

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 22. 5. 2025

**G u t a c h t e n**  
**G35/2025**  
**zur Frage der eventuellen Blend- und Störf Wirkung von Lokführern**  
**und Straßennutzern durch eine bei Büchen**  
**zu installierende Photovoltaikanlage**

(Dieses Gutachten besteht aus 9 Seiten  
und einem Anhang mit weiteren 7 Seiten)

**1 Auftraggeber**

Den Auftrag zur Erarbeitung des Gutachtens erteilte die greentech invest 18 GmbH & Co. KG, Warburgstraße 50 in 20354 Hamburg.

Auftragsdatum: 15. 4. 2025

**2 Auftragsache**

Die F. greentech plant die Errichtung einer Freiflächen-Photovoltaikanlage in der Nähe von Büchen-Müssen. Es stellt sich die Frage, ob Lokführer, die die an der PV-Anlage vorbeiführende Bahnstrecke Berlin-Hamburg befahren oder Nutzer zweier Straßen 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  $\alpha$ ,  $\nu$ ,  $\tau = 0^\circ$  zugeordnet; der Winkel steigt mit dem Uhrzeigersinn (Ost:  $\alpha = 90^\circ$ ; Süd:  $\alpha = 180^\circ$  usw.).

Es werden folgende Winkel verwendet:

Sonnenhöhenwinkel (vertikaler Sonnenwinkel)	$\gamma$
Azimet (horizontaler Sonnenwinkel) bzw. momentane Fahrtrichtung eines Zuges/eines Kfz	$\alpha$
Orientierung der Modultischreihen	$\nu$
vertikaler Winkel des von den Solarmodulen reflektierten Lichts	$\delta$
Neigung der PV-Module gegen Süd	$\varepsilon$
vertikaler Blickwinkel Lokführer/Kraftfahrer - vor ihm liegendes Gleis/Fahrbahn	$\sigma$

im Raum liegender Blickwinkel (gebildet durch die Blickrichtung eines Lokführers/Kraftfahrers - Richtung reflektiertes Sonnenlicht)	$\theta$
horizontaler Blickwinkel Lokführer/Kraftfahrer - PV-Anlage	$\tau$
Differenz $\alpha - \tau$ (horizontale Blickrichtung Lokführer/Kraftfahrer - PV-Anlage)	$\psi$
vertikaler Blickwinkel Lokführer/Kraftfahrer - PV-Anlage	$\lambda$

#### 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:

- Bebauungsplan
- Lageplan
- Höhenplan
- Modulbelegungsplan
- Modultischquerschnitt
- Apple Maps Foto

Die Geländehöhen wurden dem Höhenplan entnommen. Die Entfernungen und horizontalen Winkel wurden mit google earth ermittelt. Der monatliche Sonnenstand für Büchen (Sonnenhöhe und -azimut) wurde mit der Website [www.stadtklima-stuttgart.de](http://www.stadtklima-stuttgart.de) bestimmt. Die Berechnung der Winkel des reflektierten Sonnenlichts erfolgte mit eigenen Excel-Programmen.

#### 5 Beschreibung der PV-Anlage Büchen und topografische Daten

##### 5.1 Die PV-Anlage

Die Anlage wird auf einem bisher landwirtschaftlich genutztem Gelände errichtet, s. Bild 1 im Anhang. Die Teilflächen TF1 bis TF3 liegen nördlich, die Teilfläche TF4 südlich der Bahntrasse. Die Geländeoberkante (GOK) steigt bei TF1 bis TF3 von Ost nach West von 25 m auf 27 m über Normalhöhennull (NHN). Die GOK von TF4 liegt auf einer Höhe von 23 m bis 24 m.

Die Modulreihen verlaufen nicht von Ost nach West sondern sind im Uhrzeigersinn gedreht:

bei TF1 bis TF3 um  $26,8^\circ$ ;  $\nu = 63,2^\circ$

bei TF4 um  $13,1^\circ$ ;  $\nu = 76,9^\circ$

Es werden Module Typ TSM-720NEG21C.20 mit einer Modulleistung von  $720 W_{\text{peak}}$  eingesetzt. Die PV-Leistung beträgt  $39,58 MW_{\text{peak}}$ . Die geplante Modulneigung  $\varepsilon$  ist  $15^\circ$  oder  $20^\circ$ ; die nachfolgenden Berechnungen werden für beide Modulneigungen durchgeführt. Modulober- und -unterkante befinden sich 1,89 m bzw. 0,80 m über GOK. Die zulässige Zaunhöhe beträgt 2,50 m.

##### 5.2 Die Bahntrasse

Die zweigleisige Bahnstrecke führt geradlinig an der PV-Anlage vorbei. Der Fahrtrichtungswinkel  $\alpha$  beträgt  $117,8^\circ/297,8^\circ$ . Die Schienenoberkante (SOK) liegt etwa 2 m oberhalb der jeweils gegenüberliegenden GOK. Für einen Lokführer ist ein freier Blick zur PV-Anlage gegeben.

### 5.3 Büchener Straße/Heideweg

Dieser Straßenzug führt geradlinig unmittelbar nördlich an der und parallel zur PV-Anlage vorbei. Der Fahrtrichtungswinkel liegt zwischen den Markierungen 1 und 2 bei  $117,8^\circ/297,8^\circ$ , zwischen den Markierung 2 und 3  $100,6^\circ/289,6^\circ$  und zwischen den Markierungen 3 und 4 bei  $122,2^\circ/302,2^\circ$ . Die Fahrbahnoberkante (FOK) steigt von 25 m bei Markierung 1 auf 27 m bei Markierung 4 und liegt etwa auf gleicher Höhe wie die jeweils gegenüberliegende GOK. Von der Straße ist ein freier Blick zur PV-Anlage gegeben.

### 5.4 Straße „An der Eisenbahn“

Diese Straße verläuft südlich der Bahntrasse und parallel zu dieser. Der Fahrtrichtungswinkel beträgt  $117,8^\circ/297,8^\circ$ . Die FOK liegt etwa auf gleicher Höhe wie die jeweils gegenüberliegende GOK. Von der Straße ist ein freier Blick zur PV-Anlage gegeben.

## 6 Beschreibung der eventuell von PV-Anlagen ausgehenden Blend- und Störfwirkungen für Lokführer und Kraftfahrer

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 Blendefahr 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  $\theta$ , gebildet von der Blickrichtung eines Beobachters und der Verbindungslinie Auge des Beobachters - blendende Lichtquelle (Auge des Lokführers oder 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  $\theta$  gilt auch nicht mehr unbedingt; allerdings nimmt auch bei Tageslicht die Blendung deutlich zu, wenn der Blickwinkel  $\theta$  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  $\theta$  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 Lokführer oder Kraftfahrer hat nicht mehr die Möglichkeit, diese Lichtquelle „auszublenden“: Er muss den Gleiskörper/die vor ihm liegende Straße und dessen Umgebung beobachten und alle Licht- und sonstigen Signale sowie die Anzeigeeinstrumente in der Lok oder 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.

a) Um eine Aussage über das tatsächliche Blendrisiko einer PV-Freiflächenanlage machen zu können, kann man in einem ersten Schritt auf die „Hinweise zur Mes-

sung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen“ der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) vom 13. 9. 2012, Anhang 2, (im Folgenden „LAI-Hinweise“ genannt) zurückgreifen. Dort heißt es in Anhang 2, Kapitel 4: „Bei streifendem Einfall der Sonne auf ein Photovoltaikmodul dominiert der direkte Blick in die Sonne die Blendwirkung. Erst ab einem Differenzwinkel von ca.  $10^\circ$  kommt es zu einer zusätzlichen Blendung durch das Modul. In den Immissionszeiten sollten deshalb nur solche Konstellationen berücksichtigt werden, in denen sich die Blickrichtungen zur Sonne und auf das Modul um mindestens  $10^\circ$  unterscheiden“. Die LAI-Hinweise behandeln zwar die Blendung durch PV-Anlagen von Personen, die sich in Gebäuden aufhalten, der Differenzwinkel  $\Delta$  von  $10^\circ$  kann aber auch bei der Blendungsbewertung für Lokführer und Kraftfahrer angewendet werden.

- b) Ist der Differenzwinkel  $\Delta > 10^\circ$ , kann im zweiten Schritt unter Beachtung des Blickwinkels  $\theta$  das Verhältnis  $V = \text{Beleuchtungsstärke (Lichtintensität) der Blendlichtquelle/Beleuchtungsstärke der Sonne}$  berechnet werden. Ist  $V \leq 10\%$ , führt die Sonnenlichtreflexion nicht zu Lokführerblendung. Ist  $V > 10\%$ , liegt inakzeptable Blendung vor, die durch Abhilfemaßnahme verhindert werden muss.

## 7 Blend- und Störpotential der geplanten PV-Anlage für Lokführer/Kraftfahrer

### 7.1 Sehbedingungen eines Lokführers

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 Lokführers 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.

Zunächst muss der im Raum liegende Winkel  $\theta$  zwischen Lokführer und PV-Anlage ermittelt werden.  $\theta$  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 Lokführern an der PV-Anlage ermittelt werden.

$\sigma$  ist der Winkel, gebildet durch die Höhe des Lokführerauges  $h_F$  über Schienenoberkante und die Entfernung zum Blickpunkt auf dem Schotterbett. Da nicht im Einzelnen bekannt ist, welche Loks auf der Bahnstrecke eingesetzt werden, wird für  $h_F$  bei den nachfolgenden Berechnungen der Wert 3,30 m verwendet. Es wird weiter vorausgesetzt, dass der Lokführer normalerweise ca. 100 m voraus auf den Gleiskörper schaut. Mit der mittleren Augenhöhe  $h_F$  von 3 m ergibt sich daraus ein vertikaler Winkel  $\sigma$  von im Mittel  $1,9^\circ$ , unter dem der Lokführer auf den Gleiskörper blickt.

$\psi$  ist der horizontale Winkel zwischen der momentanen Fahrtrichtung  $\alpha$  und der horizontalen Blickrichtung  $\tau$  Lokführerauge - bestimmter Punkt der PV-Anlage. Fährt ein

Zug an der PV-Anlage vorbei, ändert sich ständig die Blickrichtung  $\tau$  des Lokführerauges zur Anlage und damit auch der Winkel  $\psi$ .

Damit Sonnenlicht in Richtung Lokführerauge reflektiert werden kann, muss der vertikale Blickwinkel des Lokführerauges  $\lambda$  dem vertikalen Winkel des von den Solarmodulen reflektierten Lichts  $\delta$  entsprechen:  $\lambda = -\delta$  (wenn  $\lambda$  abwärts gerichtet ist, muss  $\delta$  aufwärts gerichtet sein und umgekehrt).

Für bestimmte Punkte der Annäherung eines Zuges an die bzw. Vorbeifahrt an der PV-Anlage werden nun mittels google earth die Winkel  $\tau$ ,  $\alpha$ ,  $\psi$  bestimmt, dann wird nach obiger Formel (1) der Winkel  $\theta$  berechnet. Mit den weiteren Parametern Neigung der Module  $\varepsilon = 15^\circ/20^\circ$ , der Ausrichtung der Modultischreihen und dem vertikalen Winkel  $\lambda$  werden dann die trigonometrischen Berechnungen zur Ermittlung des Sonnenazimuts  $\alpha$  und der vertikalen Sonnenhöhenwinkel  $\gamma$  durchgeführt, unter denen das Sonnenlicht auf die PV-Module fallen müsste, damit das reflektierte Licht ins Auge eines Lokführers fallen kann.

## 7.2 Sehbedingungen eines Kraftfahrers

Die Sehbedingungen eines Kraftfahrers entsprechend weitgehend denen eines Lokführers. Anstelle der Augenhöhe eines Lokführers von 3,30 m tritt die maximale Augenhöhe von 2,40 m für einen Lkw-Fahrer.

## 7.3 Auswertung der Berechnungsergebnisse mittels des Sonnenstandsdiagramms

Um die evtl. von der PV-Anlage ausgehende Störwirkung für Lokführer oder Kraftfahrer zu bewerten, ist es zunächst notwendig, die zeitliche Wahrscheinlichkeit dafür zu ermitteln, dass von der PV-Anlage reflektiertes Licht ins Auge eines Lokführers gelangt. Diese Wahrscheinlichkeit kann mithilfe eines sogenannten Sonnenstandsdiagramms ermittelt werden. Die Bilder 2 bis 5 zeigen das Sonnenstandsdiagramm für Büchen in Form eines Polardiagramms. Die roten Linien zeigen den Sonnenstand (Sonnenhöhe  $\gamma$  und Azimut  $\alpha$ ) 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.

Zuerst werden mittels der geometrischen und topografischen Daten die Sonnenhöhe  $\gamma$  und das Sonnenazimut  $\alpha$ , bei denen sich die Sonne befinden müsste, damit reflektiertes Sonnenlicht ins Lokführer-/Kraftfahrerauge gelangen könnte, berechnet. Die Ergebnisse der Berechnungen werden in das Sonnenstandsdiagramm für Büchen eingetragen. Die Berechnungen werden für eine Teilfläche der PV-Anlage durchgeführt, deshalb stellen die ermittelten  $\alpha/\gamma$ -Werte Flächen in Form von geschlossenen Polygonzügen dar, die im Folgenden als  $\gamma$ -Flächen bezeichnet werden. Haben diese  $\gamma$ -Flächen Schnittmengen mit den roten Sonnenstandslinien, fällt Sonnenlicht ins Lokführer- oder Kraftfahrerauge; die dazugehörigen Jahres- und Tageszeiten können aus dem Polardiagramm abgelesen werden. Bei fehlenden Schnittmengen ist keine Sonnenlichtreflexion ins Lokführer-/Kraftfahrerauge und damit auch keine Blend- oder Störwirkung möglich.

Berücksichtigt wurden alle Blickwinkel Lokführer/Kraftfahrer - PV-Anlage  $\theta \leq 20^\circ$ , weil nach Abschnitt 6 nur in diesem Winkelbereich reflektiertes Sonnenlicht störende Blendung erzeugen kann.

## **8 Wahrscheinlichkeit der Sonnenlichtreflexion in Richtung eines Lokführers**

Als Blickpunkte eines Lokführers, der die Bahnstrecke befährt, wurden die Markierungen A und B gewählt. Da sich bei der Vorbeifahrt weder die Fahrtrichtung noch der Blickwinkel des Lokführers zur PV-Anlage ändert, sind diese Blickpunkte repräsentativ für die Vorbeifahrt an der gesamten Anlage.

Die berechneten  $\gamma$ -Flächen sind in Bild 2 für die Modulneigung  $15^\circ$  und in Bild 3 für die Modulneigung  $20^\circ$  eingezeichnet. Nur die  $\gamma$ -Flächen für die Fahrtrichtung Südost für TF4 haben keine Schnittpunkte mit den Sonnenstandslinien, in dieser Fahrtrichtung wird ein Lokführer durch TF4 nicht geblendet.

Alle anderen  $\gamma$ -Flächen haben Schnittpunkte mit den Sonnenstandslinien, Sonnenlicht wird in Fahrtrichtung Nordwest zwischen ca. 19 Uhr und 20.30 Uhr MEZ etwa im Mai bis Juli von TF1 bis TF3 und in den Monaten April bis Mitte Mai und August bis Mitte September von TF4 zum Lokführer reflektiert. In Fahrtrichtung Südost erfolgt die Sonnenlichtreflexion zwischen ca. 7.30 Uhr und 8 Uhr von TF1 bis TF3 in den Monaten Februar/März und Mitte September bis Mitte November. Diese Sonnenlichtreflexion ist aber nicht unbedingt mit Lokführerblendung verbunden; das Blendrisiko für die einzelnen Situationen wird im Folgenden gemäß Abschnitt 6 a) und b) untersucht.

### **8.1 Fahrtrichtung Nordwest**

Gemäß Abschnitt 6 a) wurden die Differenzwinkel  $\Delta$  für die blau und braun gezeichneten  $\gamma$ -Flächen berechnet. Diese betragen beim Lokführerblickpunkt bei Markierung A:

Blick zu TF1 bis TF3, beide Modulneigungen:  $3,9^\circ$  bis  $8,7^\circ$

Blick zu TF4, beide Modulneigungen:  $4,3^\circ$  bis  $8,8^\circ$

Weil die Differenzwinkel  $\Delta$  unter dem Grenzwert  $10^\circ$  liegen, führt in dieser Fahrtrichtung die Sonnenlichtreflexion zu keiner Blendung eines Lokführers.

### **8.2 Fahrtrichtung Südost**

Gemäß Abschnitt 6 a) wurden die Differenzwinkel  $\Delta$  für die grün gezeichneten  $\gamma$ -Flächen berechnet. Diese betragen beim Lokführerblickpunkt bei Markierung B:

Blick zu TF1 bis TF3, beide Modulneigungen, Blickwinkel bis  $17^\circ$ :  $5,3^\circ$  bis  $9,6^\circ$

Blick zu TF1 bis TF3, beide Modulneigungen, Blickwinkel  $> 17^\circ - 20^\circ$ :  $10,5^\circ$  bis  $14,8^\circ$

Die Differenzwinkel für Lokführerblickwinkel bis  $17^\circ$  gelten für die Module, die sich, vom Lokführer aus gesehen, in größerer Entfernung befinden. Von diesen Modulen geht keine Lokführerblendung aus. Die Differenzwinkel für Lokführerblickwinkel von

17° bis 20° gelten für die Module, die sich im Nahbereich des Lokführers befinden, also unmittelbar an der Grenze Bahntrasse-Modulfläche. Da die Differenzwinkel  $> 10^\circ$  sind, muss für diesen Blickwinkelbereich gemäß Abschnitt 6 b) zusätzlich das Verhältnis  $V$  berechnet werden. Für die Modulneigungen 15° und 20° wurde ein Wert  $V = 52,5 \%$  ermittelt. Dieser Wert liegt deutlich oberhalb des zulässigen Bereiches bis 10 %. Der Blickwinkelbereich liegt mit 17° bis 20° zwar im weniger blendkritischen Bereich, aber das von der PV-Anlage reflektierte Sonnenlicht wirkt über eine Länge von ca. 1250 m auf den Lokführer ein. Wegen des relativ hohen Wertes  $V = 52,5\%$  in Verbindung mit der langen Vorbeifahrtzeit an der PV-Anlage kann eine inakzeptable Blendung eines Lokführers nicht ausgeschlossen werden. Eine Änderung der Modulneigung auf Werte außerhalb des untersuchten Bereiches von 15° bis 20° oder eine Variation der Ausrichtung der Modulreihen würde die Sonnenlichtreflexion nur in andere Jahres- und Tageszeiten verschieben und ist daher wirkungslos.

Als Abhilfemaßnahme wird vorgeschlagen, den Zaun an der Südseite von TF1 bis TF3 in der Höhe von 0,80 m (Höhe Modulunterkante) bis mindestens 2,20 m über die gesamte Länge von ca. 1250 m (in Bild 1 durch gelbe Linien gekennzeichnet) mit einem dunklen Kunststoffgewebe auszurüsten, das nicht mehr als 30 % Transmission besitzt. 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 mindestens 5 Jahren problemlos an einer Autobahn eingesetzt. Sollte dieses Kunststoffgewebe nicht verfügbar sein, kommt als Alternative z.B. das in Bild 7 gezeigte Kunststoffgewebe infrage, das etwa die gleichen Eigenschaften hat wie das geprüfte Kunststoffgewebe.

### **8.3 Wahrscheinlichkeit der Sonnenlichtreflexion ins Auge eines Kraftfahrers bei Fahrten auf Straßen**

#### **8.4 Büchener Straße/Heideweg**

Wegen der erhöhten Lage der Bahntrasse gegenüber der FOK (ca. 2 m über GOK + Höhe Schotterbett) sind vom Straßenzug Büchener Straße/Heideweg aus die Module von TF4 nicht sichtbar. Die Berechnungen wurden deshalb nur für TF1 bis TF3 durchgeführt.

Als Blickpunkte eines Kraftfahrers wurden in Fahrtrichtung Nordwest die Markierungen 1 bis 3 gewählt. Die berechneten  $\gamma$ -Flächen sind in den Bildern 4 und 5 für die Modulneigungen 15° bzw. 20° eingezeichnet. Sie fallen fast zusammen und liegen oberhalb der Sonnenstandslinien, Kraftfahrerblendung tritt nicht auf. In Fahrtrichtung Südost wurden  $\gamma$ -Flächen für den Blick von den Markierungen 4 bis 2 berechnet. Die  $\gamma$ -Flächen für TF1 und TF2 fallen wieder fast zusammen; die  $\gamma$ -Fläche für Blick von Markierung 2 zu TF3 liegt zwischen den beiden anderen  $\gamma$ -Flächen und wurde der besseren Übersichtlichkeit wegen in der Grafik von Bild 5 weggelassen. Die  $\gamma$ -Flächen liegen unterhalb der Sonnenstandslinien, auch in dieser Fahrtrichtung werden Kraftfahrer durch die PV-Anlage nicht geblendet.

## **9 Straße „An der Eisenbahn“**

Da diese Straße parallel zur Bahntrasse verläuft und unmittelbar neben der Bahntrasse liegt, gelten die für Lokführer ermittelten Ergebnisse uneingeschränkt auch für Kraftfahrer auf dieser Straße. In Fahrtrichtung Nordwest und in Fahrtrichtung

Südost bei Blick zu TF4 tritt keine Kraftfahrerblendung auf, bei Blick in Fahrtrichtung Südost zu TF1 bis TF3 Fahrtrichtung ist zwar theoretisch Blendung vorhanden, die aber durch die empfohlene Zaunabschirmung verhindert wird. Insgesamt wird ein Kraftfahrer bei Fahrten auf dieser Straße von der PV-Anlage nicht geblendet.

## **10 Zusammenfassung**

Es wurde untersucht, ob von der geplanten PV-Anlage Büchen Blendwirkungen für Lokführer auf der Strecke Berlin-Hamburg und Kraftfahrer auf zwei Straßen auftreten. Lokführer werden bei Fahrten in Richtung Südost durch von den Teilflächen 1 bis 3 reflektiertes Sonnenlicht geblendet. Als Abhilfemaßnahme wird empfohlen, den Zaun an der Südgrenze von TF1 bis TF3 in der Höhe von 0,80 m bis mindestens 2,20 m über die gesamte Länge von ca. 1250 m (in Bild 1 durch gelbe Linien gekennzeichnet) mit einem dunklen Kunststoffgewebe auszurüsten, das nicht mehr als 30 % Transmission besitzt. In den übrigen Fahrsituationen tritt keine Lokführerblendung auf.

Kraftfahrer auf dem Straßenzug Büchener Straße/Heideweg und der Straße „An der Eisenbahn“ werden durch die PV-Anlage nicht geblendet.

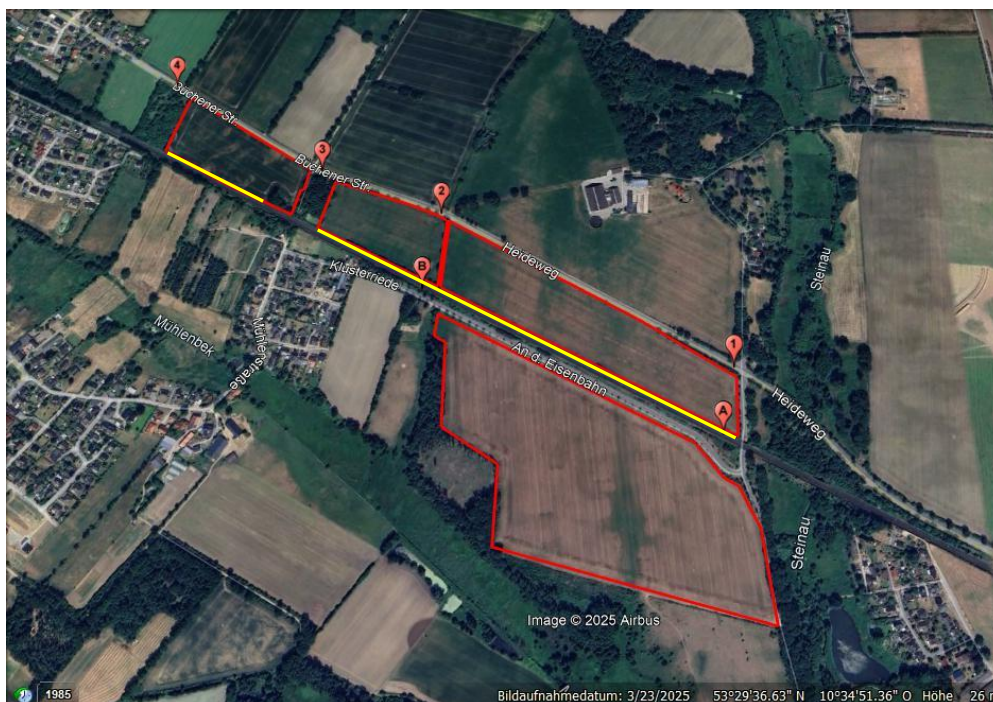
Gegen die Errichtung der PV-Freiflächenanlage bei Büchen ist bei Realisierung der empfohlenen Zaunabschirmung aus Sicht des Unterzeichners nichts einzuwenden.



---

Dieses Gutachten wurde nach bestem Wissen und Gewissen angefertigt.

## Anhang



*Bild 1: Übersicht der geplanten PV-Anlage Büchen (rot umrandet) mit den untersuchten Blickpunkten A und B auf der Bahnstrecke Berlin-Hamburg und den Blickpunkten 1 bis 4 auf dem Straßenzug Büchener Straße/Heideweg*

*Gelbe Linien: Empfohlene Zaunabschirmung*

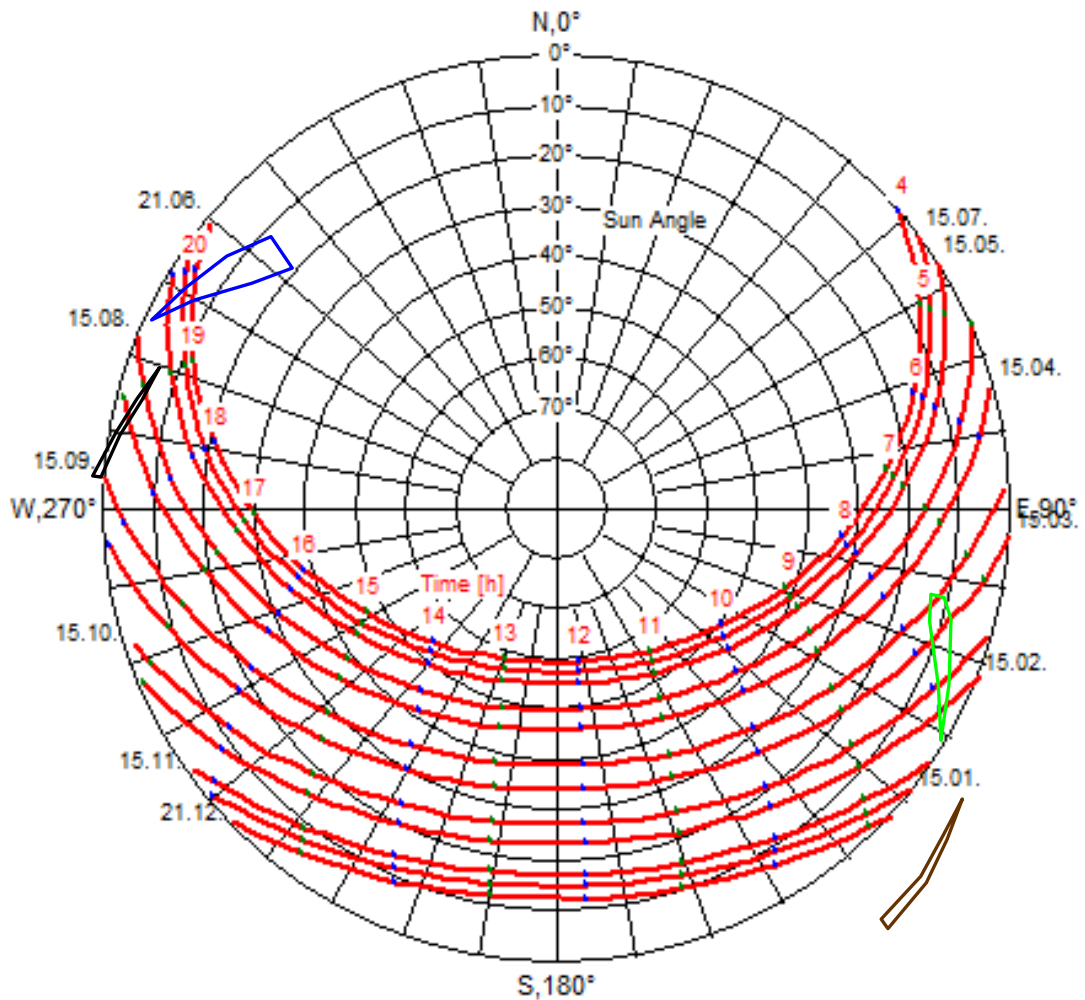


Bild 2: Monatlicher Sonnenstand (Sonnenhöhe und -richtung) für Büchen mit  $\gamma$ -Flächen zur Bewertung der Vorbeifahrt eines Zuges auf der Strecke Berlin-Hamburg an der geplanten PV-Anlage Büchen; Modulneigung 15°

Blickpunkt eines Lokführers bei

- : Markierung A, Fahrtrichtung Nordwest, zu TF1 bis T3
- : Markierung B, Fahrtrichtung Südost, zu TF1 bis TF3
- : Markierung A, Fahrtrichtung Nordwest, zu TF4
- : Markierung B, Fahrtrichtung Südost, zu TF4

Quelle des Sonnenstandsdiagramms: [www.stadtklima-stuttgart.de](http://www.stadtklima-stuttgart.de);  
Copyright: © Lohmeyer GmbH & Co. KG, Karlsruhe 2007

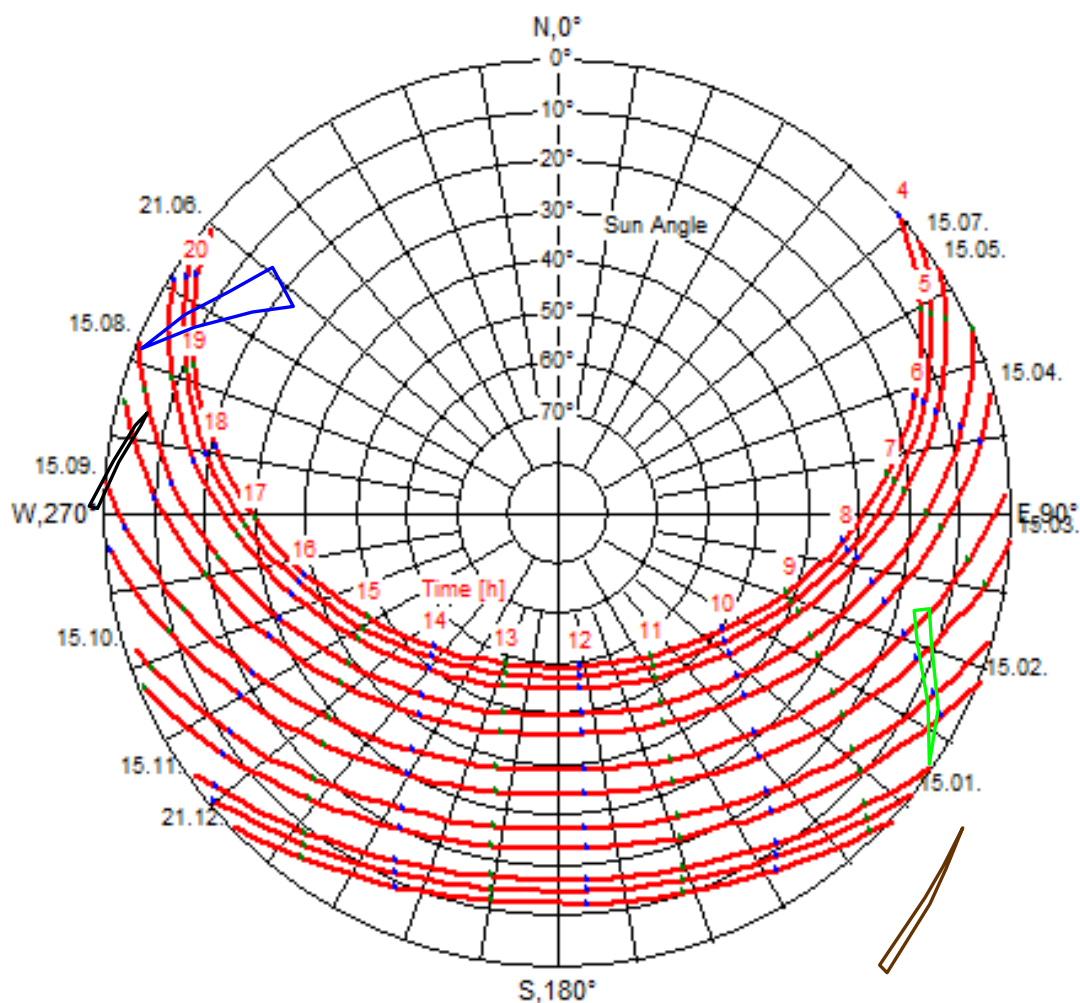


Bild 3: Monatlicher Sonnenstand (Sonnenhöhe und -richtung) für Büchen mit  $\gamma$ -Flächen zur Bewertung der Vorbeifahrt eines Zuges auf der Strecke Berlin-Hamburg an der geplanten PV-Anlage Büchen; Modulneigung  $20^\circ$

Blickpunkt eines Lokführers bei

- : Markierung A, Fahrtrichtung Nordwest, zu TF1 bis T3
- : Markierung B, Fahrtrichtung Südost, zu TF1 bis TF3
- : Markierung A, Fahrtrichtung Nordwest, zu TF4
- : Markierung B, Fahrtrichtung Südost, zu TF4

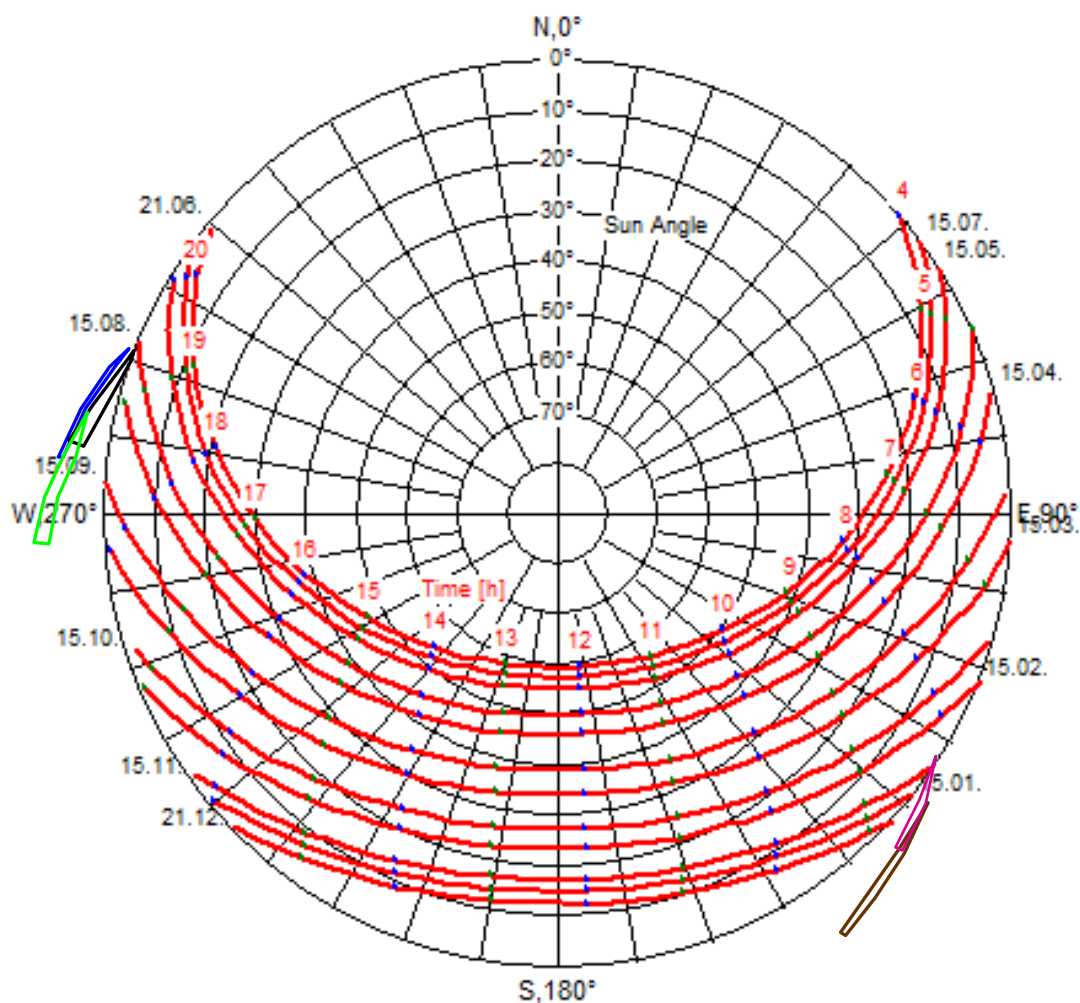


Bild 4: Monatlicher Sonnenstand (Sonnenhöhe und -richtung) für Büchen mit  $\gamma$ -Flächen zur Bewertung der Vorbeifahrt eines Kfz auf dem Straßenzug Büchener Straße/Heideweg an der geplanten PV-Anlage Büchen; Modulneigung  $15^\circ$

Blickpunkt eines Kraftfahrers bei

- : Markierung 1, Fahrtrichtung Nordwest, zu TF3
- : Markierung 2, Fahrtrichtung Nordwest, zu TF2
- : Markierung 3, Fahrtrichtung Nordwest, zu TF1
- : Markierung 4, Fahrtrichtung Südost, zu TF1
- : Markierung 3, Fahrtrichtung Südost, zu TF2

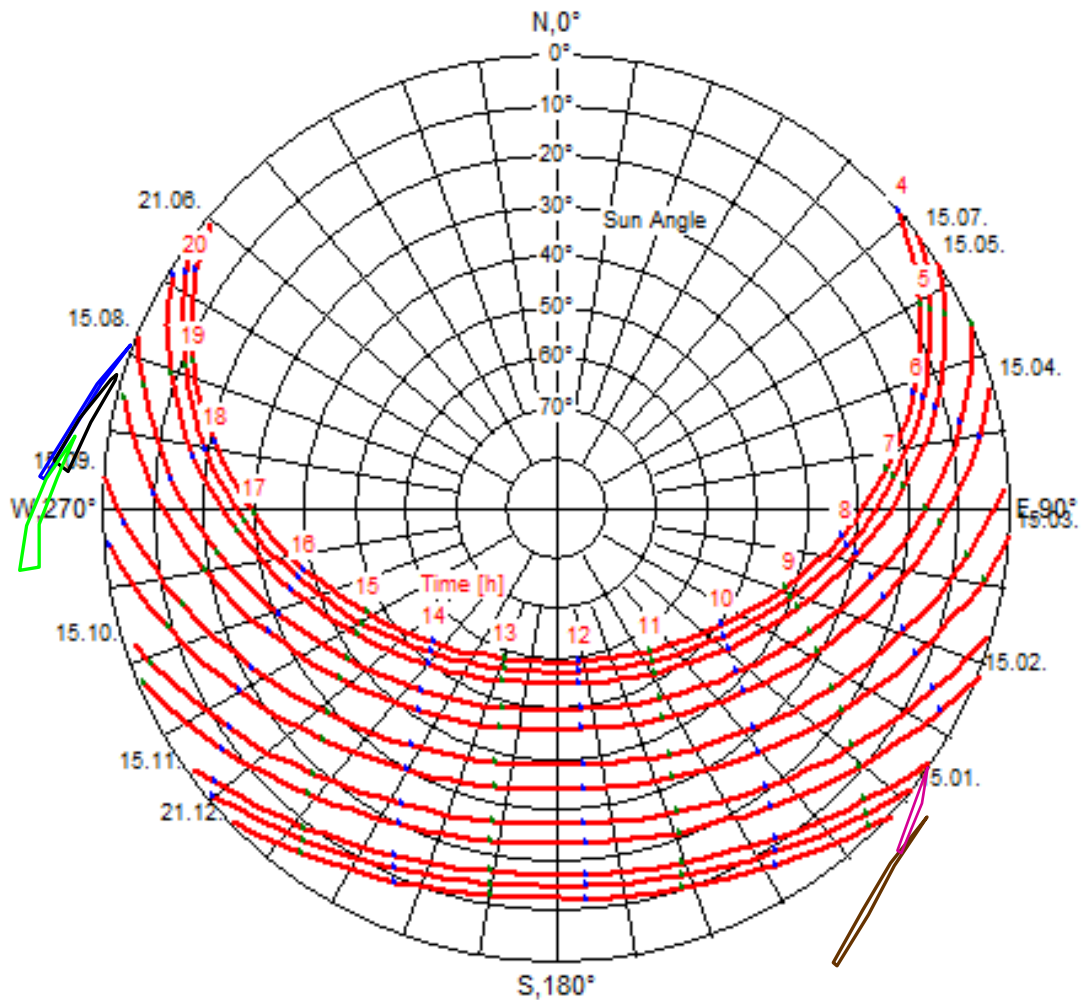
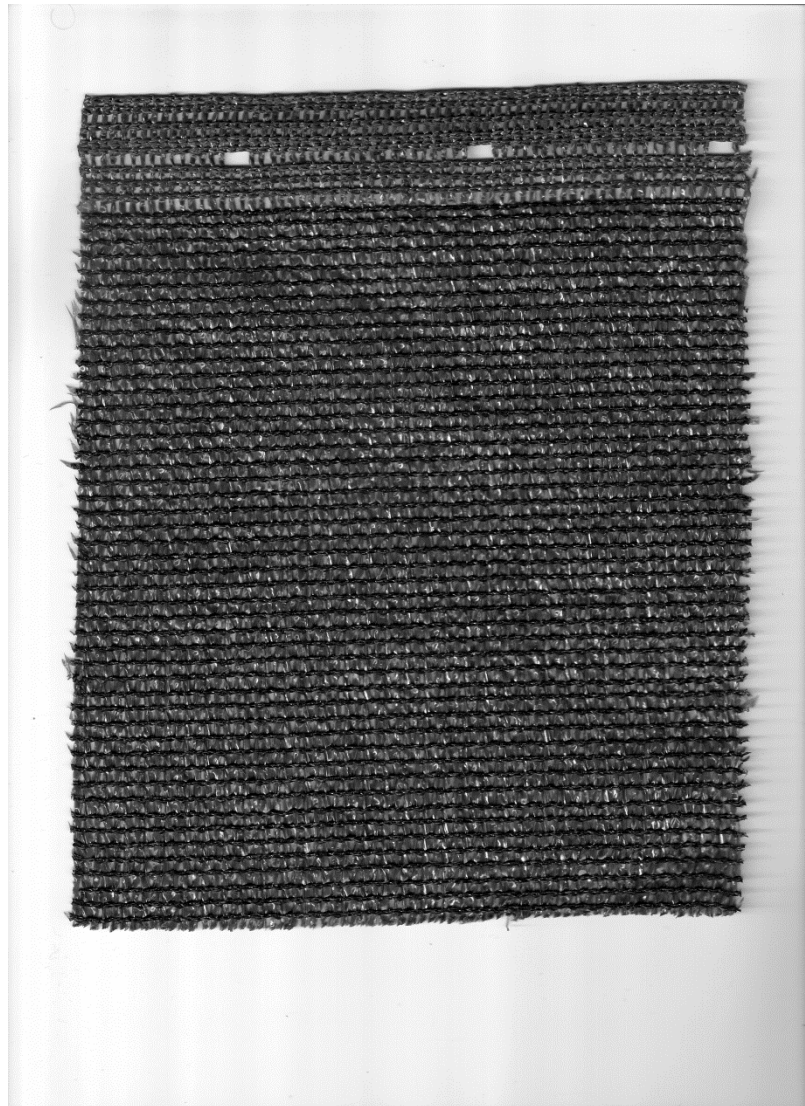


Bild 5: Monatlicher Sonnenstand (Sonnenhöhe und -richtung) für Büchen mit  $\gamma$ -Flächen zur Bewertung der Vorbeifahrt eines Kfz auf dem Straßenzug Büchener Straße/Heideweg an der geplanten PV-Anlage Büchen; Modulneigung  $20^\circ$

- Blickpunkt eines Kraftfahrers bei
- : Markierung 1, Fahrtrichtung Nordwest, zu TF3
  - : Markierung 2, Fahrtrichtung Nordwest, zu TF2
  - : Markierung 3, Fahrtrichtung Nordwest, zu TF1
  - : Markierung 4, Fahrtrichtung Südost, zu TF1
  - : Markierung 4, Fahrtrichtung Südost, zu TF2



*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*