

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 19. 3. 2024

G u t a c h t e n
G20/2024
zur Frage der eventuellen Blend- und Störfwirkung von Straßennutzern
und Anwohnern durch eine bei Nehnten
zu installierende Photovoltaikanlage

(Dieses Gutachten besteht aus 9 Seiten
und einem Anhang mit weiteren 3 Seiten)

1 Auftraggeber

Den Auftrag zur Erarbeitung des Gutachtens erteilte die greentech invest 11 GmbH & Co. KG, Warburgstraße 50 in 20354 Hamburg.

Auftragsdatum: 23. 1. 2024

2 Auftragsache

Die Fa. greentech plant die Errichtung einer Freiflächen-Photovoltaikanlage in der Nähe der Gemeinde Nehnten. Es stellt sich die Frage, ob Nutzer einer an der PV-Anlage vorbeiführenden Straße sowie Bewohner eines nahegelegenen Wohngebäudes (Immissionsort) 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. greentech zur Verfügung gestellt wurden:

- Modullayout
- Lageplan mit Modulbelegung
- Höhenplan
- Fotos
- Mündliche und Emailinformationen durch Frau Myrthe Sönnichsen und Herrn Bernd Sönnichsen, Fa. greentech

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

5 Beschreibung der PV-Anlage Nehmten und topografische Daten

5.1 Die PV-Anlage

Die vierteilige PV-Anlage wird auf einem bisher landwirtschaftlich genutzten Gelände errichtet, s. die Teilflächen TF1 bis TF4 in Bild 1 im Anhang. Die Gesamtfläche beträgt ca. 37,7 ha. Das PV-Anlagengelände fällt von Nord nach Süd ab: Die Geländeoberkante (GOK) von TF1 fällt von Nord nach Süd von 60 m auf 48 m über Normalhöhennull (NHN), die GOK der zusammenhängenden TF2 bis TF4 fällt von Nord nach Süd von 61 m bis 48 m.

Die geplante Leistung beträgt 79,059 MW_{peak}. Nach aktuellem Planungsstand werden Module des Herstellers Trina Solar, TSM-DEG21C.20 mit einer Modulleistung von 650 W_{peak} eingesetzt. Die Module werden auf sogenannten Modultischreihen montiert, deren maximale Länge der jeweils verfügbaren Breite der einzelnen Teilflächen entspricht. Die Modultischreihen verlaufen von Ost nach West, die Modulneigung gegen Süd ε beträgt 17°. Modulober- und -unterkante befinden in einer Höhe von 2,66 m bzw. 0,80 m über Geländeoberkante (GOK).

5.2 Die untersuchte Straße

Im Bereich der PV-Anlage befindet sich nur die Straße „Im Sande“, deren hier interessierender Bereich in Bild 1 durch die Markierungen 1 und 2 gekennzeichnet ist. Die Fahrtrichtung α der Straße beträgt ca. 135,2°/315,2°. Die Fahrbahnoberkante (FOK) der Straße fällt von Markierung A bis Markierung B von 61 m auf 48 m. Die FOK liegt etwa auf gleicher Höhe wie die jeweils gegenüberliegende GOK.

6 Der untersuchte Immissionsort

Ein potentieller Immissionsort befindet sich nur westlich der PV-Anlage . Das dortige Wohngebäude/Ferienwohnung Ehlers mit der Adresse Dorfstr. 1, 24326 Stocksee liegt auf ca. 49 m. Fensterflächen in Richtung PV-Anlage befinden sich nur in einem zweigeschossigen Wohnhaus, die Höhe der Fenstermitte über Grund beträgt ca. 5,50 m. Der kleinste Abstand dieser Fenster von der PV-Anlage beträgt ca. 700 m.

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

7.1 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 Blendefahrer gering:

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, so dass verkehrsgefährdende Situationen entstehen können.
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 „auszublenen“: 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.

8 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 Immissionsschutz (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 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. 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.

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

9.1 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 und 3 zeigen das Sonnenstandsdiagramm für Nehnten 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 2,50 m ein vertikaler Winkel σ von ca. $-2,9^\circ$ (Blick leicht nach unten). Dieser Winkel σ wurde bei den weiteren Berechnungen zugrunde gelegt.

9.2 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 $\varepsilon = 17^\circ$ 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 Nehnten eingetragen. Da die Berechnungen für die gesamte Fläche der 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 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.

9.3 Zeitliche Wahrscheinlichkeit der Sonnenlichtreflexion ins Auge eines Kraftfahrers

Der Blick eines Kraftfahrers, der die Straße Im Sande befährt, ist zu TF 2 bis TF4 wegen des dazwischen liegenden Waldes nicht möglich. Zu TF1 ist aber ein freier Blick gegeben. Da sich die Fahrtrichtung und der Blickwinkel eines Kraftfahrers während der Vorbeifahrt an TF1 nicht ändern, genügt in jeder Fahrtrichtung die Untersuchung eines Blickpunktes. Als repräsentative Blickpunkte wurden die Markierungen A und B (s. Bild 1) gewählt.

Fahrtrichtung Südost: Die für Blickpunkt A berechnete γ -Fläche ist in grüner Farbe in Bild 2 eingezeichnet. Sie liegt unterhalb der Sonnenstandslinien, sogar unterhalb/außerhalb des Polardiagramms. Sonnenlicht kann zu keinem Zeitpunkt von der PV-Anlage zum Kraftfahrer auf der Straße Im Sande reflektiert werden, Kraftfahrerblendung tritt in dieser Fahrtrichtung nicht auf.

Dieser Sachverhalt gibt die Tatsache wieder, dass ein Kraftfahrer, der in dieser Fahrtrichtung auf die PV-Anlage blickt, nur die Modulrückseiten sieht und dass das Sonnenlicht immer über den Kraftfahrer hinweg reflektiert wird.

Fahrtrichtung Nordwest: Die für Blickpunkt B berechnete γ -Fläche ist in blauer Farbe ebenfalls in Bild 2 eingezeichnet. Sie liegt oberhalb der Sonnenstandslinien und hat keine Schnittpunkte mit diesen, Sonnenlichtreflexion zum Kraftfahrer kann nicht auftreten, eine Kraftfahrerblendung ist auch in dieser Fahrtrichtung nicht möglich.

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

10 Zeitliche Wahrscheinlichkeit der Sonnenlichtreflexion in Richtung des Immissionsortes

10.1 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 Nehnten ermittelt werden.

Für den zu untersuchenden Immissionsort 1 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 des Wohngebäudes am Immissionsort 1 gelangen könnte.

10.2 Ergebnisse

Da die Reflexionszeit mit der Fensterhöhe zunimmt, werden die Berechnungen für das Obergeschoss des Wohngebäudes beim Immissionsort 1 mit der Fenstermitte über Grund von 5,5 m durchgeführt. Die berechnete γ -Fläche ist in Bild 3 eingezeichnet. Sie hat Schnittpunkte mit den Sonnenstandslinien, Sonnenlicht wird vom 15. April bis 31. August zwischen ca. 5.50 Uhr und 6.30 Uhr MEZ zu diesem Wohngebäude reflektiert. Aus der γ -Fläche wurden die Reflexionszeiten berechnet und in Tabelle 1 aufgelistet. Die maximale tägliche und die jährliche Reflexionszeit liegen weit unter den nach LAI-Hinweisen zulässigen Zeiten von 30 Minuten/30 Stunden.

Reflexionstage pro Jahr	Maximale tägliche Reflexionszeit	Mittlere tägliche Reflexionszeit	Jährliche Reflexionszeit im Kalenderjahr
139	4,5 min	2,53 min	139 · 2,53 min = 5,9 Stunden

Tabelle 1: Maximale tägliche und mögliche jährliche Reflexionszeiten für Immissionsort 1

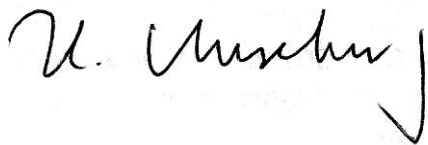
11 Zusammenfassung

Es wurde untersucht, ob von der geplanten PV-Anlage Nehnten Blendwirkungen für Kraftfahrer auf der Straße „Im Sande“ ausgehen sowie Lichtimmissionen bei einem Immissionsort auftreten.

Bei Fahrten auf der Straße tritt keine Kraftfahrerblendung auf.

Die Immissionszeiten wurden für den Immissionsort Dorfstr. 1, 24326 Stocksee berechnet. Die nach LAI-Hinweisen zulässigen maximalen täglichen und jährlichen Reflexionszeiten werden eingehalten.

Gegen die Errichtung der PV-Freiflächenanlage in Nehnten mit dem geplanten Modullayout ist aus Sicht des Unterzeichners nichts einzuwenden.



Anhang



Bild 1: Übersicht der geplanten PV-Anlage Nehnten mit den Teilflächen TF1 bis TF4, den untersuchten Blickpunkten A und B auf der Straße „Im Sande“, sowie mit dem Blickpunkt 1, Immissionsort 1

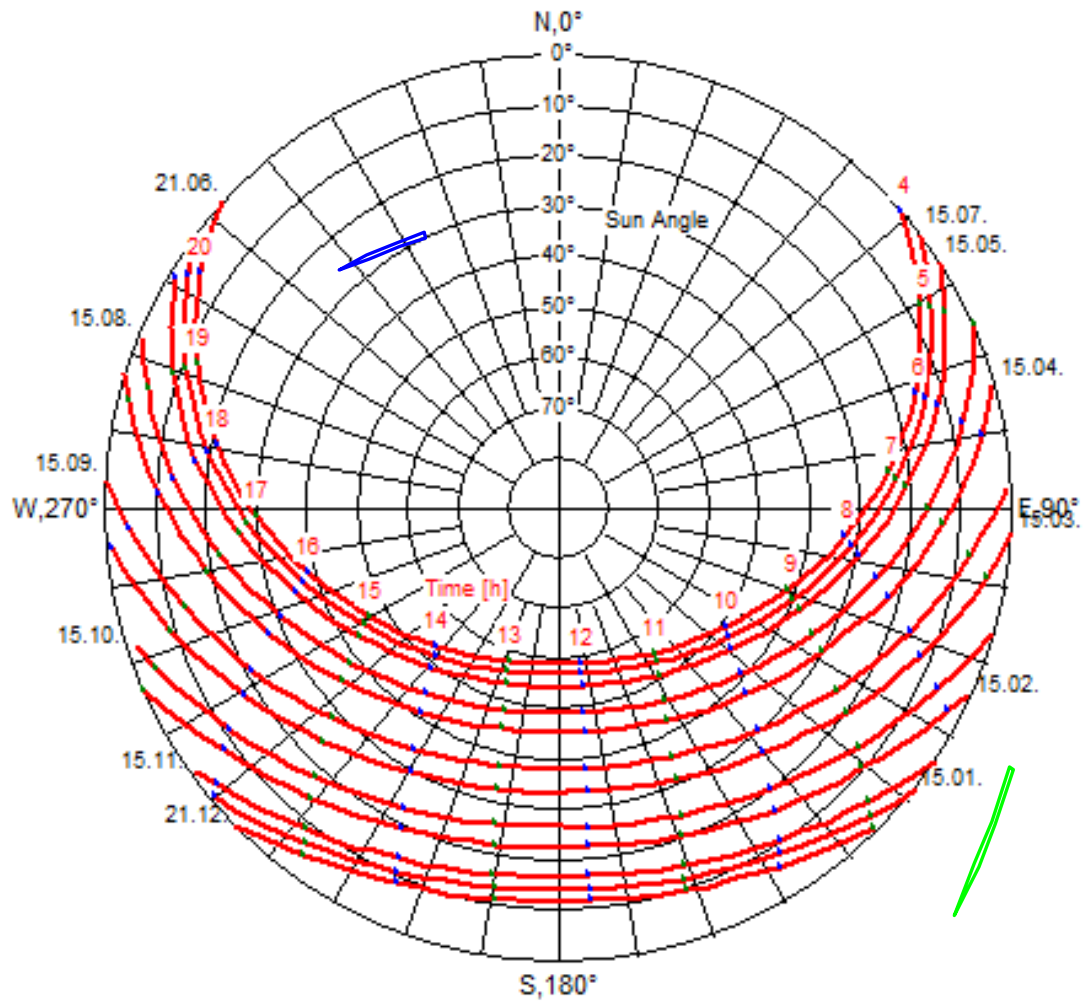


Bild 2: Monatlicher Sonnenstand (Sonnenhöhe und -richtung) für Nehnten mit γ -Fläche zur Bewertung der Vorbeifahrt eines Kfz auf der Straße „Im Sande“ an der PV-Anlage

- : Blickpunkt bei Markierung A, Fahrtrichtung Südost
- : Blickpunkt bei Markierung B, Fahrtrichtung Nordwest

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

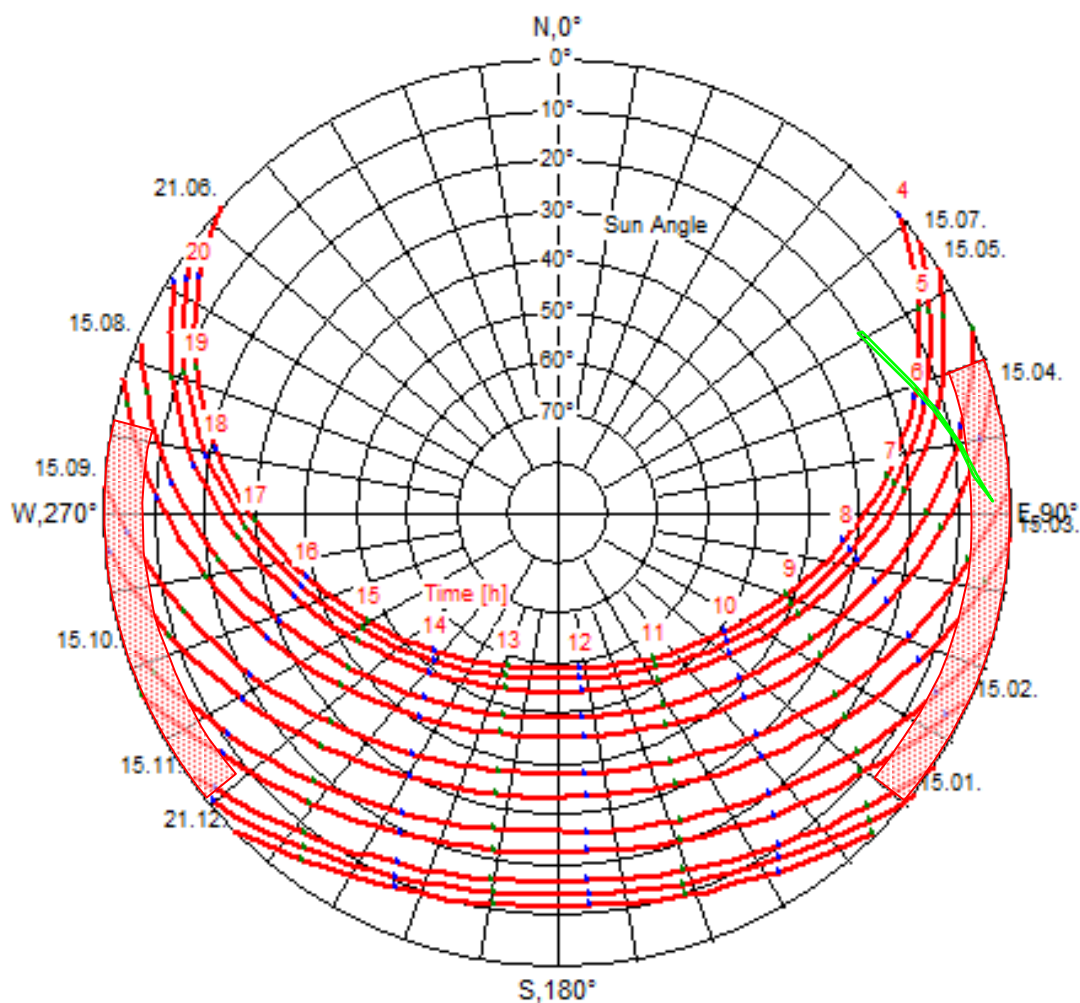


Bild 3: Monatlicher Sonnenstand (Sonnenhöhe und -richtung) für Nehnten mit γ -Fläche zur Bewertung der Reflexionszeit zu Immissionsort 1

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