

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 6. 12. 2023

G u t a c h t e n **G78/2023**

zur Frage der eventuellen Blend- und Störfwirkung von Straßennutzern und Anwohnern durch eine bei Wadersloh zu installierende Photovoltaikanlage

(Dieses Gutachten besteht aus 11 Seiten
und einem Anhang mit weiteren 6 Seiten)

1 Auftraggeber

Den Auftrag zur Erarbeitung des Gutachtens erteilte die TSL Projektierungs- und Verwaltungs-GmbH, Im Wickentrup 4 in 59239 Wadersloh.

Auftragsdatum: 31. 10. 2023

2 Auftragsache

Die Fa. TSL plant die Errichtung einer Freiflächen-Photovoltaikanlage in der Gemeinde Wadersloh. Es stellt sich die Frage, ob Nutzer der an der PV-Anlage vorbeiführenden Landesstraße 852 (Geiststraße) sowie Personen, die sich in nahegelegenen Wohngebäuden (Immissionsorte) aufhalten, 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. TSL zur Verfügung gestellt wurden:

- Bebauungsplan
- Bestandskarte Landschaftsstruktur
- Lageplan/Höhenplan
- Vorhaben- und Erschließungsplan
- Modullayout
- Modultischquerschnitt
- Moduldatenblatt
- Fotos
- Mündliche und Emailinformationen durch Herrn Jürgen Wickentrup, Fa. TSL

Die Geländehöhen der Umgebung der PV-Anlage sowie die Entfernungen und horizontalen Winkel wurden mit google earth ermittelt. Der monatliche Sonnenstand für Wadersloh (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 Wadersloh und topografische Daten

5.1 Die PV-Anlage

Die PV-Anlage wird auf einem bisher landwirtschaftlich genutztem Gelände errichtet, s. Bild 1 im Anhang. Die PV-Fläche ist etwa rechteckig. Das PV-Anlagengelände ist praktisch eben; die Geländeoberkante (GOK) fällt von ca. 82 m über Normalhöhen-null (NHN) an der Nordwestecke der PV-Anlagenfläche auf ca. 79 m an der Südostecke. Nach aktuellem Planungsstand werden Module Jinko Solar des Typs JKM580N-72HL4-BDV mit einer Modulleistung von 580 W_{peak} eingesetzt. Die geplante Leistung liegt bei ca. 21.395 MW_{peak}. Die Höhe des um die PV-Anlage zu installierenden Zaunes beträgt 2 m. Die Modulreihen sind in Ost-West-Richtung ausgerichtet, die Länge der Modulreihen entspricht der jeweils verfügbaren Geländebreite. Die Modulneigung beträgt 15°. Die Modulober- und unterkante befinden in einer Höhe von 2,58 m bzw. 0,80 m über GOK.

5.2 Die Geiststraße

Die Geiststraße führt östlich an der PV-Anlage vorbei. Ein von Südosten kommender Kraftfahrer sieht die PV-Anlage zunächst wegen Bebauung und Gehölzen gar nicht oder nur unter großen, blendunkritischen Blickwinkeln. Erst nach Vorbeifahrt an der Gärtnerei Vechtel, bei Markierung A in Bild 1, sieht der Kraftfahrer plötzlich die PV-Anlage. Der Fahrtrichtungswinkel α der Straße beträgt bei Markierung A in Fahrtrichtung Nordwest ca. 305,° die Fahrbahnoberkante (FOK) liegt etwa auf der Höhe von 80 m. Bei der Weiterfahrt dreht die Fahrtrichtung wegen einer Linkskurve auf 299°.

5.3 Untersuchte Wohngebäude (Immissionsorte)

Potentielle Immissionsorte befinden sich im Norden und Osten der PV-Anlage, diese sind in Tabelle 1 mit ihren Fensterhöhen zusammengestellt und sind in Bild 1 mit den Markierungen 2, 4 bis 7 eingezeichnet.

Erläuterungen zu den Immissionsorten: In den Gebäuden des Immissionsortes 4, von denen eine Sichtverbindung zur PV-Anlage besteht, halten sich Personen nicht ständig auf (eine Scheune und eine Maschinenhalle). Von dem zu diesem Gehöft gehörenden Wohnhaus ist ein Blick zur PV-Anlage wegen der davor stehenden Gebäude des Gehöfts Im Wickentrup 2 und weiterer Gebäude nicht möglich. Zum nordwestlich der PV-Anlage liegenden Immissionsort 5 kann kein Sonnenlicht von der Anlage reflektiert werden, da man von diesem Ort aus nur die Modulrückseiten sieht und das Sonnenlicht immer über die Gebäude hinweg reflektiert wird (s. auch LAI-Hinweise, 3. Kapitel, 2. Spiegelpunkt). Vor dem Wohngebäude der Gärtnerei Vechtel, Immissionsort 7, befinden sich Gewächshäuser, die den Blick vom Wohnhaus zur PV-Anlage verhindern. Die Immissionsorte 4, 5 und 7 müssen daher nicht untersucht werden. Immissionsort 6 ist repräsentativ auch für die anderen zwischen Biesterweg und Geiststraße liegenden Wohngebäude.

Immissionsort	Adresse	mittlere Fensterhöhe des höchsten Geschosses	GOK	Fensterhöhe über GOK
2	Im Wickentrup 2	EG: 2,50 m	85 m	87,5 m
4	Im Wickentrup 4	entfällt		
5	Im Wickentrup 5	entfällt		
6	Biesterweg 6, Nordfassade	2. OG: 8,50 m	80 m	88,5 m
	Biesterweg 6, Westfassade	1. OG: 5,50 m	80 m	85,5 m
7	Gärtnerei Vechtel, Geiststr. 7	entfällt		

EG: Erdgeschoss; OG Obergeschoss

Tabelle 1: Die potentiellen Immissionsorte

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

6.1 Blendwirkung

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 bzw. den Gleiskörper und dessen Umgebung beobachten und alle Licht- und sonstigen Signale sowie die Anzeigeeinstrumente im Pkw oder der Lok 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 Störwirkung (Lichtimmission) für sich in Gebäuden aufhaltende 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 Störwirkung 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 (Stand 3. 11. 2015), Anhang 2, vorgenommen (im Folgenden „LAI-Hinweise“ genannt). Die Blend- und Störwirkung = 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 „schutzwürde 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-Lichtimmissionen sind die Sonne als punktförmig und die Solarmodule als ideal verspiegelt zu betrachten, so dass die Berechnungen gemäß dem Reflexionsgesetz $\text{Ausfallswinkel} = \text{Einfallswinkel}$ 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 ist als die Intensität des Kernreflexes und erzeugt daher keine nennenswerte Störwirkung. Alle durchzuführenden Berechnungen beziehen sich daher lt. Abschnitt 7e. der LAI-Hinweise nur auf den Kernreflex, die zusätzliche Reflexionszeit durch den Streureflex wird nach den LAI-Hinweisen nicht berücksichtigt.

In den LAI-Hinweisen-Lichtimmissionen wird ausgeführt: *„Wirkungsuntersuchungen oder Beurteilungsvorschriften zu diesen Immissionen sind bisher nicht vorhanden.“* Mangels solcher Untersuchungen wurde der Inhalt der Regelungen der LAI-Hinweise-Lichtimmissionen daher weitgehend den „Hinweisen zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen“ (WEA-Schattenwurf-Hinweise) des LAI entlehnt. Diese Übertragung ist sehr angreifbar, da die durch den Schattenwurf von Windkraftanlagen erzeugte Störwirkung viel gravierender ist als die Störwirkung, die von PV-Anlagen erzeugt wird. Offensichtlich im Bewusstsein dieses Mangels wird in den LAI-Hinweisen-Lichtimmissionen 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-Lichtimmissionen führt dazu, dass diese 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-Lichtimmissionen, 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 anderer PV-Anlagen können PV-Anlagen auch dann eine unzumutbare Störwirkung 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 Gefälle in Richtung Immissionsort aufweist oder die PV-Fläche

sehr ausgedehnt ist. Die LAI-Hinweise enthalten auch keine Aussage, wie zu verfahren ist, wenn die PV-Anlage, wie in vorliegendem Fall, teilweise innerhalb und teilweise außerhalb der 100 m-Zone liegt. Deshalb wird die evtl. Blendwirkung für Anwohner unabhängig von der Entfernung der betroffenen Gebäude 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-Lichtimmissionen. Deshalb wird in diesem Gutachten 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 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 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 Dicke des Mauerwerks ab. Bei einer Mauerwerksbreite 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.

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

8.1 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. Die Bilder 2 bis 4 zeigen das Sonnenstandsdiagramm für Wadersloh 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 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 Sonnenlichtreflexion 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.

8.2 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, der Ausrichtung der Modulreihen ν 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 Wadersloh eingetragen. Werden die Berechnungen für einen Punkt der PV-Fläche berechnet, wird ein α/γ -Wert ins Polardiagramm eingetragen. Werden die Berechnungen für die gesamte Fläche oder eine Teilfläche 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 der α/γ -Wert oder 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.

8.3 Zeitliche Wahrscheinlichkeit der Sonnenlichtreflexion ins Auge eines Kraftfahrers bei Fahrten auf der Geiststraße

Fahrtrichtung Nordwest: Ein α/γ -Wert wurde für den Blickpunkt eines Kraftfahrers berechnet, der sich bei Markierung A befindet und in Bild 2 als blauer Punkt eingezeichnet. Der Wert hat einen Schnittpunkt mit den roten Sonnenstandslinien. Sonnenlicht kann von der Nordostecke der PV-Anlage (Markierung C) am 4. Mai und 12. August gegen 18.45 Uhr MEZ zum Kraftfahrer reflektiert werden. Für den Blickpunkt des Kraftfahrers bei Markierung B wurde die γ -Fläche berechnet und in Bild 2 in blauer Farbe eingezeichnet. Die γ -Fläche hat ebenfalls Schnittpunkte mit den Sonnenstandslinien, Sonnenlicht kann von der nördlichen Teilfläche der PV-Anlage (Markierung C) ca. vom 22. August bis 15. September zwischen 18.30 Uhr und 18.40 Uhr MEZ zum Kraftfahrer reflektiert werden. Der Blickwinkel θ des Kraftfahrers beträgt bei Fahrten zwischen den Markierungen A und B mindestens 13° und liegt damit im Bereich, bei dem moderate Blendung auftreten kann. Im vorliegenden Fall ist zusätzlich folgender Aspekt zu berücksichtigen: Befährt ein ortsfremder, aus Richtung Südost kommender Kraftfahrer die Geiststraße, ist die PV-Anlage zunächst durch Wohngebäude, ein Wäldchen und v.a. durch die Gebäude der Gärtnerei Vechtel verdeckt. Die PV-Anlage wird für ihn aber plötzlich, d.h. unerwartet deutlich sichtbar, wenn er Markierung A passiert. Wenn dann genauso plötzlich das von der PV-Anlage reflektierte, blendende Sonnenlicht in sein Auge trifft, kann es zu einer Schreckreaktion des Kraftfahrers (scharfes Bremsen, Verreißen des Lenkrades) kommen, wodurch in Verbindung mit der Blendwirkung eine insgesamt inakzeptable verkehrsgefährdende Situation entstehen kann.

Abhilfemaßnahme: Es wird vorgeschlagen, den Zaun in der Höhe von 0,80 m (Höhe Modulunterkante) bis 2 m in einem Abschnitt an der Nordostseite der PV-Anlage über eine Länge von ca. 170 m mit einem dunklen Kunststoffgewebe auszurüsten, das nicht mehr als 30 % Transmission besitzt. Da die Augenhöhe des Kraftfahrers bis zu 2,40 m oberhalb der Straßenoberkante liegt und diese damit höher ist als die Moduloberkante, bleibt nur für Lkw mit besonders hoher Augenhöhe des Kraftfahrers ein schmaler Streifen der Modulfläche am oberen Rand sichtbar, der aber nicht mehr zu einer Schreckreaktion und/oder Blendung führt. Der mit der Abschirmung zu versiehende Zaunabschnitt ist in Bild 1 durch eine gelbe Linie gekennzeichnet.

Der Unterzeichner hat das o.a. Kunststoffgewebe (s. Bild 5) lichttechnisch geprüft und zum Einsatz an mehreren anderen PV-Anlagen empfohlen; in einem Fall wird es seit ca. 5 Jahren problemlos an einer Autobahn eingesetzt. Sollte dieses Kunststoffnetz nicht verfügbar sein, kommt als Alternative z.B. das in Bild 6 gezeigte Kunststoffnetz infrage, das etwa die gleichen Eigenschaften hat wie das geprüfte Kunststoffnetz.

Fahrtrichtung Südost: In dieser Fahrtrichtung sieht der Kraftfahrer nur die Modulrückseiten, das Sonnenlicht wird immer über das Kfz hinwegreflektiert, Kraftfahrerblendung ist nicht möglich.

9 Zeitliche Wahrscheinlichkeit der Sonnenlichtreflexion in Richtung der Immissionsorte

9.1 Geometrische Bedingungen

Um die evtl. von der PV-Anlage ausgehende Störwirkung für Anwohner zu bewerten, ist es notwendig, die zeitliche Wahrscheinlichkeit dafür zu ermitteln, dass von der PV-Anlage reflektiertes Licht in die Fensterflächen bzw. die dahinterliegenden Räume der blendgefährdeten Gebäude gelangt. Diese Wahrscheinlichkeit kann ebenfalls mit dem Sonnenstandsdiagramm für Wadersloh ermittelt werden. Die Berechnungen und Auswertungen erfolgen analog zur Berechnung der Blendwirkung für Kraftfahrer. Anstelle des Auges des Kraftfahrers tritt die Mitte der Fensterfläche des obersten Geschosses. Für die zu untersuchenden Immissionsorte wurden die horizontalen und vertikalen Blickwinkel Anwohner - PV-Anlage ψ und λ ermittelt und daraus die horizontalen Sonnenwinkel α und die vertikalen Sonnenhöhenwinkel γ berechnet, unter denen das Sonnenlicht auf die PV-Module treffen müsste, damit es in die Fensterflächen der Wohn-/Gewerbegebäude an den Immissionsorten gelangen kann.

9.2 Ergebnisse

Da die Reflexionszeiten mit der Fensterhöhe zunehmen, wurden die Berechnungen jeweils für das jeweils oberste Geschoss des Gebäudes bei Immissionsort 6 durchgeführt (worst case-Betrachtung, s. Tabelle 1). Für Immissionsort 2 erfolgten die Berechnungen für das Erdgeschoss. Wie in Abschnitt 7 ausgeführt, wird Sonnenlicht nicht betrachtet, das unter Winkeln $\gamma \leq 7,5^\circ$ von der PV-Anlage in Richtung Fensterflächen reflektiert wird. Dieser Winkelbereich ist in den Polardiagrammen der Bilder 3 und 4 rot schraffiert eingezeichnet.

Immissionsort 2: Die berechnete γ -Fläche ist in Bild 4 in blauer Farbe eingezeichnet. Die γ -Fläche hat keine Schnittpunkte mit den Sonnenstandslinien, Sonnenlicht wird zu diesem Immissionsort nicht reflektiert.

Immissionsort 6: Die γ -Fläche für die Westfassade ist in Bild 3 in grüner Farbe, die γ -Fläche für die Nordfassade in Bild 4 in schwarzer Farbe eingezeichnet. Beide γ -Flächen haben Schnittpunkte mit den Sonnenstandslinien, Sonnenlicht wird etwa von Ende April bis Ende August zur Westfassade und von Mitte April bis Ende August zur Nordfassade reflektiert, jeweils etwa zwischen 18.30 Uhr und 18.45 MEZ. In Tabelle 2 sind die aus den γ -Flächen berechneten Reflexionszeiten aufgeführt. **Sowohl die maximal tägliche als auch die jährliche Reflexionszeit liegt weit unter den nach LAI-Hinweisen zulässigen Werten von 30 Minuten bzw. 30 Stunden jährlich.**

Immissionsort 6	Reflexionstage pro Jahr	Maximale tägliche Reflexionszeit	Mittlere tägliche Reflexionszeit	Jährliche Reflexionszeit im Kalenderjahr
Westfassade	123	4,7 min	3,72 min	123 · 3,72 min = 7,6 Stunden
Nordfassade	133	6,3 min	4,48 min	133 · 4,48 min = 9,9 Stunden

Tabelle 2: Maximale tägliche und mögliche jährliche Reflexionszeiten für Immissionsort 6

10 Zusammenfassung

Es wurde untersucht, ob von der geplanten PV-Anlage bei Wadersloh Blendwirkungen für Kraftfahrer auf der L 852/Geiststraße erzeugt werden können und ob Lichtimmissionen an Immissionsorten in der Umgebung der PV-Anlage auftreten können.

Bei Fahrten auf der Geiststraße tritt in einem kurzen Abschnitt Kraftfahrerblendung auf. Als Abhilfemaßnahme wird empfohlen, den Zaun in einem Abschnitt an der nordöstlichen Grenze der PV-Anlage mit einem Kunststoffgewebe zu versehen, das nicht mehr als 30 % Transmission besitzt.

Es wurden zwei potentielle, blendgefährdete Immissionsorte identifiziert. Zum untersuchten Immissionsort Im Wickentrup 2 wird kein Sonnenlicht von der PV-Anlage reflektiert. Zum Immissionsort 6 wird zwar Sonnenlicht reflektiert, die Anforderungen der LAI-Hinweise werden eingehalten. Insgesamt tritt keine im Sinne der LAI-Hinweise unzulässige Lichtimmission auf.

Gegen die Errichtung der PV-Freiflächenanlage bei Wadersloh ist nach Durchführung der vorgeschlagenen Abhilfemaßnahme aus Sicht des Unterzeichners nichts einzuwenden.



Dieses Gutachten wurde nach bestem Wissen und Gewissen angefertigt.

Anhang



*Bild 1: Übersicht der geplanten PV-Anlage Wadersloh mit den untersuchten Blickpunkte A und B auf der Geiststraße und den Immissionsorten 2 und 4 bis 7
gelbe Linie: mit einer Abschirmung zu versehender Zaunabschnitt*

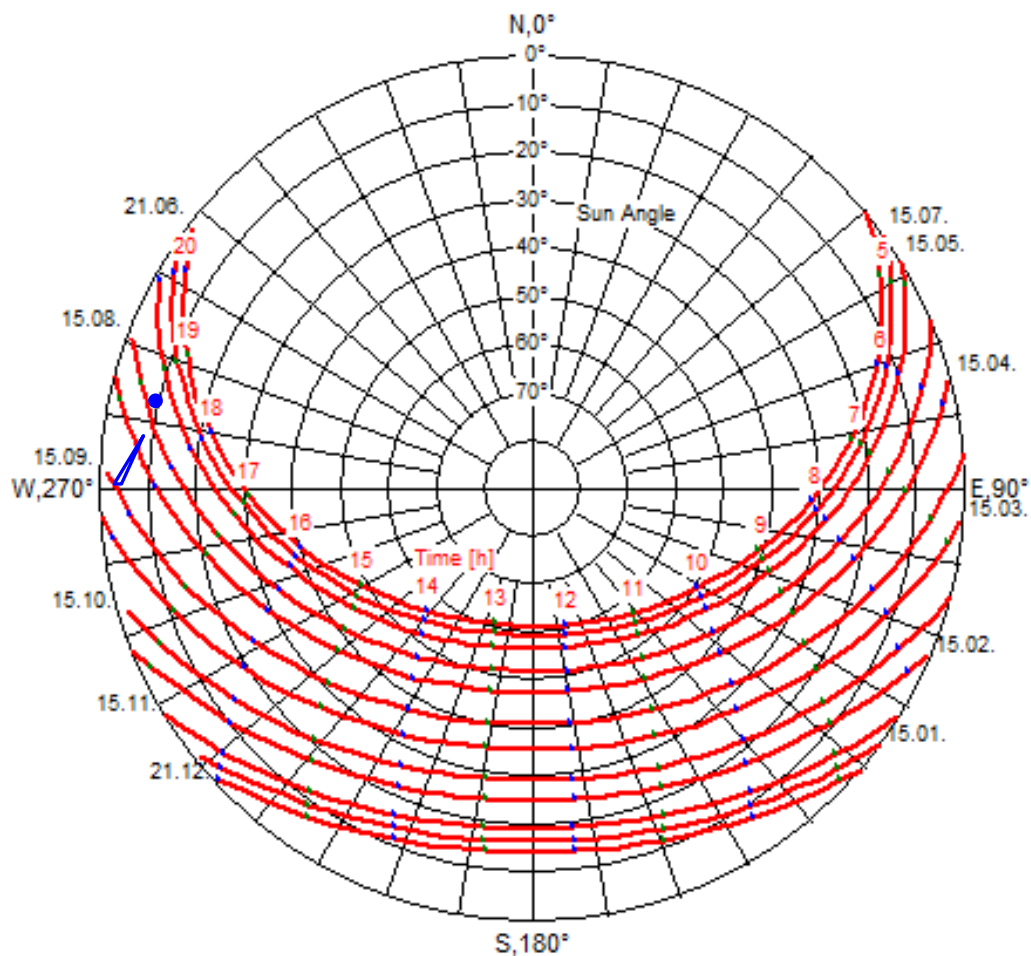


Bild 2: Monatlicher Sonnenstand (Sonnenhöhe und -richtung) für Wadersloh mit γ -Fläche zur Bewertung der Vorbeifahrt eines Kfz auf der L 852/Geiststraße an der PV-Anlage

- : Blickpunkt bei Markierung A
- : Blickpunkt bei Markierung B

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

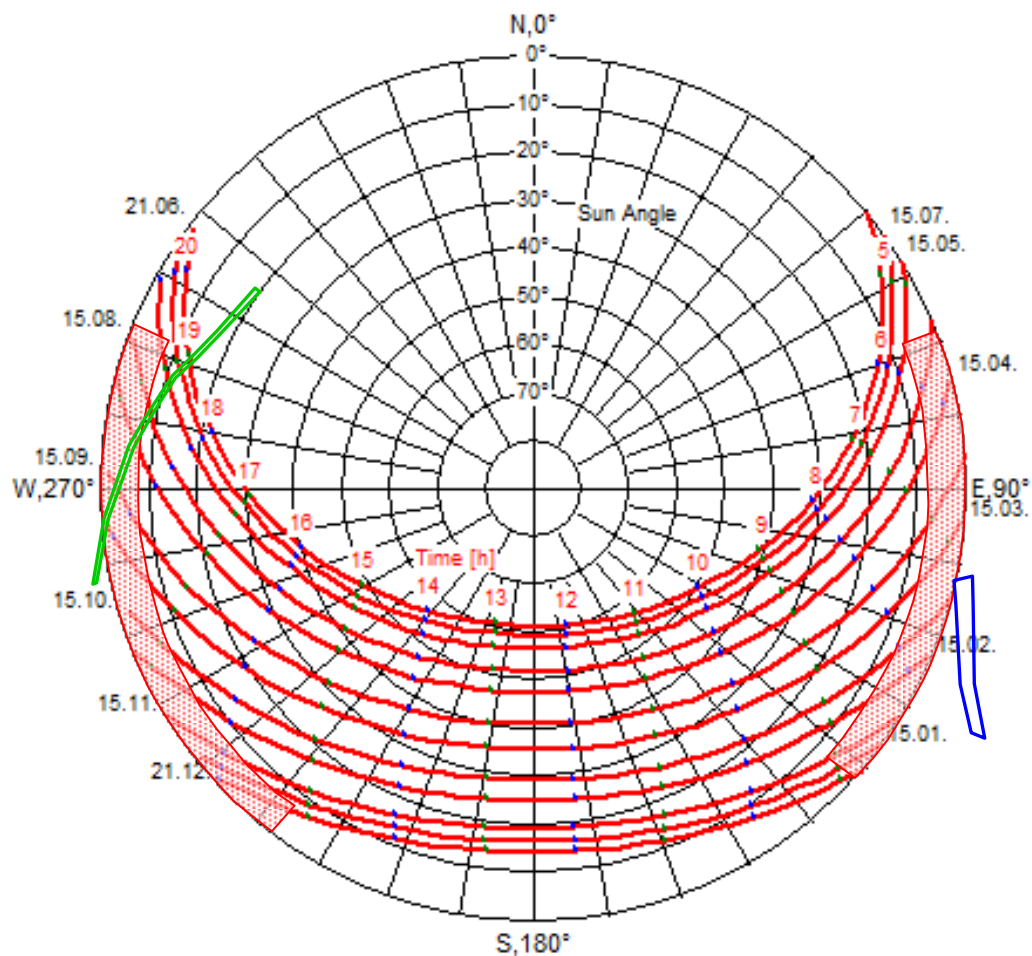


Bild 3: Monatlicher Sonnenstand (Sonnenhöhe und -richtung) für Wadersloh mit γ -Flächen zur Bewertung der Reflexionszeiten zu den Immissionsorten

Rot schraffierte Flächen: Bereich des Sonnenhöhenwinkels $\gamma \leq 7,5^\circ$, der bei der Bewertung der Reflexionszeiten nicht berücksichtigt wurde

- : Blickpunkt bei Immissionsort 2
- : Blickpunkt bei Immissionsort 6, Westfassade

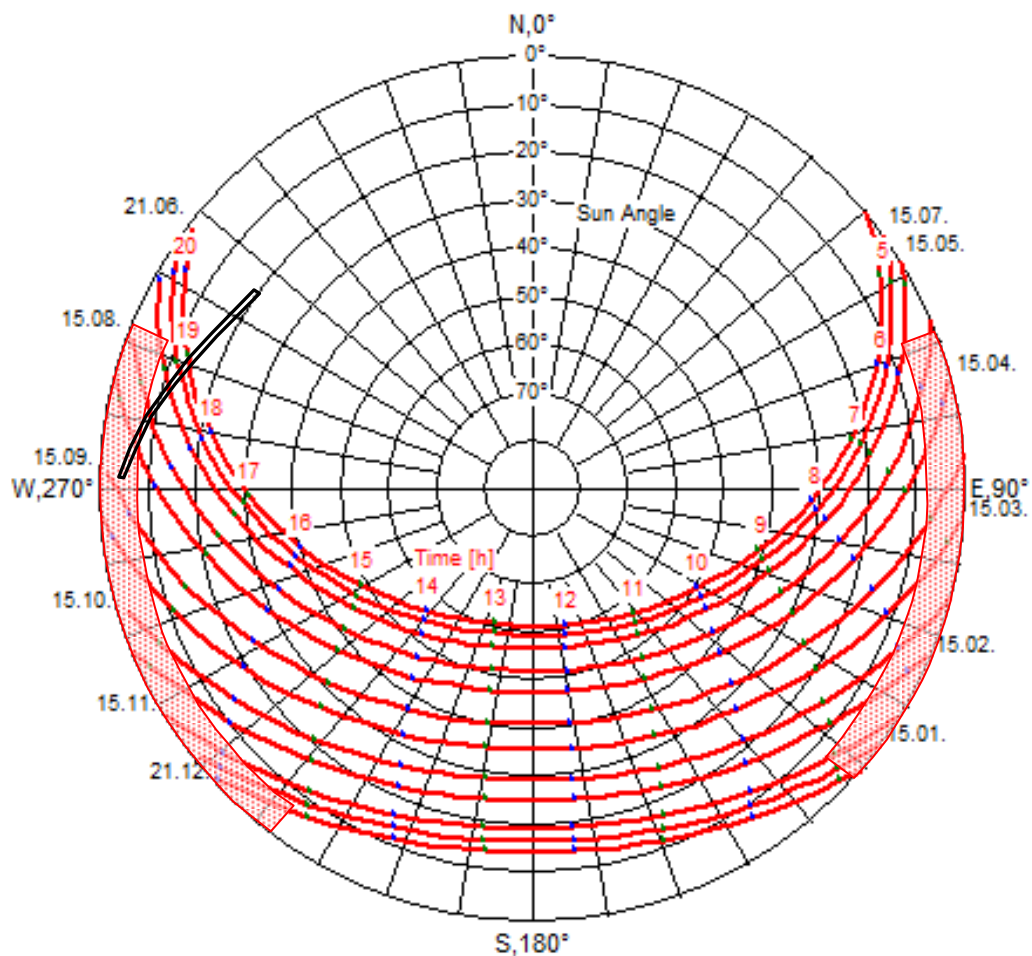


Bild 4: Monatlicher Sonnenstand (Sonnenhöhe und -richtung) für Wadersloh mit γ -Flächen zur Bewertung der Reflexionszeiten zu Immissionsorten

— : Blickpunkt bei Immissionsort 6, Nordfassade



*Bild 5: Untersuchtes Kunststoffgewebe der Fa. Evios Energy Systems GmbH
Maßstab: ca. 1:2*



*Bild 6: Untersuchtes Kunststoffgewebe, Lieferant Fa. evia Verkehrstechnik GmbH/ACCURA NTV KG
Maßstab: ca. 1:2*