

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 26. 6. 2024

G u t a c h t e n **G23/2024**

zur Frage der eventuellen Blend- und Störf Wirkung von Straßennutzern und Anwohnern durch eine bei Wadersloh zu installierende Photovoltaikanlage (PV-Anlage Wadersloh 2)

(Dieses Gutachten besteht aus 12 Seiten
und einem Anhang mit weiteren 8 Seiten)

1 Auftraggeber

Den Auftrag zur Erarbeitung des Gutachtens erteilte die Gut Schulze - Aden Energie GmbH & Co. KG, Rudolf Steinhoff, Bühlheider Weg 6 in 59329 Wadersloh.

Auftragsdatum: 4. 3. 2024

2 Auftragsache

Die Gut Schulze - Aden Energie plant die Errichtung einer Freiflächen-Photovoltaikanlage in der Gemeinde Wadersloh. Es stellt sich die Frage, ob Nutzer der an der PV-Anlage vorbeiführenden Geiststraße und des Bühlheider Weges sowie Personen, die sich in nahegelegenen Wohngebäuden (Immissionsorten) 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 ($\nu = 0^\circ$ Nord, $\nu = 90^\circ$ Ost)	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 Tischmann Loh & Partner, Stadtplaner PartGmbB, Berliner Straße 38 in 33378 Rheda-Wiedenbrück zur Verfügung gestellt wurden:

- Bebauungsplan
- Vorhaben- und Erschließungsplan
- Modullayout
- Modultischquerschnitt
- Fotos
- Mündliche und Emailinformationen durch Frau Laura Sportelli, Tischmann Loh & Partner

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. Weitere Informationen wurden mit street view gewonnen.

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. Das PV-Anlagengelände ist praktisch eben; die Geländeoberkante (GOK) fällt von ca. 80 m über Normalhöhennull (NHN) im Norden der PV-Anlagenfläche auf ca. 78 m an der Südecke. Nach aktuellem Planungsstand werden Module JingLi YLM-J 3.0 Pro mit einer Modulleistung von 415 W_{peak} eingesetzt. Die geplante Leistung liegt bei ca. 29 MW_{peak}. Die Höhe des um die PV-Anlage zu installierenden Zaunes beträgt 2 m incl. Übersteigenschutz. Die Modulreihen verlaufen nicht wie meist üblich in Ost-West-Richtung, sondern verlaufen etwa von Nord nach Süd ($\nu = 6^\circ/186^\circ$). Die Länge der Modulreihen entspricht der jeweils verfügbaren Geländebreite. Die Modulneigung beträgt 17°. Die Modulober- und unterkante befinden in einer Höhe von 2,32 m bzw. 0,80 m über GOK.

5.2 Die Geiststraße

Die Geiststraße führt in einem kleinen Abschnitt zwischen den Markierungen A und B (s. Bild 1) unmittelbar an der PV-Anlage vorbei. Der Fahrtrichtungswinkel α der Straße beträgt bei Markierung A in Fahrtrichtung Nordwest ca. 305° und dreht in einer leichten Rechtskurve bis Markierung B auf 320°. Die Fahrbahnoberkante (FOK) steigt von Markierung A bis Markierung B von 79 m auf 80 m. Zwischen der Straße

und der PV-Anlage befindet sich lichtetes Gebüsch, das jedoch den Blick von der Straße zur PV-Anlage nicht vollständig verhindert.

5.3 Der Bühlheimer Weg

Der evtl. blendkritische Teil des Bühlheimer Wegs führt in der Fahrtrichtung Nordost zwischen den Markierungen C und 3 westlich und geradlinig an der PV-Anlage vorbei. Der Fahrtrichtungswinkel beträgt ca. $31^\circ/211^\circ$. Die FOK steigt von Markierung C bis Markierung 3 von 79 m auf 81 m. In der Südrichtung ist der Abschnitt zwischen den Markierungen D und 3 blendkritisch. Die FOK fällt von Markierung D bis Markierung 3 von 82 m auf 81 m. An der Ostgrenze der PV-Anlage befindet sich eine dichte Laubhecke, die den Blick von diesem Teil des Bühlheimer Weges zur PV-Anlage in der Vegetationsperiode vollständig verhindert.

5.4 Untersuchte Wohngebäude (Immissionsorte)

Potentielle Immissionsorte befinden sich im Osten und Westen der PV-Anlage, diese sind in Tabelle 1 mit ihren Fensterhöhen zusammengestellt und sind in Bild 1 mit den Markierungen 2 bis 6 eingezeichnet.

Immissionsort	Adresse	mittlere Fensterhöhe des höchsten Geschosses	GOK	Fensterhöhe über GOK
2	Biesterweg 2	EG: 2,50 m	80 m	82,5 m
3	Bühlheimer Weg 3	OG: 6 m	81 m	87 m
4	Geiststr. 4	OG: 5,50 m	80 m	85,5 m
5	Geiststr. 5	OG: 5,50 m	80 m	85,5 m
6	Bühlheimer Weg 6	OG: 5,50 m	80 m	85,5 m

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 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 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 Ausfallswinkel = 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 6 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 $\varepsilon = 17^\circ$, 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 die gesamte Fläche oder eine Teilfläche der PV-Anlage von einem festen Beobachterstandort aus durchgeführt, 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.

8.3 Zeitliche Wahrscheinlichkeit der Sonnenlichtreflexion ins Auge eines Kraftfahrers

8.3.1 Geiststraße

Fahrtrichtung Nordwest: Die γ -Flächen wurden für den Blickpunkt eines Kraftfahrers berechnet, der sich bei Markierung A befindet und sind in Bild 2 in blauer und schwarzer Farbe eingezeichnet. Beide γ -Flächen liegen oberhalb der Sonnenstandslinien und haben keine Schnittpunkte mit diesen, damit kann gemäß den Erläuterungen in Abschnitt 8.2 kein Sonnenlicht zum Kraftfahrer reflektiert werden. Kraftfahrerblendung ist in dieser Fahrtrichtung nicht möglich.

Fahrtrichtung Südost

Die γ -Flächen wurden für den Blickpunkt eines Kraftfahrers berechnet, der sich bei Markierung B befindet und sind in Bild 2 in brauner und grüner Farbe eingezeichnet. Die γ -Fläche für die Modulneigung Ost liegt unterhalb/ der Sonnenstandslinien, sogar außerhalb des Polardiagramms und hat keine Schnittpunkte mit den Sonnenstandslinien, von den nach Osten geneigten Modulen geht keine Kraftfahrerblendung aus. Die γ -Fläche für die Modulneigung West hat jedoch Schnittpunkte mit den Sonnenstandslinien, Sonnenlicht kann Mitte März und Mitte September für wenige Tage zwischen 9.10 Uhr und 9.20 Uhr MEZ zum Kraftfahrer reflektiert werden. V.a. im März ist die Hecke zwischen Straße und PV-Anlage noch nicht belaubt, so dass das Sonnenlicht ungehindert zum Kraftfahrer reflektiert werden kann, eine verkehrsgefährdende Blendung kann nicht ausgeschlossen werden.

Abhilfemaßnahme: Es wird vorgeschlagen, den Zaun in der Höhe von 0,80 m (Höhe Modulunterkante) bis 2 m in einem Abschnitt an der Südwestseite der PV-Anlage über eine Länge von ca. 80 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 Blendung führt. Der mit der Abschirmung zu versehende Zaunabschnitt ist in Bild 1 durch eine gelbe Linie gekennzeichnet.

Der Unterzeichner hat das o.a. Kunststoffgewebe (s. Bild 7) 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 8 gezeigte Kunststoffnetz infrage, das etwa die gleichen Eigenschaften hat wie das geprüfte Kunststoffnetz.

8.3.2 Bühlheider Weg

Teilstrecke zwischen den Markierungen C und 3: Von dieser Teilstrecke braucht nur die Fahrtrichtung Nordost untersucht zu werden, da in der Gegenrichtung der Blickwinkel θ ständig $> 20^\circ$ ist. Die für die Fahrtrichtung Nordost berechneten γ -Flächen sind in Bild 2 in violetter und grauer Farbe eingezeichnet. Sie liegen oberhalb der Sonnenstandslinien bzw. außerhalb des Polardiagramms, wegen der fehlenden Schnittpunkte mit den Sonnenstandslinien ist keine Kraftfahrerblendung möglich.

Damit ist ein Kraftfahrer, der diese Straße befährt, insgesamt keiner Blendung ausgesetzt.

Teilstrecke zwischen den Markierungen D und 3: Von dieser Teilstrecke braucht nur die Fahrtrichtung Süd untersucht zu werden, weil in Fahrtrichtung Nord der Fahrtrichtungswinkel mindestens 50° beträgt bzw. der Kraftfahrer die PV-Anlage im Rücken hat. Die für die Fahrtrichtung Nordost berechneten γ -Flächen sind in Bild 2 in blauer und grüner Farbe, jeweils gepunktet, eingezeichnet. Sie liegen unterhalb der Sonnenstandslinien, Kraftfahrerblendung tritt auch auf dieser Teilstrecke nicht auf.

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 der Gebäude bei den Immissionsorten durchgeführt (worst case-Betrachtung, s. Tabelle 1). 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 Polardigrammen der Bilder 3 bis 6 rot schraffiert eingezeichnet. Die Berechnungen erfolgen zunächst ohne Berücksichtigung der Abschirmwirkung durch die Vegetation.

Immissionsort 3: Die berechneten γ -Flächen sind in Bild 4 in schwarzer und violetter Farbe eingezeichnet. Die γ -Fläche für die Modulneigung Ost hat keine Schnittpunkte mit den Sonnenstandslinien, von diesen Modulen geht keine Anwohnerblendung aus. Die γ -Fläche für die Modulneigung West hat Schnittpunkte mit den Sonnenstandslinien, Sonnenlicht wird theoretisch das ganze Jahr zum Immissionsort reflektiert. Die aus der γ -Fläche berechneten Reflexionszeiten sind in Tabelle 2, Zeile 1 aufgelistet. Sie liegen weit über den nach LAI-Hinweisen zulässigen Zeiten. Die bereits in Abschnitt 5.3 beschriebene Laubhecke an der Ostgrenze der PV-Anlage verhindert jedoch in der Vegetationszeit die Sonnenlichtreflexion in Richtung Immissionsort 3. Als Vegetationszeit wird der Zeitraum 15. April bis 15. Oktober angenommen. Dieser Zeitraum ist in Bild 3 durch die geschweiften Klammern gekennzeichnet. Berücksichtigt man diesen Zeitraum bei der Berechnung der Reflexionszeiten, ergeben sich die

in Tabelle 2, Zeile 2 wiedergegebenen Zeiten. Diese liegen unter den nach LAI-Hinweisen zulässigen Zeiten von 30 min/30 Stunden, so dass insgesamt bei Immissionsort 3 die LAI-Hinweise erfüllt werden.

	Immissionsort	Reflexionstage pro Jahr	Maximale tägliche Reflexionszeit	Mittlere tägliche Reflexionszeit	Jährliche Reflexionszeit im Kalenderjahr
1	3 theoretisch	365	17 min	12,2 min	$365 \cdot 12,2 \text{ min} = 74,2 \text{ h}$
2	3 mit Abschirmung durch Vegetation	301	7,5 min	4,81 min	$301 \cdot 4,81 \text{ min} = 24,1 \text{ h}$
3	6 theoretisch	272	10,4 min	6,32 min	$272 \cdot 6,32 \text{ min} = 28,7 \text{ h}$
4	3 mit Abschirmung durch Vegetation	0	0 min	0 min	0 h

Tabelle 2: Maximale tägliche und mögliche jährliche Reflexionszeiten für die Immissionsorte 3 und 6

Immissionsort 6: Die berechneten γ -Flächen sind ebenfalls in Bild 3 in grüner und blauer Farbe eingezeichnet. Die γ -Fläche für die Modulneigung West hat Schnittpunkte mit den Sonnenstandslinien, die γ -Fläche für die Modulneigung Ost hat keine solchen Schnittpunkte. Die für Modulneigung West berechneten, theoretischen Reflexionszeiten sind in Tabelle 2, Zeile 3 eingetragen. Sie liegen knapp unter den nach LAI-Hinweisen zulässigen Werten von 30 Minuten bzw. 30 Stunden jährlich. Zwischen dem Immissionsort und der PV-Anlage liegen jedoch dichte Hecken bzw. sogar teilweise ein Wäldchen, so dass von der PV-Anlage insgesamt kein Sonnenlicht zu diesem Immissionsort gelenkt werden kann. (Tabelle 2, Zeile 4).

Immissionsorte 2, 4, 5: Die berechneten γ -Flächen sind in den Bildern 4 bis 6 eingetragen. Die grün gezeichneten γ -Flächen für die Modulneigung West haben keine Schnittpunkte mit den Sonnenstandslinien, die blau gezeichneten γ -Flächen für die Modulneigung Ost haben jedoch solche Schnittpunkte. Die aus diesen γ -Flächen berechneten, theoretischen Reflexionszeiten enthält Tabelle 3. Bei allen drei Immissionsorten werden die Anforderungen der LAI-Hinweise erfüllt. Da sich auch zwischen diesen Immissionsorten die Laubhecke befindet, betragen die realen Reflexionszeiten ca. 50 % der theoretischen Reflexionszeiten. Auf die genaue Berechnung der realen Reflexionszeiten wurde verzichtet, da die LAI-Hinweise bereits gemäß den theoretischen, höheren Reflexionszeiten erfüllt werden.

	Immissionsort	Reflexionstage pro Jahr	Maximale tägliche Reflexionszeit	Mittlere tägliche Reflexionszeit	Jährliche Reflexionszeit im Kalenderjahr
1	2	222	6,7 min	3,93 min	$222 \cdot 3,93 \text{ min} = 14,5 \text{ h}$
2	4	159	12,5 min	10,08 min	$159 \cdot 10,08 \text{ min} = 26,7 \text{ h}$
3	5	185	6,8 min	4,25 min	$185 \cdot 4,25 \text{ min} = 13,1 \text{ h}$

Tabelle 3: Maximale tägliche und mögliche jährliche Reflexionszeiten für die Immissionsorte 2, 4 und 5

10 Zusammenfassung

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

Bei Fahrten auf der Geiststraße tritt nur in einem kurzen Abschnitt an der Südwestseite der PV-Anlage Kraftfahrerblendung auf. Als Abhilfemaßnahme wird empfohlen, den Zaun in einem Abschnitt an der südwestlichen Grenze der PV-Anlage mit einem Kunststoffgewebe zu versehen, das nicht mehr als 30 % Transmission besitzt (s. gelbe Linie in 1). Bei Fahrten auf dem Bühlheider Weg erzeugt die PV-Anlage keine Kraftfahrerblendung.

Es wurden fünf potentielle, blendgefährdete Immissionsorte identifiziert. Zu allen Immissionsorten wird zwar Sonnenlicht von der PV-Anlage reflektiert, die Anforderungen der LAI-Hinweise werden jedoch erfüllt.

Gegen die Errichtung der PV-Freiflächenanlage Wadersloh 2 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 2 mit den untersuchten Blickpunkte A bis D auf der Geiststraße/dem Bühheider Weg und den Immissionsorten 2 bis 6

Gelbe Linie: Mit einer Abschirmung zu versehender Zaunabschnitt

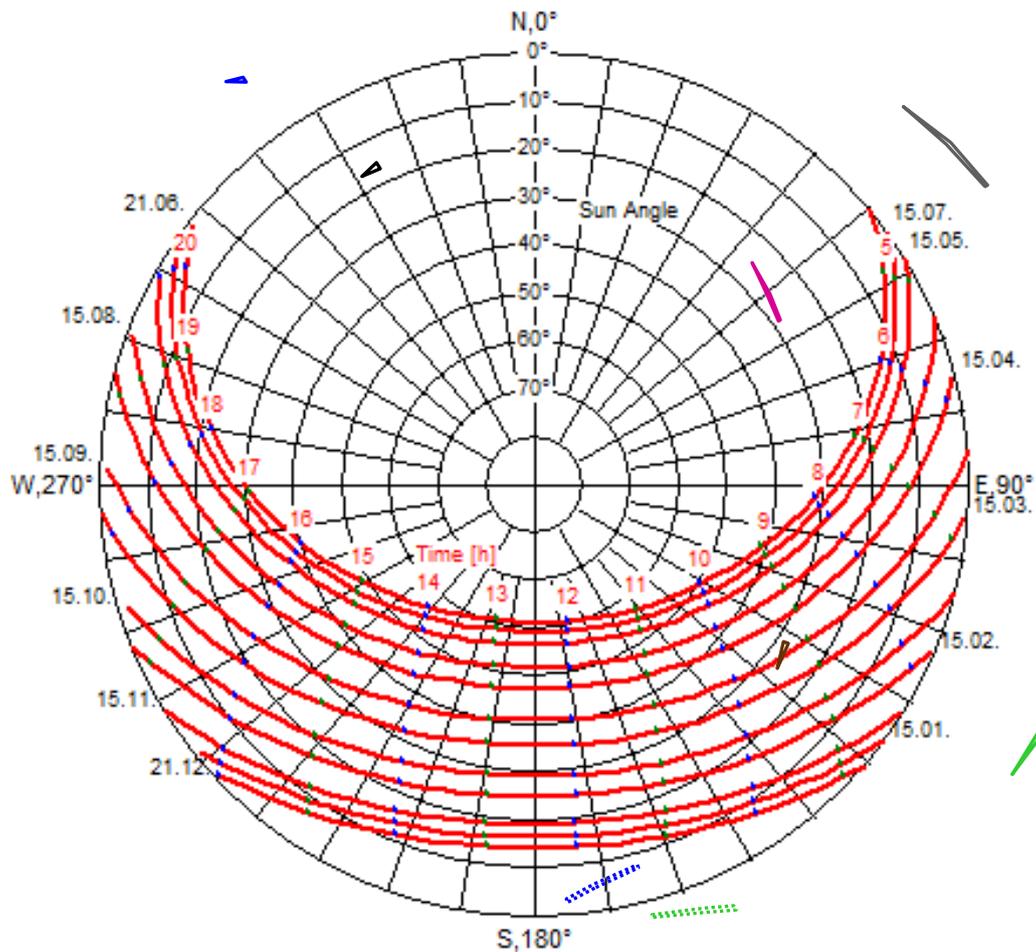


Bild 2: Monatlicher Sonnenstand (Sonnenhöhe und -richtung) für Wadersloh mit γ -Flächen zur Bewertung der Vorbeifahrt eines Kfz auf zwei Straßen an der PV-Anlage Wadersloh 2

- : Blickpunkt bei Markierung A, Geiststraße Ri. Nordwest, Modulneigung West
- : Blickpunkt bei Markierung A, Geiststraße Ri. Nordwest, Modulneigung Ost
- : Blickpunkt bei Markierung B, Geiststraße Ri. Südost, Modulneigung West
- : Blickpunkt bei Markierung B, Geiststraße Ri. Südost, Modulneigung Ost
- : Blickpunkt bei Markierung C, Bühlheid. Weg Ri. Nordost, Modulneigung West
- : Blickpunkt bei Markierung C, Bühlheid. Weg Ri. Nordost, Modulneigung Ost
- : Blickpunkt bei Markierung D, Bühlheid. Weg Ri. Süd, Modulneigung West
- : Blickpunkt bei Markierung D, Bühlheid. Weg Ri. Süd, Modulneigung Ost

Quelle des Sonnenstandsdiagramms: www.stadtklima-stuttgart.de;

Copyright: © Lohmeyer GmbH & Co. KG, Karlsruhe 2007

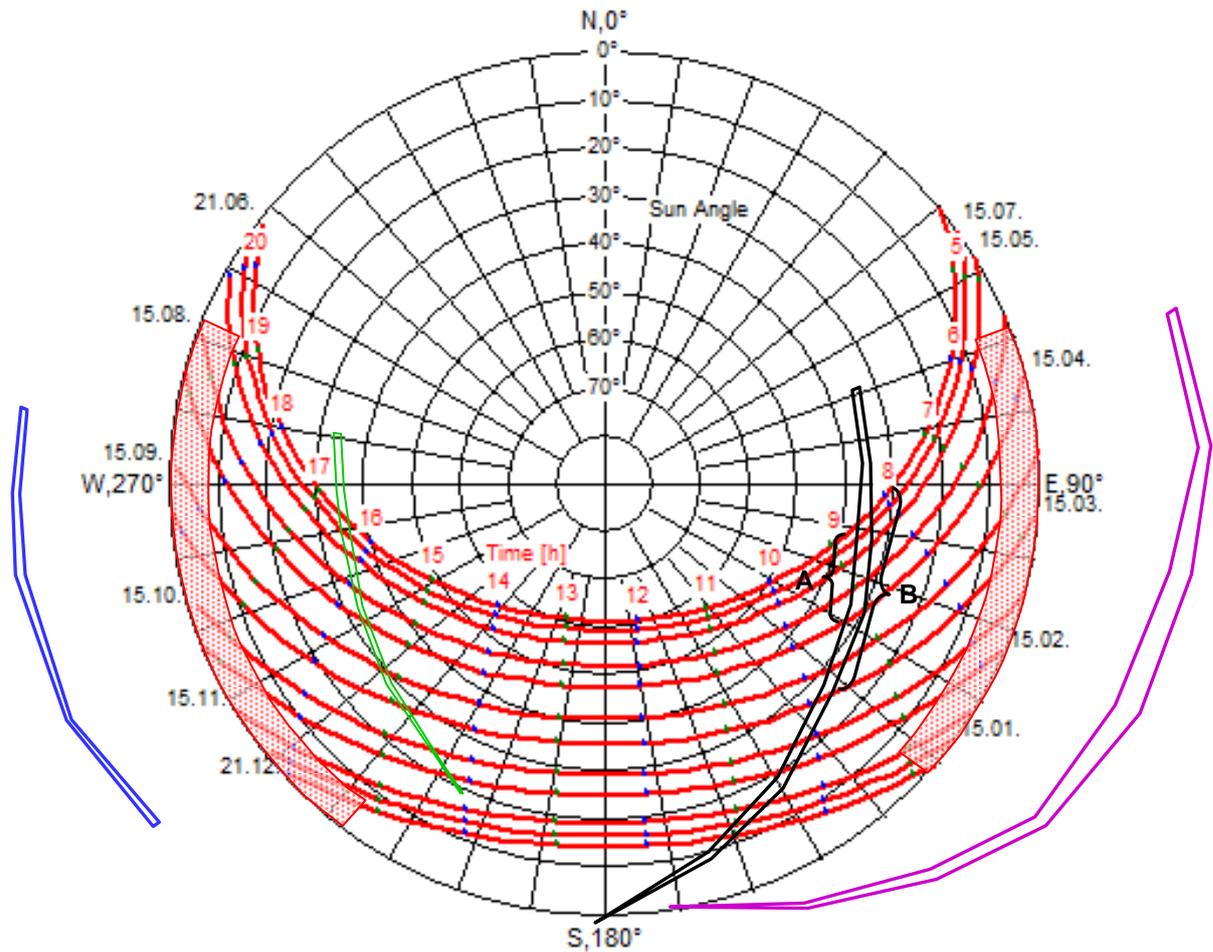


Bild 3: Monatlicher Sonnenstand (Sonnenhöhe und -richtung) für Wadersloh mit γ -Flächen zur Bewertung der Reflexionszeiten zu den Immissionsorten für die PV-Anlage Wadersloh 2

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

- : Blickpunkt bei Immissionsort 3, Bühlheider Weg 3, Modulneigung West
- : Blickpunkt bei Immissionsort 3, Bühlheider Weg 3, Modulneigung Ost
- : Blickpunkt bei Immissionsort 6, Bühlheider Weg 6, Modulneigung West
- : Blickpunkt bei Immissionsort 6, Bühlheider Weg 6, Modulneigung Ost

geschweifte Klammer A: Vegetationszeit 15. 4. bis 21. 6.

geschweifte Klammer B: Vegetationszeit 21. 6. bis 15. 10.

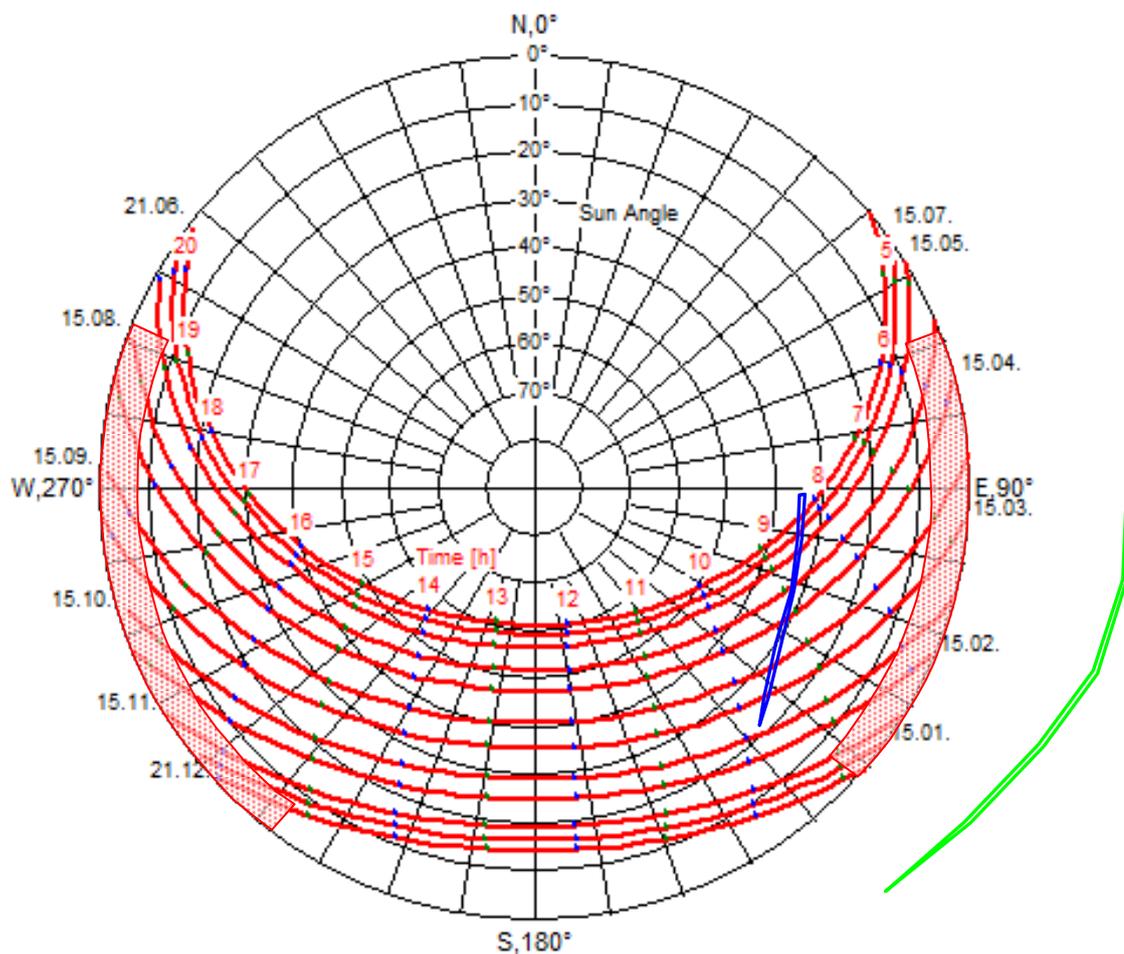


Bild 4: Monatlicher Sonnenstand (Sonnenhöhe und -richtung) für Wadersloh mit γ -Flächen zur Bewertung der Reflexionszeiten zu den Immissionsorten für die PV-Anlage Wadersloh 2

- : Blickpunkt bei Immissionsort 2, Biesterweg 2, Modulneigung Ost
- : Blickpunkt bei Immissionsort 2, Biesterweg 2, Modulneigung West

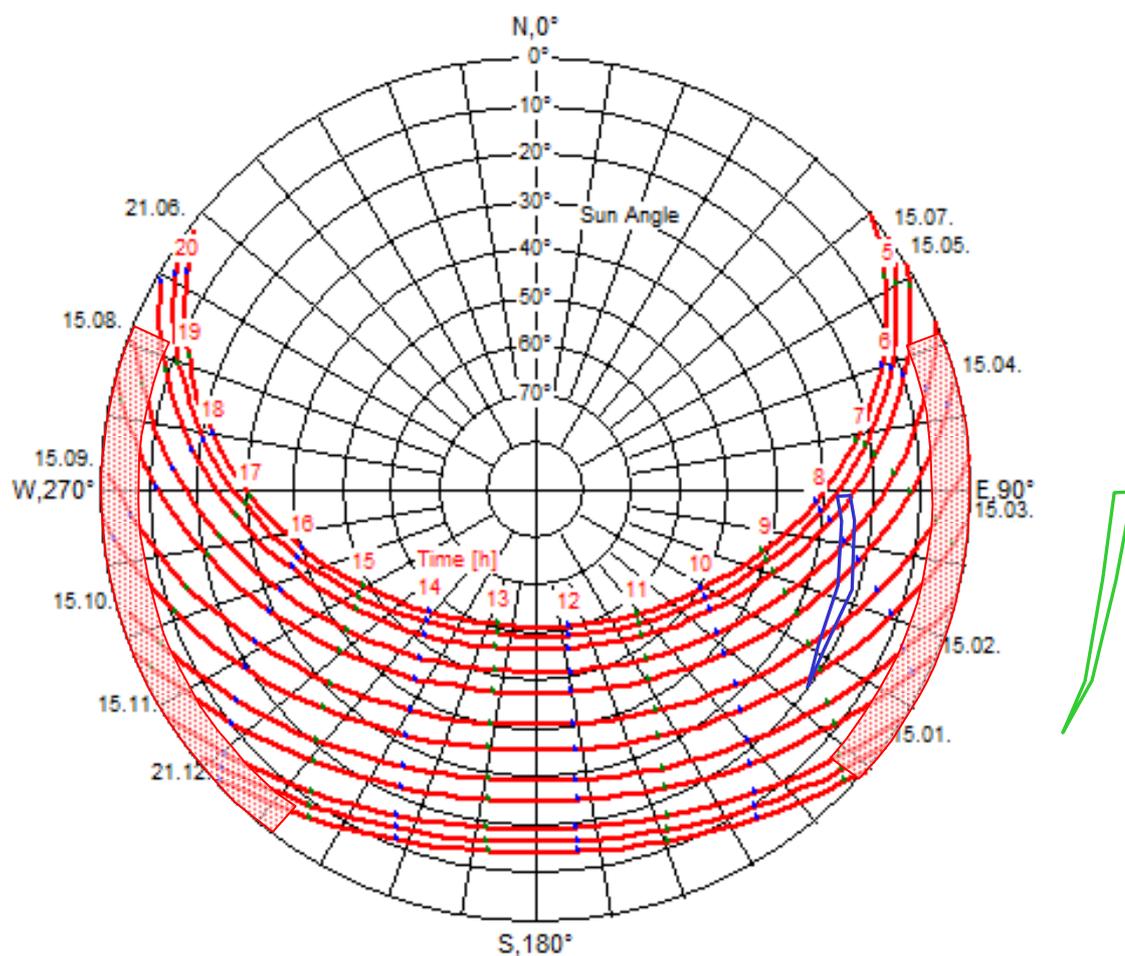


Bild 5: Monatlicher Sonnenstand (Sonnenhöhe und -richtung) für Wadersloh mit γ -Flächen zur Bewertung der Reflexionszeiten zu Immissionsorten

- : Blickpunkt bei Immissionsort 4, Geiststr.4, Modulneigung Ost
- : Blickpunkt bei Immissionsort 4, Geiststr.4, Modulneigung West

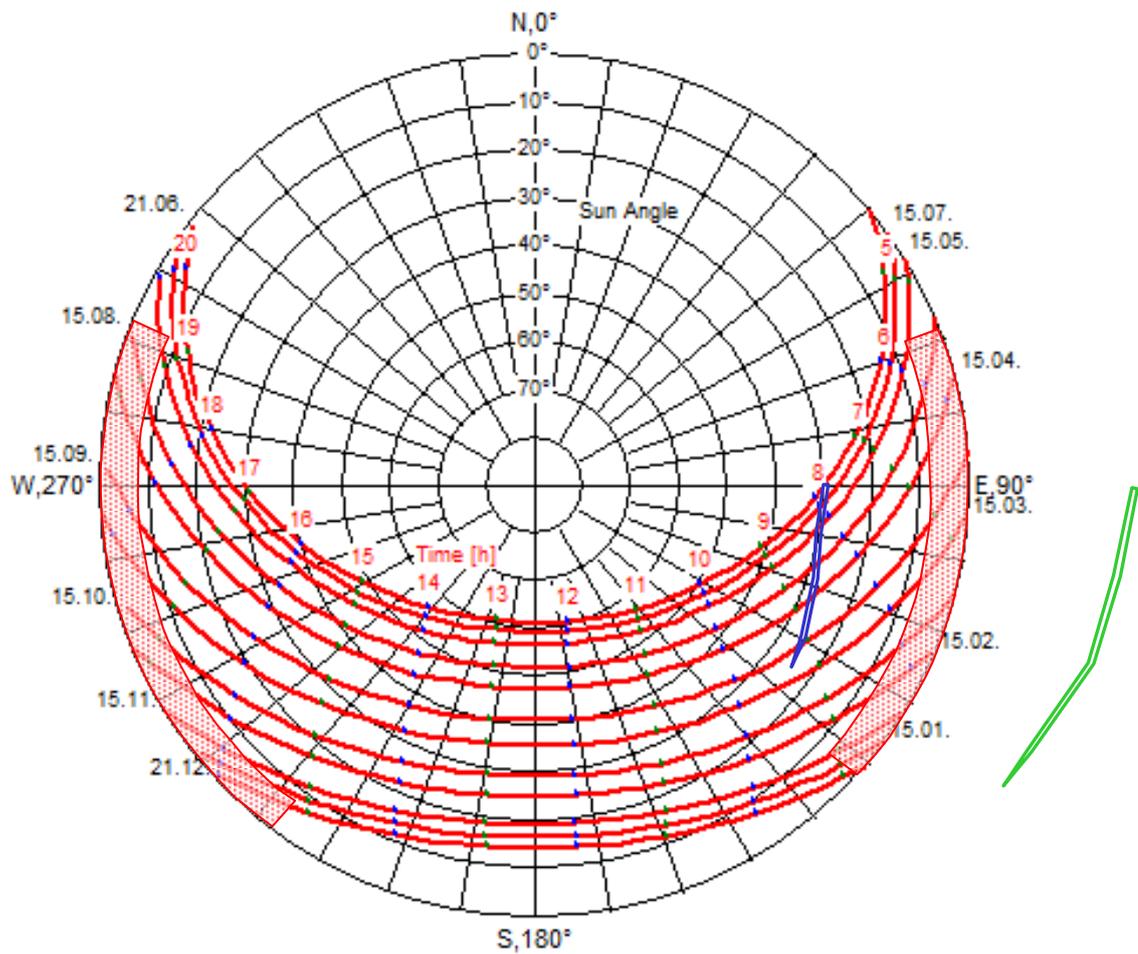


Bild 6: Monatlicher Sonnenstand (Sonnenhöhe und -richtung) für Wadersloh mit γ -Flächen zur Bewertung der Reflexionszeiten zu den Immissionsorten für die PV-Anlage Wadersloh 2

- : Blickpunkt bei Immissionsort 5, Geiststr.5, Modulneigung Ost
- : Blickpunkt bei Immissionsort 5, Geiststr.5, Modulneigung West



*Bild 7: Untersuchtes Kunststoffgewebe der Fa. Evios Energy Systems GmbH
Maßstab: ca. 1:2*



*Bild 8: Untersuchtes Kunststoffgewebe, Lieferant Fa. evia Verkehrstechnik GmbH/ACCURA NTV KG
Maßstab: ca. 1:2*