

Dr. Hans Meseberg  
LSC Lichttechnik und Straßenausstattung Consult  
Fährstr. 10  
13503 Berlin  
Tel.: 030/82707832  
Mobil: 0177/3733744  
Email: hmeseberg@t-online.de

Berlin, den 5. Februar 2024

## **G u t a c h t e n**

**G06/2024**

### **zur Frage der eventuellen Blend- und Störfwirkung von Lokführern, Straßennutzern und Anwohnern durch eine in Glashagen/Gemeinde Wittenhagen zu installierende Photovoltaik-Freiflächenanlage (PV Glashagen I)**

(Dieses Gutachten besteht aus 11 Seiten  
und einem Anhang mit 5 weiteren Seiten)

#### **1 Auftraggeber**

Den Auftrag zur Erarbeitung des Gutachtens erteilte die WIND-projekt Ingenieur- und Projektentwicklungsgesellschaft mbH, Am Strom 1 - 4 in 18119 Rostock.

Auftragsdatum: 18. 12. 2022

#### **2 Auftragsache**

Die Fa. WIND-projekt plant die Errichtung einer Photovoltaik-Freiflächenanlage in Glashagen, Gemeinde Wittenhagen, die sowohl in unmittelbarer Nähe der Bahnstrecke Berlin-Stralsund als auch mehrerer Straßen liegt. Es besteht die Besorgnis, dass Lokführer bzw. Straßennutzer bei der Vorbeifahrt an der PV-Anlage durch Sonnenlicht, das von der Oberfläche der PV-Module reflektiert wird, geblendet oder in sonst unzumutbarer Weise gestört werden könnten. Des Weiteren soll geklärt werden, ob Personen in Wohn- und Gewerbegebäuden (Immissionsorten) in der Umgebung der PV-Anlage durch von der PV-Anlage reflektiertes Sonnenlicht gestört oder belästigt werden. Dieses Gutachten dient der Klärung 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)	$\gamma$
Azimet (horizontaler Sonnenwinkel) bzw. momentane Fahrtrichtung eines Zuges/eines Kfz	$\alpha$
Orientierung der Modultischreihen	$\alpha_M$

Orientierung der Modultischreihen gegen Ost oder West $\alpha_M - \alpha$	$\nu$
vertikaler Winkel des von den Solarmodulen reflektierten Lichts im Raum liegender Blickwinkel (gebildet durch die Blickrichtung eines Beobachters - Richtung reflektiertes Sonnenlicht)	$\delta$
Neigung der PV-Module gegen Süd	$\theta$
horizontaler Blickwinkel Beobachter - PV-Anlage	$\varepsilon$
Differenz $\alpha - \tau$ (horizontale Blickrichtung Beobachter - PV-Anlage)	$\tau$
vertikaler Blickwinkel Beobachter - PV-Anlage	$\psi$
vertikaler Blickwinkel Beobachter - vor ihm liegende Bahntrasse/Fahrbahn	$\lambda$
	$\sigma$

#### 4 Topografische Daten und Angaben zur Photovoltaik-Anlage

Die topografischen Daten und die Beschreibung der Anlage beruhen auf folgenden Informationen, die von der Fa. WIND-projekt zur Verfügung gestellt wurden:

- Lageplan der PV-Anlage
- Belegungsplan der PV-Anlage
- Modultischquerschnitt
- Fotos

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

##### 4.1 Beschreibung der PV-Anlage, topografische Daten

Die PV-Anlage wird auf einem bisher landwirtschaftlich genutzten Gelände errichtet s. Bild 1 im Anhang. Die Teilflächen TF1 und TF2 befinden sich nördlich, die Teilflächen TF3 und TF4 südlich von Glashagen. TF1 und TF3 liegen unmittelbar westlich, TF2 und TF4 unmittelbar östlich der Bahnstrecke. Das Gelände der PV-Anlage ist weitgehend eben; die Geländeoberkante (GOK) fällt von der Nordgrenze von TF1 bis zur Südecke von TF3 und TF4 kontinuierlich von 22 m über Normalhöhennull (NHN) auf 17 m.

Gemäß momentaner Planung sollen Module des Herstellers Canadian Solar, Typ CS7N-690TB-AG mit einer Leistung von  $690 W_{\text{peak}}$  je Modul installiert werden. Die Gesamtleistung beträgt  $82,709 MW_{\text{peak}}$ . Die Module werden auf Modultischen montiert, die in Ost-West-Richtung ausgerichtet sind. Die Modulneigung beträgt  $17^\circ$ , die Höhen der Modulober- und -unterkante liegen bei 2,83 m und 0,8 m über GOK.

##### 4.2 Die Bahntrasse

Die eingleisige Bahnstrecke verläuft zwischen den Markierungen A und B (s. Bild 1) etwa geradlinig, der Fahrtrichtungswinkel  $\alpha$  beträgt ca.  $21,8^\circ/201,8^\circ$ . Zwischen den Markierungen C und D verläuft die Bahnstrecke ebenfalls geradlinig mit einem Fahrtrichtungswinkel von  $6,6^\circ/186,6^\circ$ . Die Schienenoberkante (SOK) liegt etwa auf gleicher

Höhe wie die GOK der jeweils benachbarten TF. Von der Bahnstrecke ist ein freier Blick auf die PV-Anlage gegeben.

### 4.3 Die untersuchten Straßen

In der Nähe der PV-Teilflächen verlaufen mehrere Abschnitte der Ortsstraße „Glashagen“: Eine Teilstrecke befindet sich zwischen TF1 und TF2, von Markierung A bis Markierung B, parallel zur Bahnstrecke; eine zweite Teilstrecke durchquert den westlichen Teil von Glashagen und führt in Richtung Ost mit der Fahrtrichtung 107,3° zur nördlichen Grenze von TF4. Dieser Straßenzug endet bei Markierung E ca. 130 m vor der Nordostecke von TF4.

Ein dritter Streckenabschnitt durchquert den östlichen Teil von Glashagen in Richtung West und führt zwischen den Markierungen F und G südlich an TF2 und nördlich an TF4 vorbei. Der Fahrtrichtungswinkel beträgt 119°/299°. Ein weiterer Streckenabschnitt dieser Straße verläuft parallel zur Nordwestgrenze von TF3, zwischen den Markierungen H und I, die Fahrtrichtung liegt bei 33,5°/215,5°. Die Fahrbahnoberkante (FOK) aller Streckenabschnitte liegt etwa auf gleicher Höhe wie die GOK der jeweils benachbarten TF. Von den genannten Streckenabschnitten ist ein freier Blick auf die jeweilige TF gegeben.

Im Westen der PV-Anlage führt die B 194 in einem Mindestabstand von 500 m an der PV-Anlage vorbei. Von Süden kommend, beträgt der Blickwinkel  $\theta$  eines Kraftfahrers zur PV-Anlage nach der Vorbeifahrt an Schönenwalde 20°, der Abstand zur PV-Anlage liegt bei 1300 m. Bei der weiteren Annäherung an die PV-Anlage steigt der Blickwinkel immer weiter. Gemäß der Erläuterungen in Abschnitt 5 ist Kraftfahrerblendung von PV-Anlagen, zu denen der Kraftfahrerblickwinkel  $> 20^\circ$  ist, nicht möglich. Das Blendrisiko für Kraftfahrer auf der B 194 muss daher nicht untersucht werden.

### 4.4 Die untersuchten Immissionsorte

Potentiell blendgefährdet sind Wohnhäuser bzw. Gewerbegebäude (Immissionsorte) in den Ortsteilen von Glashagen beiderseits der Bahntrasse. Für beide Ortsteile wurden je zwei Wohn-/Gewerbegebäude für die Untersuchungen ausgewählt (s. Markierungen 1 bis 4 in Bild 2), die repräsentativ für alle Immissionsorte sind. Die Adressen und Geländehöhen dieser Immissionsorten sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Immissionsort	Adresse	GOK	Fenstermitte des höchsten Geschosses über GOK	Gesamthöhe über GOK
1	Glashagen 6	20 m	OG: 5,50 m	25,5 m
2	Glashagen 14b	22 m	OG: 5,50 m	27,5 m
3	Glashagen 17	21 m	OG: 6 m	27 m
4	Glashagen 24 (Pfadfinderbund)	22 m	OG: 7 m	29 m

OG: 1. Obergeschoss

Tabelle 1: Untersuchte Immissionsorte

## 5 Beschreibung der eventuell von PV-Anlagen ausgehenden Blend- und Störwirkungen 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 Blendgefahr geringer:

1. Das reflektierte Sonnenlicht hat immer eine geringere Intensität als das direkte Sonnenlicht, es kommt selten zu einer Absolutblendung, sondern meist „nur“ zu Adaptationsblendung; d.h., die Helligkeitskontraste sind zwar verringert und die Wahrnehmung von Objekten wird erschwert, aber selten so stark, dass verkehrgefährdende Situationen entstehen.
2. Die Blendwirkung durch reflektierende Objekte ist zeitlich und örtlich sehr begrenzt, während die Sonnenblendung über längere Zeit auf den Menschen einwirken kann.

Ob Blendung auftritt, ist sehr stark vom Winkel  $\theta$ , gebildet von der Blickrichtung eines Beobachters und der Verbindungslinie Auge des Beobachters - blendende Lichtquelle (z.B. Auge des Lokführers/Kraftfahrers zur PV-Anlage) abhängig. Dieser Blickwinkel wird auch als Blendwinkel bezeichnet. **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 füh-

ren 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 für Verkehrsteilnehmer 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 **Blendwinkel  $5^\circ \leq \theta \leq 10^\circ$** , und besonders kritisch Winkel  $\theta \leq 5^\circ$ , wenn also die störende Lichtquelle direkt im Gesichtsfeld des Beobachters liegt. Ein Lokführer/Kraftfahrer hat nicht mehr die Möglichkeit, diese Lichtquelle „auszublenden“: Er muss den vor ihm liegende Gleiskörper bzw. die 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.

Um eine Aussage über die Blendwirkung einer PV-Freiflächenanlage machen zu können, muss im Zweifelsfall unter Beachtung des Blickwinkels die Beleuchtungsstärke der Blendlichtquelle ins Verhältnis zur Beleuchtungsstärke der Sonne gesetzt werden.

## **6 Berechnung des Blend- und Störpotentials der geplanten PV-Anlage für Lokführer und Kraftfahrer**

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 das Sichtfeld eines Lokführers oder Kraftfahrers gelangt. Ist eine gewisse Wahrscheinlichkeit gegeben, muss die Intensität des ins Auge des Lokführers/Kraftfahrers reflektierten Lichts ermittelt werden. Das Blendrisiko insgesamt ergibt sich aus der Bewertung der Wahrscheinlichkeit des Auftretens und der Intensität des ins Auge eines Lokführers/Kraftfahrers reflektierten Sonnenlichts.

Die Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines Blendrisikos kann mithilfe eines so genannten Sonnenstandsdiagramms ermittelt werden. Die Bilder 3 bis 5 zeigen das Sonnenstandsdiagramm für Glashagen in Form eines Polardiagramms. Die roten Li-

nien 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.

Zunächst muss der im Raum liegende Winkel  $\theta$  zwischen Lokführer/Kraftfahrer und PV-Anlage ermittelt werden.  $\theta$  ergibt sich aus folgender Formel:

$$\cos \theta = \cos \sigma \cdot \cos \lambda \cdot \cos \psi$$

$\sigma$  ist der Winkel, gebildet durch die Höhe des Lokführer-/Kraftfahrerauges  $h_F$  über dem Gleisbett/der Fahrbahn und die Entfernung zum Blickpunkt auf dem Gleiskörper/der Fahrbahn. Die Augenhöhe  $h_F$  eines Lokführers beträgt bis zu 3,30 m, eines Lkw-Fahrers bis zu 2,50 m. Es kann angenommen werden, dass der Lokführer/Kraftfahrer normalerweise auf einen Punkt auf einen Punkt des vor ihm liegenden Gleiskörpers/der Fahrbahn blickt, der etwa 100 m vor ihm liegt. Daraus ergibt sich ein vertikaler Winkel  $\sigma$  von ca.  $-2,3^\circ$  (Blick leicht nach unten), unter dem Lokführer auf den Gleiskörper blickt, bzw. ein Winkel  $\sigma$  von ca.  $-1,4^\circ$ , unter dem der Kraftfahrer auf die Straße blickt.

$\lambda$  ist der vertikale Winkel, gebildet durch die Differenz der Höhe Lokführer-/Kraftfahrerauge- Höhe der Mitte PV-Modul und die Entfernung Lokführer-/Kraftfahrerauge - PV-Modul für einen bestimmten Punkt der PV-Anlage.

$\psi$  ist der horizontale Winkel zwischen der momentanen Fahrtrichtung  $\alpha$  und der horizontalen Blickrichtung  $\tau$  Lokführer-/Kraftfahrerauge - bestimmter Punkt der PV-Anlage. Nähert sich ein Zug/ein Kfz der PV-Anlage, ändern sich ständig sowohl die Blickrichtung  $\tau$  des Lokführers/Kraftfahrers zur Anlage als auch die Fahrtrichtung  $\alpha$  auf der Bahnstrecke bzw. der Straße. Mit der Änderung von  $\tau$  und  $\alpha$  ändert sich auch der Winkel  $\psi$  mit zunehmender Annäherung an die PV-Anlage.

Damit Sonnenlicht in Richtung Lokführer-/Kraftfahrerauge reflektiert werden kann, muss der vertikale Blickwinkel des Lokführers/Kraftfahrers  $\lambda$  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 jeden Punkt der Vorbeifahrt eines Zuges/eines Kfz an die PV-Anlage werden nun mittels google earth die Winkel  $\tau$ ,  $\alpha$ ,  $\psi$  bestimmt, dann wird nach obiger Formel  $\theta$  berechnet. Mit den weiteren Parametern Neigung der Module  $\varepsilon = 17^\circ$  nach Süd, der Orientierung  $\nu$  der Modultischreihen, der Fahrtrichtung  $\tau$  und dem vertikalen Winkel  $\lambda$  werden dann die trigonometrischen Berechnungen zur Ermittlung des Sonnenazimuts  $\alpha$  und des vertikalen Sonnenhöhenwinkels  $\gamma$  durchgeführt, unter denen das Sonnenlicht auf die PV-Module fallen müsste, damit das reflektierte Licht ins Auge eines Lokführers/Kraftfahrers fallen kann.

Da die Winkel  $\alpha/\gamma$  für die gesamte Fläche oder eine Teilfläche der PV-Anlage bestimmt werden, bilden die  $\alpha/\gamma$ -Werte eine Fläche in Form eines Polygonzuges. Diese sogenannten  $\gamma$ -Flächen werden in das Sonnenstandsdiagramm der Bilder 3 bis 5 eingetra-

gen; haben sie Schnittmengen mit den roten Sonnenstandslinien, fällt Sonnenlicht ins Lokführer-/Kraftfahrerauge. Die dazugehörigen Jahres- und Tageszeiten können aus dem Polardiagramm abgelesen werden. Bei fehlenden Schnittmengen ist keine Sonnenlichtreflexion von der PV-Anlage zu einem Lokführer/Kraftfahrer möglich. Berücksichtigt werden alle Blickwinkel Lokführer/Kraftfahrer - PV-Anlage  $\theta \leq 20^\circ$ , weil nach Abschnitt 5 nur in diesem Winkelbereich reflektiertes Sonnenlicht störende Blendung erzeugen kann.

## **7 Berechnungsergebnisse Bahnstrecke**

### **7.1 Blendberechnung für TF1 und TF2**

Als Blickpunkte eines Lokführers wurden die zunächst die Markierungen A und B in Bild 1 zur Blendberechnung für TF1 und TF2 ausgewählt. In Bild 3 sind die berechneten  $\gamma$ -Flächen für diese Blickpunkte eingezeichnet.

#### **7.1.1 Fahrtrichtung Süd**

Die grün bzw. blau gezeichneten  $\gamma$ -Flächen liegen unterhalb der Sonnenstandslinien, sogar außerhalb des Polardiagramms und haben keine Schnittpunkte mit den Sonnenstandslinien, Sonnenlichtreflexion von der PV-Anlage und Lokführerblendung sind in dieser Fahrtrichtung gemäß der Erläuterungen in Abschnitt 6 nicht möglich.

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

#### **7.1.2 Fahrtrichtung Nord**

Die braun bzw. schwarz gezeichneten  $\gamma$ -Flächen liegen oberhalb der Sonnenstandslinien und haben keine Schnittpunkte mit diesen, Lokführerblendung tritt auch in dieser Fahrtrichtung nicht auf.

Diese Tatsache ergibt sich daraus, dass auf der nördlichen Erdhalbkugel die Sonne nicht aus nördlichen Richtungen scheint und das Sonnenlicht daher nicht in südliche Richtungen reflektiert werden kann, d.h. nicht ins Auge eines Kraftfahrers gelangen kann, der von den Markierungen B oder D in Richtung Nord zur PV-Anlage blickt.

### **7.2 Blendberechnung für TF3 und TF4**

Die Fahrtrichtung zwischen den Markierungen A und B liegt bei  $21,8^\circ/201,8^\circ$ , also etwa in Richtung Nordnordost bzw. Südsüdwest. Die Fahrtrichtung zwischen den Markierungen C und D beträgt  $6,6^\circ/186,6^\circ$ , die Fahrtrichtung dreht also ziemlich genau auf Nord-Süd. Der Lokführer blickt demzufolge auf TF3 und TF4 noch nördlicher/südlicher als auf TF1 und TF2, demzufolge ist Lokführerblendung durch TF3 und TF4 erst recht nicht möglich.

Fazit: Lokführer auf der Strecke Berlin-Stralsund werden durch die PV-Anlage nicht geblendet.

## **8 Berechnungsergebnisse Straße Glashagen**

### **8.1 Straßenabschnitt zwischen den Markierungen A und B**

Der Straßenabschnitt zwischen den Markierungen A und B verläuft völlig parallel zur Bahnstrecke, deshalb gilt die in den Abschnitten 7.1.2 und 7.1.2 gegebene Aussage, dass Lokführer zwischen A und B nicht geblendet werden können, gleichermaßen auch für Kraftfahrer auf dem danebenliegenden Straßenabschnitt.

### **8.2 Straßenabschnitt westlicher Teil Glashagen bis Markierung E**

In diesem Streckenabschnitt schaut man in östlicher Fahrtrichtung in Richtung des nördlichen Randes von TF4. Als kritischer Blickpunkt wurde die Markierung E gewählt. Die für diesen Blickpunkt berechnete  $\gamma$ -Fläche ist in Bild 4 in grüner Farbe eingezeichnet; sie liegt außerhalb des Polardiagramms, hat keine Schnittpunkte mit den Sonnenstandslinien, Kraftfahrerblendung ist auch in dieser Situation nicht möglich.

### **8.3 Straßenabschnitt zwischen den Markierungen F und G**

Der Blickwinkel eines Kraftfahrers beträgt bei Markierung F, unmittelbar nach Unterquerung der Eisenbahnbrücke, zu TF1 mindestens  $32^\circ$  und zu TF4 mindestens  $36^\circ$ . Der Blickwinkel bei Markierung G zu TF4 liegt bei  $60^\circ$ . Da diese drei Blickwinkel  $> 20^\circ$  sind, ist Blendung von vornherein ausgeschlossen, diese Situationen brauchen nicht näher untersucht zu werden. Nur der Blickwinkel von Markierung G zu TF2 ist  $< 20^\circ$  und muss untersucht werden. Die entsprechende  $\gamma$ -Fläche ist in Bild 4 in brauner Farbe eingezeichnet; sie liegt oberhalb der Sonnenstandslinien, damit ist auch in dieser Fahrtrichtung keine Blendung eines Kraftfahrers möglich.

### **8.4 Straßenabschnitt zwischen den Markierungen H und I**

Die  $\gamma$ -Flächen sind in Bild 4 in blauer bzw. schwarzer Farbe eingetragen. Sie liegen unterhalb bzw. oberhalb der Sonnenstandslinien, auch in diesem Straßenabschnitt tritt keine Kraftfahrerblendung auf.

Fazit: Kraftfahrerblendung ist auf den Straßenabschnitten in der Umgebung der PV-Anlage durch diese Anlage nicht möglich.

## **9 Blend- und Störf Wirkung von sich in Gebäuden aufhaltenden 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 Störf Wirkung 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, (Stand 3. 11. 2015) vorgenommen (im Folgenden „LAI-Hinweise“ genannt). Die Blend- und Störf Wirkung = 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 sind die Sonne als punktförmig und die Solarmodule als ideal verspiegelt zu betrachten, so dass die Berechnungen gemäß dem Reflexionsgesetz Einfallswinkel = Ausfallswinkel 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 nur auf den Kernreflex, die zusätzliche Reflexionszeit durch den Streureflex wird nach den LAI-Hinweisen nicht berücksichtigt.

In den LAI-Hinweisen wird ausgeführt: *„Wirkungsuntersuchungen oder Beurteilungsvorschriften zu diesen Immissionen sind bisher nicht vorhanden.“* Mangels solcher Untersuchungen wurde der Inhalt der Regelungen der LAI-Hinweise 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 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 führt dazu, dass die 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, 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 vieler PV-Anlagen können PV-Anlagen auch dann eine längere und damit 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 erhebliches Gefälle in oder gegen die Richtung Immissionsort aufweist oder die PV-Fläche sehr ausgedehnt ist. Deshalb wird vom Unterzeichner die evtl. Blendwirkung für Anwohner generell unabhängig von der Entfernung der betroffenen Immissionsorte 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. Deshalb wird vom Unterzeichner 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 generell 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  $\delta$  zwischen Hausfassade bzw. Fensterfläche und der Einfallsrichtung des Sonnenlichts, unter dem das Sonnenlicht nicht in den Raum eindringen kann, hängt von der Fensterbreite und der Tiefe des Mauerwerks ab. Bei einer Mauerwerkstiefe von 0,41 m (zweischalige Bauweise) und einer Fensterbreite (nur verglaste Fläche, also ohne Fensterrahmen) von z.B. 1,20 m trifft das Sonnenlicht bei Winkeln bis zu ca.  $19^\circ$ , bezogen auf die Hausfassade, auf das Mauerwerk der gegenüberliegenden Seite der Fensteröffnung. Bei Mansardenfenstern mit einer Breite von z.B. nur 0,60 m Breite beträgt der entsprechende Winkel  $\delta$   $35^\circ$ , bei schrägliegenden Dachgeschossfenstern ca.  $10^\circ$ . Bei den Berechnungen ist der für die jeweiligen Fenster maßgebliche Winkelbereich nicht zu berücksichtigen.

## **10 Berechnungsergebnisse der Blend- und Störwirkung von sich in Gebäuden aufhaltenden Personen**

Die Berechnungen und Auswertungen erfolgen analog zur Berechnung der Blendwirkung für Lokführer oder Straßennutzer. Die Immissionszeiten steigen mit der Geschosshöhe, deshalb werden die Berechnungen für die Höhe der Fenstermitte des jeweils obersten Gebäudegeschosses (s. Tabelle 1) durchgeführt.

Die berechneten  $\gamma$ -Flächen sind in Bild 5 wiedergegeben. Die  $\gamma$ -Flächen der Immissionsorte 1 bis 3 haben keine Schnittpunkte mit den Sonnenstandslinien, es wird kein

Sonnenlicht von der PV-Anlage zu diesen Immissionsorten gelenkt. Die braun gezeichnete  $\gamma$ -Fläche zu Immissionsort 4 hat jedoch solche Schnittpunkte, Sonnenlicht kann vom 15. April bis 31. August zwischen ca. 18.15 Uhr und 18.40 zu diesem Immissionsort reflektiert werden. Die  $\gamma$ -Fläche für Immissionsort 4 ist so schmal, dass sie in der Grafik von Bild 5 kaum als Fläche zu erkennen ist. Deshalb erfolgte die Berechnung der Reflexionszeiten aus der dieser Grafik zugrundeliegenden excel-Tabelle. In Tabelle 2 sind die Reflexionszeiten aufgelistet. Die 30 Minuten-/30 Stunden-Regel der LAI-Hinweise wird sowohl bei der maximalen täglichen als auch bei der jährlichen Reflexionszeit eingehalten.

Reflexionsstage pro Jahr	Maximale tägliche Reflexionszeit	Mittlere tägliche Reflexionszeit	Astronomisch mögliche jährliche Reflexionszeit im Kalenderjahr
139	5,3 min	3,5 min	$139 \cdot 3,5 \text{ min}$ = 8,1 Stunden

Tabelle 2: Maximale tägliche und mögliche jährliche Reflexionszeiten für Immissionsort 4

Fazit: Die Anforderungen der LAI-Hinweise werden an allen Immissionsorten eingehalten.

## 11 Zusammenfassung

Es wurde untersucht, ob die geplante PV-Anlage Glashagen ein Blendrisiko für Lokführer auf der Bahnstrecke Berlin-Stralsund und Kraftfahrer auf Ortsstraßen in Glashagen erzeugt und ob sich in Wohn- und Gewerbegebäuden (Immissionsorten) aufhaltende Personen durch von der PV-Anlage reflektiertes Sonnenlicht gestört oder belästigt werden.

Lokführer- und Kraftfahrerblendung tritt bei der Vorbeifahrt an der Anlage nicht auf. Die Anforderungen der „Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen“ werden bei allen Immissionsorten in Glashagen erfüllt.

Gegen die Errichtung der Photovoltaik-Freiflächenanlage Glashagen mit dem geplanten Modullayout ist aus Sicht des Unterzeichners nichts einzuwenden.



## Anhang



*Bild 1: Schematische Darstellung der PV-Anlage Glashagen mit den untersuchten Blickpunkten eines Lokführers (Markierungen A bis D) und eines Kraftfahrers (Markierungen E bis I)*



Bild 2: Untersuchte Immissionsorte in Glashagen (Markierungen 1 bis 4)

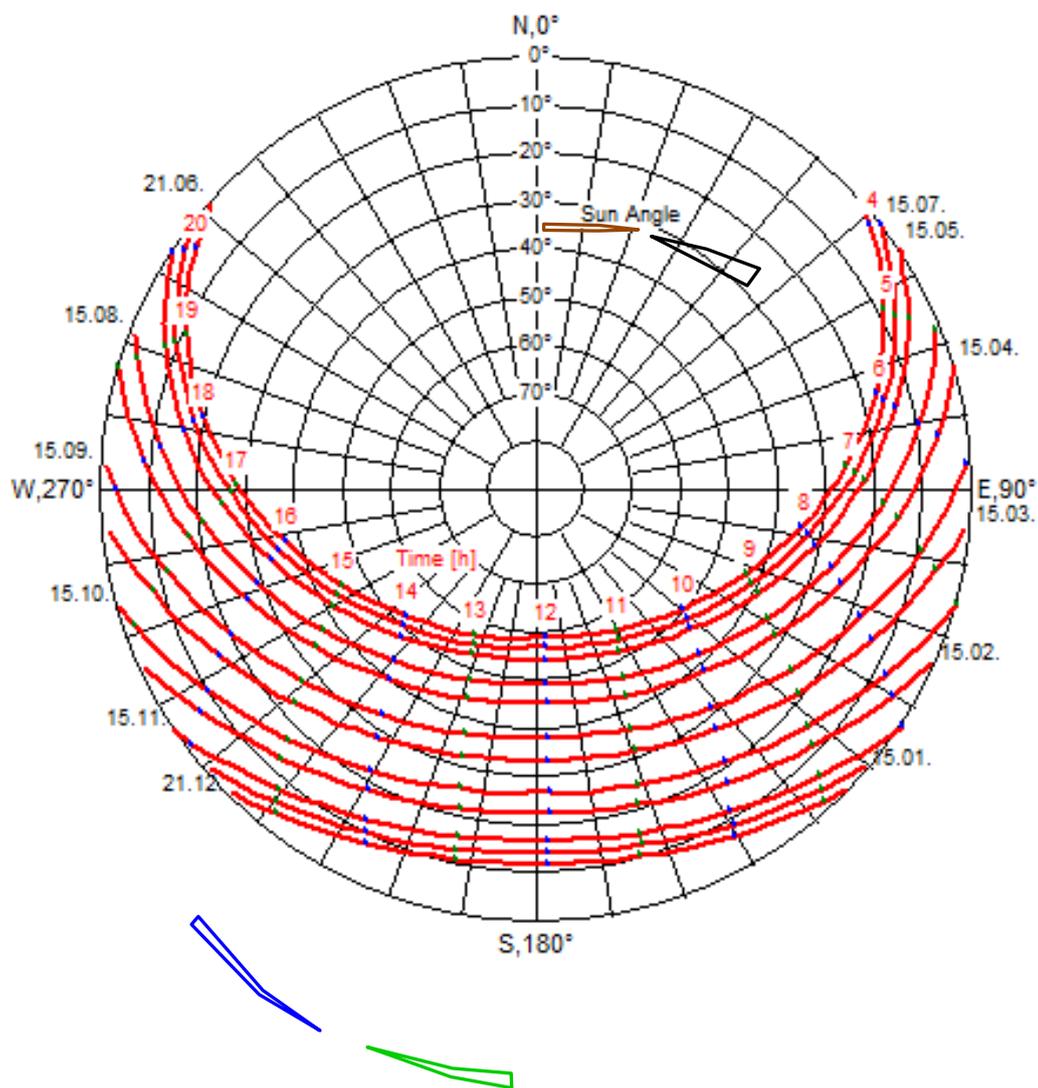


Bild 3: Monatlicher Sonnenstand (Sonnenhöhe und -richtung; rote Linien) für Glashagen mit  $\gamma$ -Flächen für die Vorbeifahrt auf der Bahnstrecke Grimmen-Stralsund

- : Markierung A zu TF1, Fahrtrichtung Süd
- : Markierung A zu TF2, Fahrtrichtung Süd
- : Markierung B zu TF1, Fahrtrichtung Nord
- : Markierung B zu TF2, Fahrtrichtung Nord

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

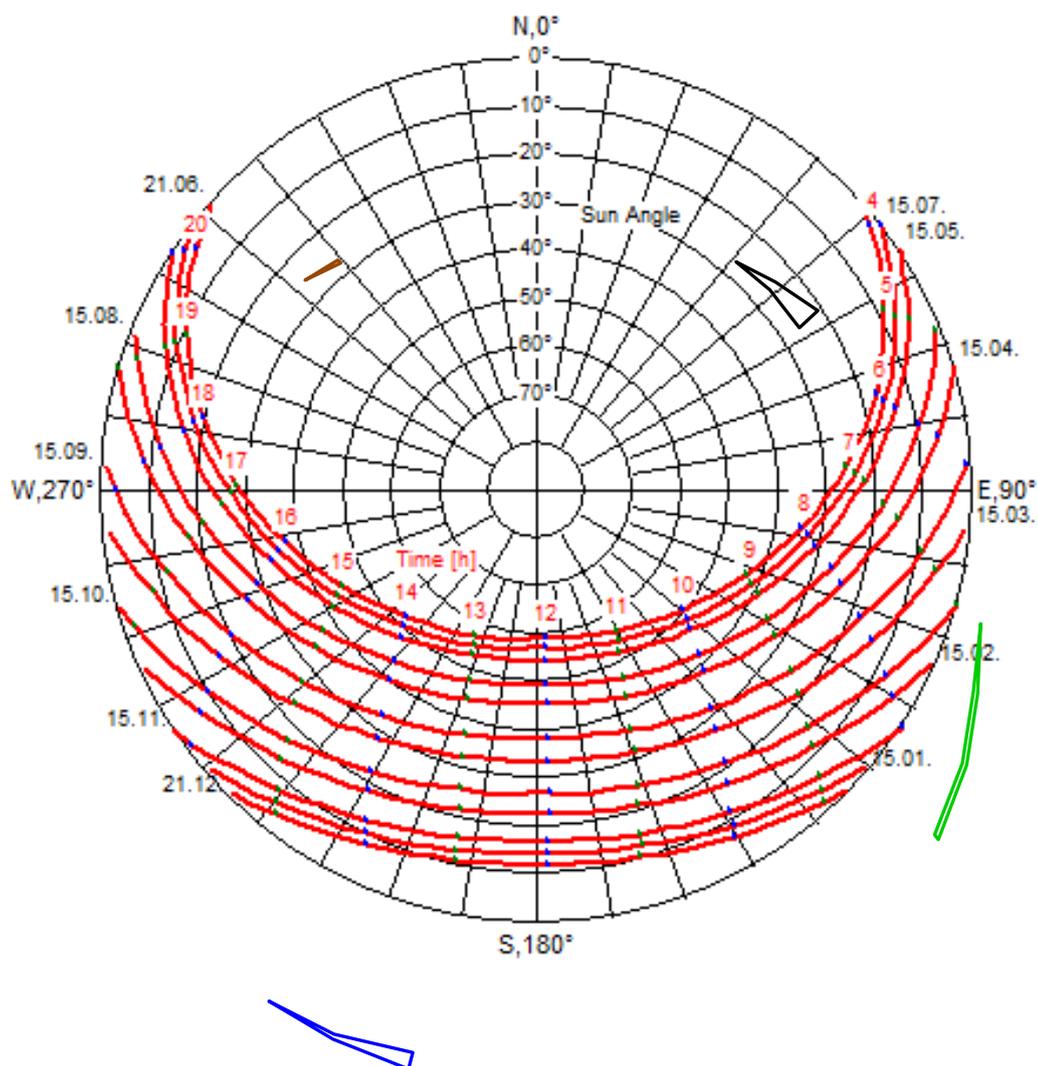


Bild 4: Monatlicher Sonnenstand (Sonnenhöhe und -richtung; rote Linien) für Glashagen mit  $\gamma$ -Flächen für die Vorbeifahrt auf der Straße Glashagen

- : Markierung E zu TF3, Fahrtrichtung Ost
- : Markierung G zu TF2, Fahrtrichtung West
- : Markierung H zu TF3, Fahrtrichtung Süd
- : Markierung I zu TF3, Fahrtrichtung Nord

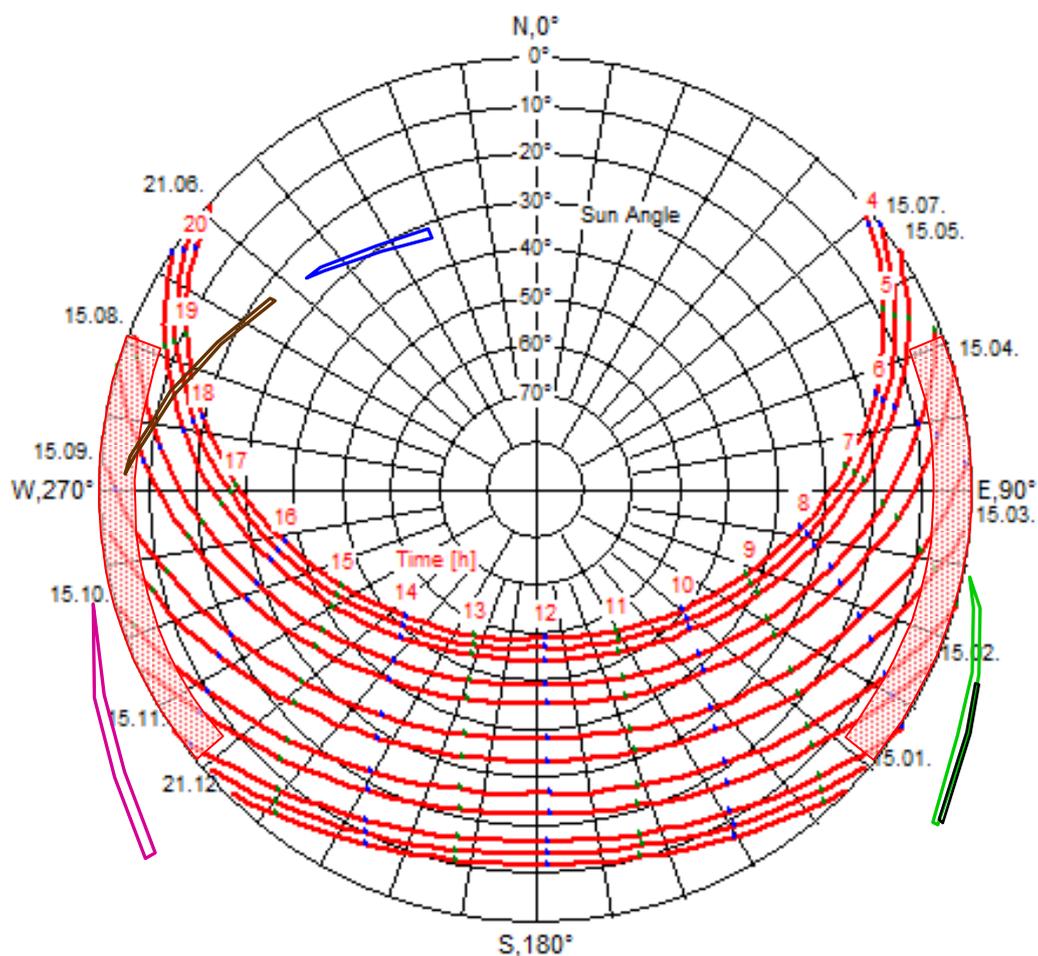


Bild 5: Monatlicher Sonnenstand (Sonnenhöhe und -richtung; rote Linien) für Glashagen mit  $\gamma$ -Flächen für verschiedene Immissionsorte

- : von Immissionsort 1, Glashagen 6, zu TF3 und TF4
- : von Immissionsort 2, Glashagen 14b, zu TF3 und TF4
- : von Immissionsort 3, Glashagen 17, zu TF1 und TF2
- : von Immissionsort 3, Glashagen 17, zu TF3 und TF4
- : von Immissionsort 4, Glashagen 24, zu TF1 und TF2