

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 29. 3. 2023

G u t a c h t e n
G04/2023

**zur Frage der eventuellen Blend- und Störwirkung von Straßennutzern
und Anwohnern durch eine bei Ahrensbök-Lebatz
zu installierende Photovoltaikanlage**

(Dieses Gutachten besteht aus 13 Seiten
und einem Anhang mit weiteren 9 Seiten)

1 Auftraggeber

Den Auftrag zur Erarbeitung des Gutachtens erteilte die greentech invest 7 GmbH & Co. KG, Warburgstraße 50 in 20354 Hamburg.

Auftragsdatum: 31. 1. 2023

2 Auftragsache

Die Fa. greentech plant die Errichtung einer Freiflächen-Photovoltaikanlage in der Nähe von Lebatz, einem Ortsteil von Ahrensbök. Es stellt sich die Frage, ob Nutzer der an der PV-Anlage vorbeiführenden Straßen sowie Bewohner nahegelegener Wohngebäude (Immissionsorte) 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 Modultischreien 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. greentech zur Verfügung gestellt wurden:

- Modullayout
- Höhenplan
- Modultischquerschnitt
- Fotos
- Mündliche und Emailinformationen durch Frau Werner-Bürger und Herrn Felix Zimmermann, Fa. greentech

Die Geländehöhen der PV-Anlage wurden dem Höhenplan entnommen, die Geländehöhen der Umgebung der PV-Anlage wurden mit dem Digitalen Atlas Nord bestimmt. Die Entferungen und horizontalen Winkel wurden mit google earth ermittelt. Der monatliche Sonnenstand für Lebatz (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 Lebatz und topografische Daten

5.1 Die PV-Anlage

Die vierteilige PV-Anlage wird auf einem bisher landwirtschaftlich genutzten Gelände errichtet, s. die Bilder 1a bis 1c im Anhang. Das PV-Anlagengelände ist leicht hügelig. Teilfläche Nord (TF N) liegt auf 66 m bis 68 m über Normalhöhennull (NHN); Teilfläche Ost1 (TF O1) liegt an der Nordecke und der Ostecke auf ca. 49 m und steigt bis zur Südecke auf 58 m. TF O2 füllt von Nord nach Süd von 68 m auf 59 m. TF W liegt an der Westecke auf 63 m und steigt bis zur Ostecke auf 66 m und bis zur Südecke auf 69 m. Die Höhe des um die PV-Anlage zu installierenden Zaunes beträgt 2,60 m. Die geplante Leistung beträgt 109 MW_{peak}. Nach aktuellem Planungsstand werden Module des Herstellers JA Solar, Typ JAM72S30-545MB mit einer Modulleistung von 545 W_{peak} eingesetzt.

Die Module werden auf sogenannten Modultischreihen montiert, deren maximale Länge der jeweils verfügbaren Breite der einzelnen Teilstufen entspricht. Die Ausrichtung der Modultischreihen erfolgt in Ost-West-Richtung mit einer Modulneigung gegen Süd von 15°. Modulober- und unterkante befinden sich in einer Höhe von 2,52 m bzw. 0,70 m über Geländeoberkante (GOK).

5.2 Die untersuchten Straßen

TF N: Die Straße „Brauner Heckkaten“ führt unmittelbar nördlich an TF N vorbei. Von Osten kommend, liegt der Fahrtrichtungswinkel bei 264° bis 288°. Die Fahrbahn-

oberkante (FOK) liegt etwa auf gleicher Höhe wie die Geländeoberkante (GOK) der direkt angrenzenden PV-Fläche.

TF W: Die Straße „Tankenrader Eck“ führt über die Länge von ca. 75 m nordöstlich an TF W vorbei. Von Osten kommend, liegt der Fahrtrichtungswinkel bei ca. 310°. Die FOK liegt auf gleicher Höhe wie die GOK der direkt angrenzenden PV-Fläche.

TF O1: Die Straße „Tankenrade“ führt unmittelbar westlich an TF O1 vorbei. Von Norden kommend, liegt der Fahrtrichtungswinkel bei 210°. Die FOK liegt 0 m bis 1 m Meter höher als die GOK der PV-Fläche.

TFO2: In der Nähe dieser Teilfläche liegen weder Straßen noch Immissionsorte, deshalb muss diese Teilfläche nicht näher betrachtet werden.

5.3 Die untersuchten Gebäude (Immissionsorte)

Folgende potentielle Immissionsorte wurden identifiziert:

TF N, s. Bild 1a

Immissionsort 1: Wohngebäude an der Straße Brauner Heckkaten Nr. 1 bis 5

TF W, s. Bild 1b

Immissionsort 2: Wohngebäude am Ende der Straße Tankenrader Eck Nr. 6

Immissionsort 3: Wohngebäude Tankenrade Nr. 14

Immissionsort 4: Wohngebäude Tankenrade Nr. 34

TF O1, s. Bild 1c

Immissionsort 5: Wohngebäude an der Straße Tankenrade Nr. 1. Zwischen diesem Gebäude und der nordöstlich gelegenen PV-Anlage befindet sich ein mindestens 5 m breiter Gehölzstreifen, der im Sommerhalbjahr die PV-Anlage vollständig gegen den Einblick vom Wohngebäude bei Immissionsort 5 abschirmt.

Die Reflexionszeit steigt mit der Fensterhöhe der betroffenen Gebäude. Diese sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Immissionsort	Zahl der Geschosse	Höhe der Fenstermitte des obersten Geschosses über Grund
1	Westfassade: 2	6 m
	Südfassade: 2	6 m
2	Südwestfassade: 2	5,50 m
	Südostfassade: 2	2,50 m
3	Westfassade: 2	5,50 m
4	Westfassade: 2	5,50 m
5	Südostfassade: 2	5,50 m
	Nordostfassade: 1	2,50 m

Tabelle 1: Die untersuchten 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 Beobachters 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 Verbindungsgeraden 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 Winkelwinkeln 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 Anzeigegeräte 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 (BlmSchG) 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 BlmSchG 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 Immissionschutz (LAI) vom 13. 9. 2012, 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 betroffe-

nen 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 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, erfahrungs-gemäß nur kurzzeitige Blendwirkungen erfahren. Nur Immissionsorte, die vorwie-gend 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 Er-fahrungen des Unterzeichners bei der Begutachtung anderer PV-Anlagen können PV-Anlagen auch dann eine unzumutbare Störwirkung entfalten, wenn ihre Ent-fernung von Immissionsort beträchtlich größer als 100 m ist, z.B. wenn sich die be-troffenen Fenster sehr weit oberhalb des PV-Anlagengeländes befinden, das An-lagengelände ein Gefälle in Richtung Immissionsort aufweist oder die PV-Fläche sehr ausgedehnt ist. Die LAI-Hinweise enthalten auch keine Aussage, wie zu ver-fahren 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 vom Unterzeichner 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 Win-keln $\gamma \leq 7,5^\circ$ von einer PV-Anlage in Richtung Immissionsort reflektiert wird, wird wegen dessen geringer Intensität (vergleichbar der Intensität des direkten Son-nenlichts, das unter $\gamma = 3^\circ$ reflektiert wird, d.h. unmittelbar nach Sonnenaufgang oder vor Sonnenuntergang) und wegen Bewuchs, Bebauung und der zu durch-dringenden 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 Sonnen-lights, 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 Flä-cke, 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 gegenüber-liegenden Seite der Fensteröffnung. Bei Mansardenfenstern mit einer Breite von z.B. nur 0,60 m Breite beträgt der entsprechende Winkel 35° , bei schrägliegenden Dachgeschossfenstern ca. 10° . Bei den Berechnungen ist der für die jeweiligen Fenster maßgebliche Winkelbereich nicht zu berücksichtigen.

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 reflektier-tes Licht in die Blickrichtung eines Kraftfahrers gelangt. Ist eine gewisse Wahrschein-lichkeit 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 Lebatz 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 Entfernung 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 2,50 m ein vertikaler Winkel σ von ca. -2,9° (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 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 Lebatz eingetragen. Da die Berechnungen für die gesamte Fläche der PV-Anlage von einem festen Beobachterstandort aus durchgeführt werden, stellen die ermittelten α/γ -Werte Flächen in Form von geschlossenen Polygonzügen dar, die im Folgenden als γ -Flächen bezeichnet werden. Haben diese γ -Flächen Schnittpunkte mit den roten Sonnenstandslinien, fällt Sonnenlicht ins Auge eines Kraftfahrers; die dazugehörigen Jahres- und Tageszeiten können aus dem Polardiagramm abgelesen werden. Bei fehlenden Schnittpunkten ist keine Sonnenlichtreflexion zum Kraftfahrer möglich.

8.3 Zeitliche Wahrscheinlichkeit der Sonnenlichtreflexion ins Auge eines Kraftfahrers

8.3.1 TF N, Straße Brauner Heckkaten

Fahrtrichtung Ost: Die Berechnungen wurden für die Markierung A (Blickpunkt eines Kraftfahrers) durchgeführt; dieser Blickpunkt ist repräsentativ für die Vorbeifahrt an der Anlage in dieser Richtung. Die für diesen Blickpunkt berechnete γ -Fläche ist in Bild 2 in blauer Farbe eingezeichnet. Die Fläche liegt unterhalb der Sonnenstandslinien, sogar außerhalb des Polardiagramms und hat keine Schnittpunkte mit den Sonnenstandslinien, gemäß der Erläuterungen im vorangehenden Abschnitt kann kein Sonnenlicht von TF N zum Kraftfahrer gelenkt werden, Kraftfahrerblendung ist nicht möglich.

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

Fahrtrichtung West: Die Berechnungen wurden für die Markierungen B und C (Blickpunkte eines Kraftfahrers) durchgeführt. Die für diese Blickpunkte berechneten γ -Flächen sind in Bild 2 in grüner bzw. schwarzer Farbe eingezeichnet. Sie haben teilweise Schnittpunkte mit den Sonnenstandslinien, Sonnenlicht kann von TF N etwa von Anfang März bis Mitte April und Mitte August bis Ende September zum Kraftfahrer reflektiert werden. Die Blickwinkel θ des Kraftfahrers zu TF N liegen mit 5° bis 20° im teilweise kritischen Blickwinkelbereich. Eine verkehrsgefährdende Blendung des Kraftfahrers kann in dieser Fahrtrichtung nicht ausgeschlossen werden.

Abhilfemaßnahme: Es wird vorgeschlagen, an der Nordgrenze von TF N entlang des in Bild 1a mit einer grünen Linie gekennzeichneten Abschnitts mit der Länge von ca. 170 m den Zaun in einer Höhe von 0,70 m (Modulunterkante) bis zur Zaunoberkante von 2,60 m mit einem dunklen Kunststoffgewebe zu versehen, das nicht mehr als 30 % Transmission besitzt. Wenn der entsprechende Abschnitt begrünt wird, kann das Kunststoffgewebe entfernt werden, sobald die Begrünung auf 2,60 m Höhe herangewachsen ist.

Der Unterzeichner hat ein solches 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 das in Bild 8 gezeigte Kunststoffnetz infrage, das etwa die gleichen Eigenschaften hat wie das geprüfte Kunststoffnetz.

8.3.2 TF W, Straße Tankenrader Eck

Fahrtrichtung Nordwest: Die Berechnungen wurden für die Markierung D durchgeführt; dieser Blickpunkt ist repräsentativ für die Vorbeifahrt an der Anlage in dieser Richtung. Die für diesen Blickpunkt berechnete γ -Fläche ist in Bild 3 in schwarzer Farbe eingezzeichnet. Sie hat Schnittpunkte mit den Sonnenstandslinien, Sonnenlicht kann von TF W etwa von Mai bis August zum Kraftfahrer reflektiert werden. Der Blickwinkel θ des Kraftfahrers zu TF W liegt mit 13° bis 20° im weniger kritischen Blickwinkelbereich. Ein mit Tempo 60 fahrender Kraftfahrer durchfährt diesen ca. 75 m langen Streckenabschnitt in 4,5 sec. Diese Einwirkzeit des reflektierten Sonnenlichts auf den Kraftfahrer ist trotz des weniger kritischen Blickwinkelbereichs so lang, dass eine verkehrsgefährdende Blendung des Kraftfahrers in dieser Fahrtrichtung nicht in allen Fällen ausgeschlossen werden kann.

Abhilfemaßnahme: Auch hier sollte der Zaun an der Nordgrenze von TF W entlang des genannten Streckenabschnitts von 75 m Länge (in Bild 1b ebenfalls durch eine grüne Linie gekennzeichnet) mit dem in vorgehenden Abschnitt beschriebenen Kunststoffgewebe versehen werden, das entfernt werden kann, wenn eine Begrünung auf 2,60 m herangewachsen ist.

Fahrtrichtung Südost: Die Berechnungen wurden für die Markierung E durchgeführt; dieser Blickpunkt ist repräsentativ für die Vorbeifahrt an der Anlage in dieser Richtung. Die für diesen Blickpunkt berechnete γ -Fläche ist in Bild 3 in brauner Farbe eingezzeichnet. Sie liegt unterhalb der Sonnenstandslinien, sogar unterhalb/außerhalb des Polardiagramms. Kraftfahrerblendung kann daher in dieser Fahrtrichtung nicht auftreten.

8.3.3 TF O1, Straße Tankenrade

Fahrtrichtung Nordost: Die Berechnungen wurden für die Markierung E durchgeführt; Dieser Blickpunkt ist wieder repräsentativ für die Vorbeifahrt an der Anlage. Die blau dargestellte γ -Fläche ist ebenfalls in Bild 3 eingetragen. Sie liegt oberhalb der Sonnenstandslinien, Blendung des Kraftfahrers ist nicht möglich.

Diese Tatsache ergibt sich daraus, dass auf der nördlichen Erdhalbkugel die Sonne nicht aus nördlichen bis nordöstlichen Richtungen scheint und das Sonnenlicht daher nicht in südliche bis südwestliche Richtungen reflektiert werden kann, d.h. nicht ins Auge eines Kraftfahrers gelangen kann, der in Richtung Norden bis Nordosten blickt.

Fahrtrichtung Südwest: Die Berechnungen wurden für die Markierung G durchgeführt. Dieser Blickpunkt ist wieder repräsentativ für die Vorbeifahrt an der Anlage. Die grün dargestellte γ -Fläche ist ebenfalls in Bild 3 eingetragen. Sie liegt unterhalb der Sonnenstandslinien, Blendung des Kraftfahrers ist nicht möglich.

9 Zeitliche Wahrscheinlichkeit der Sonnenlichtreflexion in Richtung Immissionsorte

9.1 Geometrische Bedingungen

Um die evtl. von der PV-Anlage ausgehende Störwirkung für Anwohner zu bewerten, ist es zunächst 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 Lebatz ermittelt werden. Anstelle des Blickpunktes eines Kraftfahrers tritt die Fensterhöhe der betroffenen Gebäude.

Für den zu untersuchenden Immissionsort 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 Wohnhäuser an den Immissionsorten gelangen kann.

9.2 Ergebnisse

Da die Reflexionszeit mit der Fensterhöhe zunimmt, werden die Berechnungen für das jeweils höchste Geschoss (s. Tabelle 1) durchgeführt (worst case-Betrachtung).

Die Ergebnisse sind in den Bildern 4 bis 6 dargestellt. 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. Der Winkelbereich $0^\circ \leq \gamma \leq 7,5^\circ$ ist im Polardiagramm der Bilder 4 bis 6 rot schraffiert eingezeichnet.

9.2.1 Immissionsort 1

Die γ -Flächen für diesen Immissionsort sind in Bild 4 wiedergegeben. Sowohl die γ -Fläche für die West- als auch die γ -Fläche für die Südseite hat im relevanten Bereich des Sonnenhöhenwinkels keine Schnittpunkte mit den Sonnenstandslinien, in Richtung dieses Immissionsortes wird kein Sonnenlicht reflektiert.

9.2.2 Immissionsort 2

Die γ -Flächen für diesen Immissionsort sind ebenfalls in Bild 4 wiedergegeben. Sie liegen unterhalb der Sonnenstandslinien, sogar unterhalb/außerhalb des Polardiagramms und haben keine Schnittpunkte mit den Sonnenstandslinien, Sonnenlicht kann von der PV-Anlage zu keinem Zeitpunkt zu Immissionsort 2 reflektiert werden.

9.2.3 Immissionsorte 3 und 4

Die γ -Flächen für diese Immissionsorte sind in Bild 5 eingezeichnet. Sie haben Schnittpunkte mit den Sonnenstandslinien, Sonnenlicht kann in der Jahreszeit von Mitte April bis Ende August zwischen 17.30 Uhr und 17.55 Uhr MEZ zu diesen Immissionsorten gelenkt werden. Die aus den γ -Flächen berechneten Reflexionszeiten sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Sowohl die maximalen täglichen als auch die jährlichen Reflexionszeiten liegen weit unter den nach LAI-Hinweisen zulässigen Zeiten von 30 min bzw. 30 Stunden.

Immissionsort	Reflexionstage pro Jahr	Maximale tägliche Reflexionszeit	Mittlere tägliche Reflexionszeit	Astronomisch mögliche jährliche Reflexionszeit im Kalenderjahr
3	134	2,6 min	2,0 min	$134 \cdot 2,0 \text{ min} = 4,5 \text{ Stunden}$
4	142	3,3 min	2,7 min	$142 \cdot 2,7 \text{ min} = 6,4 \text{ Stunden}$

Tabelle 2: Maximale tägliche und mögliche jährliche Reflexionszeit für die Immissionsorte 3 und 4

9.2.4 Immissionsort 5

Die γ -Flächen für diesen Immissionsort sind ebenfalls in Bild 5 eingetragen. Sie haben Schnittpunkte mit den Sonnenstandslinien. Sonnenlicht kann theoretisch von der PV-Anlage in der Jahreszeit ca. Mitte April bis Mitte September, also in der Vegetationsperiode, zu Immissionsort 5 gelenkt werden. Die aus den γ -Flächen berechneten Reflexionszeiten sind in Tabelle 3 wiedergegeben. Dabei wurde jedoch der in Abschnitt bereits beschriebene, mindestens 5 m breite Gehölzstreifen zwischen dem Immissionsort und der PV-Anlage, der im Sommerhalbjahr die PV-Anlage vollständig gegen den Einblick von Immissionsort abschirmt, zunächst nicht berücksichtigt. Während die an der Nordostfassade auftretenden Reflexionszeiten die LAI-Hinweise gerade erfüllen, wird an der Südostfassade die jährliche Reflexionszeit mit 41,2 Stunden deutlich überschritten. Die Sonnenlichtreflexion stammt aus dem Blickwinkelbereich $\tau = 60^\circ$ bis 85° , bezogen auf ein Fenster im Wohngebäude bei Immissionsort 5, also aus Richtung Nordost bis Ost. Der Gehölzstreifen befindet sich im Blickwinkelbereich 70° bis 125° ; berücksichtigt man die Abschirmwirkung durch diesen Gehölzstreifen, ergeben sich die in Bild 6 eingezeichneten γ -Flächen. Die aus diesen γ -Flächen berechneten, realen, Reflexionszeiten sind ebenfalls in Tabelle 3 eingetragen. Sie liegen für beide Hausfassaden unter den nach LAI-Hinweisen zulässigen Reflexionszeiten.

Immissionsort 5	Berücksichtigung des Gehölzstreifens	Reflexionstage pro Jahr	Maximale tägliche Reflexionszeit	Mittlere tägliche Reflexionszeit	Astronomisch mögliche jährliche Reflexionszeit im Kalenderjahr
Nordost-fassade	nein	154	15,9 min	11,3 min	$154 \cdot 11,3 \text{ min} = 29,0 \text{ Stunden}$
	ja	77	15,3 min	9,9 min	$77 \cdot 9,9 \text{ min} = 12,7 \text{ Stunden}$
Südost-fassade	nein	142	26,1 min	17,4 min	$77 \cdot 17,4 \text{ min} = 41,2 \text{ Stunden}$
	ja	77	26,1 min	15,9 min	$77 \cdot 15,9 \text{ min} = 20,4 \text{ Stunden}$

Tabelle 3: Maximale tägliche und mögliche jährliche Reflexionszeit für die Immissionsort 5

10 Zusammenfassung

Es wurde untersucht, ob von der geplanten PV-Anlage Lebatz Blendwirkungen für Kraftfahrer auftreten können, die Straßen in der Nähe der PV-Anlage befahren, und ob Lichtimmissionen an drei Immissionsorten auftreten können.

Bei Fahrten auf den Straßen „Brauner Heckkaten“ und „Tankenrader Eck“ ist in Fahrtrichtung West bzw. Nordwest mit Kraftfahrerblendung zu rechnen. Diese kann vermieden werden, wenn der Zaun in den in Bild 1a und 1b mit einer grünen Linie gekennzeichneten Abschnitten in einer Höhe von 0,70 m bis 2,60 m mit einem dunklen Kunststoffgewebe (s. Bilder 7 und 8) versehen wird, das nicht mehr als 30 % Transmission besitzt.

Bei Fahrten auf der Straße „Tankenrade“ tritt keine Kraftfahrerblendung auf.

Zu den untersuchten Immissionsorten wird entweder kein Sonnenlicht von der PV-Anlage reflektiert oder die Reflexionszeiten liegen unter den Grenzwerten der LAI-Hinweise. Die LAI-Hinweise werden insgesamt erfüllt.

Nach Realisierung der empfohlenen Abschirmmaßnahmen ist gegen die Errichtung der PV-Freiflächenanlage Lebatz aus Sicht des Unterzeichners nichts einzuwenden.

U. Mischke

Dieses Gutachten wurde nach bestem Wissen und Gewissen angefertigt.

Anhang



*Bild 1a: Teilfläche Nord der geplanten PV-Anlage Lebatz mit Darstellung der untersuchten Blickpunkte A bis C auf der Straße „Brauner Heckkaten“ sowie des potentiellen Immissionsortes 1
Grüne Linie: Abschnitt der PV-Grenze, dessen Zaun mit einem Kunststoffgewebe abgeschirmt werden sollte*



*Bild 1b: Teilfläche West der geplanten PV-Anlage Lebatz mit Darstellung der untersuchten Blickpunkte D und E auf der Straße „Tankenrader Eck“ sowie der Immissionsorte 2 bis 4
Grüne Linie: Abschnitt der PV-Grenze, dessen Zaun mit einem Kunststoffgewebe abgeschirmt werden sollte*



Bild 1c: Teilflächen O1 und O2 der geplanten PV-Anlage Lebatz mit Darstellung der untersuchten Blickpunkte F und G auf der Straße „Tankenrade“ sowie der Immissionsortes 5

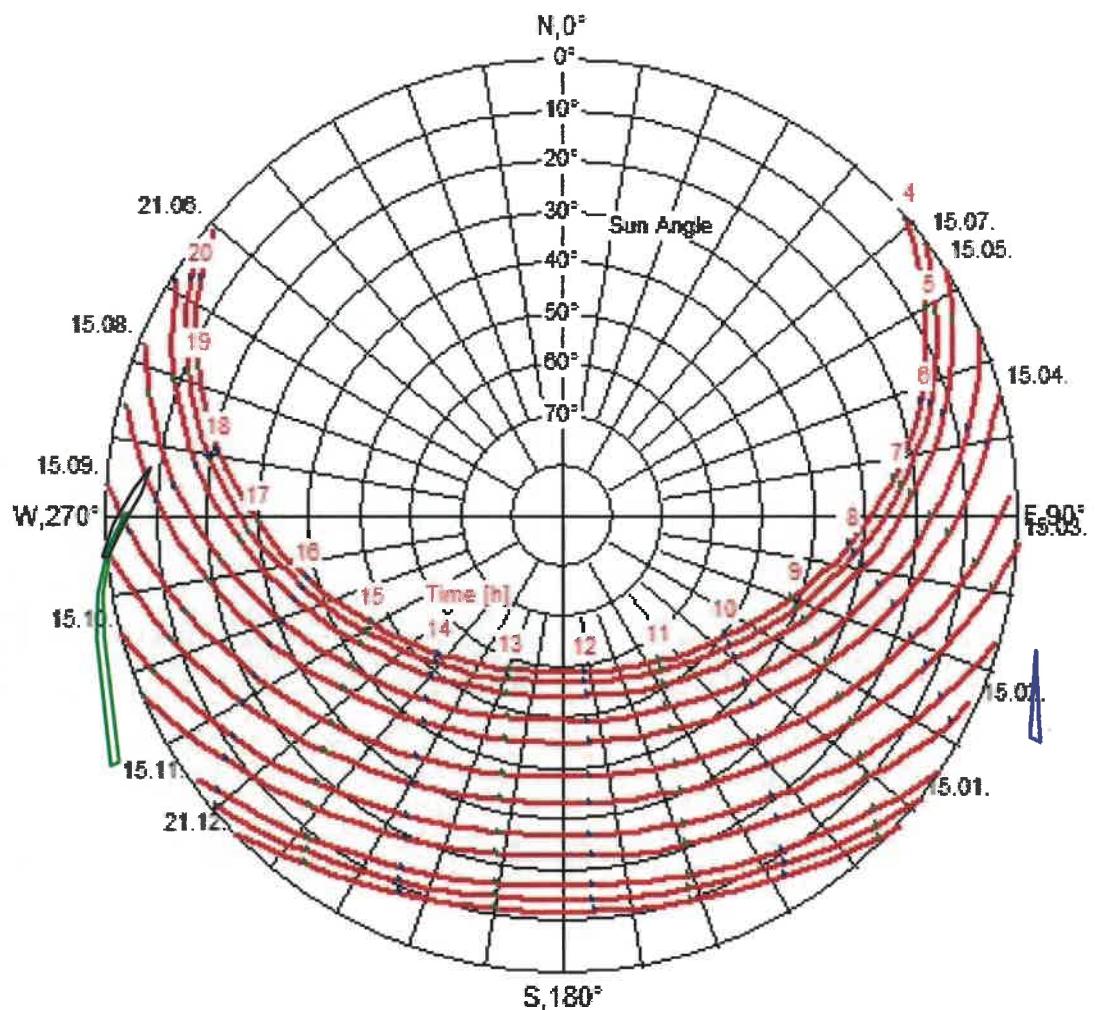


Bild 2: Monatlicher Sonnenstand (Sonnenhöhe und -richtung) für Lebatz mit γ-Flächen zur Bewertung der Vorbeifahrt eines Kfz auf der Straße „Brauner Heckkaten“ an der PV-Anlage

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

- : Blickpunkt bei Markierung A, Fahrtrichtung Ost
- : Blickpunkt bei Markierung B, Fahrtrichtung West
- : Blickpunkt bei Markierung C, Fahrtrichtung West

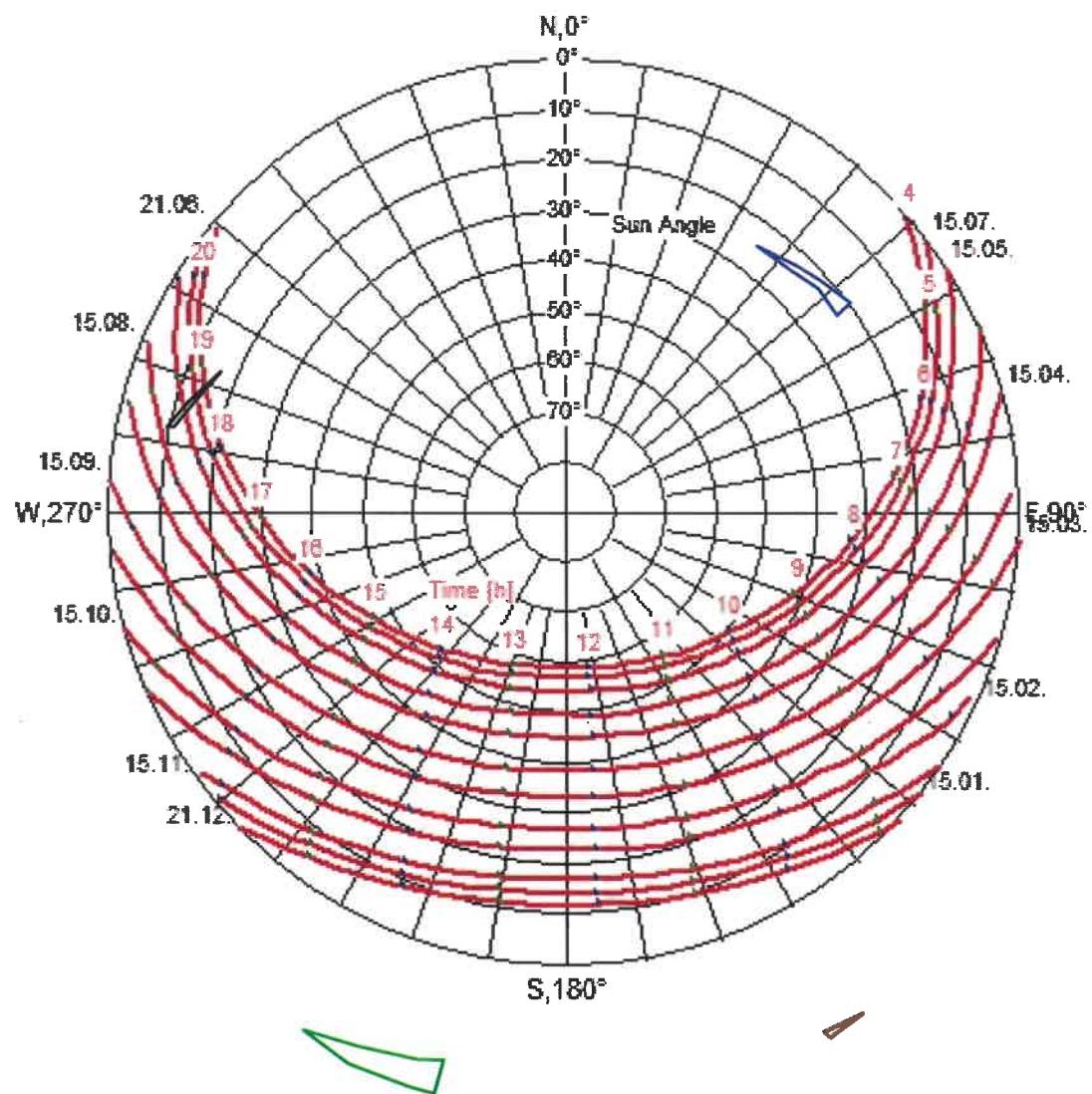


Bild 3: Monatlicher Sonnenstand (Sonnenhöhe und -richtung) für Lebatz mit γ -Flächen zur Bewertung der Vorbeifahrt eines Kfz auf den Straßen Tankenrade Eck und Tankenrade an der PV-Anlage

- : Blickpunkt bei Markierung D, Tankenrade Eck, Fahrtrichtung Nordwest
- : Blickpunkt bei Markierung E, Tankenrade Eck, Fahrtrichtung Südost
- : Blickpunkt bei Markierung F, Tankenrade, Fahrtrichtung Nordost
- : Blickpunkt bei Markierung G, Tankenrade, Fahrtrichtung Südwest

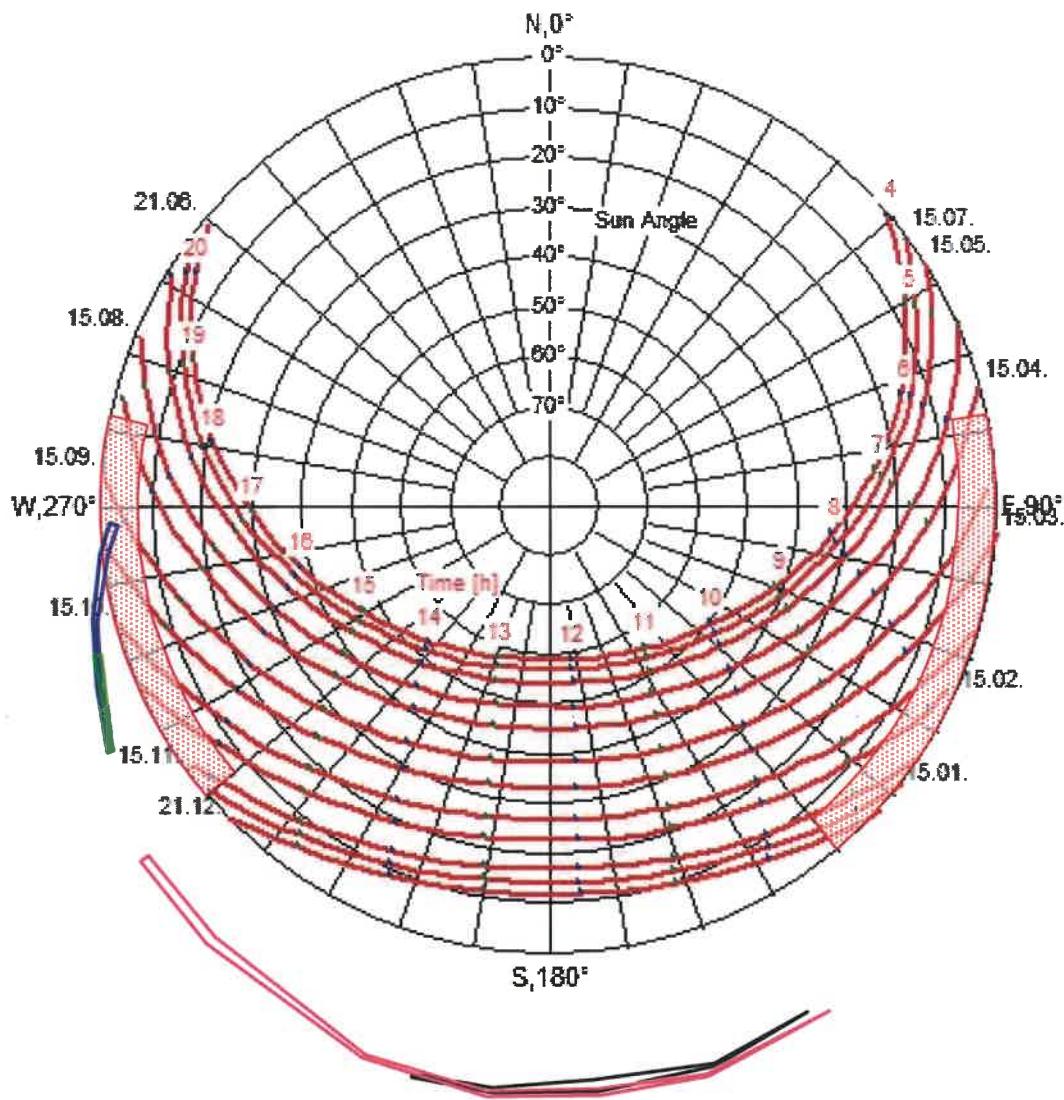


Bild 4: Monatlicher Sonnenstand (Sonnenhöhe und -richtung) für Lebatz mit γ -Flächen zur Bewertung der Reflexionszeiten zu den Immissionsorten 1 und 2

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

- : Immissionsort 1: Westfassade
- : Immissionsort 1: Südfassade
- : Immissionsort 2: Südwestfassade
- : Immissionsort 2: Südostfassade

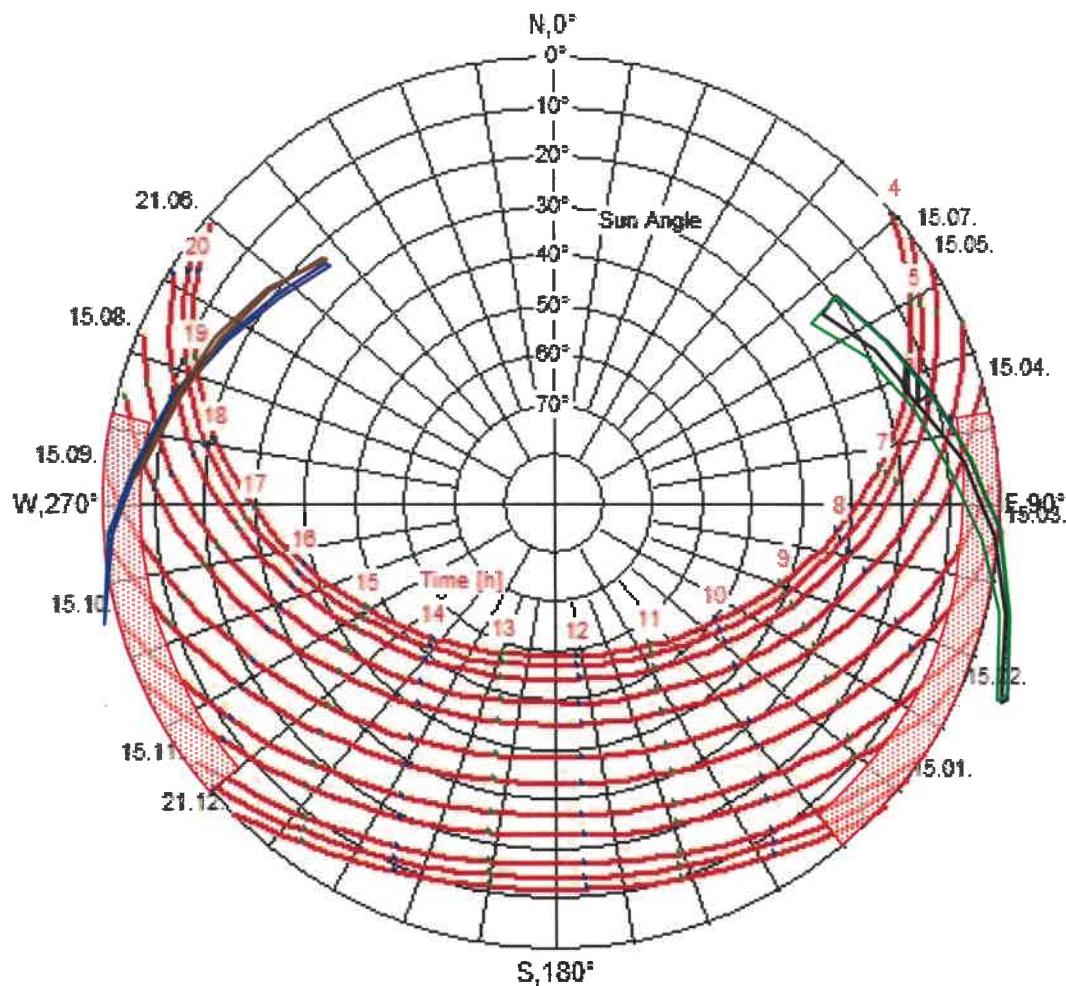


Bild 5: Monatlicher Sonnenstand (Sonnenhöhe und -richtung) für Lebatz mit γ-Fläche zur Bewertung der Reflexionszeiten zu den Immissionsorten 3 bis 5

- : Immissionsort 3: Westfassade
- : Immissionsort 4: Westfassade
- : Immissionsort 5: Südostfassade ohne Berücksichtigung Gehölzstreifen
- : Immissionsort 5: Nordostfassade, ohne Berücksichtigung Gehölzstreifen

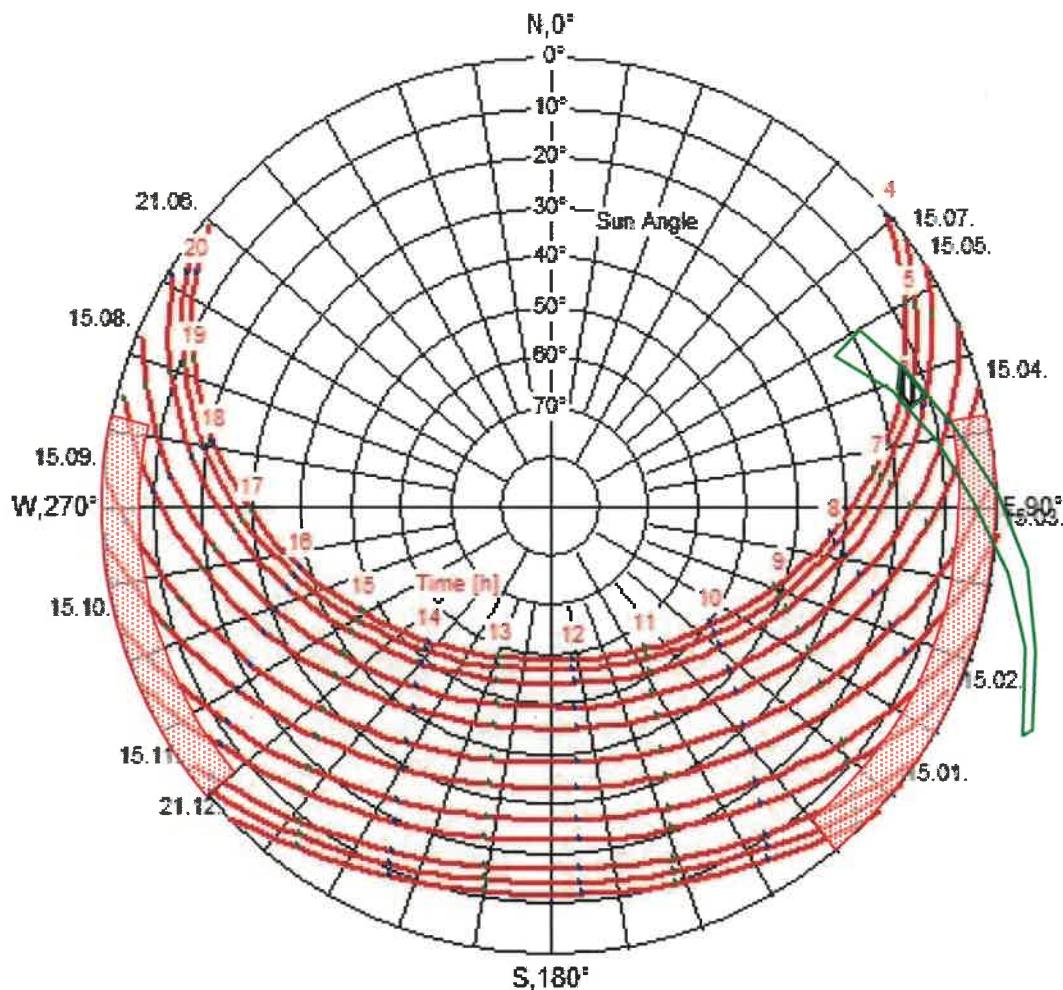


Bild 6: Monatlicher Sonnenstand (Sonnenhöhe und -richtung) für Lebatz mit γ -Fläche zur Bewertung der Reflexionszeiten zu den Immissionsort 5 mit Berücksichtigung des Gehölzstreifens

■ : Nordostfassade
■ : Südostfassade



*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*