

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

Berlin, den 5. Dezember 2024

G u t a c h t e n

G85/2024

zur Frage der eventuellen Blend- und Störwirkung von Lokführern, Straßennutzern und Anwohnern durch eine in der Ortslage Lauben zu installierende Photovoltaik-Freiflächenanlage

(Dieses Gutachten besteht aus 10 Seiten
und einem Anhang mit 5 weiteren Seiten)

1 Auftraggeber

Den Auftrag zur Erarbeitung des Gutachtens erteilte die SolarEnergie Allgäu GmbH & Co. KG, Dieselstraße 9, in 87437 Kempten.

2 Auftragsache

Die SolarEnergie Allgäu plant die Errichtung einer Photovoltaik-Freiflächenanlage bei Lauben, die sowohl in unmittelbarer Nähe der Illertalbahn als auch mehrerer Straßen liegt. Es besteht die Besorgnis, dass Lokführer bzw. Straßennutzer bei der Vorbeifahrt an der PV-Anlage durch Sonnenlicht, das von der Oberfläche der PV-Module reflektiert wird, geblendet oder in sonst unzumutbarer Weise gestört werden könnten. Des Weiteren soll geklärt werden, ob Bewohner von Wohn- und Gewerbegebäuden (Immissionsorten) in der Umgebung der PV-Anlage durch von der PV-Anlage reflektiertes Sonnenlicht gestört oder belästigt werden. Dieses Gutachten dient der Klärung 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 Zuges/eines Kfz	α
Orientierung der Modultischreihen	α_M
Orientierung der Modultischreihen	ν
vertikaler Winkel des von den Solarmodulen reflektierten Lichts	δ

im Raum liegender Blickwinkel (gebildet durch die Blickrichtung eines Beobachters - Richtung reflektiertes Sonnenlicht)	θ
Neigung der PV-Module gegen Süd	ε
horizontaler Blickwinkel Beobachter - PV-Anlage	τ
Differenz $\alpha - \tau$ (horizontale Blickrichtung Beobachter - PV-Anlage)	ψ
vertikaler Blickwinkel Beobachter - PV-Anlage	λ
vertikaler Blickwinkel Beobachter - vor ihm liegende Bahntrasse/Fahrbahn	σ

4 Topografische Daten und Angaben zur Photovoltaik-Anlage

Die topografischen Daten und die Beschreibung der Anlage beruhen auf folgenden Informationen, die von der SolarEnergie Allgäu zur Verfügung gestellt wurden:

- Lageplan der PV-Anlage
- Belegungsplan der PV-Anlage
- Modultischquerschnitt
- Fotos

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

4.1 Beschreibung der PV-Anlage, topografische Daten

Die zweiteilige PV-Anlage wird nordöstlich von Lauben auf einem bisher landwirtschaftlich genutzten Gelände errichtet (s. Bild 1 im Anhang). Die Geländeoberkante (GOK) der Nordfläche steigt West nach Ost von 691 m über Normalhöhennull (NHN) auf 699 m, die GOK der Südfläche liegt auf einer Höhe von 700 m \pm 1 m.

Gemäß momentaner Planung sollen Module des Herstellers Longi, Typ LR5-72HPH-540M mit einer Leistung von 540 W_{peak} je Modul installiert werden. Die Gesamtleistung beträgt 22,21 MW_{peak}. Die Module werden auf Modultischreihen montiert, die in Ost-West-Richtung ausgerichtet sind. Die Modulneigung nah Süd beträgt bei der Nordfläche 20° und bei der Südfläche 15°. Die Höhen der Modulober- und -unterkante betragen 2,83 m und 0,80 m über GOK.

4.2 Die Bahntrasse

Die eingleisige Bahnstrecke verläuft westlich der PV-Anlage geradlinig etwa von Nordwest nach Südost, der Fahrtrichtungswinkel α beträgt ca. 155,2°/355,2°. Die Schienenoberkante (SOK) liegt bei Markierung A (s. Bild 1) auf 687 m und steigt bis zur Vorbeifahrt an der Nordfläche auf 688 m. Von der Bahnstrecke ist in Fahrtrichtung Süd ein freier Blick auf den westlichen Teil der Nordfläche gegeben, während in Fahrtrichtung Nord die Nordfläche wegen Bebauung und eines Waldstücks von der Bahntrasse aus nicht sichtbar ist. Die Südfläche ist wegen der Bebauung und des Waldstücks unter blendkritischen Blickwinkeln eines Lokführers in beiden Fahrtrich-

tungen von der Bahntrasse aus nicht sichtbar. Deshalb muss nur der Lokführerblickpunkt bei Markierung A untersucht werden.

4.3 Die BAB A 7

Die Straße verläuft im Bereich der PV-Anlage etwa in Nord-Süd-Richtung. Der Fahrtrichtungswinkel α beträgt bei Markierung D ca. 155° und dreht bis Markierung F auf 179° . Die Fahrbahnoberkante (FOK) steigt von D bis F von 701 m auf 704 m. Von der Autobahn ist ein freier Blick auf die PV-Anlage gegeben.

4.4 Die OA 19

Diese Straße verläuft parallel zur und unmittelbar neben der Bahntrasse. Die in Abschnitt 4.2 angegebenen Daten und Blickbedingungen eines Lokführers gelten daher auch für die Blickbedingungen eines Kraftfahrers.

4.5 Gemeindeverbindungsstraße

Nördlich der PV-Anlage verläuft eine Straße, die von Unterwengen kommend, in Fahrtrichtung West in die OA 19 einmündet. Der Fahrtrichtungswinkel der leicht kurvigen Straße liegt im Bereich $68^\circ/248^\circ$ bis $111^\circ/291^\circ$. Die FOK steigt von C bis B von 761 m auf 697 m. Von der Straße ist ein freier Blick auf die PV-Anlage gegeben.

4.6 Die Immissionsorte

Als potentielle Immissionsorte wurden zwei Wohnhäuser identifiziert. Die Adressen und Geländehöhen dieser Immissionsorte sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Bei den anderen Gebäuden in der Umgebung von Oberbühlers 1 handelt es sich nur um Wirtschaftsgebäude ohne Fenster in Richtung PV-Anlage.

Immissionsort	Adresse	GOK	Fenstermitte des höchsten Geschosses über GOK	Gesamthöhe über GOK
1	Kassier 1	689 m	Erdgeschoss: 2,50 m	691,5 m
2	Oberbühlers 1	696 m	Obergeschoss: 5,50 m	701,5 m

Tabelle 1: Geländehöhen der Immissionsorte

5 Beschreibung der eventuell von PV-Anlagen ausgehenden Blend- und Störfunktionen für Lokführer und 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 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 (z.B. Auge des Kraftfahrers/Lokführers zur PV-Anlage) abhängig. Dieser Blickwinkel wird auch als Blendwinkel bezeichnet. **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 für Verkehrsteilnehmer erzeugt werden, gibt es überhaupt keine Regelwerke oder Vor-

schriften. 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 **Blendwinkel $5^\circ \leq \theta \leq 10^\circ$** , und besonders kritisch Winkel $\theta \leq 5^\circ$, wenn also die störende Lichtquelle direkt im Gesichtsfeld des Beobachters liegt. Ein Lokführer/Kraftfahrer hat nicht mehr die Möglichkeit, diese Lichtquelle „auszublenden“: Er muss den vor ihm liegende Gleiskörper bzw. die Straße und dessen Umgebung beobachten und alle Licht- und sonstigen Signale sowie die Anzeigeinstrumente in der Lok oder 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 der Blendlichtquelle ins Verhältnis zur Beleuchtungsstärke der Sonne gesetzt werden.

6 Berechnung des Blend- und Störpotentials der geplanten PV-Anlage für Lokführer und Kraftfahrer

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 das Sichtfeld eines Lokführers oder Kraftfahrers gelangt. Ist eine gewisse Wahrscheinlichkeit gegeben, muss die Intensität des ins Auge des Lokführers/Kraftfahrers reflektierten Lichts ermittelt werden. Das Blendrisiko insgesamt ergibt sich aus der Bewertung der Wahrscheinlichkeit des Auftretens und der Intensität des ins Auge eines Lokführers/Kraftfahrers reflektierten Sonnenlichts.

Die Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines Blendrisikos kann mithilfe eines so genannten Sonnenstandsdiagramms ermittelt werden. Die Bilder 2 bis 6 zeigen das Sonnenstandsdiagramm für Lauben 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 θ zwischen Lokführer/Kraftfahrer und PV-Anlage ermittelt werden. θ ergibt sich aus folgender Formel:

$$\cos \theta = \cos \sigma \cdot \cos \lambda \cdot \cos \psi$$

σ ist der Winkel, gebildet durch die Höhe des Lokführer-/Kraftfahrerauges h_F über dem Gleisbett/der Fahrbahn und die Entfernung zum Blickpunkt auf dem Gleiskörper/der Fahrbahn. Die Augenhöhe h_F eines Lokführers beträgt bis zu 3,30 m, eines Lkw-Fahrers bis zu 2,50 m. Es kann angenommen werden, dass der Lokführer/Kraftfahrer normalerweise auf einen Punkt auf einen Punkt des vor ihm liegenden Gleiskörpers/der Fahrbahn blickt, der etwa 100 m vor ihm liegt. Daraus ergibt sich ein vertikaler Winkel σ von ca. $-2,3^\circ$ (Blick leicht nach unten), unter dem Lokführer auf den Gleiskörper blickt, bzw. ein Winkel σ von ca. $-1,4^\circ$, unter dem der Kraftfahrer auf die Straße blickt.

λ ist der vertikale Winkel, gebildet durch die Differenz der Höhe Lokführer-/ Kraftfahrerauge - Höhe der Mitte PV-Modul und die Entfernung Lokführer-/ Kraftfahrerauge - PV-Modul für einen bestimmten Punkt der PV-Anlage.

ψ ist der horizontale Winkel zwischen der momentanen Fahrtrichtung α und der horizontalen Blickrichtung τ Lokführer-/Kraftfahrerauge - bestimmter Punkt der PV-Anlage. Nähert sich ein Zug/ein Kfz der PV-Anlage, ändern sich ständig sowohl die Blickrichtung τ des Lokführers/Kraftfahrers zur Anlage als auch die Fahrtrichtung α auf der Bahnstrecke und den Straßen. Mit der Änderung von τ und α ändert sich auch der Winkel ψ mit zunehmender Annäherung an die PV-Anlage.

Damit Sonnenlicht in Richtung Lokführer-/Kraftfahrerauge reflektiert werden kann, muss der vertikale Blickwinkel des Lokführers/Kraftfahrers 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 jeden Punkt der Annäherung eines Zuges/eines Kfz an die PV-Anlage werden nun mittels google earth die Winkel τ , α , ψ bestimmt, dann wird nach obiger Formel θ berechnet. Mit den weiteren Parametern Neigung der Module $\varepsilon = 15^\circ$ oder 20° nach Süd, der Orientierung ν der Modultischreihen, der Fahrtrichtung τ und dem vertikalen Winkel λ werden dann die trigonometrischen Berechnungen zur Ermittlung des Sonnenazimuts α und des vertikalen Sonnenhöhenwinkels γ durchgeführt, unter denen das Sonnenlicht auf die PV-Module fallen müsste, damit das reflektierte Licht ins Auge eines Lokführers/Kraftfahrers fallen kann.

Da die Winkel α/γ für die gesamte Fläche oder eine Teilfläche der PV-Anlage bestimmt werden, bilden die α/γ -Werte eine Fläche in Form eines Polygonzuges. Diese sogenannten γ -Flächen werden in das Sonnenstandsdiagramm der Bilder 2 bis 5 eingetragen; haben sie Schnittmengen mit den roten Sonnenstandslinien, fällt Sonnenlicht ins Lokführer-/Kraftfahrerauge. Die dazugehörigen Jahres- und Tageszeiten können aus dem Polardiagramm abgelesen werden. Bei fehlenden Schnittmengen ist keine Sonnenlichtreflexion von der PV-Anlage zu einem Lokführer/Kraftfahrer möglich. Berücksichtigt werden alle Blickwinkel Lokführer/Kraftfahrer - PV-Anlage $\theta \leq 20^\circ$, weil nach Abschnitt 6 nur in diesem Winkelbereich reflektiertes Sonnenlicht störende Blendung erzeugen kann.

ANMERKUNG: Das Bundesfernstraßenamt verlangt, dass die Blendbewertung für Blickwinkel eines Kraftfahrers auf Bundesfernstraßen bis $\theta = 30^\circ$ vorgenommen werden soll. Die nachfolgenden Berechnungen für die BAB A 7 werden daher bis 30° durchgeführt.

7 Berechnungsergebnisse Illertalbahn

Wie in Abschnitt 4.2 ausgeführt, muss nur der Lokführerblickpunkt bei Markierung A untersucht werden. In Bild 2 ist die berechnete γ -Fläche für diesen Blickpunkt eingezeichnet. Sie liegt unterhalb der Sonnenstandslinien, sogar außerhalb des Polardiagramms und hat keine Schnittpunkte mit den Sonnenstandslinien, Sonnenlichtreflexion von der Nordfläche und Lokführerblendung sind in dieser Fahrtrichtung gemäß den Erläuterungen in Abschnitt 6 nicht möglich.

Dieser Sachverhalt gibt die Tatsache wieder, dass ein Beobachter, der von Markierung A in Richtung Südosten zur PV-Anlage blickt, nur die Modulrückseiten sieht und dass das Sonnenlicht von den Modulflächen immer über den Beobachter hinweg reflektiert wird.

8 Berechnungsergebnisse Straßen

8.1 Gemeindeverbindungsstraße

Als Blickpunkte eines Kraftfahrers zur Nordfläche wurden die Markierungen B und C ausgewählt. Von diesen Blickpunkten aus hat ein Kraftfahrer die Nordwest- bzw. Nordostecke der Nordfläche genau im Blickfeld (Blickwinkel $\theta < 2^\circ$). Diese Blickpunkte stellen daher den worst case für die Vorbeifahrt an der Nordfläche dar. In Bild 3 sind die berechneten γ -Flächen für diese Blickpunkte in brauner bzw. grüner Farbe eingezeichnet. Sie liegen wieder unterhalb der Sonnenstandslinien/außerhalb des Polardiagramms, damit ist auch für einen die Gemeindeverbindungsstraße befahrenden Kraftfahrer keine Blendung durch die Nordfläche möglich,

8.2 OA 19

Da diese Straße parallel zur Bahntrasse verläuft, muss nur ein Kraftfahrerblickpunkt bei Markierung G zur Nordfläche in Fahrtrichtung Süd untersucht werden. Die für diesen Blickpunkt berechnete γ -Fläche ist in Bild 3 in blauer Farbe eingezeichnet. Sie liegt ebenfalls unterhalb der Sonnenstandslinien/außerhalb des Polardiagramms, damit ist auch für einen die OA 19 befahrenden Kraftfahrer Blendung durch die Nordfläche ausgeschlossen. Diese γ -Fläche unterscheidet sich von der γ -Fläche für den Blickpunkt von der Bahntrasse zur Nordfläche nur um wenige Zehntel Grad, erklärbar dadurch, dass die Markierungen A und G nur wenige Meter voneinander entfernt liegen.

8.3 BAB A 7

Als repräsentative Blickpunkte für die Vorbeifahrt an der Nordfläche wurden die Markierungen D und E und für die Vorbeifahrt an der Südfläche die Markierungen E und F gewählt. Die für diese vier Blickpunkte berechneten γ -Flächen sind in Bild 4 wiedergegeben. Die γ -Flächen für die Fahrtrichtung Süd liegen unterhalb der Sonnenstandslinien

nien/außerhalb des Polardiagramms, die γ -Flächen für die Fahrtrichtung Nord oberhalb der Sonnenstandslinien. Alle γ -Flächen haben keine Schnittpunkte mit den Sonnenstandslinien. Damit kann ein Kraftfahrer auf der Autobahn in beiden Fahrtrichtungen durch die PV-Anlage Lauben nicht geblendet werden.

9 Blend- und Störfwirkung von sich in Gebäuden aufhaltenden Personen

Lichtimmissionen gehören nach dem Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) formal zu den schädlichen Umwelteinwirkungen, wenn sie nach Art, Ausmaß oder Dauer geeignet sind, Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit oder für die Anwohner herbeizuführen. Weitere Ausführungen hierzu macht das BImSchG jedoch nicht. Die von PV-Freiflächenanlagen verursachte Blend- und Störfwirkung von Personen, die sich in Wohn- oder Gewerbegebäuden aufhalten, wird im Allgemeinen nach den „Hinweisen zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen“ der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) vom 13. 9. 2012, Anhang 2, (Stand 3. 11. 2015) vorgenommen (im Folgenden „LAI-Hinweise“ genannt). Die Blend- und Störfwirkung = Lichtimmission ist durch die Zeit definiert, in der Sonnenlicht von der PV-Anlage auf die Fensterflächen der betroffenen Gebäude (Immissionsorte) auftrifft. Diese Zeit, damit ist die astronomisch maximal mögliche Zeit von Sonnenaufgang bis Sonnenuntergang gemeint, darf täglich 30 min und im Kalenderjahr 30 Stunden nicht überschreiten („30 Minuten-/30 Stunden-Regel“).

Die LAI-Hinweise gelten für „schutzwürdige Räume“. Dazu gehören

- Wohnräume
- Schlafräume, einschließlich Übernachtungsräume in Beherbergungsstätten und Bettenräume in Krankenhäusern und Sanatorien
- Unterrichtsräume in Schulen, Hochschulen und ähnlichen Einrichtungen
- Büroräume, Praxisräume, Arbeitsräume, Schulungsräume und ähnliche Arbeitsräume.

Lt. Abschnitt 7e. der LAI-Hinweise sind die Sonne als punktförmig und die Solarmodule als ideal verspiegelt zu betrachten, so dass die Berechnungen gemäß dem Reflexionsgesetz Einfallswinkel = Ausfallswinkel durchgeführt werden können. Tatsächlich wird das Sonnenlicht von den üblicherweise verwendeten Solarmodulen aber auch teilweise gestreut reflektiert. Das führt dazu, dass das Sonnenlicht z.T. spiegelnd (Kernreflex) und z.T. gestreut (Streureflex) reflektiert wird. Der Streureflex kann je nach Entfernung Beobachter - PV-Anlage und Grad der Streuwirkung bis zu 40 min vor dem Kernreflex auftreten und erst bis zu 40 min nach dem Kernreflex verschwinden. Die Intensität des Streureflexes ist aber immer deutlich geringer als die Intensität des Kernreflexes und erzeugt daher keine nennenswerte Störfwirkung. Alle durchzuführenden Berechnungen beziehen sich daher nur auf den Kernreflex, die zusätzliche Reflexionszeit durch den Streureflex wird nach den LAI-Hinweisen nicht berücksichtigt.

In den LAI-Hinweisen wird ausgeführt: „*Wirkungsuntersuchungen oder Beurteilungsvorschriften zu diesen Immissionen sind bisher nicht vorhanden.*“ Mangels solcher Untersuchungen wurde der Inhalt der Regelungen der LAI-Hinweise daher weitgehend den „Hinweisen zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Wind-

energieanlagen“ (WEA-Schattenwurf-Hinweise) des LAI entlehnt. Diese Übertragung ist sehr angreifbar, da die durch den Schattenwurf von Windkraftanlagen erzeugte Störf Wirkung viel gravierender ist als die Störf Wirkung, die von PV-Anlagen erzeugt wird. Offensichtlich im Bewusstsein dieses Mangels wird in den LAI-Hinweisen weiter ausgeführt: *„Der genannte Wertungsmaßstab kann allenfalls ein erster Anhaltspunkt für die Beurteilung von Blendungen sein. Im Einzelfall muss dann aber begründet werden, warum eine Übertragbarkeit gegeben, bzw. aufgrund welcher Überlegungen eine ggf. abweichende Bewertung erfolgt ist.“*

Diese Einschränkung der Bewertungsmöglichkeit der Lichtimmissionen durch die LAI-Hinweise führt dazu, dass die LAI-Hinweise nur eine Empfehlung darstellen und deshalb nur in wenigen Bundesländern verbindlich zur Bewertung von Lichtimmissionen vorgeschrieben sind. Sie stellen aber den Stand der Technik dar und können, wenn einige Änderungen an der Bewertungsmethodik vorgenommen werden, durchaus sinnvoll angewendet werden. Folgende Aspekte der LAI-Hinweise werden im Folgenden modifiziert bzw. neu aufgenommen:

- a. Es heißt in den LAI-Hinweisen, dass Immissionsorte, die sich weiter als ca. 100 m von einer Photovoltaikanlage entfernt befinden, erfahrungsgemäß nur kurzzeitige Blendwirkungen erfahren. Nur Immissionsorte, die vorwiegend westlich oder östlich einer Photovoltaikanlage liegen und nicht weiter als ca. 100 m von dieser entfernt sind, seien hinsichtlich einer möglichen Blendung als kritisch zu betrachten. Dieser Aussage ist nicht zuzustimmen, denn nach den Erfahrungen des Unterzeichners bei der Begutachtung vieler PV-Anlagen können PV-Anlagen auch dann eine längere und damit unzumutbare Störf Wirkung entfalten, wenn ihre Entfernung von Immissionsort beträchtlich größer als 100 m ist, z.B. wenn sich die betroffenen Fenster sehr weit oberhalb des PV-Anlagengeländes befinden, das Anlagengelände ein erhebliches Gefälle in oder gegen die Richtung Immissionsort aufweist oder die PV-Fläche sehr ausgedehnt ist. Außerdem wird in den LAI-Hinweisen nicht gesagt, wie verfahren werden soll, wenn, wie in Lauben der Fall, die PV-Anlage teilweise innerhalb und teilweise außerhalb der 100 m-Zone liegt. Deshalb wird vom Unterzeichner die evtl. Blendwirkung für Anwohner generell unabhängig von der Entfernung der betroffenen Immissionsorte zur PV-Anlage berechnet.
- b. In den WEA-Schattenwurfhinweisen wird Schattenwurf für Sonnenstände $\gamma \leq 3^\circ$ Erhöhung über Horizont wegen Bewuchs, Bebauung und der zu durchdringenden Atmosphärenschichten in ebenem Gelände vernachlässigt. Gerade diese wichtige, sehr sinnvolle Einschränkung bzw. eine vergleichbare Regelung fehlt in den LAI-Hinweisen. Deshalb wird vom Unterzeichner folgende, den Schattenwurfhinweisen analoge Regelung verwendet: Sonnenlicht, das unter Winkeln $\gamma \leq 7,5^\circ$ von einer PV-Anlage in Richtung Immissionsort reflektiert wird, wird wegen dessen geringer Intensität (vergleichbar der Intensität des direkten Sonnenlichts, das unter $\gamma = 3^\circ$ reflektiert wird, d.h. unmittelbar nach Sonnenaufgang oder vor Sonnenuntergang) und wegen Bewuchs, Bebauung und der zu durchdringenden Atmosphärenschichten in ebenem Gelände generell nicht berücksichtigt.
- c. Sonnenlicht, das sehr streifend in die Fensterflächen betroffener Gebäude fällt, trifft nur auf das Mauerwerk der gegenüberliegenden Seite der Fensteröffnung und kann nicht in den dahinter liegenden Raum eindringen. Der (horizontale) Winkel δ zwischen Hausfassade bzw. Fensterfläche und der Einfallsrichtung des Sonnenlichts,

unter dem das Sonnenlicht nicht in den Raum eindringen kann, hängt von der Fensterbreite und der Tiefe des Mauerwerks ab. Bei einer Mauerwerkstiefe von 0,41 m (zweischalige Bauweise) und einer Fensterbreite (nur verglaste Fläche, also ohne Fensterrahmen) von z.B. 1,20 m trifft das Sonnenlicht bei Winkeln bis zu ca. 19°, bezogen auf die Hausfassade, auf das Mauerwerk der gegenüberliegenden Seite der Fensteröffnung. Bei Mansardenfenstern mit einer Breite von z.B. nur 0,60 m Breite beträgt der entsprechende Winkel δ 35°, bei schrägliegenden Dachgeschossfenstern ca. 10°. Bei den Berechnungen ist der für die jeweiligen Fenster maßgebliche Winkelbereich nicht zu berücksichtigen.

10 Berechnungsergebnisse der Blend- und Störfwirkung von sich in Gebäuden aufhaltenden Personen

Die Berechnungen und Auswertungen erfolgen analog zur Berechnung der Blendwirkung für Lokführer oder Straßennutzer. Die Immissionszeiten steigen mit der Geschosshöhe, deshalb werden die Berechnungen für die Höhe der Fenstermitte des jeweils obersten Gebäudegeschosses (s. Tabelle 1) durchgeführt.

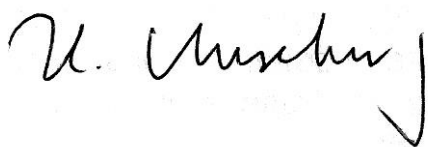
Die berechneten γ -Flächen sind in Bild 5 eingetragen. Die γ -Fläche für Immissionsort 1 liegt unterhalb der Sonnenstandslinien/außerhalb des Polardiagramms, die γ -Fläche für Immissionsort 2 oberhalb der Sonnenstandslinien. Wegen der fehlenden Schnittpunkte mit den Sonnenstandslinien kann kein Sonnenlicht von der PV-Anlage zu den Immissionsorten reflektiert werden, die LAI-Hinweise werden eingehalten.

11 Zusammenfassung

Es wurde untersucht, ob die geplante PV-Anlage Lauben ein Blendrisiko für Lokführer auf der Illertalbahn und Kraftfahrer auf der BAB A7, der OA 19 und einer Gemeindeverbindungsstraße erzeugt und ob sich in Wohn- und Gewerbegebäuden (Immissionsorten) aufhaltende Personen durch von der PV-Anlage reflektiertes Sonnenlicht gestört oder belästigt werden.

Lokführer- und Kraftfahrerblendung tritt bei der Vorbeifahrt an der Anlage nicht auf. Die Anforderungen der „Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen“ werden bei den zwei potentiellen Immissionsorten in Lauben erfüllt.

Gegen die Errichtung der Photovoltaik-Freiflächenanlage Lauben mit dem geplanten Modullayout ist aus Sicht des Unterzeichners nichts einzuwenden.



Anhang



Bild 1: Schematische Darstellung der PV-Anlage Lauben mit Markierung der verschiedenen Blickpunkte

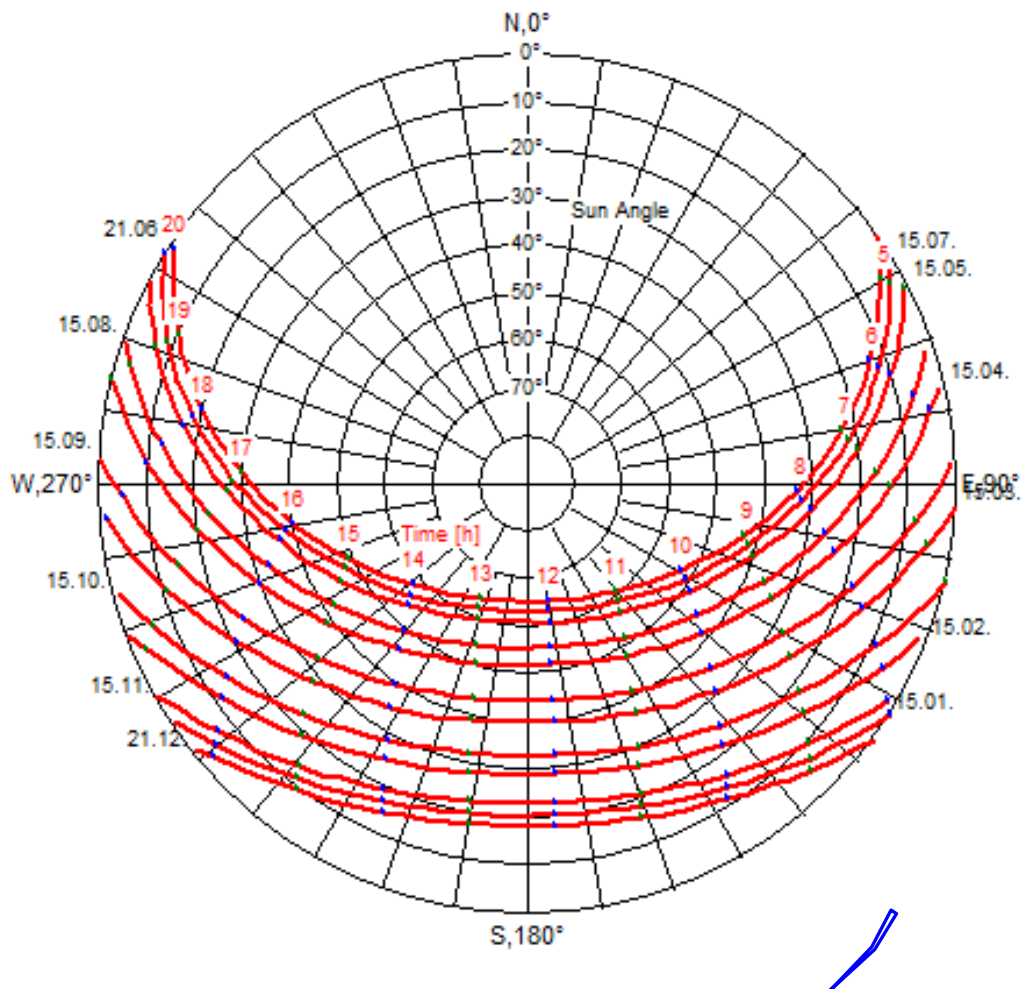


Bild 2: Monatlicher Sonnenstand (Sonnenhöhe und -richtung; rote Linien) für Lauben mit γ -Flächen für die Vorbeifahrt auf der Illertalbahn an der Nordfläche

— : Markierung A, Fahrtrichtung Süd

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

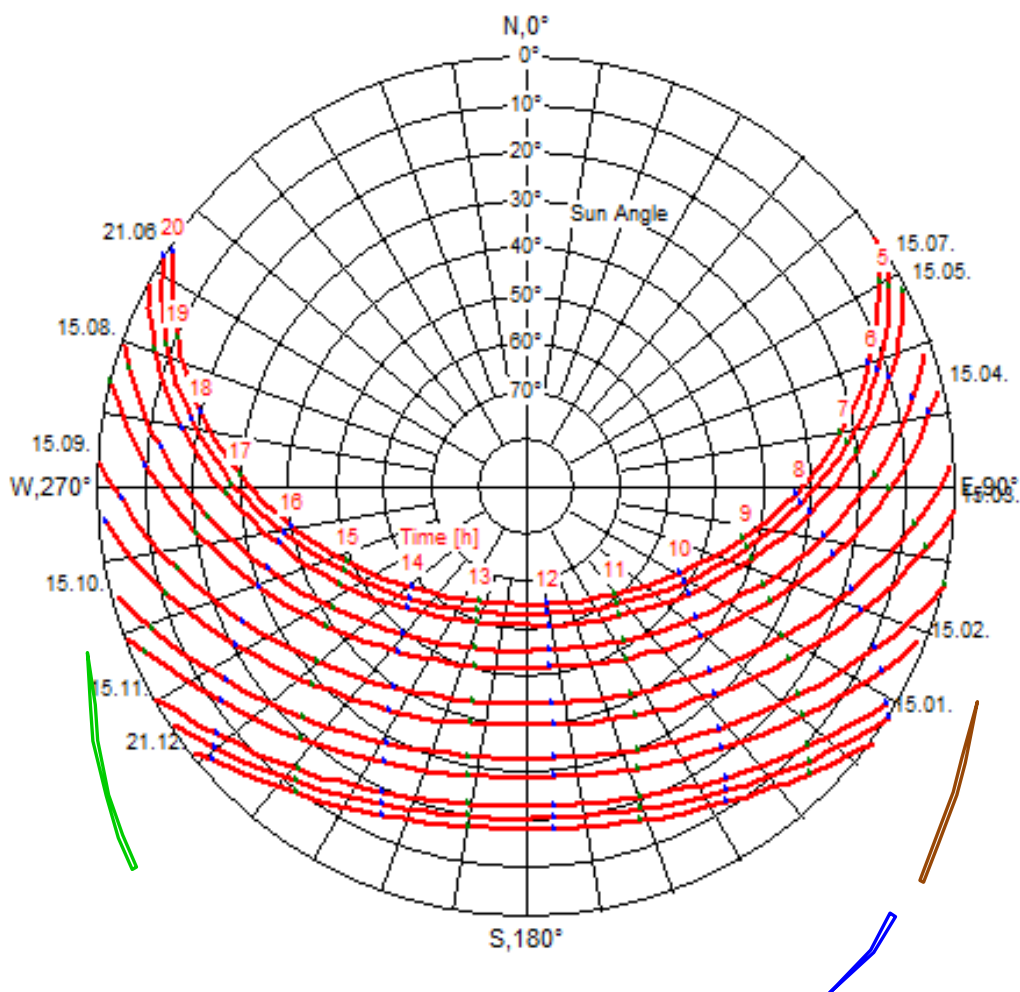


Bild 3: Monatlicher Sonnenstand (Sonnenhöhe und -richtung; rote Linien) für Lauben mit γ -Flächen für die Vorbeifahrt auf der Gemeindeverbundungsstraße und der OA 19 an der Nordfläche

- : Gemeindeverbundungsstraße, Markierung B, Fahrtrichtung West
- : Gemeindeverbundungsstraße, Markierung C, Fahrtrichtung Ost
- : OA 19, Markierung G. Fahrtrichtung Süd

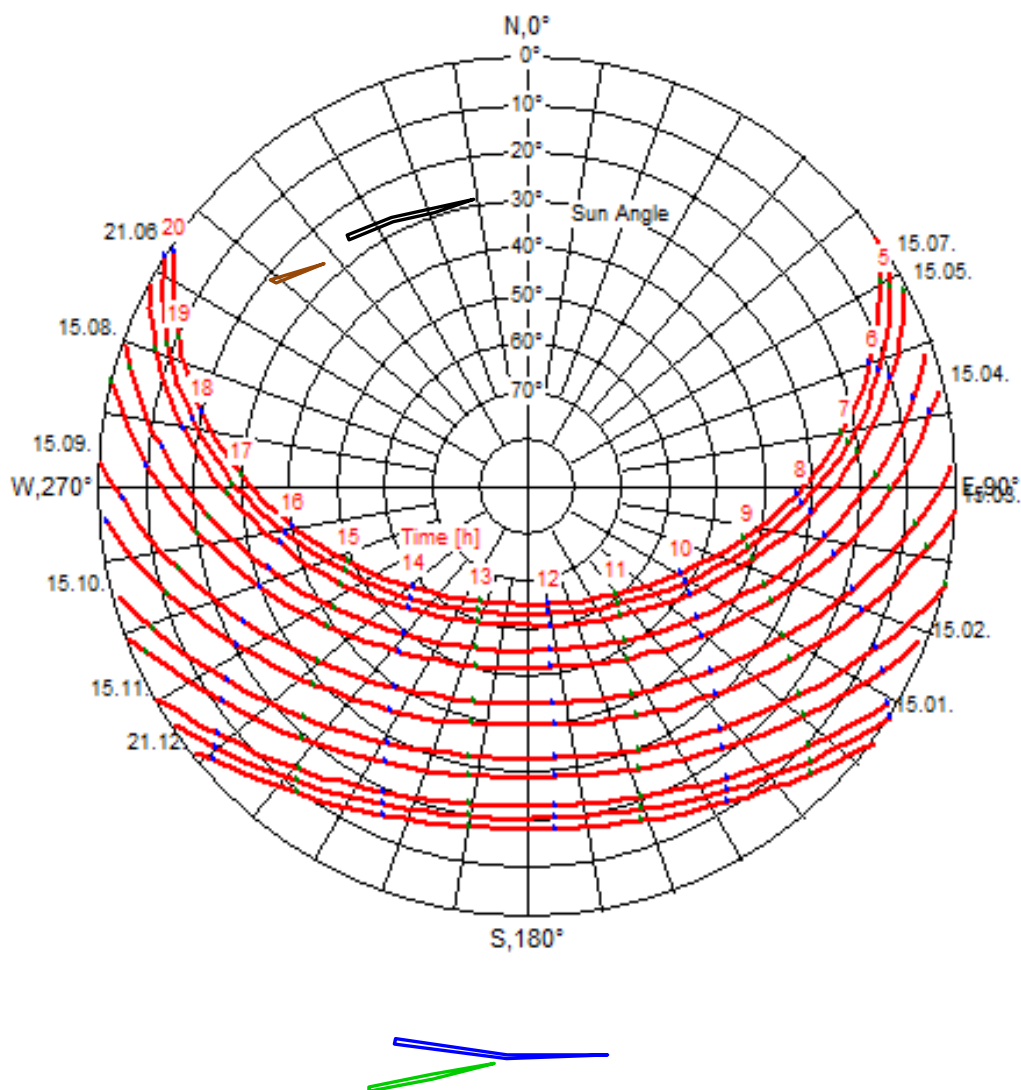


Bild 4: Monatlicher Sonnenstand (Sonnenhöhe und -richtung; rote Linien) für Lauben mit γ -Flächen für die Vorbeifahrt auf der BAB A 7

- : Markierung D, Nordfläche, Fahrtrichtung Süd
- : Markierung E, Nordfläche, Fahrtrichtung Nord
- : Markierung E, Südfläche, Fahrtrichtung Süd
- : Markierung F, Südfläche, Fahrtrichtung Nord

