

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

Berlin, den 28. April 2023

**Gutachten  
G06/2023  
zur Frage der eventuellen Blend- und Störwirkung  
von Straßennutzern, Piloten und Anwohnern  
durch eine in Bensheim zu installierende Photovoltaik-Anlage**

(Dieses Gutachten besteht aus 12 Seiten  
und einem Anhang mit 12 weiteren Seiten)

### **1 Auftraggeber**

Den Auftrag zur Erarbeitung des Gutachtens erteilten die Gruppen-Gas- und Elektrizitätswerk Bergstraße AG (GGEW AG), Dammstraße 68 in 64625 Bensheim.

Auftragsdatum: 5. Januar 2023

### **2 Auftragsache**

Die GGEW AG plant die Errichtung einer Photovoltaikanlage in Bensheim, die auf einem bisher landwirtschaftlich genutzten Gelände errichtet werden soll. Es besteht die Besorgnis, dass Kraftfahrer auf der an der PV-Anlage vorbeiführenden BAB A 5 und auf dem Segelflugplatz „Bensheimer Stadtwiesen“ startende oder landende Piloten durch Sonnenlicht, das von der Oberfläche der PV-Module reflektiert wird, geblendet werden. Zusätzlich soll geklärt werden, ob Anwohner/Beschäftigte in Gewerbegebäuden durch die PV-Anlage geblendet oder in sonst unzumutbarer Weise gestört werden können. 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.). Im Folgenden werden Kraftfahrer und Piloten mit dem Begriff „Beobachter“ zusammengefasst.

Es werden folgende Winkel verwendet:

Sonnenhöhenwinkel (vertikaler Sonnenwinkel)	$\gamma$
Azimut (horizontaler Sonnenwinkel) bzw. momentane Fahrtrichtung eines Kfz auf der BAB oder Ausrichtung der Start- und Landebahn	$\alpha$
Orientierung der Modulreihen gegen Ost oder West	$\nu$
vertikaler Winkel des von den Modulen reflektierten Lichts	$\delta$

im Raum liegender Blendwinkel, gebildet durch die Blickrichtung eines Beobachters - Richtung reflektiertes Sonnenlicht = Blickwinkel	$\theta$
Neigung der Module gegen Süd	$\varepsilon$
horizontaler Blickwinkel Beobachter - PV-Anlage	$\tau$
Differenz $\alpha - \tau$ (horizontale Blickrichtung Beobachter - PV-Anlage)	$\psi$
vertikaler Blickwinkel Beobachter - PV-Anlage	$\lambda$
vertikaler Blickwinkel Kraftfahrer - vor ihm liegende Fahrbahn	$\sigma$
Steig- oder Sinkwinkel eines Flugzeuges	$\sigma$

## 4 Topografische Daten und technische Daten der PV-Anlage

### 4.1 Verwendete Informationen und Programme

Die topografischen Daten und die Beschreibung der Anlage beruhen auf folgenden Informationen, die von der GGEW AG zur Verfügung gestellt bzw. dem Internet entnommen wurden:

- Lageplan der PV-Anlage
- Modultischquerschnitt
- Fotos

Verwendete Programme: Der monatliche Sonnenstand für Bensheim (Sonnenhöhe und -azimut) wurde mit der Website [www.stadtklima-stuttgart.de](http://www.stadtklima-stuttgart.de) berechnet. Die Geländehöhen wurden mit dem Programm google earth ermittelt. Die Berechnung der Winkel des reflektierten Sonnenlichts erfolgte mit eigenen Excel-Programmen. Die Flugplatzdaten und die Anflugkarte des Segelflugplatzes „Bensheimer Stadtwiesen“ wurden der Homepage der Segelfluggruppe Bensheim e.V. entnommen.

### 4.2 Die PV-Anlage

Die PV-Anlage wird auf einer etwa rechteckigen Grundfläche von ca. 37 400 m<sup>2</sup> errichtet (s. Bild 1a im Anhang). Im Osten der PV-Anlage befindet sich die BAB A 5, im Süden und Südwesten befinden sich Wohn- und Gewerbegebäude, im Nordwesten und Norden landwirtschaftliche genutzte Flächen. Die Anlagenfläche ist praktisch eben: Die Fläche fällt von Nord nach Süd von ca. 94 m über Normalnull (NN) auf 93 m.

Die Modultischreihen sind nicht wie meist üblich in Ost-West-Richtung ausgerichtet, sondern um 21,38° im Uhrzeigersinn gedreht. Die Neigung der Module gegen Süd beträgt 20°. Die Modulober- und -unterkante liegen bei 3,34 m bzw. bei 0,80 m.

Es ist geplant, Module der Fa. Hengdian Group DMEGC magnetics, Typ DM610M10T-B78HSW I mit einer Leistung von 610 W<sub>peak</sub> zu verwenden. Die Gesamtleistung der Anlage beträgt 6.542,250 kW<sub>peak</sub>.

### 4.3 Die BAB A 5

Diese Autobahn verläuft etwa von Nord nach Süd. Sie beschreibt, von Norden kommend, eine leichte Rechtskurve; bei Markierung A beträgt der Fahrtrichtungswinkel 181,4° und dreht bis zu Markierung B auf 194,8°. Der Abstand der PV-Anlage von der Autobahn liegt zwischen 75 m und 130 m. Zwischen PV-Anlage und Autobahn befindet sich ein Gehölzstreifen, der im Winter die Sicht von der Autobahn teilweise ermöglicht, während im Sommer keine Sicht zur PV-Anlage gegeben ist.

#### 4.4 Der Segelflugplatz

Der Segelflugplatz liegt etwa nordwestlich der PV-Anlage, der kleinste Abstand der Start- und Landebahn (SLB) von der PV-Anlage beträgt am südlichen Ende der SLB ca. 1000 m. Die Platzhöhe beträgt 95 m. Die SLB hat die Abmessungen 980 m x 30 m. Die Ausrichtung der SLB  $\alpha$  beträgt  $142^\circ/322^\circ$ . Für den Segelflugplatz sind Platzrunden festgelegt, s. Bild 2.

#### 4.5 Immissionsorte

Potentielle Immissionsorte befinden sich an der Lindberghstraße westlich der PV-Anlage, in Bild 1b mit den Markierungen 1 bis 4 gekennzeichnet. Immissionsort 3 hat allerdings keine Fenster in Richtung der PV-Anlage und muss nicht untersucht werden. Zwischen den Immissionsorten 1 und 2 befindet sich ein weiteres, dreigeschossiges Wohnhaus, vor dem sich aber ein Baum befindet, der noch das oberste Geschoss überragt und dessen Astwerk so dicht ist, dass im belaubtem Zustand kein Sonnenlicht und selbst im unbelaubtem Zustand nur wenig Sonnenlicht in die Fenster dieses Hauses reflektiert werden kann. Deshalb muss auch dieses Gebäude nicht in die Untersuchungen einbezogen werden.

Weitere Immissionsorte liegen an der Straße „Am Weidenring“ im Süden der PV-Anlage, s. die Markierungen 5 und 6.

Die Reflexionszeiten in Richtung Immissionsorte steigen mit der Fensterhöhe. Deshalb sind in Tabelle 1 die Fensterhöhen des jeweils obersten Geschosses eingetragen.

Immissionsort	Zahl der Geschosse	Höhe der Fenstermitte des obersten Geschosses über Grund
1	2	6 m
2	2	5,50 m
4	2	5,50 m
5	2	5,50 m
6	3	7 m

Tabelle 1: Die untersuchten Immissionsorte

### 5 Beschreibung der eventuell von PV-Anlagen ausgehenden Blend- und Störfwirkungen für sich bewegende Beobachter

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**. Die bei Tageslicht am häufigsten auftretende Blendung wird von der Sonne verursacht. Befindet sich die Sonne im zentralen Gesichtsfeld des Kraftfahrers/Lokführers (im Folgenden „Beobachter“ genannt), tritt **Absolutblendung** auf, bei der man nicht mehr in der Lage wäre, ein Kfz oder ein Flugzeug sicher zu führen, da im Gesichtsfeld des Beobachters 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.

Häufig wird das Licht der Sonne auch durch glänzende Objekte ins Auge eines Betrachters gespiegelt: Wasseroberflächen bei Windstille, Fensterfronten von Gebäuden, verglaste Treibhäuser oder auch PV-Module. Für die spiegelnde Reflexion gilt das Gesetz  $\text{Ausfallswinkel} = \text{Einfallswinkel}$ , wobei beide Winkel und das Lot auf der spiegelnden Oberfläche in einer Ebene liegen. Gegenüber der direkten Sonnenblendung ist bei dieser indirekten Blendung die tatsächliche Blendefahr geringer:

Ob tatsächlich 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 Beobachters 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 Bewertung von Blend- oder anderen visuellen Störeffekten, die von Bauwerken oder anderen technischen Anlagen bei Tageslicht erzeugt werden, gibt es 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. Kritisch sind **Blendwinkel**  $\theta \leq 10^\circ$ , wenn also die störende Lichtquelle direkt im Gesichtsfeld des Beobachters liegt. Ein Beobachter hat nicht mehr unbedingt die Möglichkeit, diese Lichtquelle „auszublenen“, da er z.B. die vor ihm liegende Fahrbahn oder SLB und deren Umgebung beobachten muss und seinen Blick daher nicht beliebig zur Seite richten kann, um einem evtl. vorhandenen Blendreflex auszuweichen. Ob bei solch kleinen Winkeln tatsächlich Blendung vorliegt, hängt nicht nur von den geometrischen Gegebenheiten, sondern im entscheidenden Maße davon ab, wie hoch die Intensität des Störlichts im Verhältnis zur Umgebungshelligkeit und v.a. zur Intensität des direkten Sonnenlichts ist. Um eine Aussage über die Blendwirkung einer Solarthermieanlage machen zu können, muss deshalb in jedem einzelnen Fall unter Beachtung des Blickwinkels die Beleuchtungsstärke der Blendlichtquelle ins Verhältnis zur Beleuchtungsstärke der Sonne gesetzt werden.

## **6 Blend- und Störpotential der geplanten PV-Anlage für bewegliche Beobachter**

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

## **7 Geometrische Bedingungen für die Berechnung der Sonnenlichtreflexion ins Auge eines beweglichen Beobachters**

### **7.1 Kraftfahrer**

Geometrische Bedingungen: 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 mittlere Augenhöhe eines Lkw-Fahrers über der Fahrbahnoberkante (FOK) beträgt ca. 2,40 m, die des Pkw-Fahrers ca. 1,12 m. Dadurch ergeben sich i.a. kleinere (kritischere) Blickwinkel  $\theta$  für einen Lkw-Fahrer. Zudem kann eine PV-Anlage vom höher sitzenden Lkw-Fahrer u.U. auf größere Entfernungen gesehen werden, wodurch eventuell die Einwirkzeit des von der Anlage reflektierten Sonnenlichts 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 maximal 100 m vor ihm liegt. Daraus ergibt sich mit der mittleren Augenhöhe von 2,20 m ein vertikaler Winkel  $\sigma$  von ca.  $-1,4^\circ$  (Blick leicht nach unten). Dieser Winkel  $\sigma$  wurde bei den weiteren Berechnungen zugrunde gelegt.

$\psi$  ist der horizontale Winkel zwischen der momentanen Fahrtrichtung  $\alpha$  und der horizontalen Blickrichtung  $\tau$  Fahrerauge - bestimmter Punkt der Anlage. Je nach Entfernung des Blickpunktes zur Anlage ändert sich die Blickrichtung  $\tau$  des Kraftfahrers zur Anlage. Mit der Änderung von  $\tau$  ändert sich auch der Winkel  $\psi$  mit zunehmender Annäherung an die Anlage.

Damit Sonnenlicht in Richtung Kraftfahrerauge reflektiert werden kann, muss der vertikale Blickwinkel des Kraftfahrers  $\lambda$  zur Anlage 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 Blickpunkte zur Anlage werden nun mittels google earth die Winkel  $\tau$ ,  $\alpha$ ,  $\psi$  und  $\theta$  bestimmt. Mit den weiteren Parametern Neigung der Module  $\varepsilon = 20^\circ \pm 5^\circ$  nach Süd, der Modultischausrichtung  $\nu = 21,38^\circ$ , der Fahrtrichtung  $\tau$  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 Module fallen müsste, damit das reflektierte Licht ins Auge eines Kraftfahrers fallen kann.

Die Ergebnisse der Berechnungen der  $\alpha/\gamma$ -Werte werden in das Sonnenstandsdiagramm für Bensheim eingetragen. Die Gesamtheit der  $\alpha/\gamma$ -Werte bildet ein Polygon. Hat die Polygonfläche, im Folgenden  $\gamma$ -Fläche genannt, Schnittpunkte mit den roten

Sonnenstandslinien, fällt Sonnenlicht ins Beobachteraue; die dazugehörigen Jahres- und Tageszeiten können aus dem Polardiagramm abgelesen werden. Bei fehlenden Schnittpunkten kann kein Sonnenlicht ins Beobachteraue fallen, eine Blend- und Störwirkung für den Kraftfahrer ist nicht möglich.

Die Berechnungen erfolgen nur für den Reflex, der sich aus dem Reflexionsgesetz Ausfallswinkel = Einfallswinkel herleitet, da bei diesem Winkel die höchste Beleuchtungsstärke des reflektierten Sonnenlichts auftritt. Berücksichtigt wurden alle Blendwinkel Kraftfahrer - Anlage  $\theta \leq 20^\circ$ , weil nach Abschnitt 5.1 nur in diesem Winkelbereich reflektiertes Sonnenlicht störende Blendung erzeugen kann.

Als Blickpunkte des Kraftfahrers wurden die in Bild 1 eingezeichneten Markierungen A und B gewählt. Diese Blickpunkte sind repräsentativ für die gesamte Vorbeifahrt an der PV-Anlage.

## **7.2 Piloten**

Blendung eines Piloten kann nur auftreten, wenn der Abstand des Piloten sowohl von der PV-Anlage als auch vom Flugplatz höchstens 3000 m beträgt. Bei größeren Abständen ist kein Blendrisiko mehr vorhanden, weil infolge der Flughöhe und des Abstandes des Piloten von der PV-Anlage die atmosphärische Trübung das reflektierte Sonnenlicht stark absorbiert und der Pilot die PV-Anlage nur vertikal stark verkürzt wahrnimmt, weshalb nur ein Bruchteil, wenn überhaupt, des Sonnenlichts in Richtung Pilot reflektiert werden kann.

Deshalb muss die Sonnenlichtreflexion von der PV-Anlage zu einem Piloten nur für maximale Entfernungen vom Flugplatz und von der PV-Anlage von 3000 m untersucht werden. Bei den genannten großen Entfernungen genügt es, die Berechnungen nur für den geometrischen Mittelpunkt der PV-Anlage durchzuführen. Deshalb stellen die  $\alpha/\gamma$ -Werte in diesem Fall keine Flächen, sondern nur Kurven dar. Auch hier ist eine evtl. Blendung eines Piloten nur möglich, wenn eine für seine momentane Flugsituation berechnete  $\gamma$ -Kurve Schnittpunkte mit den Sonnenstandslinien hat.

## **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 „schutzwürde Räume“. Dazu gehören

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

Lt. Abschnitt 7e. der LAI-Hinweise-Lichtimmissionen sind die Sonne als punktförmig und die Solarmodule als ideal verspiegelt zu betrachten, so dass die Berechnungen gemäß dem Reflexionsgesetz  $\text{Ausfallswinkel} = \text{Einfallswinkel}$  durchgeführt werden können. Tatsächlich wird das Sonnenlicht von den üblicherweise verwendeten Solarmodulen aber auch teilweise gestreut reflektiert. Das führt dazu, dass das Sonnenlicht z.T. spiegelnd (Kernreflex) und z.T. gestreut (Streureflex) reflektiert wird. Der Streureflex kann je nach Entfernung Beobachter - PV-Anlage und Grad der Streuwirkung bis zu 40 min vor dem Kernreflex auftreten und erst bis zu 40 min nach dem Kernreflex verschwinden. Die Intensität des Streureflexes ist aber immer deutlich geringer als die Intensität des Kernreflexes und erzeugt daher keine nennenswerte Störf Wirkung. 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 Störf Wirkung viel gravierender ist als die Störf Wirkung, 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. Die LAI-Hinweise enthalten auch keine Aussage, wie zu verfahren ist, wenn die PV-Anlage, wie in vorliegendem Fall, teilweise innerhalb und teilweise außerhalb der 100 m-Zone liegt. Deshalb wird die evtl. Blendwirkung für Anwohner vom Unterzeichner 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.
- 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 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 Dicke des Mauerwerks ab. Bei einer Mauerwerksbreite 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  $35^\circ$ , bei schrägliegenden Dachgeschossfenstern ca.  $10^\circ$ . Bei den Berechnungen ist der für die jeweiligen Fenster maßgebliche Winkelbereich nicht zu berücksichtigen.

## **9 Ergebnisse**

### **9.1 BAB A 5**

Die Berechnungen finden für die Blickpunkte eines Lkw-Fahrers statt, der sich in Fahrtrichtung Süd bei Markierung A und in Fahrtrichtung Nord bei Markierung B befindet. Da sich die Fahrtrichtung des Kraftfahrers bei der Vorbeifahrt an der Anlage nur unwesentlich ändert, sind diese Blickpunkte repräsentativ für die gesamte Vorbeifahrt an der Anlage. Die berechneten  $\gamma$ -Flächen sind in Bild 3 eingezeichnet. Die  $\gamma$ -Fläche für die Fahrtrichtung Süd liegt unterhalb der Sonnenstandslinien, sogar außerhalb/unterhalb des Sonnenstandsdiagramms und hat keine Schnittpunkte mit den roten Sonnenstandslinien. Nach den Erläuterungen in Abschnitt 7.1 ist keine Kraftfahrerblendung in dieser Fahrtrichtung möglich.



Die  $\gamma$ -Fläche für die Fahrtrichtung Nord liegt oberhalb der Sonnenstandslinien und hat ebenfalls keine Schnittpunkte mit diesen. Deshalb tritt auch in Fahrtrichtung Nord keine Kraftfahrerblendung auf.

## **9.2 Segelflugplatz „Bensheimer Stadtwiesen“**

### **9.2.1 Starts**

Die Berechnungen müssen nur für Starts in Richtung Südost durchgeführt werden, da der Pilot bei Starts in Richtung Nordwest die PV-Anlage im Rücken hat. Als frühester Punkt, bei der der Pilot von der SLB abhebt, wird die Entfernung 250 m nach Beginn der SLB gewählt. Die Berechnungen finden für die Südwestecke der PV-Anlage (kleinster, d.h. kritischster Blickwinkel des Piloten zur PV-Anlage) statt. In Bild 4 sind die für die Steigwinkel  $1^\circ$  und  $10^\circ$  berechneten  $\gamma$ -Kurven eingezeichnet; diese Kurven liegen so dicht nebeneinander, dass auf die Eintragung der dazwischenliegenden Kurven für die Steigwinkel  $3^\circ$  und  $5^\circ$  verzichtet werden kann. Beide  $\gamma$ -Kurven liegen unterhalb der Sonnenstandslinien/außerhalb des Polardiagramms, damit ist eine Pilotenblendung bei Starts ausgeschlossen.

### **9.2.2 Landungen**

Als frühester Punkt, bei der der Pilot auf die SLB aufsetzt, wird die Entfernung 50 m nach Beginn der SLB in der jeweiligen Flugrichtung gewählt. Die Berechnungen finden für den geometrischen Mittelpunkt der PV-Anlage statt.

Landerichtung Südost: In Bild 5 sind die  $\gamma$ -Kurven sowohl für die Landerichtung  $142^\circ$  als auch für Landungen aus ungewohnter Position, Landerichtung  $142^\circ \pm 15^\circ$ , eingezeichnet. Sämtliche  $\gamma$ -Kurven liegen wieder unterhalb der Sonnenstandslinien/außerhalb des Polardiagramms, damit ist eine Pilotenblendung bei Landungen in Richtung Südost ausgeschlossen.

Landerichtung Nordwest: In Bild 6 sind die  $\gamma$ -Kurven sowohl für die Landerichtung  $322^\circ$  als auch für Landungen aus ungewohnter Position, Landerichtung  $322^\circ \pm 15^\circ$ , eingezeichnet. Sämtliche  $\gamma$ -Kurven liegen wieder oberhalb der Sonnenstandslinien, damit tritt auch bei Landungen in Richtung Nordwest keine Pilotenblendung auf.

### **9.2.3 Platzrunden**

In der Anflugkarte für den Flugplatz Bensheim sind zwar die Platzrunden eingezeichnet, allerdings ohne Angabe, in welcher Höhe die Platzrunden zu fliegen sind. Dies ist auch nicht möglich, weil bei Segelflugzeugen die Höhe, in der die Platzrunden geflogen werden können, vom Wetter abhängig ist und daher nicht festgelegt werden kann. Die Mindesthöhe liegt jedoch bei ca. 150 m über SLB, weil bei geringeren Höhen keine stabile Fluglage mehr vorhanden ist und der Pilot dann zur Landung ansetzen müsste. Deshalb wurden die Berechnungen für eine Höhe von 150 m über der SLB durchgeführt. Bei z.B. 300 m Flughöhe überschreitet der Blickwinkel des Piloten zur PV-Anlage den überhaupt zu berücksichtigenden Wert von  $20^\circ$ ; die Berechnungen für 150 m Flughöhe stellen daher das worst case-Szenario dar.

Beim Durchfliegen einer Platzrunde treten Blickwinkel des Piloten zur PV-Anlage  $\theta \leq 20^\circ$  nur bei der Teilstrecke auf, die in Bild 2 mit Betriebsrichtung 32 gekennzeichnet ist, und bei der Teilstrecke, die vom Unterzeichner in Bild 2 mit Betriebsrichtung

NO bezeichnet wird. Die Berechnungen finden für den geometrischen Mittelpunkt der PV-Anlage statt. Die berechneten  $\gamma$ -Kurven sind in Bild 7 eingetragen. Sie liegen wieder oberhalb bzw. unterhalb der Sonnenstandslinien, auch beim Durchfliegen einer Platzrunde kann ein Pilot nicht geblendet werden.

### 9.3 Immissionsorte

#### 9.3.1 Immissionsorte 1 und 2

Die für diese Immissionsorte berechneten  $\gamma$ -Flächen sind in Bild 8 eingetragen. Sie haben Schnittpunkte mit den Sonnenstandslinien, Sonnenlicht kann von der PV-Anlage zu Immissionsort 1 in den Monaten März/April und September/Oktober und zu Immissionsort 2 in den Monaten März bis Mai und August bis Oktober zwischen 7.25 Uhr und 7.55 Uhr MEZ reflektiert werden. Die Reflexionszeiten sind in Tabelle 2 eingetragen. Sie liegen weit unter den nach LAI-Hinweisen zulässigen Reflexionszeiten.

Immissionsort	Reflexionstage pro Jahr	Maximale tägliche Reflexionszeit	Mittlere tägliche Reflexionszeit	Astronomisch mögliche jährliche Reflexionszeit im Kalenderjahr
1	79	2,6 min	2,0 min	$79 \cdot 2,0 \text{ min}$ = 2,6 Stunden
2	120	3,5 min	2,3 min	$120 \cdot 2,7 \text{ min}$ = 4,6 Stunden

Tabelle 2: *Maximale tägliche und mögliche jährliche Reflexionszeit für die Immissionsorte 1 und 2*

#### 9.3.2 Immissionsort 4

In Bild 9 ist die Reflexionszeit für diesen Immissionsort in grüner Farbe wiedergegeben. Sonnenlicht wird in den Monaten März bis Mitte Oktober zu Immissionsort 4 reflektiert, die daraus berechneten Reflexionszeiten enthält Tabelle 3, Zeile 2.

1	Immissionsort 4	Reflexionstage pro Jahr	Maximale tägliche Reflexionszeit	Mittlere tägliche Reflexionszeit	Astronomisch mögliche jährliche Reflexionszeit im Kalenderjahr
2	ohne Abschirmung	229	12,4 min	10,0 min	$229 \cdot 10,0 \text{ min}$ = 38,2 Stunden
3	mit Abschirmung	229	7,5 min	6,4 min	$229 \cdot 6,4 \text{ min}$ = 24,4 Stunden

Tabelle 3: *Maximale tägliche und mögliche jährliche Reflexionszeit für Immissionsort 4*

Während die maximale tägliche Reflexionszeit die Anforderungen der LAI-Hinweise erfüllt, liegt die jährliche Reflexionszeit mit 38,2 Stunden deutlich über der zulässigen Zeit von 30 Stunden, die LAI-Hinweise werden nicht erfüllt.

Abhilfemaßnahme: Änderungen der Modulneigung oder der Modultschausrichtung verschieben die Reflexionszeiten nur in andere Tages- und Jahreszeiten, ändern die Länge der Reflexionszeit aber nur unwesentlich. Daher wird folgende Maßnahme empfohlen:

An der Westgrenze der PV-Anlage wird der Zaun entlang des in Bild 1b mit einer grünen Linie gekennzeichneten Abschnitts über eine Länge von ca. 95 m in einer Höhe von 0,80 m (Modulunterkante) bis zur Zaunoberkante von 2,50 m mit einem dunklen Kunststoffgewebe versehen, das nicht mehr als 30 % Transmission besitzt. Die Zaunabschirmung beginnt 115 m nördlich der Südwestecke der PV-Anlage und endet 95 m weiter nördlich.

Der Unterzeichner hat ein solches Kunststoffgewebe (s. Bild 9) lichttechnisch geprüft und zum Einsatz an mehreren anderen PV-Anlagen empfohlen; in einem Fall wird es seit ca. 5 Jahren problemlos an einer Autobahn eingesetzt. Sollte dieses Kunststoffnetz nicht verfügbar sein, kommt als Alternative das in Bild 10 gezeigte Kunststoffnetz infrage, das etwa die gleichen Eigenschaften hat wie das geprüfte Kunststoffnetz.

Im genannten Zaunabschnitt kann parallel zum Zaun eine Hecke gepflanzt werden. Die übliche Pflanzhöhe beträgt 0,60 m bis 1 m; das Kunststoffgewebe kann entfernt werden, sobald die Hecke auf 2,50 m Höhe herangewachsen ist.

Bei Durchführung dieser Abschirmmaßnahmen wird die Sonnenlichtreflexion zu diesem Immissionsort nicht völlig verhindert. Bei einer Höhe des Kunststoffnetzes bzw. der Hecke von 2,50 m bleibt ein Streifen von 3,34 m (Moduloberkante) minus 2,50 m = ca. 0,84 m am oberen Ende der Module von den Obergeschossfenstern von Immissionsort 4 aus sichtbar. Die für diese Situation berechnete  $\gamma$ -Fläche ist in Bild 9 in blauer Farbe eingezeichnet, die daraus berechneten Reflexionszeiten enthält Tabelle 3, Zeile 3. Mit 24,4 Stunden jährlicher Reflexionszeit werden die LAI-Hinweise nunmehr erfüllt. Die Sonnenlichtreflexion endet vollständig, wenn die Hecke etwa die Höhe von 3,50 m erreicht hat.

### 9.3.3 Immissionsorte 5 und 6

Die für diese Immissionsorte berechneten  $\gamma$ -Flächen sind in Bild 10 eingezeichnet, Die  $\gamma$ -Flächen enthalten in sehr kurzen Abschnitten Schnittpunkte mit den Sonnenstandslinien; das Sonnenlicht wird von Ende Mai bis Ende Juni zwischen 19.15 Uhr und 19.25 Uhr MEZ zu diesen Immissionsorten reflektiert. Die Reflexionszeiten sind in Tabelle 4 eingetragen. Sie liegen weit unter den nach LAI-Hinweisen zulässigen Reflexionszeiten.

Immissionsort	Reflexionstage pro Jahr	Maximale tägliche Reflexionszeit	Mittlere tägliche Reflexionszeit	Astronomisch mögliche jährliche Reflexionszeit im Kalenderjahr
5	79	2,6 min	2,0 min	$79 \cdot 2,0 \text{ min}$ = 2,6 Stunden
6	120	3,5 min	2,3 min	$120 \cdot 2,7 \text{ min}$ = 4,6 Stunden

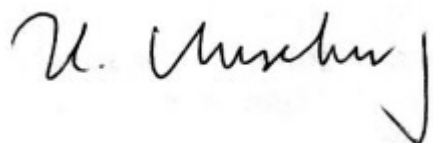
Tabelle 4: Maximale tägliche und mögliche jährliche Reflexionszeit für die Immissionsorte 5 und 6

## 10 Zusammenfassung

Es wurde untersucht, ob von der geplanten PV-Anlage Bensheim Blend- oder Störwirkungen für Nutzer der an der PV-Anlage vorbeiführenden BAB A 5 oder für Piloten, die auf dem Segelflugplatz Bensheim starten oder landen, ausgehen können. Die Berechnungen ergeben, dass ein solches Blend- oder Störrisiko durch die PV-Anlage nicht erzeugt wird.

Weitere Untersuchungen bezogen sich auf die Einhaltung der Anforderungen der „Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen“ der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) vom 13. 9. 2012 für Personen, die sich in Wohn- oder Gewerbegebäuden (Immissionsorte) in der Nähe der PV-Anlage aufhalten. Diese Anforderungen werden an vier der fünf untersuchten Immissionsorte eingehalten, an Immissionsort 4 jedoch überschritten. Daher wird empfohlen, den Zaun an der Westgrenze der PV-Anlage entlang des in Bild 1b mit einer grünen Linie gekennzeichneten Abschnitts über eine Länge von ca. 95 m mit einem dunklen Kunststoffgewebe zu versehen, das nicht mehr als 30 % Transmission besitzt. Zusätzlich kann an diesem Zaunabschnitt parallel zum Zaun eine Hecke gepflanzt werden; sobald die Hecke auf 2,50 m Höhe herangewachsen ist, kann das Kunststoffgewebe entfernt werden. Durch diese Abschirmung können auch bei Immissionsort 4 die LAI-Anforderungen eingehalten werden.

Bei Durchführung der empfohlenen Abschirmmaßnahme ist aus Sicht des Unterzeichners gegen die Errichtung der PV-Anlage Bensheim nichts einzuwenden.




---

Dieses Gutachten wurde nach bestem Wissen und Gewissen angefertigt.

## Anhang



Bild 1a: Schematische Darstellung der geplanten PV-Anlage Bensheim mit der SLB des Segelflugplatzes und den Blickpunkten A und B auf der BAB A 5

 : PV-Anlage


 : SLB



Bild 1b: Schematische Darstellung der geplanten PV-Anlage Bensheim mit den Immissionsorten 1 bis 6

 : Zaunabschirmung

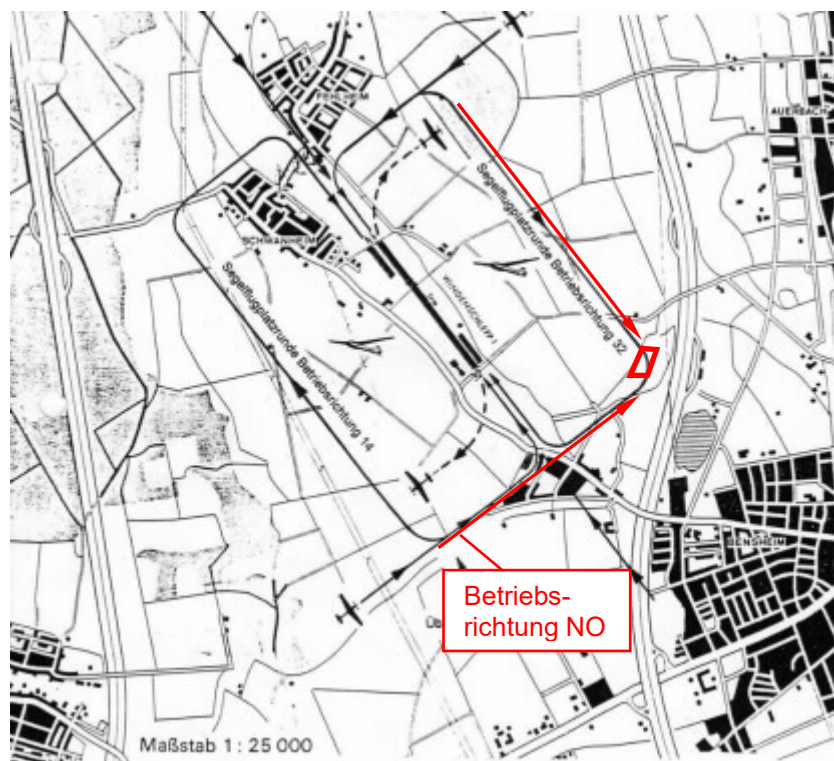


Bild 2: Auszug aus der Platzkarte „Bensheimer Stadtwiesen“ mit vorgeschriebenen Platzrunden

→ Flugbetriebsrichtungen, für die der Blickwinkel des Piloten zur PV-Anlage  $\leq 20^\circ$  ist

▭ PV-Anlage

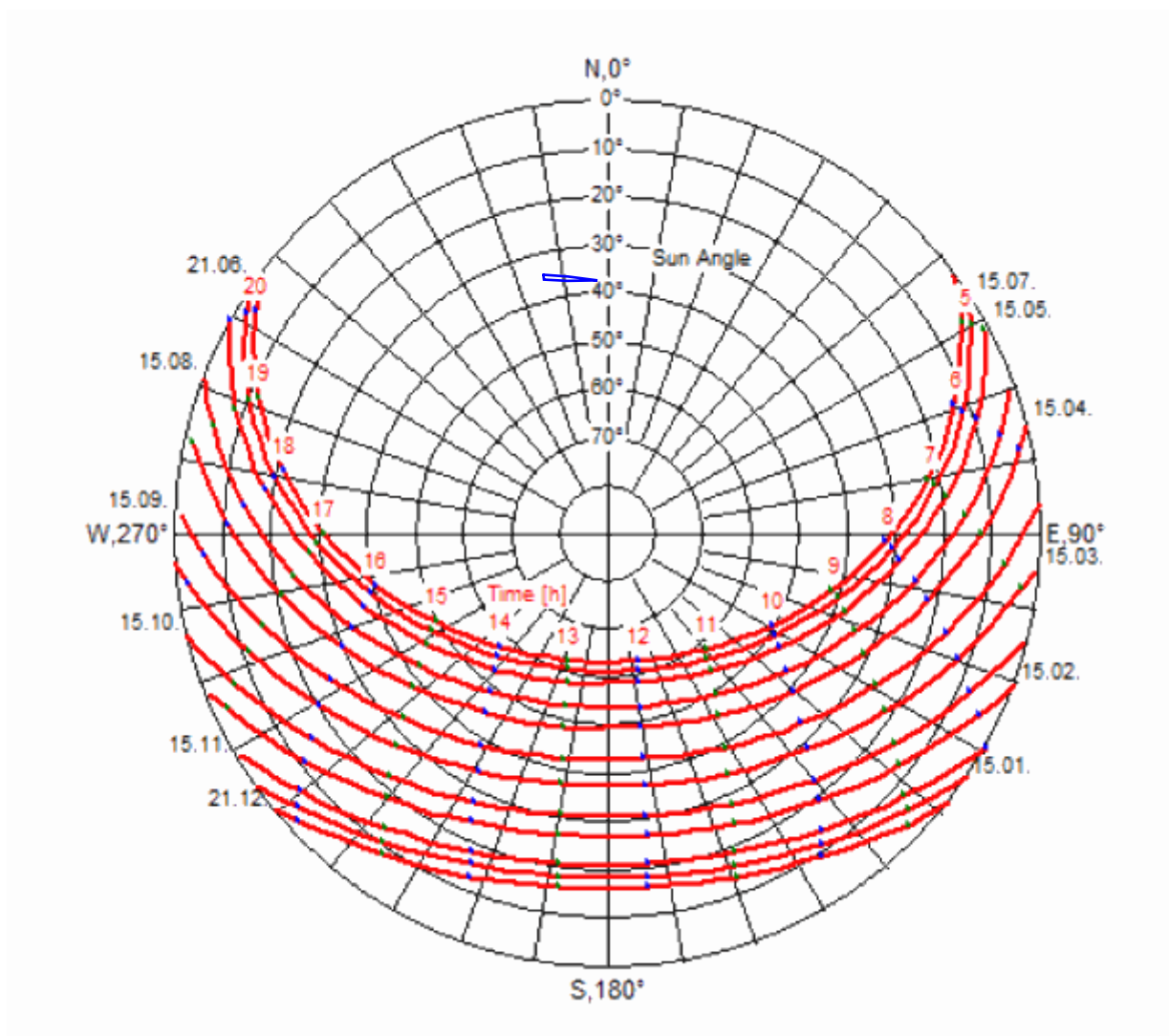


Bild 3: Monatlicher Sonnenstand (Sonnenhöhe und -richtung; rote Linien) für Bensheim mit  $\gamma$ -Flächen zur Berechnung der evtl. Blendung für Kraftfahrer auf der BAB A 5

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

- : Fahrtrichtung Süd, Markierung A
- : Fahrtrichtung Nord, Markierung B

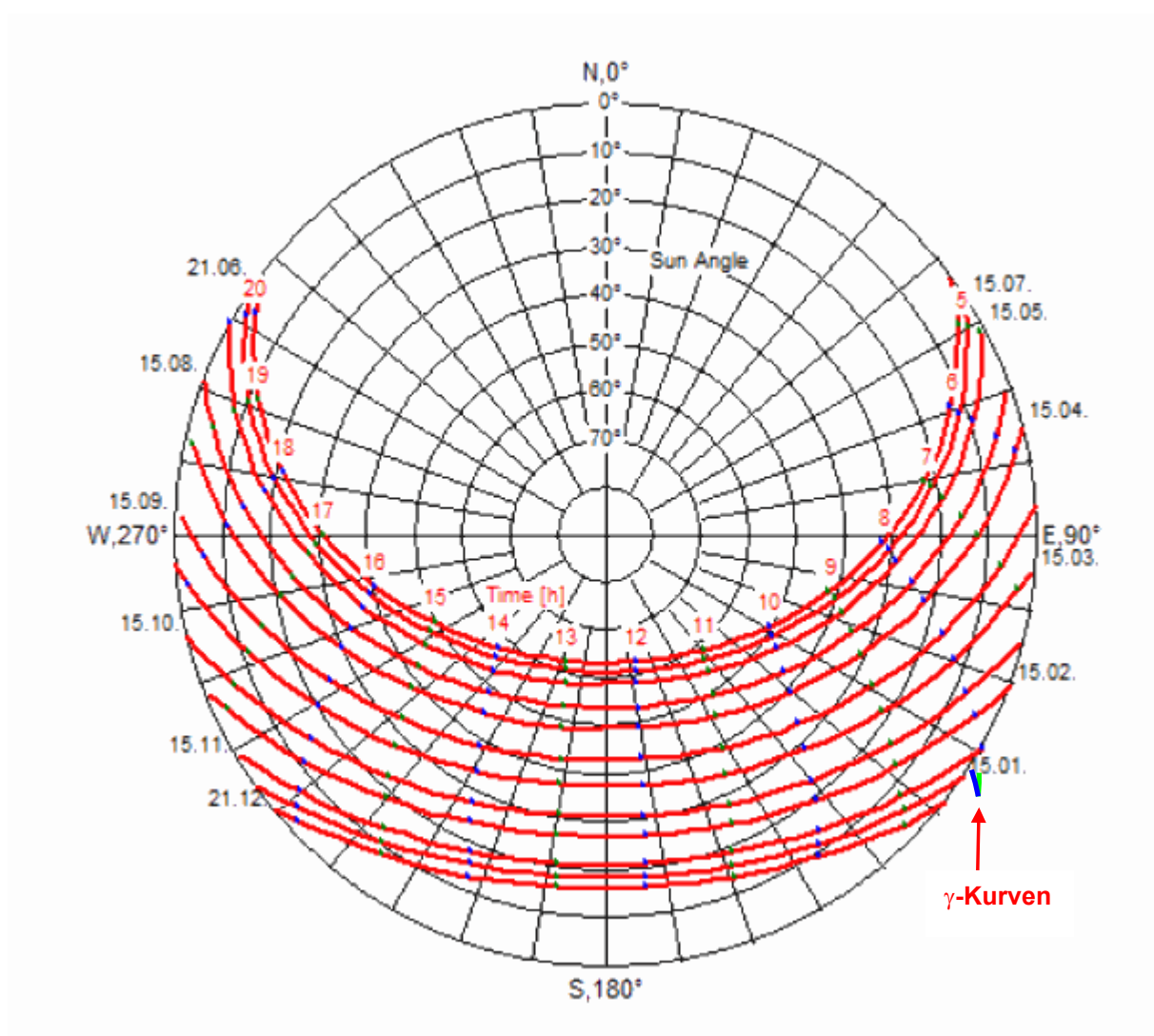


Bild 4: Monatlicher Sonnenstand (Sonnenhöhe und -richtung; rote Linien) für Bensheim mit  $\gamma$ -Kurven zur Berechnung der evtl. Blendung von Piloten, die auf dem Segelflughplatz Bensheim starten oder landen

- : Start Richtung Südost, Steigwinkel  $\sigma = 1^\circ$
- : Start Richtung Südost, Steigwinkel  $\sigma = 10^\circ$



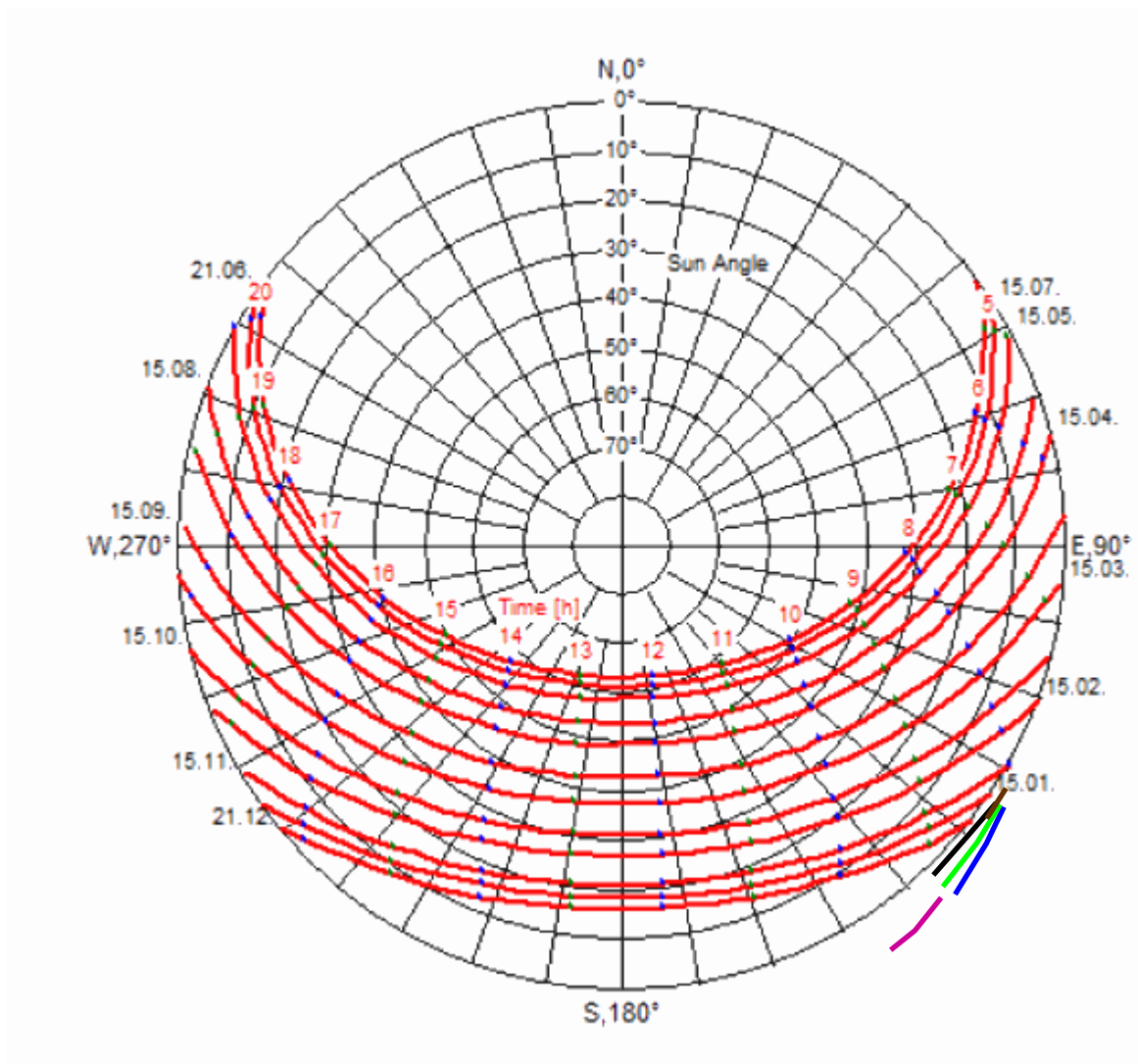


Bild 5: Monatlicher Sonnenstand (Sonnenhöhe und -richtung; rote Linien) für Bensheim mit  $\gamma$ -Kurven zur Berechnung der evtl. Blendung von Piloten, die auf dem Segelflugplatz Bensheim starten oder landen

*Landung Richtung Südost*

- : Flugrichtung  $\alpha = 142^\circ$  Sinkwinkel  $\sigma = 1^\circ$
- : Flugrichtung  $\alpha = 142^\circ$  Sinkwinkel  $\sigma = 3^\circ$
- : Flugrichtung  $\alpha = 142^\circ$  Sinkwinkel  $\sigma = 10^\circ$
- : Flugrichtung  $\alpha = 127^\circ$  Sinkwinkel  $\sigma = 3^\circ$  (Landung aus ungewohnter Position)
- : Flugrichtung  $\alpha = 157^\circ$  Sinkwinkel  $\sigma = 3^\circ$  (Landung aus ungewohnter Position)

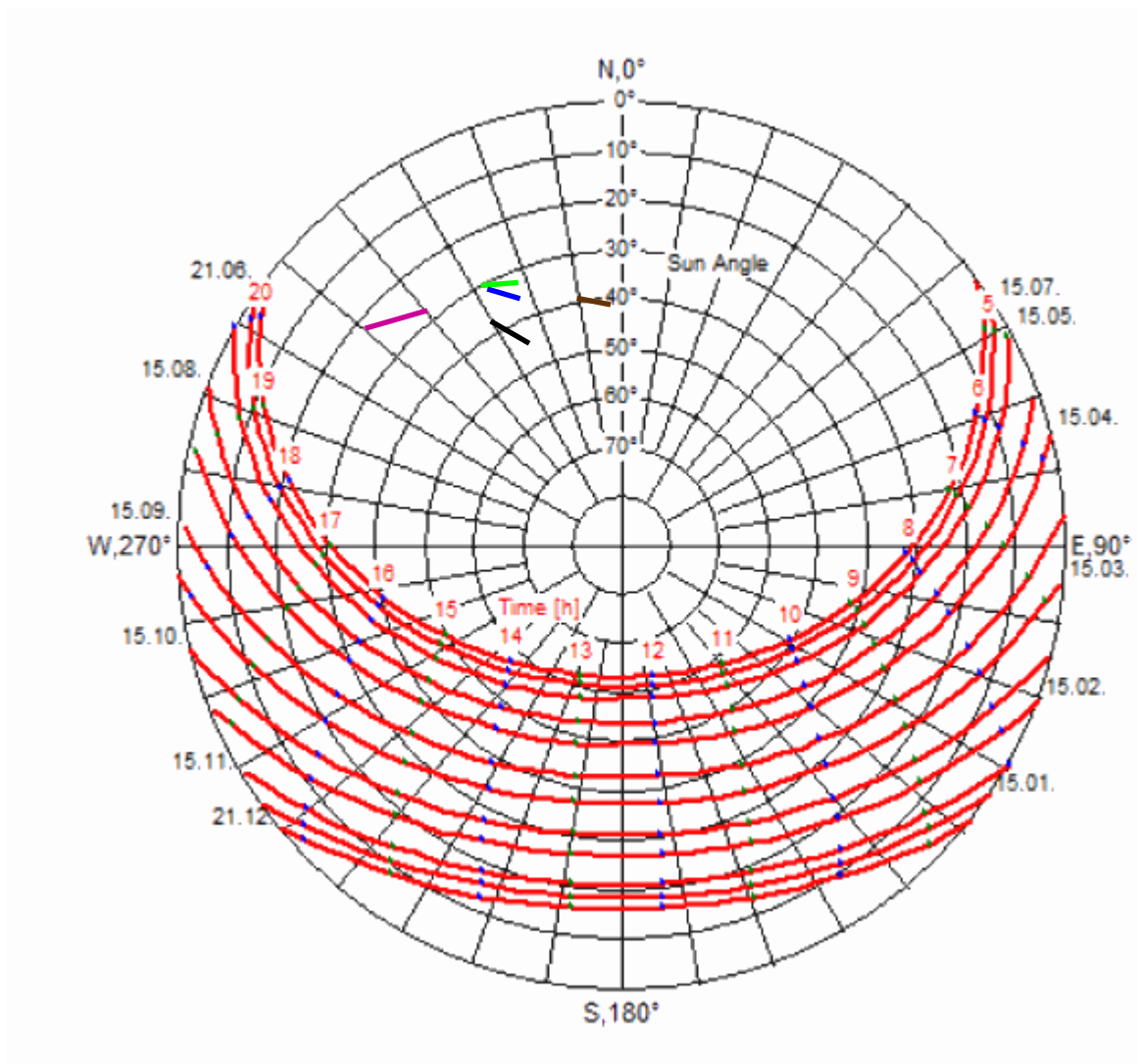


Bild 6: Monatlicher Sonnenstand (Sonnenhöhe und -richtung; rote Linien) für Bensheim mit  $\gamma$ -Kurven zur Berechnung der evtl. Blendung von Piloten, die auf dem Segelflugplatz Bensheim starten oder landen

*Landung Richtung Nordwest*

- : Flugrichtung  $\alpha = 322^\circ$  Sinkwinkel  $\sigma = 1^\circ$
- : Flugrichtung  $\alpha = 322^\circ$  Sinkwinkel  $\sigma = 3^\circ$
- : Flugrichtung  $\alpha = 322^\circ$  Sinkwinkel  $\sigma = 10^\circ$
- : Flugrichtung  $\alpha = 307^\circ$  Sinkwinkel  $\sigma = 3^\circ$  (Landung aus ungewohnter Position)
- : Flugrichtung  $\alpha = 337^\circ$  Sinkwinkel  $\sigma = 3^\circ$  (Landung aus ungewohnter Position)

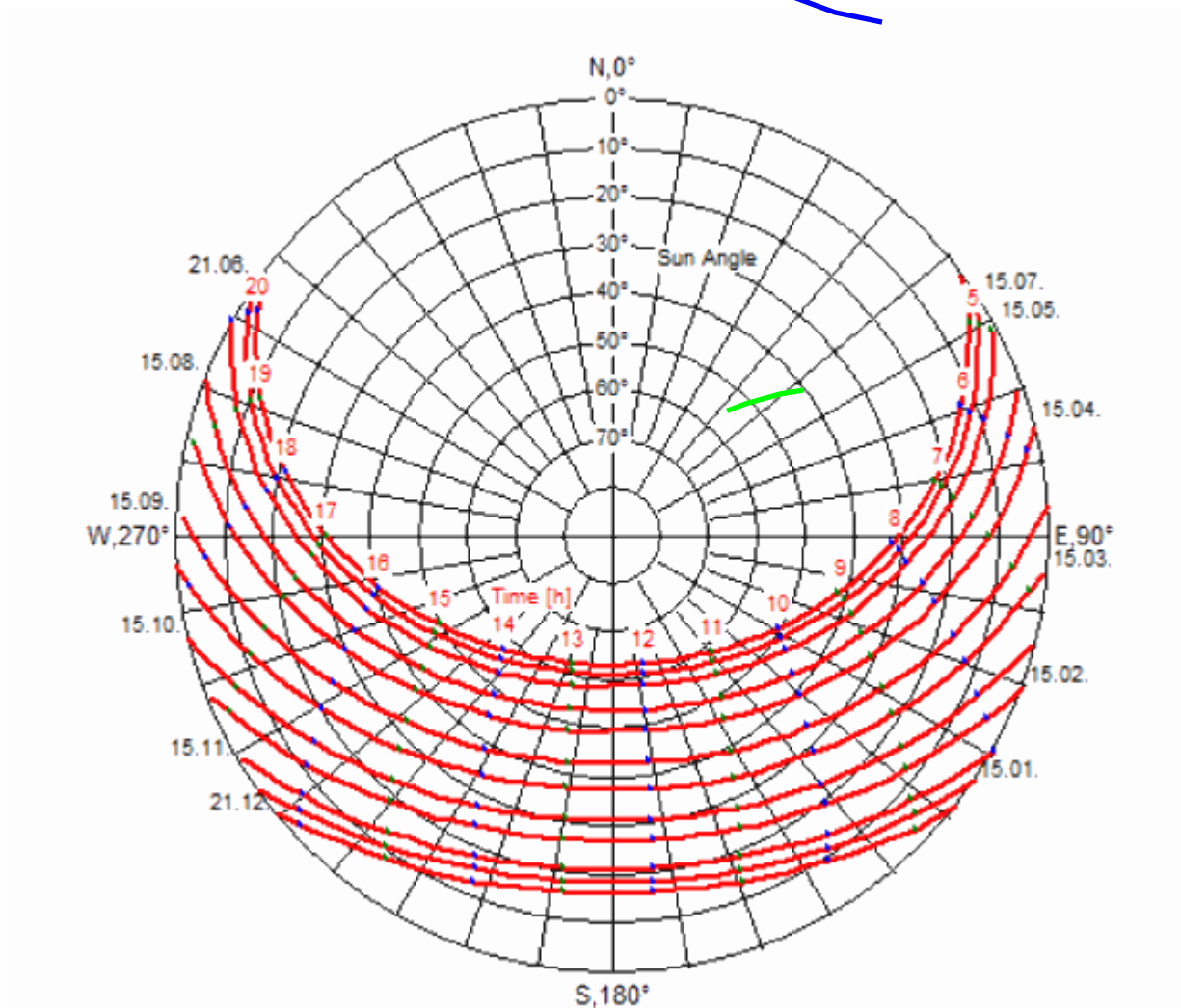


Bild 7: Monatlicher Sonnenstand (Sonnenhöhe und -richtung; rote Linien) für Bensheim mit  $\gamma$ -Kurven zur Berechnung der evtl. Blendung von Piloten, die auf dem Segelflughplatz Bensheim starten oder landen

- : Platzrunde, Betriebsrichtung 32
- : Platzrunde, Betriebsrichtung „NO“

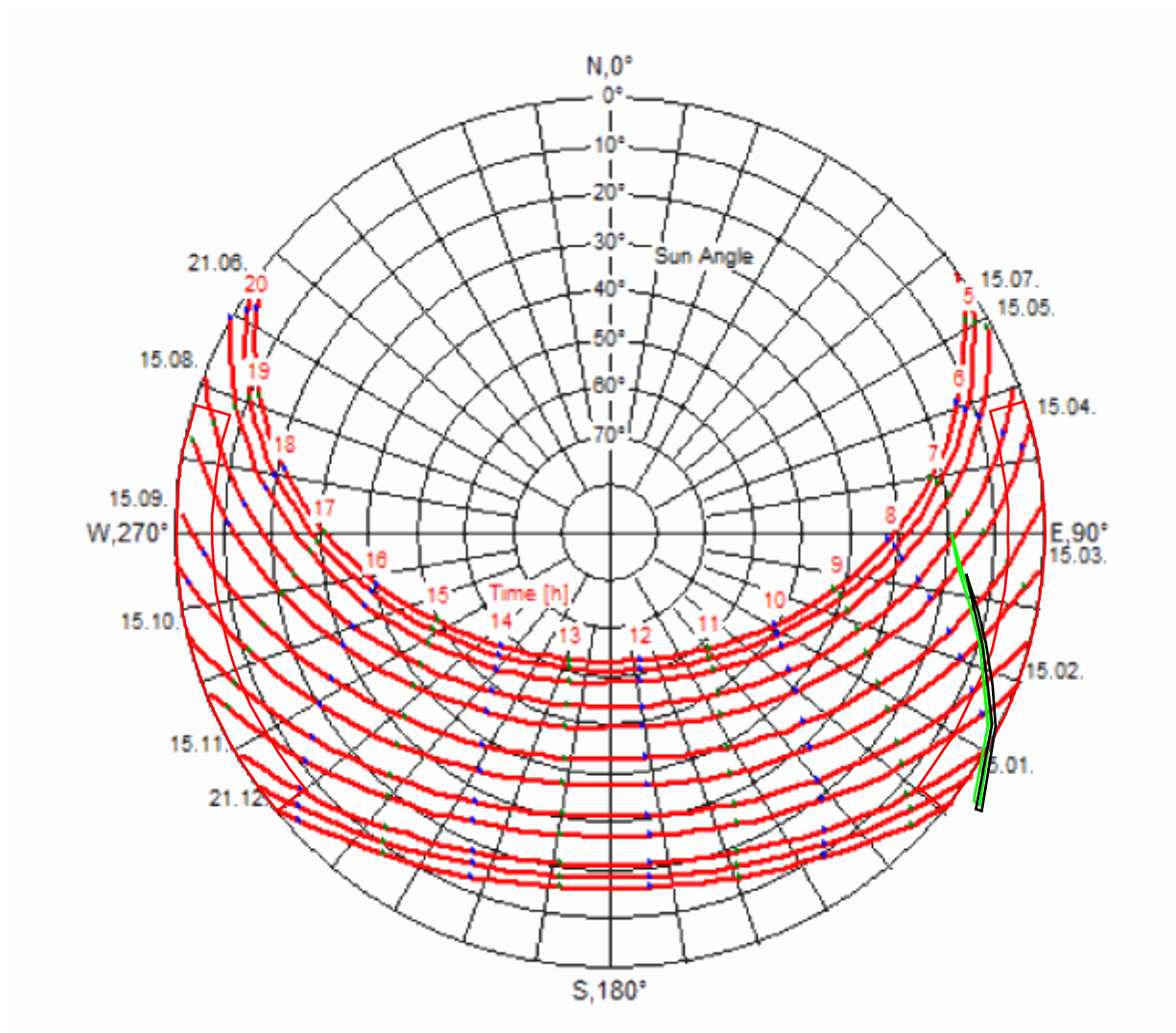


Bild 8: Monatlicher Sonnenstand (Sonnenhöhe und -richtung) für Bensheim mit  $\gamma$ -Flächen zur Bewertung der Reflexionszeiten zu den Immissionsorten 1 und 2

— : Immissionsort 1  
— : Immissionsort 2

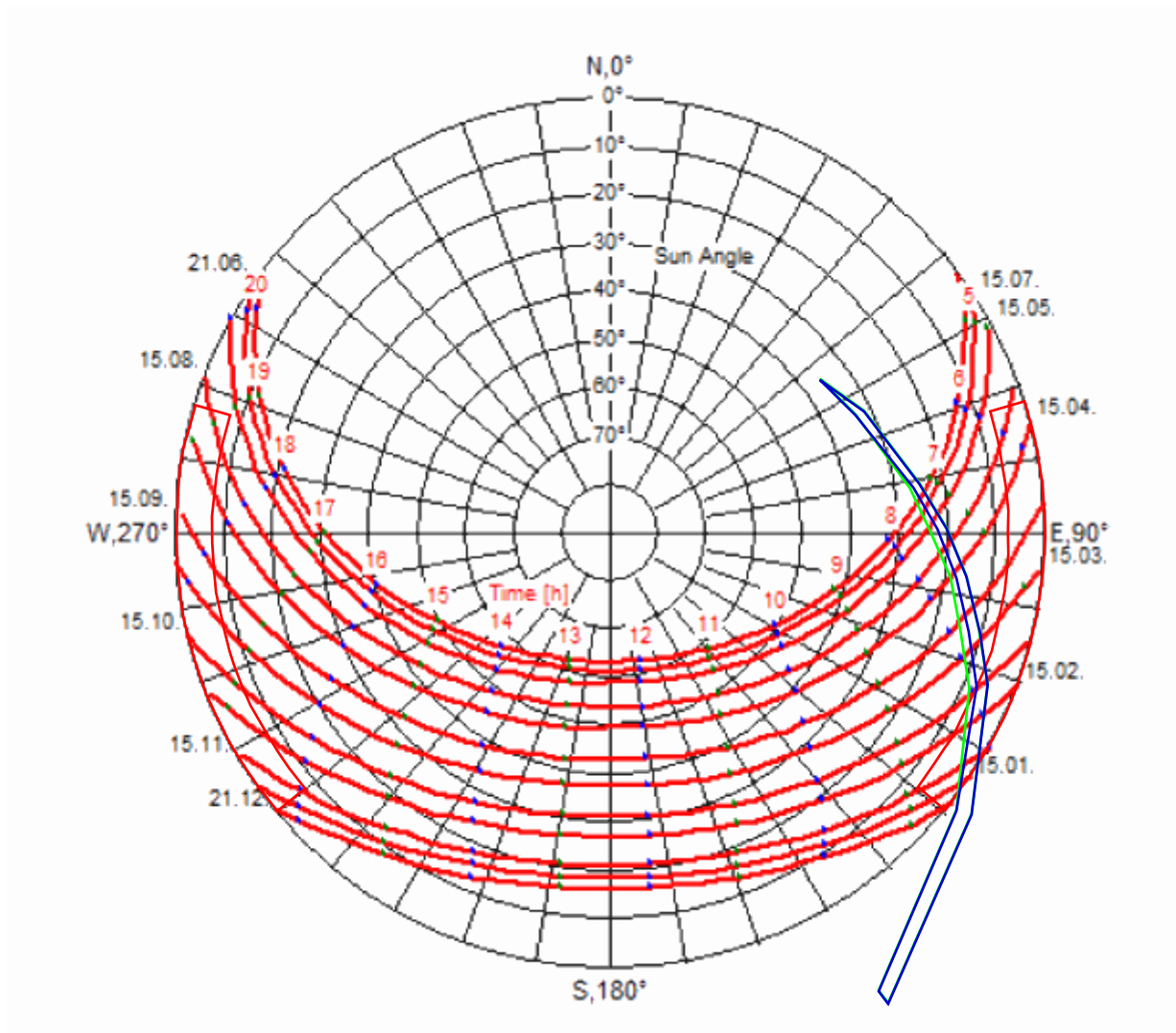


Bild 9: Monatlicher Sonnenstand (Sonnenhöhe und -richtung) für Bensheim mit  $\gamma$ -Flächen zur Bewertung der Reflexionszeiten zu Immissionsort 4

- : Immissionsort 4
- : Immissionsort 4 mit Zaunabschirmung

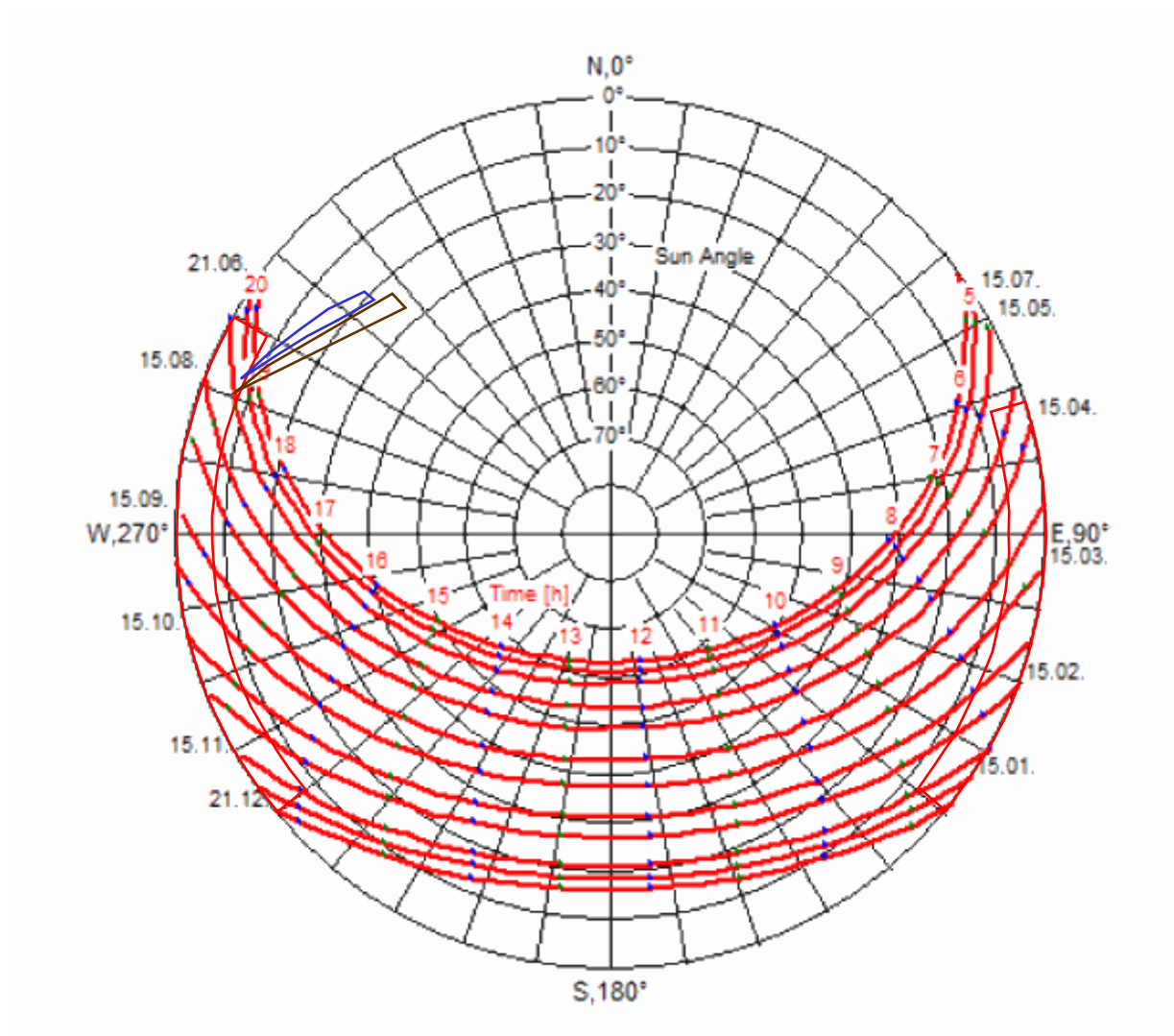


Bild 10: Monatlicher Sonnenstand (Sonnenhöhe und -richtung) für Bensheim mit  $\gamma$ -Flächen zur Bewertung der Reflexionszeiten zu den Immissionsorten 5 und 6

—: Immissionsort 5  
—: Immissionsort 6



*Bild 9: Untersuchtes Kunststoffgewebe der Fa. Evios Energy Systems GmbH  
Maßstab: ca. 1:2*



*Bild 10: Untersuchtes Kunststoffgewebe, Lieferant Fa. evia Verkehrstechnik  
GmbH/ACCURA NTV KG  
Maßstab: ca. 1:2*