

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 2. 10. 2024

G u t a c h t e n
G73/2024
zur Frage der eventuellen Blend- und Störfwirkung von Straßennutzern
und Anwohnern durch eine bei Schaalby
zu installierende Photovoltaikanlage

(Dieses Gutachten besteht aus 11 Seiten
und einem Anhang mit weiteren 7 Seiten)

1 Auftraggeber

Den Auftrag zur Erarbeitung des Gutachtens erteilte die BAUKOZEPT Neubrandenburg GmbH, Gerstenstr. 9 in 17034 Neubrandenburg.

Auftragsdatum: 19. 9. 2024

2 Auftragsache

Die Fa. Baukonzept plant die Errichtung einer Freiflächen-Photovoltaikanlage in der Nähe der Gemeinde Schaalby. Es stellt sich die Frage, ob Nutzer der an der PV-Anlage vorbeiführenden Bundesstraße 201 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 Modultischreihen	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. Baukonzept zur Verfügung gestellt wurden:

- Bebauungsplan
- Lageplan mit Modulbelegung
- Modultischquerschnitt
- Simulation report
- Fotos
- Mündliche und Emailinformationen durch Frau Patricia Glawe und Herrn Jacob Czinczoll, Fa. Baukonzept

Die Geländehöhen wurden dem DigitalerAtlasNord entnommen. Die Entfernungen und horizontalen Winkel wurden mit google earth ermittelt. Der monatliche Sonnenstand für Schaalby (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 Schaalby und topografische Daten

5.1 Die PV-Anlage

Die siebenteilige PV-Anlage wird auf einem bisher landwirtschaftlich genutzten Gelände errichtet, s. die Teilflächen TF1 bis TF7 in Bild 1 im Anhang. Das PV-Anlagen-gelände ist eben; die Geländeoberkante der einzelnen Teilflächen liegt im Bereich von 29 m bis 31 m über Normalhöhennull (NHN).

Die geplante Leistung beträgt ca. 87 MW_{peak}. Nach aktuellem Planungsstand werden Module des Herstellers JA Solar, JAM66D45-615/LB mit einer Modulleistung von 615 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 20°. Modulober- und -unterkante befinden in einer Höhe von 3,36 m bzw. 0,80 m über Geländeoberkante (GOK). Die Höhe der um die Teilflächen zu errichtenden Zäune beträgt 3 m.

5.2 Die untersuchte Straße

Im Bereich der PV-Anlage befindet sich die Bundesstraße 201. Die Fahrtrichtung Ost der B 201 beträgt am westlichen Ende der PV-Anlage, bei Markierung A in Bild 1, 72,2°, dreht nach 130 m in einer leichten Linkskurve auf 60,5°, dreht bei Markierung 3 auf 79° und dreht ab Markierung F in einer langgezogenen Linkskurve erneut bis Markierung H bis auf 19,5°. Die Fahrbahnoberkante (FOK) fällt von ca. 32,5 m bei

Markierung A bis auf 28 m bei Markierung C und liegt im weiteren Verlauf zwischen 28 m und 29 m. Die FOK liegt etwa auf gleicher Höhe wie die jeweils gegenüberliegende GOK. Der Blick von der Straße zu den Teilflächen der PV-Anlage ist teilweise durch dichtes Gebüsch zwischen Straße und einigen Teilflächen teilweise eingeschränkt; darauf wird in Abschnitt 9 näher eingegangen.

6 Die untersuchten Immissionsorte

Drei potentielle Immissionsorte befinden sich an der Nordseite der B 201. Die Höhendaten sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Adresse Bundesstr. Nr.	Immissionsort Nr.	Höhe über NHN	Fenster im	Höhe Fenstermitte über Grund	Höhe Fenstermitte über NHN
10	1	28 m	OG, Südfassade	5,50 m	33,50 m
6/8	2		EG, Südfassade	2 m	30 m
			OG, Westfassade	5,50 m	33,50 m
2	3		OG, Ostfassade	5,50 m	33,50 m
			EG, Südfassade	2,50 m	30,50 m

EG: Erdgeschoss

OG: 1. Obergeschoss

Tabelle 1: Die untersuchten Immissionsorte

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 geringere:

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 „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 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 (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, 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 „schutzwürdige Räume“. Dazu gehören

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

Lt. Abschnitt 7e. der LAI-Hinweise-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. 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 Schaalby 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 Solar-

modulen 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 $\varepsilon = 20^\circ$ 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 Schaalby eingetragen. Da die Berechnungen für die gesamte Fläche oder eine Teilfläche der PV-Anlage von einem festen Beobachterstandort aus durchgeführt werden, stellen die ermittelten α/γ -Werte Flächen in Form von geschlossenen Polygonzügen dar, die im Folgenden als γ -Flächen bezeichnet werden. Haben 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

9.3.1 Streckenabschnitt A bis C

Die Berechnungen der γ -Flächen gelten für die Vorbeifahrt an den südlich der Straße liegenden TF1 bis TF3. Die γ -Flächen sind in Bild 2 eingezeichnet.

Fahrtrichtung Nordost: Die γ -Flächen sind für den Kraftfahrerblick bei den Markierungen A und B berechnet und in Bild 2 in blauer bzw. grüner Farbe eingezeichnet. Sie haben Schnittpunkte mit den Sonnenstandslinien, Sonnenlicht kann bei A von März bis Mitte April sowie von September bis Mitte Oktober und bei B von Mitte April bis August, jeweils ca. von 6.10 Uhr bis 7 Uhr MEZ, zum Kraftfahrer reflektiert werden. Der Blickwinkel θ des Kraftfahrers liegt zwischen $2,5^\circ$ bis 20° und damit teilweise im besonders blendkritischen Bereich, so dass eine verkehrsgefährdende Blendung des Kraftfahrers nicht ausgeschlossen werden kann. Zu Abhilfemaßnahmen s. s. Abschnitt 9.3.5.

Fahrtrichtung Südwest: Die violett gezeichnete γ -Fläche liegt unterhalb der Sonnenstandslinien, sogar außerhalb des Polardiagramms und hat keine Schnittpunkte mit den Sonnenstandslinien. Sonnenlichtreflexion zum Kraftfahrer kann nicht auftreten, eine Kraftfahrerblendung ist dieser Fahrtrichtung nicht möglich.

9.3.2 Streckenabschnitt D bis F

Die Berechnungen der γ -Flächen gelten für die Vorbeifahrt an der südlich der Straße liegenden TF5. Die γ -Flächen sind ebenfalls in Bild 2 eingezeichnet.

Fahrtrichtung Nordost: Die γ -Fläche ist für den Kraftfahrerblick bei Markierung D berechnet und in Bild 2 in schwarzer Farbe eingezeichnet. Sie hat Schnittpunkte mit den Sonnenstandslinien, Sonnenlicht kann im März und von Mitte September bis Mitte Oktober ca. von 6.30 Uhr bis 6.45 Uhr MEZ zum Kraftfahrer reflektiert werden. Der Blickwinkel θ des Kraftfahrers liegt zwischen $3,9^\circ$ bis 20° und damit teilweise im besonders blendkritischen Bereich, so dass eine verkehrsgefährdende Blendung des Kraftfahrers auch in diesem Streckenabschnitt nicht ausgeschlossen werden kann. Zu Abhilfemaßnahmen s. Abschnitt 9.3.5.

Fahrtrichtung Südwest: Die braun gezeichnete γ -Fläche liegt unterhalb der Sonnenstandslinien, sogar außerhalb des Polardiagramms und hat keine Schnittpunkte mit den Sonnenstandslinien. Sonnenlichtreflexion zum Kraftfahrer kann nicht auftreten, eine Kraftfahrerblendung ist dieser Fahrtrichtung nicht möglich.

9.3.3 Streckenabschnitt E bis G

Die Berechnungen der γ -Flächen gelten für die Vorbeifahrt an der nordwestlich der Straße liegenden TF7. Die γ -Flächen sind in Bild 3 in grüner bzw. blauer Farbe eingezeichnet. Sie liegen oberhalb bzw. unterhalb der Sonnenstandslinien und haben keine Schnittpunkte mit diesen. Damit kann kein Sonnenlicht zum Kraftfahrer reflektiert werden, Kraftfahrerblendung ist in diesem Streckenabschnitt nicht möglich.

9.3.4 Streckenabschnitt H bis I

Die Berechnungen der γ -Flächen gelten für die Vorbeifahrt an der östlich der Straße liegenden TF6. Die γ -Flächen sind in ebenfalls in Bild 3 in brauner bzw. schwarzer Farbe eingezeichnet. Sie liegen oberhalb bzw. unterhalb der Sonnenstandslinien und haben keine Schnittpunkte mit diesen. Blendung eines Kraftfahrers ist in auch in diesem Streckenabschnitt nicht möglich.

9.3.5 Abhilfemaßnahmen

Eine Veränderung der Ausrichtung der Modultische oder der Modulneigung verschiebt die Blendung nur in andere Jahres- oder Tageszeiten und ist daher wirkungslos. Daher wird vorgeschlagen, den Zaun an den Seiten von TF1 bis TF3 und TF5 an der Grenze zur B 201 auf 3,30 m zu erhöhen und mit einem dunklen Kunststoffgewebe zu versehen, das nicht mehr als 30 % Transmission besitzt. Das Kunststoffgewebe muss in der Höhe von 0,80 m (Höhe Modulunterkante) bis zu einer Höhe von 3,30 m (ca. Höhe der Moduloberkante) auf dem Zaun angebracht werden. In Bild 1 ist die Lage der Zäune, die abgeschirmt werden müssen, mit gelben Linien gekennzeichnet.

Der Unterzeichner hat ein solches Kunststoffgewebe (s. Bild 6) lichttechnisch geprüft und zum Einsatz an mehreren anderen PV-Anlagen empfohlen; in einem Fall wird es seit ca. sechs Jahren problemlos an einer Autobahn eingesetzt. Sollte dieses Kunststoffgewebe nicht verfügbar sein, kommt als Alternative das in Bild 7 gezeigte Kunststoffgewebe infrage, das etwa die gleichen Eigenschaften hat wie das geprüfte Kunststoffgewebe.

Da sich entlang der B 201 auf der den PV-Flächen zugewandten Seiten teilweise Gebüsch befindet, kann die Zaunabschirmung in den Bereichen entfallen, in denen das Gebüsch über längere Abschnitte sehr dicht ist. Diese Abschnitte können in diesem Gutachten nicht vorgegeben werden, sondern müssen bei einer Ortsbesichtigung identifiziert werden.

10 Zeitliche Wahrscheinlichkeit der Sonnenlichtreflexion in Richtung des Immissionsortes

10.1 Geometrische Bedingungen

Um die evtl. von der PV-Anlage ausgehende Störf Wirkung 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 Schaalby ermittelt werden.

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 Wohngebäude an den Immissionsorten gelangen könnte.

10.2 Ergebnisse

Da die Reflexionszeit mit der Fensterhöhe zunimmt, werden die Berechnungen für das jeweils höchste Geschoss der Wohngebäude der Immissionsorte durchgeführt. In Bild 4 sind die Ergebnisse für die Immissionsorte 1 und 2 wiedergegeben, in Bild 5 für Immissionsort 3.

Die braun gezeichnete γ -Fläche für die Ostfassade des Wohnhauses bei Immissionsort 3 hat Schnittpunkte mit den Sonnenstandslinien, Sonnenlicht wird zu diesem Immissionsort von Mitte April bis zum August ca. zwischen 6.10 Uhr und 6.30 Uhr MEZ reflektiert.

Die aus dieser γ -Fläche berechneten Reflexionszeiten wurden in Tabelle 2 eingetragen. Sie liegen deutlich unter den nach LAI-Hinweisen zulässigen Zeiten, die Anforderungen der LAI-Hinweise werden damit erfüllt.

Immissionsort	Reflexionstage pro Jahr	Maximale tägliche Reflexionszeit	Mittlere tägliche Reflexionszeit	Jährliche Reflexionszeit im Kalenderjahr
3, Ostfassade	145	3,1 min	2,62 min	145 · 2,62 min = 6,3 Stunden

Tabelle 2: Maximale tägliche und mögliche jährliche Reflexionszeiten für die Immissionsorte 1 und 3

Die γ -Flächen für die Immissionsorte 1 und 2 sowie für die Südfassade des Wohnhauses bei Immissionsort 3 haben keine Schnittpunkte mit den Sonnenstandslinien, zu diesen Immissionsorten wird kein Sonnenlicht reflektiert.

11 Zusammenfassung

Es wurde untersucht, ob von der geplanten PV-Anlage Schaalby Blendwirkungen für Kraftfahrer auf der Bundesstraße 201 ausgehen und ob Lichtimmissionen bei drei Immissionsorten auftreten.

Bei Vorbeifahrt auf der B 201 an den südlich der Straße gelegenen Teilflächen TF1 bis TF3 und TF5 kommt es zu einer evtl. verkehrgefährdenden Blendung, die verhindert werden kann, wenn der Zaun an den Seiten dieser Teilflächen an der Grenze zur B 201 auf 3,30 m erhöht und mit einem dunklen Kunststoffgewebe versehen wird, das nicht mehr als 30 % Transmission besitzt. Bei Vorbeifahrt an den Teilflächen TF6 und TF7 tritt keine Kraftfahrerblendung auf.

Die nach LAI-Hinweisen zulässigen maximalen täglichen und jährlichen Reflexionszeiten werden an allen Immissionsorten eingehalten.

Gegen die Errichtung der PV-Freiflächenanlage in Schaalby mit dem geplanten Modullayout ist nach Realisierung der empfohlenen Abhilfemaßnahme aus Sicht des Unterzeichners nichts einzuwenden.



Dieses Gutachten wurde nach bestem Wissen und Gewissen angefertigt.

Anhang

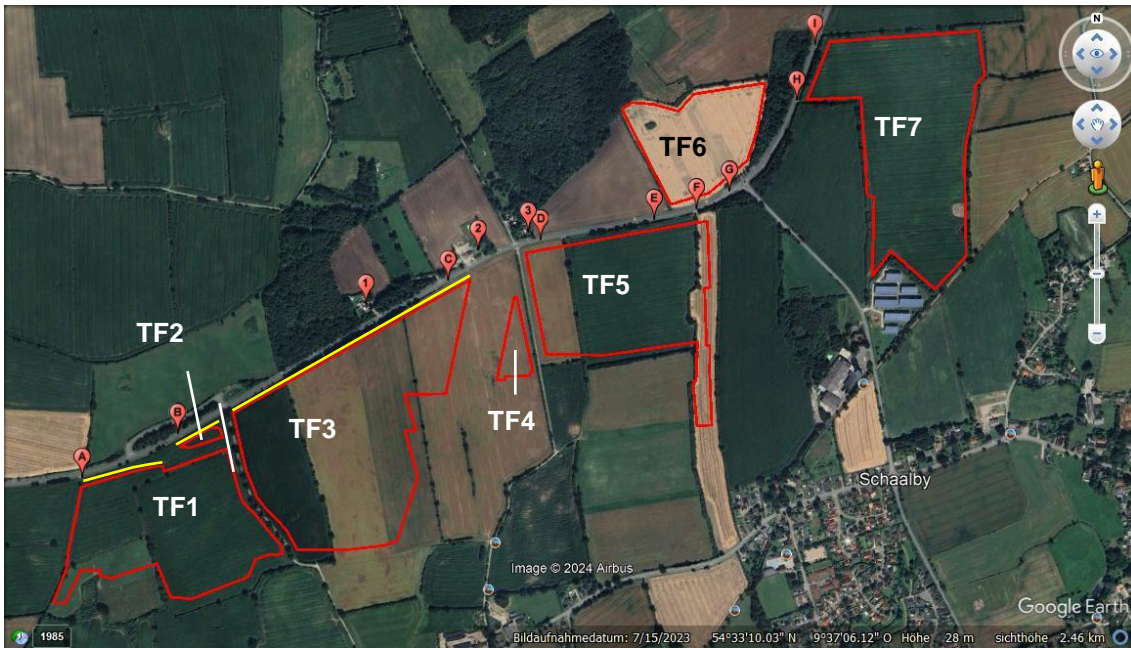


Bild 1: Übersicht der geplanten PV-Anlage Schaalby mit den Teilflächen TF1 bis TF7, den untersuchten Blickpunkten A bis J auf der B 201 sowie den Immis-sionsorten 1 bis 3

Gelbe Linien: In diesen Abschnitten der B 201 muss der Zaun abge-schirmt werden

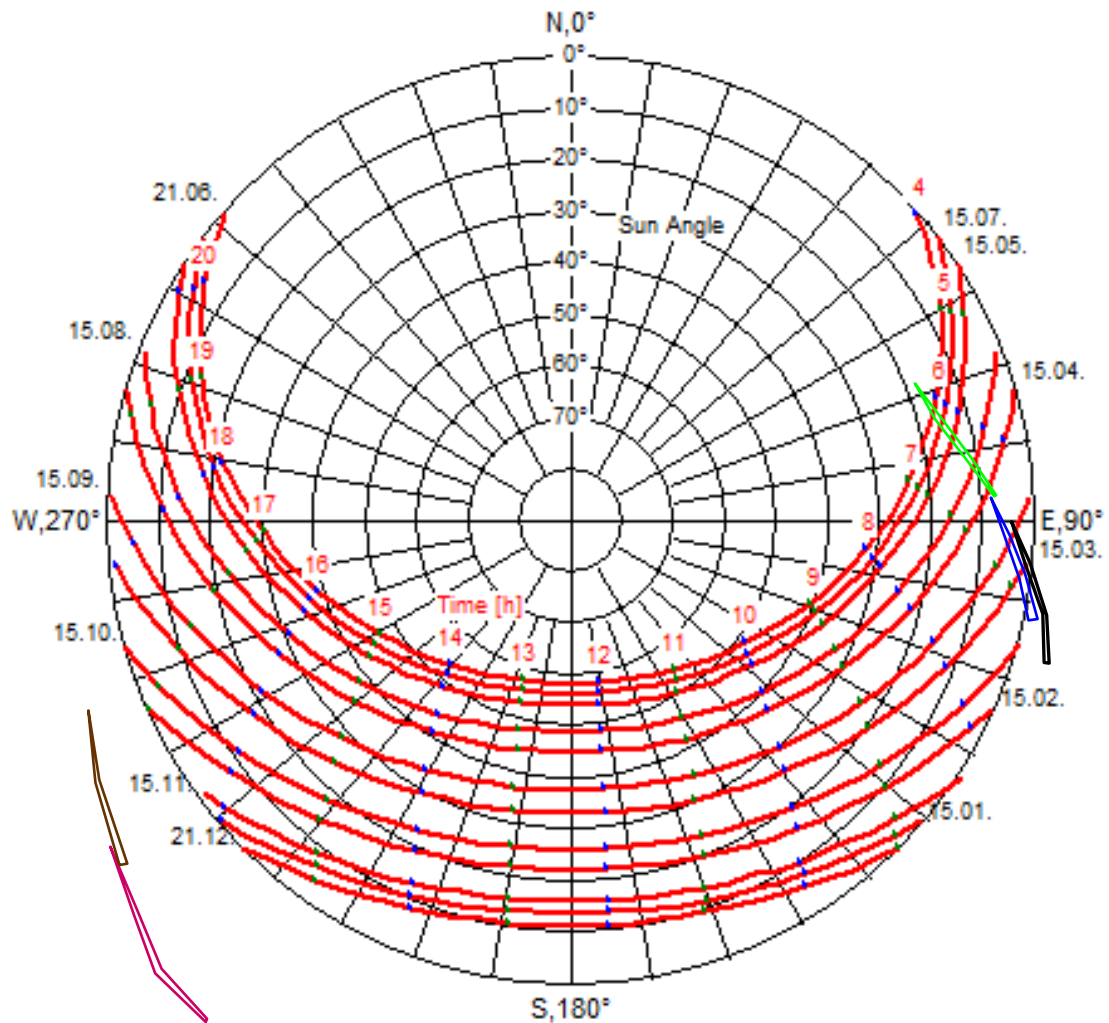


Bild 2: Monatlicher Sonnenstand (Sonnenhöhe und -richtung) für Schaalby mit γ -Flächen zur Bewertung der Vorbeifahrt eines Kfz auf der B201 an der PV-Anlage

- : Blickpunkt bei Markierung A, Fahrtrichtung Nordost, Blick zu TF1
- : Blickpunkt bei Markierung B, Fahrtrichtung Nordost, Blick zu TF2 und TF3
- : Blickpunkt bei Markierung C, Fahrtrichtung Südwest, Blick zu TF1 bis TF5
- : Blickpunkt bei Markierung D, Fahrtrichtung Nordost, Blick zu TF5
- : Blickpunkt bei Markierung F, Fahrtrichtung Südwest, Blick zu TF5

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

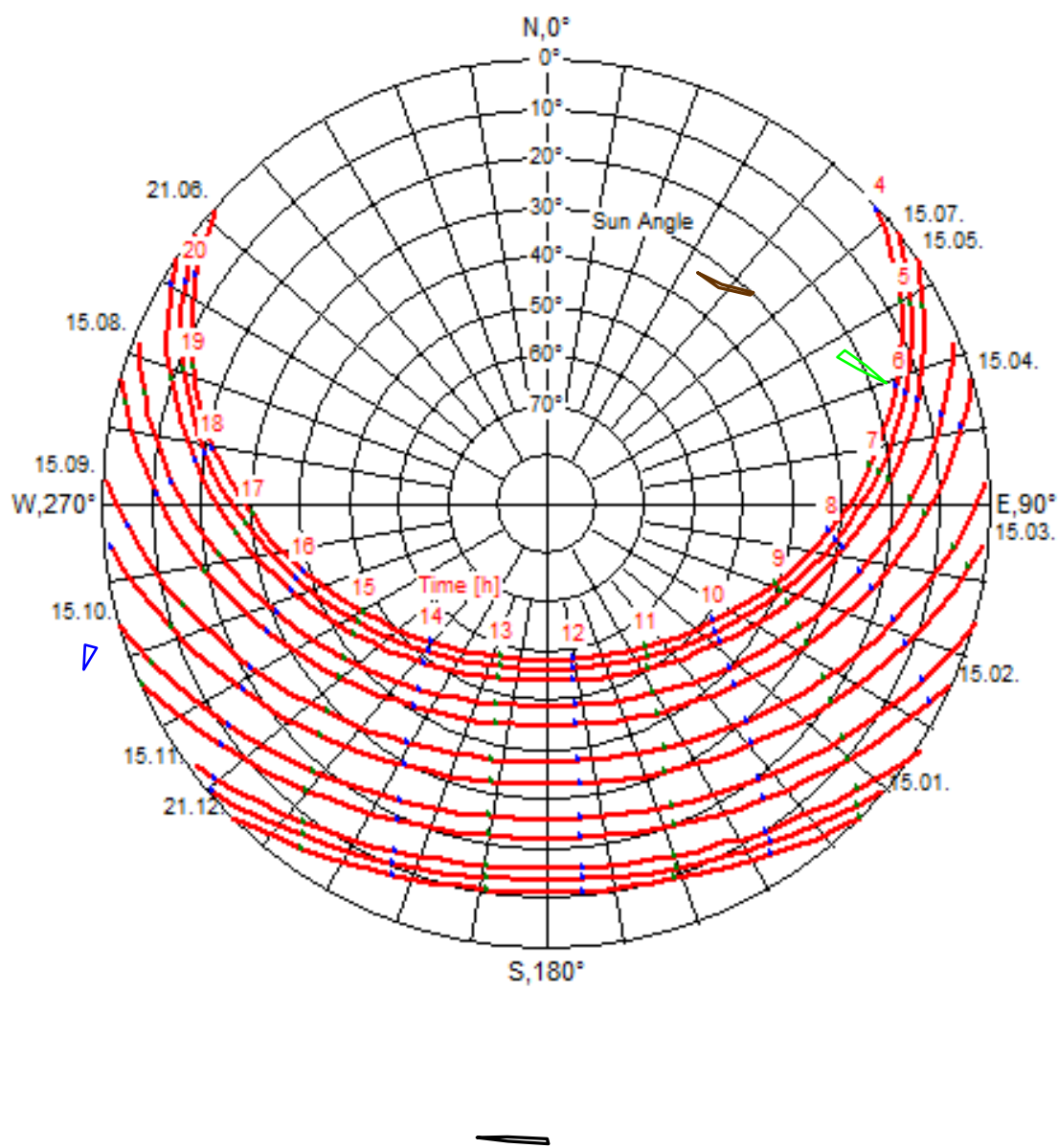


Bild 3: Monatlicher Sonnenstand (Sonnenhöhe und -richtung) für Schaalby mit γ -Flächen zur Bewertung der Vorbeifahrt eines Kfz auf der B 201 an der PV-Anlage

- : Blickpunkt bei Markierung E, Fahrtrichtung Nordost, Blick zu TF7
- : Blickpunkt bei Markierung G, Fahrtrichtung Südwest, Blick zu TF7
- : Blickpunkt bei Markierung H, Fahrtrichtung Nord, Blick zu TF6
- : Blickpunkt bei Markierung I, Fahrtrichtung Süd, Blick zu TF6

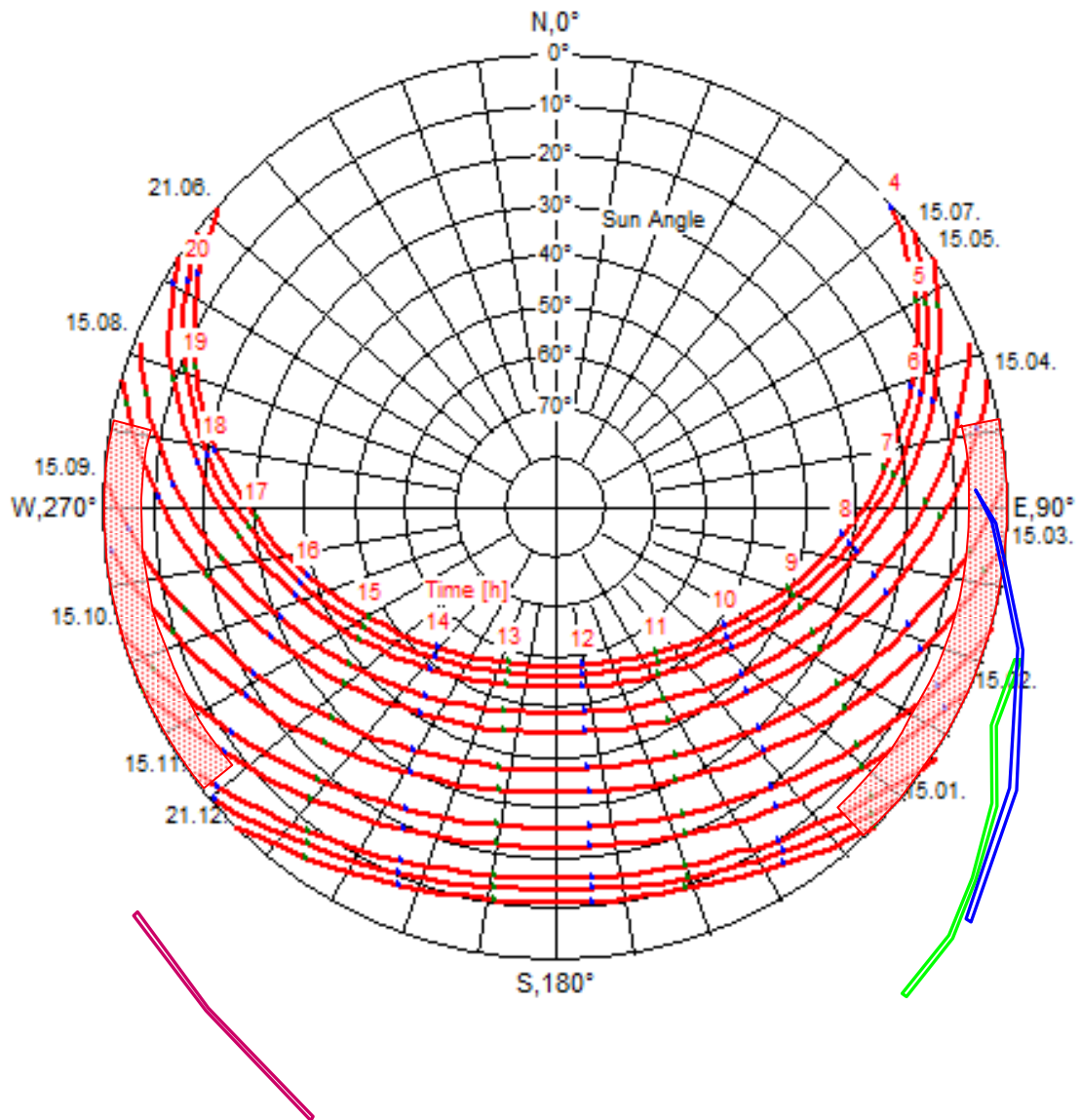


Bild 4: Monatlicher Sonnenstand (Sonnenhöhe und -richtung) für Schaalby mit γ -Flächen zur Bewertung der Reflexionszeit zu zwei Immissionsorten an der B 201

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

- : Immissionsort 1, Blick zu TF3 und TF4
- : Immissionsort 2 Südfassade, Blick zu TF3 und TF4
- : Immissionsort 2 Westfassade, Blick zu TF7

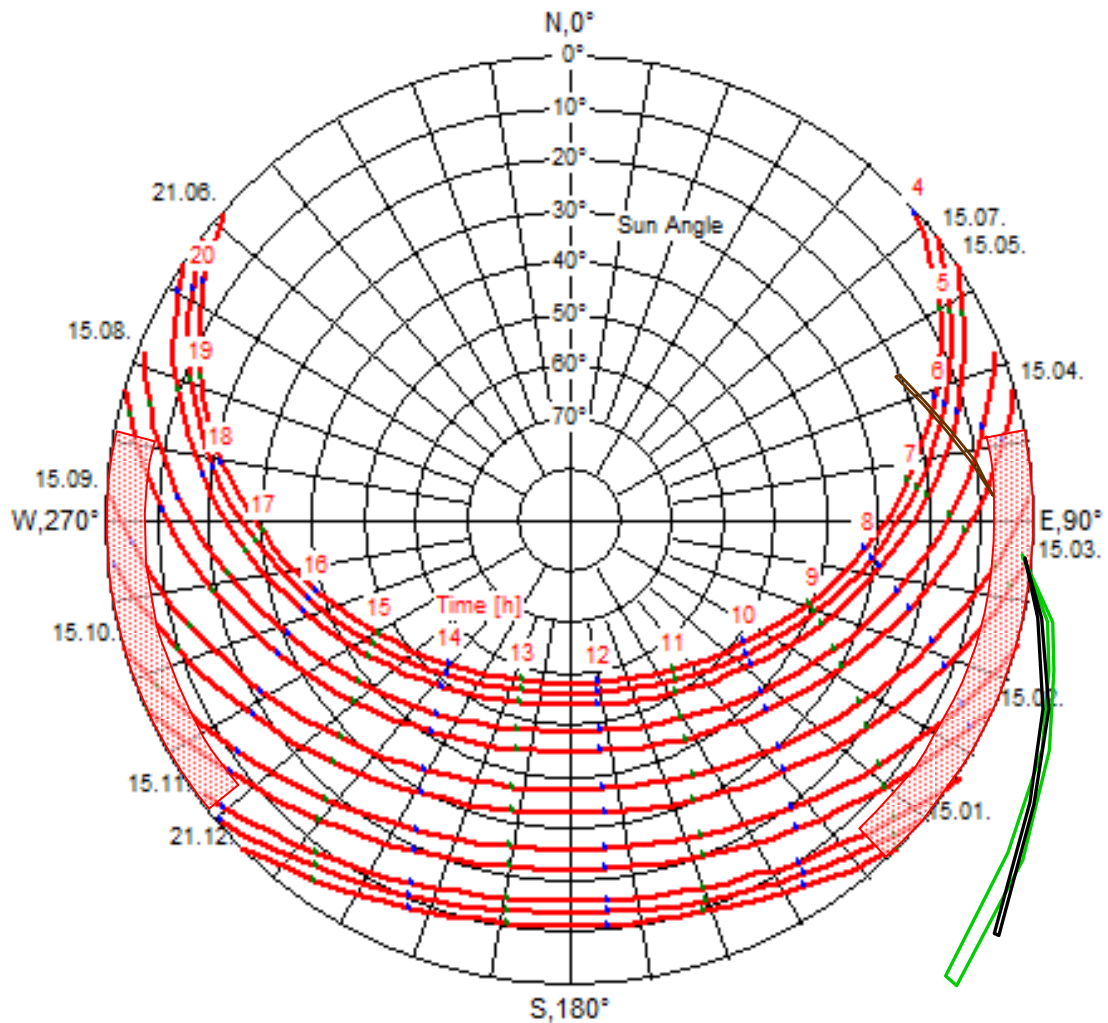


Bild 5: Monatlicher Sonnenstand (Sonnenhöhe und -richtung) für Schaalby mit γ -Flächen zur Bewertung der Reflexionszeit zu Immissionsort 3 an der B 201

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

- : Immissionsort 3 Ostfassade, Blick zu TF5
- : Immissionsort 3 Ostfassade, Blick zu TF7
- : Immissionsort 3 Südfassade, Blick zu TF5



*Bild 6: Untersuchtes Kunststoffgewebe der Fa. Evios Energy Systems GmbH
Maßstab: ca. 1:2*



*Bild 7: Untersuchtes Kunststoffgewebe, Lieferant Fa. evia Verkehrstechnik GmbH/ACCURA NTV KG
Maßstab: ca. 1:2*