

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 28. 6. 2023

## **G u t a c h t e n** **G37/2023**

### **zur Frage der eventuellen Blend- und Störwirkung von Nutzern der BAB A 61 durch eine bei Kettenheim zu installierende Photovoltaikanlage**

(Dieses Gutachten besteht aus 7 Seiten  
und einem Anhang mit weiteren 2 Seiten)

#### **1 Auftraggeber**

Den Auftrag zur Erarbeitung des Gutachtens erteilte die JUWI GmbH, Energie-Allee 1 in 55286 Wörrstadt.

Auftragsdatum: 3. 5. 2023

#### **2 Auftragsache**

Die JUWI GmbH plant die Errichtung einer Freiflächen-Photovoltaikanlage bei Kettenheim in unmittelbarer Nähe der BAB A 61. Es besteht die Besorgnis, dass Autobahnutzer 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)	$\gamma$
Azimut (horizontaler Sonnenwinkel) bzw. momentane Fahrtrichtung eines Kraftfahrers	$\alpha$
Orientierung der Modultischreihen gegen Ost oder West	$\nu$
vertikaler Winkel des von den Solarmodulen reflektierten Lichts	$\delta$
Neigung der PV-Module gegen Süd	$\varepsilon$
vertikaler Blickwinkel Kraftfahrer - vor ihm liegende Fahrbahn im Raum liegender Blickwinkel (gebildet durch die Blickrichtung eines Kraftfahrers - Richtung reflektiertes Sonnenlicht)	$\sigma$
horizontaler Blickwinkel Mitte Kraftfahrer - PV-Anlage	$\tau$

Differenz  $\alpha - \tau$  (horizontaler Blickrichtung Kraftfahrer - PV-Anlage)  $\psi$   
vertikaler Blickwinkel Kraftfahrer - PV-Anlage  $\lambda$

#### 4 Informationen zur Photovoltaik-Anlage

Die topografischen Daten und die Beschreibung der Anlage beruhen auf folgenden Informationen, die von der JUWI GmbH zur Verfügung gestellt wurden:

- Lageplan
- Modulbelegungsplan
- Modultischquerschnitt

Die Geländehöhen, Entfernungen und horizontalen Winkel wurden mit google earth ermittelt. Der monatliche Sonnenstand für Kettenheim (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 Kettenheim und topografische Daten

##### 5.1 Die PV-Anlage

Die fünfteilige PV-Anlage wird auf einem bisher landwirtschaftlich genutzten Gelände errichtet, s. Bild 1 im Anhang. Die Gesamtfläche der PV-Anlage beträgt ca. 16 ha. Die Teilflächen A bis D (TF A bis TF D) liegen unmittelbar östlich der BAB, der kleinste Abstand einer Teilfläche zur Autobahn beträgt 40 m. TF E befindet weiter östlich in einem Mindestabstand zur Autobahn von ca. 230 m. Die Geländeoberkante (GOK) der Teilflächen steigt von Nord nach Süd an: Am Nordrand von TF A liegt die GOK bei 209 m und steigt bis zum Südrand von TF D auf 226 m. Bei TF E steigt die GOK von Nord nach Süd von 227 m auf 230 m.

Es werden monokristalline Solarmodule eingesetzt. Die Module werden auf sogenannten Modultischreihen montiert, die in Ost-West-Richtung ausgerichtet werden. Die Länge der Modultischreihen entspricht der verfügbaren Breite der Anlagenfläche in Ost-West-Richtung. Die Modulneigung  $\varepsilon$  gegen Süd beträgt 20°. Die Höhen der Modulober- und -unterkante über GOK liegen zwischen 4 m und 0,6 m.

##### 5.2 Die BAB A 61

Die BAB mit 2 Fahrstreifen und einem Standstreifen je Fahrtrichtung führt in einem weiten Linksbogen, von Norden gesehen, an der PV-Anlage vorbei. Bei Markierung 1 (s. Bild 1) beträgt die Fahrtrichtung  $\alpha$  ca. 199° und dreht bis zur Vorbeifahrt an der PV-Anlage bei Markierung auf ca. 141°. Die Höhe der Fahrbahnoberkante (FOK) steigt von 194 m bei Markierung 1 auf 221 m bei Markierung 4. Zwischen Autobahn und PV-Anlage befindet sich überwiegend ein Laubgehölzstreifen, der mindestens während der Vegetationsphase den Blick von der Autobahn auf die PV-Anlage verhindert.

## 6 Beschreibung der eventuell von PV-Anlagen ausgehenden Blend- und Störwirkungen für 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 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 (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  $\theta$  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 Kraftfahrer hat nicht mehr die Möglichkeit, diese Lichtquelle „auszublenken“: Er muss den vor ihm liegende Gleiskörper bzw. die Straße 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 und der Einwirkzeit des von der PV-Anlage reflektierten Sonnenlichts auf den BAB-Benutzer, die Beleuchtungsstärke der Blendlichtquelle ins Verhältnis zur Beleuchtungsstärke der Sonne gesetzt werden.

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

### **7.1 Zeitliche Wahrscheinlichkeit der Sonnenlichtreflexion ins Auge eines Kraftfahrers**

#### **7.1.1 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. Bild 2 zeigt das Sonnenstandsdiagramm für Kettenheim 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.

Zunächst muss der im Raum liegende Winkel Blickwinkel  $\theta$  zwischen Kraftfahrer 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 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 des 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 2,40 m ein vertikaler Winkel  $\sigma$  von ca.  $-2,9^\circ$  (Blick leicht nach unten). Dieser Winkel  $\sigma$  wurde bei den weiteren Berechnungen zugrunde gelegt.

### 7.1.2 Auswertung mittels des Sonnenstandsdiagramms

$\psi$  ist der horizontale Winkel zwischen der momentanen Fahrtrichtung  $\alpha$  und der horizontalen Blickrichtung  $\tau$  Kraftfahrerauge - bestimmter Punkt der PV-Anlage. Fährt ein Kfz an der PV-Anlage vorbei, ändert sich ständig die Blickrichtung  $\tau$  des Kraftfahrerauges zur Anlage und damit auch der Winkel  $\psi$ .

Damit Sonnenlicht in Richtung Kraftfahrerauge reflektiert werden kann, muss der vertikale Blickwinkel des Kraftfahrerauges  $\lambda$  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 Kfz 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  $\varepsilon = 20^\circ$  nach Süd 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 Kraftfahrers fallen kann.

Die Ergebnisse der Berechnungen für  $\alpha$  und  $\gamma$  werden in das Sonnenstandsdiagramm für Kettenheim eingetragen. Die Berechnungen werden für eine oder mehrere Teilflächen der PV-Anlage von einem festen Beobachterstandort aus durchgeführt, daher 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 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.

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

## 7.2 Ergebnisse

Der Blickwinkel eines Kraftfahrers zu TF E ist in beiden Fahrtrichtungen immer größer als  $20^\circ$ , deshalb erzeugt TF E von vornherein keine Blendwirkung und muss nicht näher betrachtet werden. Die folgenden Berechnungen für TF A bis TF D finden ohne Berücksichtigung der evtl. abschirmenden Wirkung des Gehölzstreifens zwischen PV-Anlage und Autobahn statt.

### 7.2.1 Fahrtrichtung Süd

Als zu untersuchende Blickpunkte eines Kraftfahrers, der in dieser Fahrtrichtung an der PV-Anlage vorbeifährt, wurden die Markierungen 1 bis 3 in Bild 1 gewählt, die in Fahrtrichtung gesehen jeweils vor TF A, TF B bzw. TF C und TF D liegen. Die berechneten  $\gamma$ -Flächen sind in Bild 2 eingezeichnet. Sie liegen unterhalb der Sonnenstandslinien, sogar unterhalb/außerhalb des Polardiagramms und haben keine Schnittpunkte mit den Sonnenstandslinien. Gemäß den Ausführungen in Abschnitt 7.1.2 gelangt kein von der PV-Anlage reflektiertes Sonnenlicht zum Kraftfahrer, Blendung eines Kraftfahrers ist nicht möglich.

Dieser Sachverhalt gibt die Tatsache wieder, dass ein Beobachter, der von den Markierungen 1 bis 3 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.

### 7.2.2 Fahrtrichtung Nord

Als zu untersuchende Blickpunkte eines Kraftfahrers, der in dieser Fahrtrichtung an der PV-Anlage vorbeifährt, wurden die Markierungen 4 bis 6 in Bild 1 gewählt, die jeweils vor TF C, TF B bzw. TF C und TF A liegen. Die berechneten  $\gamma$ -Flächen sind ebenfalls in Bild 2 eingezeichnet. Sie liegen oberhalb der Sonnenstandslinien und haben keine Schnittpunkte mit diesen. Auch in dieser Fahrtrichtung ist keine Kraftfahrerblendung möglich.

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 in Richtung Norden zur PV-Anlage blickt.

## **8 Zusammenfassung**

Bei Vorbeifahrt an der geplanten PV-Anlage Kettenheim tritt in beiden Fahrrichtungen keine Blendung eines die BAB A 61 befahrenden Kraftfahrers auf, und zwar unabhängig von der evtl. Abschirmwirkung durch den Gehölzstreifen zwischen Autobahn und PV-Anlage. Gegen die Errichtung der PV-Freiflächenanlage bei Kettenheim mit dem geplanten Modullayout ist aus Sicht des Unterzeichners nichts einzuwenden.



---

Dieses Gutachten wurde nach bestem Wissen und Gewissen angefertigt.

## Anhang



*Bild 1: Die geplante PV-Anlage Kettenheim (rot umrandet) mit den Teilflächen TF A bis TF E und den Markierungen 1 bis 6 (Blickpunkte eines Kraftfahrers von der BAB A 61 zur PV-Anlage)*



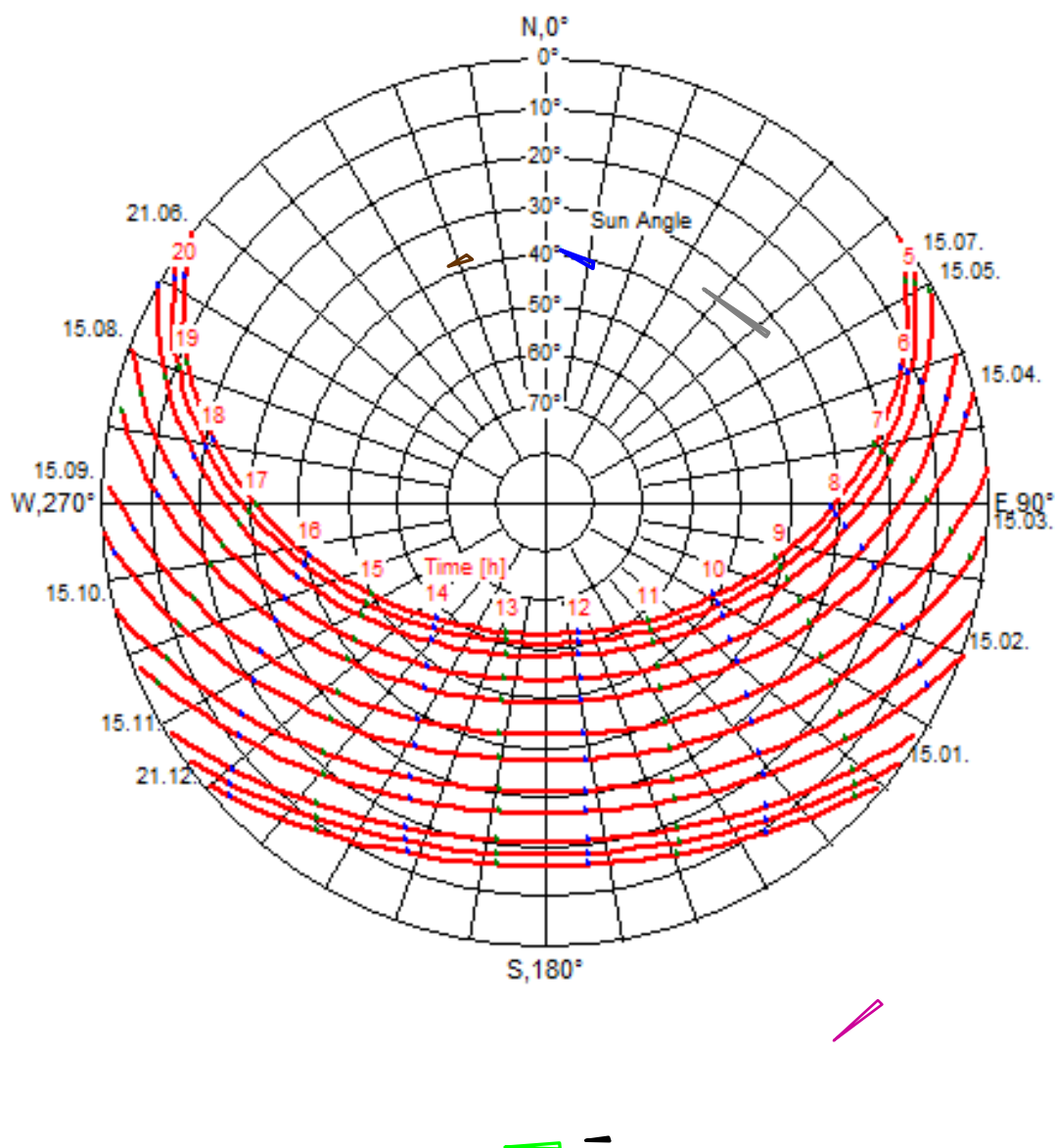


Bild 2: Monatlicher Sonnenstand (Sonnenhöhe und -richtung) für Kettenheim mit  $\gamma$ -Flächen zur Bewertung der Vorbeifahrt eines Kfz auf der BAB A 61 an der PV-Anlage

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

- Fahrtrichtung Süd: Markierung 1 zu TF A
- : Fahrtrichtung Süd: Markierung 2 zu TF B und TF C
- : Fahrtrichtung Süd: Markierung 3 zu TF D
  
- : Fahrtrichtung Nord: Markierung 4 zu TF D
- : Fahrtrichtung Nord: Markierung 5 zu TF B und TF C
- : Fahrtrichtung Nord: Markierung 6 zu TF A