anlage etwa vom 12. März bis 12. April und vom 3. September bis 3. Oktober zum Kraftfahrer reflektiert werden.

Die Tatsache, dass von der PV-Anlage in dieser Situation Sonnenlicht zum Kraftfahrer reflektiert wird, ist aber nicht gleichbedeutend damit, dass der Kraftfahrer auch geblendet wird.

In den „Hinweisen zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI)“ vom 13. 09. 2012 heißt es in Anhang 2, Kapitel 4: *„Bei streifendem Einfall der Sonne auf ein Photovoltaikmodul dominiert der direkte Blick in die Sonne die Blendwirkung. Erst ab einem Differenzwinkel von ca. 10° kommt es zu einer zusätzlichen Blendung durch das Modul. In den Immissionszeiten sollten deshalb nur solche Konstellationen berücksichtigt werden, in denen sich die Blickrichtungen zur Sonne und auf das Modul um mindestens 10° unterscheiden“*. Die LAI-Hinweise behandeln zwar die Blendung durch PV-Anlagen von Personen, die sich in Gebäuden aufhalten, der Differenzwinkel Δ von 10° kann aber auch bei der Blendungsbewertung für Kraftfahrer angewendet werden. Für den Blickpunkt eines Kraftfahrers bei Markierung 3 wurde für den größten auftretenden Blickwinkel von 10° (oberes Ende der grün gezeichneten γ -Fläche, die Sonnenlichtreflexion erfolgt am 12. April und am 3. September) der Differenzwinkel Δ zu 6,4° ermittelt. Blendung eines Kraftfahrers tritt nicht auf.

Für diese Blicksituation wurde zusätzlich die Intensität des reflektierten Sonnenlichts berechnet. Bei 10° wurde der Reflexionsgrad ρ der PV-Module für das einfallende Sonnenlicht zu 0,792 (79,2 %) ermittelt, um diesen Faktor verringert sich die Intensität des reflektierten Sonnenlichts. Zwischen den Modulreihen befinden sich Lücken, um die gegenseitige Abschattung der Modulreihen zu minimieren. Sonnenlicht kann natürlich nur von den Modulen, aber nicht von den Lücken reflektiert werden. Die Intensität des reflektierten Sonnenlichts verringert sich daher weiter um den Faktor $f_L = (\text{Abstand Modulreihen} - \text{Lückenbreite}) / \text{Abstand Modulreihen}$. Im vorliegenden Fall ist $f_L = 0,66$. Bei einer Entfernung von ca. 500 m von der PV-Anlage zum Kraftfahrer macht sich bereits die atmosphärische Trübung bemerkbar. Den Reduktionsfaktor f_T kann man mit 0,9 ansetzen. Aus Bild 4 kann man ablesen, dass die Reflexion zum Kraftfahrer ca. 25 min vor Sonnenuntergang erfolgt. Zu diesem Zeitpunkt beträgt die Beleuchtungsstärke (Intensität) des direkten Sonnenlichts E_D ca. 5000 lx (Lux). Damit ergibt sich die Beleuchtungsstärke des reflektierten Sonnenlichts zu

$$E_R = E_D \cdot \rho \cdot f_L \cdot f_T = 2352 \text{ lx.}$$

Der Wert von 2352 lx entspricht der Beleuchtungsstärke des direkten Sonnenlichts etwa 12 min vor Sonnenuntergang. Bekanntlich kann man so kurz vor Sonnenuntergang direkt in die Sonne schauen, ohne geblendet zu werden.

Damit führen beide Bewertungsmethoden zu dem Schluss, dass der Kraftfahrer in dieser Situation von der PV-Anlage nicht geblendet werden kann.

Am 12. März bzw. 3. Oktober wird das untere Ende der grün gezeichneten γ -Fläche erreicht; an diesen Tagen wird das Sonnenlicht bei Sonnenuntergang zum Kraftfahrer reflektiert. Naturgemäß ist die Beleuchtungsstärke des reflektierten Sonnenlichts

unmittelbar bei Sonnenuntergang so schwach, dass keine Kraftfahrerblendung auftritt (falls der Kraftfahrer das reflektierte Sonnenlicht überhaupt wahrnimmt).

Fahrtrichtung Ost: Bereits ab der Abzweigung der B 299 von der B 388 ist der Blickwinkel $\theta > 20^\circ$ und steigt weiter, bis der Kraftfahrer bei Markierung 3 die PV-Anlage vollständig im Rücken hat. Diese Fahrtrichtung muss deshalb nicht untersucht werden.

Fazit: Bei Fahrten auf der Rampe der B 299 zur B 388 tritt keine Kraftfahrerblendung auf.

7.3.2 B 388

Bei Fahrten auf der B 388 ist die PV-Anlage in Fahrtrichtung Ost durch Wald komplett verdeckt. In Fahrtrichtung West ist die PV-Anlage vor der Verknüpfung mit der B 299 wegen der Tieflage der B 388 nicht einsehbar, nach Unterquerung der B 299 ist der Blickwinkel $\theta > 20^\circ$, ein Blendrisiko tritt auf der B 388 daher nicht auf.

7.3.3 Bergstraße

Fahrtrichtung West: Das Sonnenlicht kann auf der Bergstraße nur im Abschnitt zwischen den Markierungen 4 und 5 zum Kraftfahrer gelenkt werden, da in den Abschnitten östlich von Markierung 4 und westlich von Markierung 5 der Blickwinkel $\theta > 20^\circ$ ist. Die in Bild 2 schwarz gezeichnete γ -Fläche für einen Kraftfahrerblickpunkt bei Markierung 4 hat Schnittpunkte mit den roten Sonnenstandslinien, Sonnenlicht kann von der PV-Anlage etwa vom 17. April bis 1. Mai und vom 14. bis 29. August zum Kraftfahrer reflektiert werden.

Das Blendrisiko wird wieder nach den beiden eben beschriebenen Bewertungsmethoden ermittelt. Für den Blickpunkt eines Kraftfahrers bei Markierung 4 liegt der Blickwinkel θ zwischen 16° und 20° , der Differenzwinkel Δ zwischen $6,9^\circ$ und $8,8^\circ$ und die Beleuchtungsstärke E_R des reflektierten Sonnenlichts zwischen 3143 lx und 3578 lx. Diese Werte für E_R entsprechen der Intensität des direkten Sonnenlichts etwa 14 min bis 15 min vor Sonnenuntergang. Diese Beleuchtungsstärken des reflektierten Sonnenlichts sind immer noch so gering, insbesondere unter Berücksichtigung der Blendwinkel am Rande des überhaupt zu untersuchenden Blendwinkelbereiches und des geringen Differenzwinkels Δ , dass damit keine Kraftfahrerblendung verbunden ist. Diese Bewertung des Blendrisikos ist repräsentativ für den ganzen Streckenabschnitt von Markierung 4 bis 5.

Fazit: In Fahrtrichtung West kann ein Kraftfahrer von der PV-Anlage nicht geblendet werden.

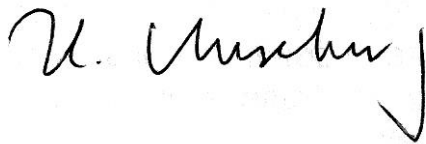
Fahrtrichtung Südost: Die PV-Anlage ist erst ab Ende des Waldes bei Markierung 6 sichtbar. Markierung 6 ist repräsentativ für die Fahrt auf der Bergstraße bis zur Vorbeifahrt bis zur Vorbeifahrt an der PV-Anlage. Die für diesen Kraftfahrerblickpunkt berechnete γ -Fläche ist in Bild schwarz eingezeichnet, sie liegt unterhalb der Sonnenstandslinien, sogar außerhalb des Sonnenstandsdiagramms und hat keine Schnittpunkte mit den roten Sonnenstandslinien, Sonnenlicht kann von der PV-

Anlage nicht zum Kraftfahrer auf der Bergstraße in dieser Fahrtrichtung reflektiert werden, eine Kraftfahrerblendung ist nicht möglich.

8 Zusammenfassung

Es wurde untersucht, ob von der geplanten PV-Anlage Einsiedlhof Blendwirkungen für Kraftfahrer auftreten, die die in der Nähe befindlichen Bundesstraßen 299 und 388 oder die Bergstraße befahren. Berechnungen ergeben, dass zwar teilweise Sonnenlicht von der PV-Anlage zu einem Kraftfahrer auf den genannten Straßen reflektiert werden kann; das reflektierte Sonnenlicht wirkt auf den Kraftfahrer aber aus Blickwinkeln ein, die am Rande des überhaupt zu berücksichtigenden Blickwinkelbereiches bis 20° liegen, die Beleuchtungsstärken (Intensitäten) des reflektierten Sonnenlichts sind deutlich geringer als die Beleuchtungsstärken des direkten Sonnenlichts, das ja gleichzeitig und aus Differenzwinkeln von weniger als 10° auf den Kraftfahrer einwirkt, so dass die Sonnenlichtreflexion zum Kraftfahrer insgesamt mit keiner verkehrsgefährdenden Blendung verbunden ist.

Gegen die Errichtung der PV-Freiflächenanlage am Einsiedlhof, Gemeinde 84155 Bodenkirchen ist aus Sicht des Unterzeichners nichts einzuwenden.



Dieses Gutachten wurde nach bestem Wissen und Gewissen angefertigt.

Anhang

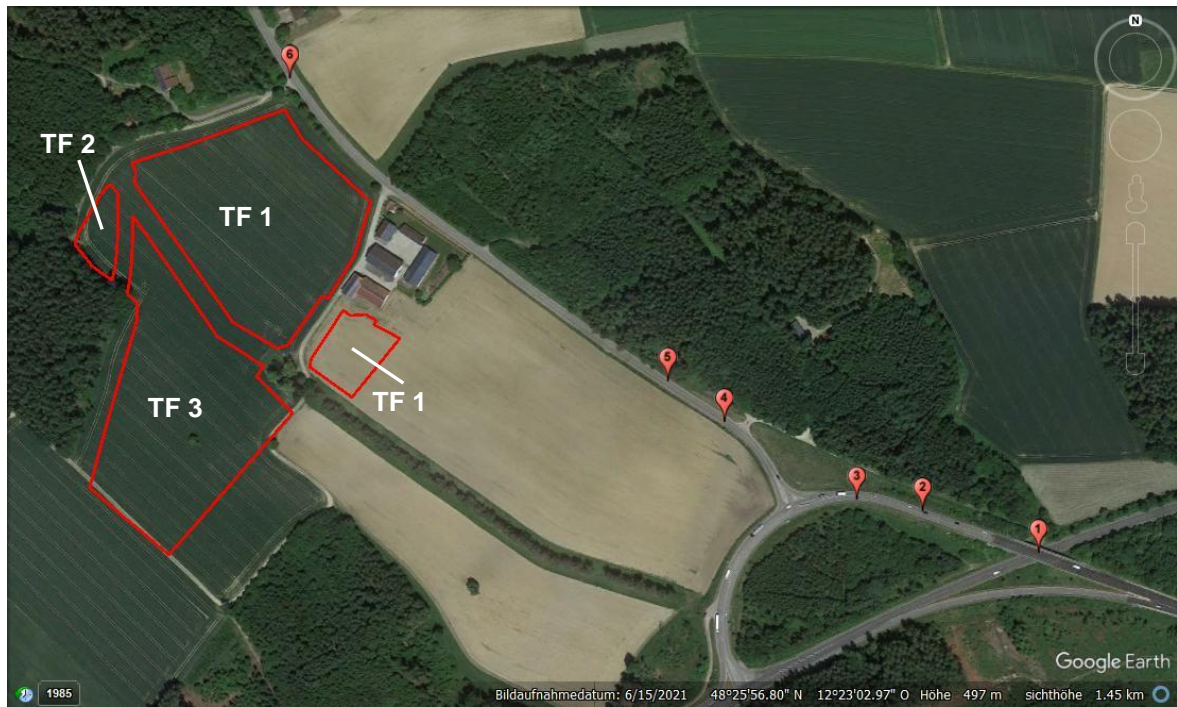


Bild 1: Übersicht der geplanten PV-Anlage Einsiedlhof mit den Teilflächen TF 1 bis TF 4 und untersuchten Kraftfahrer-Blickpunkten 1 bis 6

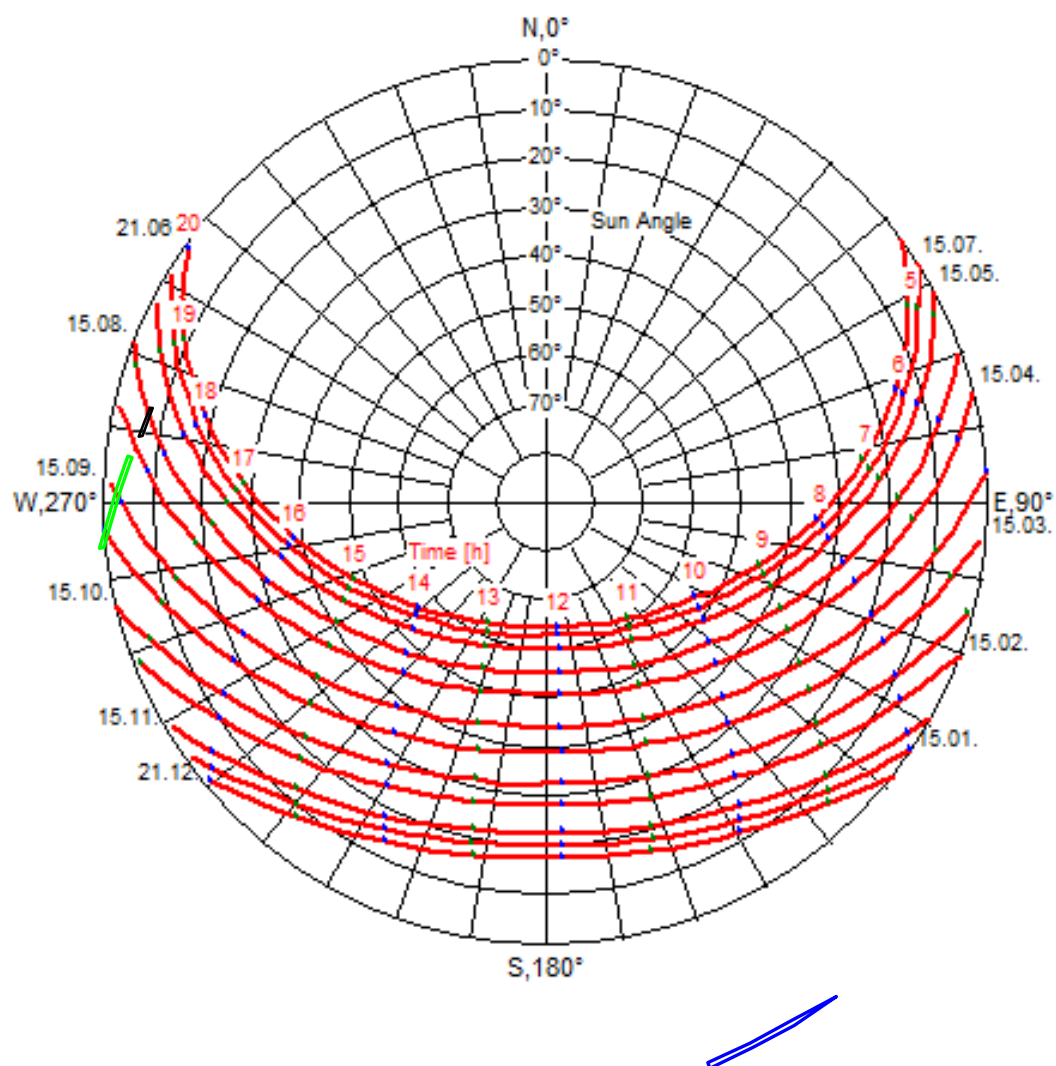


Bild 2: Monatlicher Sonnenstand (Sonnenhöhe und -richtung) für Bodenkirchen mit γ -Flächen zur Bewertung der Vorbeifahrt eines Kfz an der geplanten PV-Anlage Einsiedlhof

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

- : Blickpunkt eines Kraftfahrers bei Markierung 3, Rampe B 388/B 299, Fahrtrichtung West
- : Blickpunkt eines Kraftfahrers bei Markierung 4, Bergstraße, Fahrtrichtung West
- : Blickpunkt eines Kraftfahrers bei Markierung 6, Bergstraße, Fahrtrichtung Ost