

Dr. Hans Meseberg  
LSC Lichttechnik und Straßenausstattung Consult  
Fährstr. 10  
13503 Berlin  
Tel. und Fax +49 30/82707832  
Email: hmeseberg@t-online.de

Berlin, den 25. 1. 2017

**S t e l l u n g n a h m e**  
**G01/2017**  
**zur Frage der eventuellen Blend- und Störwirkung**  
**von auf dem Flugplatz Heppenheim**  
**startenden und landenden Piloten durch eine in Heppenheim**  
**installierte Photovoltaik-Anlage**

(Diese Stellungnahme ersetzt die Stellungnahme G17/2016 vom 14. 12. 2016)

**1 Zusammenfassung**

Bei Starts und Landungen auf dem Flugplatz Heppenheim kann keine Blendung eines Piloten auftreten, weil kein Sonnenlicht zum Piloten reflektiert werden kann. Beim Durchfliegen einer Platzrunde ist der Blickwinkel des Piloten zur PV-Anlage bzw. die Intensität des reflektierten Sonnenlichts zum Piloten zu gering, um Blendung zu erzeugen. Insgesamt kann in keiner Flugsituation Blendung eines Piloten auftreten, eine Beeinträchtigung oder gar Gefährdung der Flugsicherheit durch die geplante PV-Anlage kann mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden. Diese Ergebnisse gelten nicht nur für die momentane Planung mit einer Modulneigung von 28°, sondern auch für evtl. Modulneigungen von 26° bzw. 30°. Von daher ist gegen die Errichtung der PV-Freiflächenanlage Heppenheim nichts einzuwenden.

**2 Sachverhalt**

Die GGEW AG, Dammstraße 68, 64625 Bensheim, beabsichtigt die Errichtung einer Photovoltaik-Freiflächenanlage in Heppenheim in der Nähe des Flugplatzes Heppenheim. Die Planung wird vom Ingenieurbüro für Projektentwicklung und Genehmigungsmanagement Wasser, Energie, Rohstoffe, Natur, Dipl.-Ing. Dr. Thomas Rehahn, Waldstraße 13 in 64367 Mühlthal durchgeführt. Es stellt sich die Frage, ob Piloten, die auf diesem Flugplatz starten und landen, durch Sonnenlicht, das von der Oberfläche der PV-Module reflektiert wird, geblendet oder in sonst unzumutbarer Weise gestört werden. Diese Stellungnahme dient der Klärung der Frage, ob und mit welcher Häufigkeit solche Situationen entstehen können und falls ja, welche Abhilfemöglichkeiten bestehen.

**3 Angaben zur Photovoltaik-Anlage zum Flugplatz Heppenheim**

Die PV-Fläche ist etwa rechteckig, die Längsachse ist in Richtung 150°/330° ausgerichtet. Die Ausdehnung der PV-Anlage beträgt ca. 710 m in Nord-Süd-Richtung und ca. 100 m in Ost-West-Richtung (Zaunlinie, s. rote Umrandung in Bild 2). Die Tische

sind in Reihen angeordnet, die in Ost-West-Richtung ausgerichtet sind. Die Reihen haben eine Gesamtbreite von ca. 91 m, sind aber etwa in der Mitte durch einen 6 m breiten freibleibenden Streifen voneinander getrennt; die effektive Randbreite beträgt damit ca. 85 m. Die Gesamtfläche liegt bei ca. 60 000 m<sup>2</sup>, die installierte Leistung bei ca. 3.406 MWp. Es werden polykristalline Solarmodule Canadian Solar, Modultyp CS6P-265P mit 265 Wp je Modul eingebaut. Die Neigung der Module gegen Süden liegt nach momentaner Planung bei 28°, es kommen aber evtl. auch Modulneigungen von 26° und 30° in Frage; im Folgenden wird mit 28° gerechnet. Der Flugplatz hat zwei Start- und Landebahnen (SLB) von je ca. 1000 m Länge, deren Ausrichtung ebenfalls 150°/330° beträgt; PV-Anlage und die beiden SLB liegen also parallel zueinander. PV-Anlage und SLB liegen etwa auf einer Höhe von 95 m über NN (Angaben nach google earth). Die PV-Anlage befindet sich im Westen der SLB; der Abstand östlicher Zaun PV-Anlage - westliche SLB beträgt ca. 78 m. Starts für Segelflugzeuge finden per Windenstart oder Flugzeugschlepp statt. Es sind je eine Platzrunde für Motor- und Segelflugzeuge festgelegt (s. Bild 2).

#### **4 Berechnungen**

Verwendete Programme: Die Geländehöhen, horizontalen Winkel und Entfernungen wurden mit google earth bestimmt. Die Berechnung des monatlichen Sonnenstandes für Heppenheim (Sonnenhöhe und -azimut) erfolgte mit der Website [www.stadtklima-stuttgart.de](http://www.stadtklima-stuttgart.de). Die Winkel des reflektierten Sonnenlichts wurden mit eigenen excel-Programmen berechnet.

Die Auswertung erfolgte mittels des Sonnenstandsdiagramms für Heppenheim, s. Bilder 4 und 5. In diese Diagramme ist der Sonnenstand für den 15. jedes Monats als rote Linie eingezeichnet. Berechnet werden für die verschiedenen Flugsituationen die sogenannten  $\gamma$ -Kurven (Kurven der Winkel der Sonnenhöhe  $\gamma$  und des Sonnenazimuts  $\alpha$ , bei denen sich die Sonne befinden müsste, damit reflektiertes Sonnenlicht ins Auge der Piloten gelangen könnte) und ins Sonnenstandsdiagramm eingetragen. Von den PV-Modulen reflektiertes Sonnenlicht kann nur dann das Pilotenauge erreichen, wenn die  $\gamma$ -Kurven Schnittpunkte mit den Sonnenstandslinien haben.

##### **4.1 Blendrisiko bei Starts**

Bei Starts von Motorflugzeugen, auch beim Flugzeugschlepp, muss der Pilot das gesamte Umfeld der SLB im Auge haben, er ist dann einem evtl. Blendrisiko ausgesetzt. Bei Windenstarts muss sich der Segelfluggpilot zwar im Wesentlichen auf das vor ihm befindliche Seil und weniger auf die Umgebung des Flugzeugs konzentrieren; weil dieser aber ebenfalls durch die PV-Anlage geblendet werden könnte, erfolgen die Berechnungen auch für die Situation des mittels Winde startenden Segelflugzeugpiloten. Es wird davon ausgegangen, dass das schleppende Flugzeug/das Segelflugzeug frühestens 300 m nach Beginn der SLB vom Boden abhebt. Die Berechnungen wurden für Steigwinkel von 1°, 3°, 5°, 10° und 20° für die westliche, also die der PV-Anlage näher liegende SLB durchgeführt (hinsichtlich Blendung kritischerer Fall) durchgeführt. Als Blickpunkt zur PV-Anlage wurde bei Starts in Richtung Norden der nordöstliche Eckpunkt und bei Starts in Richtung Süden der südöstliche Eckpunkt der PV-Anlage verwendet (hinsichtlich Blendung wieder jeweils kritischster Punkt der PV-Anlage).

Blendung eines Piloten kann nur für Blickwinkel  $\theta$  zwischen der Blickrichtung des Piloten und der Richtung Pilot-PV-Anlage auftreten, die  $20^\circ$  nicht überschreiten.

In das Polardiagramm von Bild 3 wurden nur die  $\gamma$ -Kurven für den Steigwinkel  $\sigma = 3^\circ$  eingezeichnet. Diese sind repräsentativ für alle berechneten  $\gamma$ -Kurven bei Starts. Die blau gezeichnete  $\gamma$ -Kurve für den Start in Richtung Nord liegt oberhalb der Sonnenstandslinien, die grün gezeichnete  $\gamma$ -Kurve für Start in Richtung Süden unterhalb der Sonnenstandslinien, sogar außerhalb des Sonnenstandsdiagramms. Beide Kurven haben keine Schnittpunkte mit den Sonnenstandslinien, Sonnenlicht kann in keinem Fall zum Piloten gelenkt werden. Bei Starts in Richtung Nord gibt dieser Sachverhalt die Tatsache wieder, dass auf der nördlichen Erdhalbkugel die Sonne nicht aus nördlichen Richtungen scheint und das Sonnenlicht daher nicht in Richtung Süden bis Südosten, d.h. ins Auge eines beim Start in Richtung Norden bis Nordwesten blickenden Piloten, reflektiert werden kann. Bei Starts in Richtung Süd bedeutet diese Aussage, dass der Pilot nur die Modulrückseiten sieht und das Sonnenlicht immer über das Flugzeug hinweg reflektiert wird. Die Ergebnisse gelten auch für die evtl. Modulneigungen von  $26^\circ$  bzw.  $30^\circ$ .

Fazit: Insgesamt kann ein startender Pilot nicht von der PV-Anlage geblendet werden.

## 4.2 Blendrisiko bei Landungen

Die Berechnungen erfolgten entsprechend der Ausrichtung der SLB bei der Landerichtung  $150^\circ$  bzw.  $330^\circ$  für Sinkwinkel  $\sigma = 1^\circ, 3^\circ, 5^\circ, 10^\circ$  und  $20^\circ$  wieder für die westliche SLB. Zusätzlich wurden auch „Landungen aus ungewohnter Richtung“ berücksichtigt. Bei diesen Landungen erfolgt der Anflug zunächst aus Richtungen, die um bis zu  $\pm 15^\circ$  von der Standardlanderichtung abweichen können, das ist für Heppenheim  $\sigma = 135^\circ/315^\circ$  und  $165^\circ/345^\circ$ ; erst kurz vor der Landung schwenkt dann der Pilot auf die Standardlanderichtung ein.

In Bild 3 sind die  $\gamma$ -Kurven für den Sinkwinkel  $3^\circ$  und die Standardlanderichtungen  $150^\circ/330^\circ$  in brauner bzw. schwarzer Farbe eingezeichnet. Diese beiden Kurven sind repräsentativ für alle berechneten  $\gamma$ -Kurven bei Landungen. Diese Kurven liegen wieder oberhalb bzw. unterhalb der Sonnenstandslinien, Sonnenlichtreflexion zum landenden Piloten ist in keinem Fall möglich. Die Begründung hierfür ist die gleiche wie im Abschnitt 4.1 Starts beschrieben. Die Ergebnisse gelten auch für die evtl. Modulneigungen von  $26^\circ$  bzw.  $30^\circ$ .

Fazit: Auch ein landender Pilot kann nicht von der PV-Anlage geblendet werden.

## 4.3 Platzrunden

### 4.3.1 Segelflugplatzrunde

Die folgenden Informationen wurden von Herrn Dr. Rüllmann, Aero-Club Heppenheim, zur Verfügung gestellt: Bei Segelflug-Anflügen, die in Heppenheim aus der östlich der SLB befindlichen Segelflugplatzrunde geflogen werden, sieht man häufig zum Flugplatz, um die Höhe für die Landeeinteilung gut einschätzen zu können. Die Flughöhen in der Segelflugplatzrunde sind näherungsweise: 200 m über Grund im Gegenanflug,

Blick querab zum Anfang der SLB für die Landerichtung Nord oder Süd (s. Bild 3, Pfeile 1 und 2 bzw. 5 und 6), ca. 150 m im Queranflug (Pfeile 3 und 7), die Kurve in den Endanflug wird in etwa 100 m über Grund geflogen (Pfeile 4 und 8). In Abweichung zur Sichtflugkarte wird der Gegenanflug häufig etwas weiter ausgedehnt, z.B. für die Landerichtung 33 wird die Kurve vom Gegen- in den Queranflug manchmal erst beim Laudenbacher Sportplatz geflogen.

Da sich die Blickwinkel für beide SLB für einen von der Platzrunde anfliegenden Piloten nur um wenige Zehntelgrade unterscheiden, gelten die nachfolgenden Ergebnisse für beide SLB.

#### Landeanflug zur SLB 33L oder 33R

Die für die genannten Blickrichtungen ermittelten  $\gamma$ -Kurven wurden in Bild 5 eingetragen. Die Grafik zeigt, dass bei den Blickrichtungen, die zu den Pfeilen 2 und 3 und teilweise zu Pfeil 4 gehören, Sonnenlicht zum Piloten gelenkt werden kann. Diese Sonnenlichtreflexion tritt im Winkelbereich ca.  $257^\circ$  bis  $290^\circ$  auf, also wenn der Pilot im Gegenanflug so weit geflogen ist, dass er zum Aufsetzpunkt bereits leicht nach rechts (westlich) rückwärts blickt (Pfeile 2 oder 3) oder der Pilot sich im Queranflug befindet (Pfeil 4). Die Blickzuwendung zum Aufsetzpunkt kann mehrere Sekunden betragen. Während dieser Zeit wandert sozusagen das Bild der Sonne auf der PV-Anlage mit. Die Sonnenlichtreflexion tritt in den Monaten Februar bis November zwischen ca. 16.30 Uhr und 17.30 Uhr auf. Die Möglichkeit der Sonnenlichtreflexion zum Piloten über mehrere Sekunden ist aber nicht gleichbedeutend mit der Tatsache, dass der Pilot auch geblendet wird. Vielmehr muss nun die Intensität des reflektierten Sonnenlichts ins Verhältnis gesetzt werden zur Intensität des direkten Sonnenlichts, das ja **gleichzeitig** das Pilotenauge erreicht. Die Intensität des reflektierten Sonnenlichts hängt von mehreren Einflussgröße ab:

- a. Je nach Blicksituation, von der der jeweilige Modulreflexionsgrad abhängt, werden 20 % bis 33 % des einfallenden Sonnenlichts von der Oberfläche der Module reflektiert.
- b. Eine weitere Reduzierung des reflektierten Sonnenlichts ergibt sich dadurch, dass dieses Licht nur von den Teilen der Fläche, die mit Modulen bestückt sind, reflektiert werden kann, aber nicht von den Flächenanteilen, die von den freien Gängen zwischen den Modulreihen eingenommen werden (s. Bild 7). Gemäß des vorgesehenen Querschnitts der PV-Anlage beträgt der Reduktionsfaktor 0,36 bei westlichem Blick zur PV-Anlage und geht gegen 1,0 bei nördlichem Blick zur Anlage. Der 6 m breite Gang zwischen östlichen und westlichen Modultischreihen führt zu einem weiteren Reduktionsfaktor von 0,93, der bei nördlichem Blick zur Anlage zu berücksichtigen ist und bei westlichem Blick gegen 1 geht.
- c. Die Blickentfernung des Piloten zur PV-Anlage beträgt ca. 1000 m. Bei einer solchen Entfernung wird das reflektierte Sonnenlicht zusätzlich durch die atmosphärische Trübung, die in bodennahen Schichten der Atmosphäre besonders wirksam ist, gestreut und damit geschwächt. Dieser Effekt hängt von der Art der Umgebung (z.B. Industriegebiet, wald- oder seenreiche Region), dem Wetter und der Entfernung zwischen dem Beobachter und der PV-Anlage ab und kann daher nur grob

abgeschätzt werden. Bei 1000 m ist nach früheren Messungen des Unterzeichners schon mit einem weiteren Reduktionsfaktor von 0,6 bis 0,8 zu rechnen.

- d. Die Oberflächen von PV-Modulen sind nicht ideal spiegelnd, sondern mit einer leichten Struktur versehen, die für eine höhere Lichtabsorption (und damit erhöhten Energieertrag) sorgen als dies bei einer spiegelnden Oberfläche der Fall wäre. Auf der Moduloberfläche lagert sich mit der Zeit eine dünne Staubschicht ab, die auch durch Regen nicht wieder vollständig entfernt wird. Die strukturierte Oberfläche und die leichte Verschmutzung führen zu einer diffuseren Reflexion des Sonnenlichts als bei einer ideal spiegelnden Oberfläche. Des Weiteren ist zu berücksichtigen, dass nicht sämtliche Module exakt unter  $28^\circ$  geneigt und in Ost-West-Richtung ausgerichtet sind, sondern beide Winkel sind mit einer gewissen, durch die Montage bedingten Toleranz versehen. Diese drei Einflussgrößen führen dazu, dass bei dem jeweiligen Einfallswinkel nicht der dem zugehörigen Reflexionsgrad entsprechende Anteil von Licht in die durch das Reflexionsgesetz vorbestimmte Richtung reflektiert wird, sondern ein geringerer Anteil. Dieser Anteil kann nicht genau quantifiziert werden, da die genauen Reflexionseigenschaften des verwendeten Moduls nicht bekannt sind und die Montagetoleranzen nicht vorhergesagt werden können. Erfahrungsgemäß ist damit zu rechnen, dass der Anteil des reflektierten Lichts durch diese drei Einflussgrößen gegenüber dem theoretischen Wert um weitere ca. 40 % verringert wird.

Die Berechnung dieser Einflussfaktoren führt zu folgendem Ergebnis:

Tritt die Sonnenlichtreflexion ca. 2 Stunden vor Sonnenuntergang ( $\gamma$ -Kurven in Bild 5 für Pfeil 2, teilweise Pfeile 3 und 4) auf, beträgt das Verhältnis der Intensität reflektiertes/direktes Sonnenlicht ca. 3 % bis 6 %. Blendung kann allenfalls durch die Sonne selbst auftreten, aber nicht durch das am Auge des Piloten ankommende reflektierte Sonnenlicht wegen dessen geringer Intensität.

Tritt die Sonnenlicht 10 min bis 30 min vor Sonnenuntergang auf ( $\gamma$ -Kurve für Pfeil 2, unterer Teil), beträgt das Verhältnis der Intensität reflektiertes/direktes Sonnenlicht ca. 18 %; aber die absolute Intensität der untergehenden Sonne ist dann so gering, dass diese keine Blendung erzeugt - bekanntermaßen kann man einen Sonnenauf- oder -untergang ohne weiteres mit bloßem Auge betrachten. Demzufolge kann das reflektierte Sonnenlicht in dieser Situation erst recht keine Blendung erzeugen.

Blickt der Pilot beim Gegenanflug querab zum Aufsetzpunkt ( $\gamma$ -Kurve für Pfeil 1 in Bild 5, kann kein Sonnenlicht zu ihm reflektiert werden, da die  $\gamma$ -Kurve außerhalb des Polardiagramms liegt. Auch in dieser Flugsituation ist keine Pilotenblendung möglich.

#### Landeanflug zur SLB 15L oder 15R

In Bild 5 ist nur die  $\gamma$ -Kurve für die Blickrichtung eingezeichnet, die zu Pfeil 5 in Bild 3 gehört. Diese Kurve liegt oberhalb der Sonnenstandslinien, gemäß der in Abschnitt 4.1 gegebenen Erklärung ist keine Reflexion zum Piloten und damit keine Blendung möglich. Die  $\gamma$ -Kurven für die zu den Pfeilen 6 bis 8 gehörenden Blickrichtungen liegen noch weiter nördlich, Blendung ist für diese Blickrichtungen erst recht ausgeschlossen.

**Fazit:** Beim Durchfliegen einer Segelflugplatzrunde ist in keiner Situation Blendung eines Piloten zu erwarten.

#### **4.3.2 Platzrunde MSL 1200**

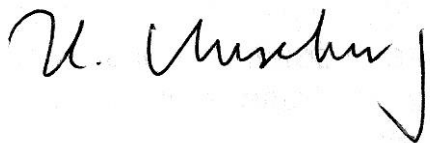
Die Platzrunde MSL 1200 für Motorflugzeuge wird in 1200 Fuß = 366 m über Normalnull geflogen. Bei der Höhe der SLB von 95 m entspricht dies einer Höhe von 271 m über Grund. Die Form der Platzrunde ist rechteckig, eine Teilstrecke wird in der Regel direkt oberhalb und parallel zu einer SLB geflogen. Die Blickwinkel  $\theta$  des Piloten sind beim normalen Blick geradeaus weitaus größer als oben genannten  $20^\circ$ , die für eine evtl. Blendwirkung kritisch sind, Blendung kann nicht auftreten. Wenn der Pilot zum Aufsetzpunkt und damit auch zur PV-Anlage schaut und in bestimmten Situationen Sonnenlicht zu ihm reflektiert wird, ist dessen Intensität wieder weitaus geringer als die Intensität des direkten Sonnenlichts. Da die Entfernung des Piloten beim Durchfliegen der westlichen Strecke der MSL 1200 mehr als 2 km von der PV-Anlage beträgt, ist wegen der atmosphärischen Trübung das Verhältnis der Intensität reflektiertes/direktes Sonnenlicht noch kleiner als im vorangehenden Abschnitt für die Segelflugplatzrunde beschrieben. Auch beim Durchfliegen der MSL 1200 tritt keine Pilotenblendung auf.

Für die Sichtbedingungen des Endanflugs gelten die Ausführungen des Abschnitts 4.2; dort konnte eine Blendung für landende Piloten ausgeschlossen werden.

**Fazit:** Auch beim Durchfliegen einer Platzrunde auf der MSL 1200 ist keine Blendung eines Piloten zu erwarten. Die Ergebnisse gelten auch für Modulneigungen von  $26^\circ$  und  $30^\circ$ .

#### **4.3.3 Vergleich mit der Sonnenlichtreflexion von Gewässern**

Die Sonnenlichtreflexion von einer PV-Anlage ist mit der Sonnenlichtreflexion zu vergleichen, die von einer Gewässeroberfläche bei Windstille erzeugt wird, wie am Beispiel der Bilder 6 und 7 zu sehen ist. Beide Fotos wurden unmittelbar nacheinander bei sonst gleichen Beobachtungsbedingungen aufgenommen. Der Reflexionsgrad einer ruhigen Wasseroberfläche ist zudem immer höher als der Reflexionsgrad der PV-Module bei gleichen Lichteinfallbedingungen. Daher ist die Intensität des von einer PV-Anlage reflektierten Sonnenlichts sogar geringer als die Intensität des von einem Gewässer bei Windstille reflektierten Sonnenlichts; Klagen von Piloten über Blendung durch Gewässer sind dem Unterzeichner bisher auch nicht bekannt geworden.



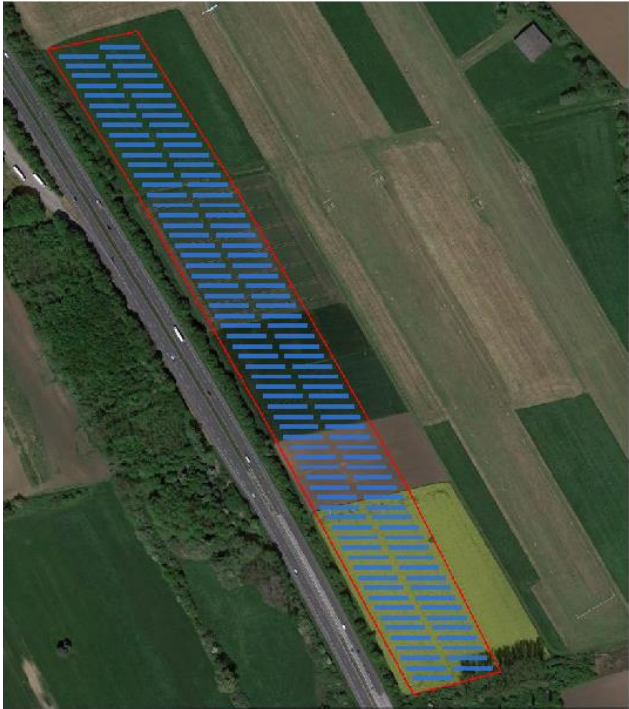


Bild 1: Geplante PV-Anlage Heppenheim

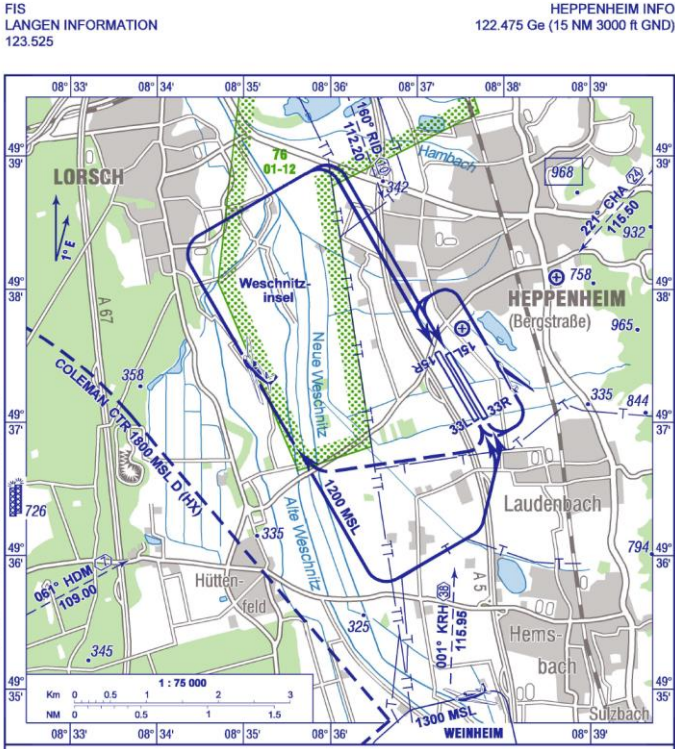
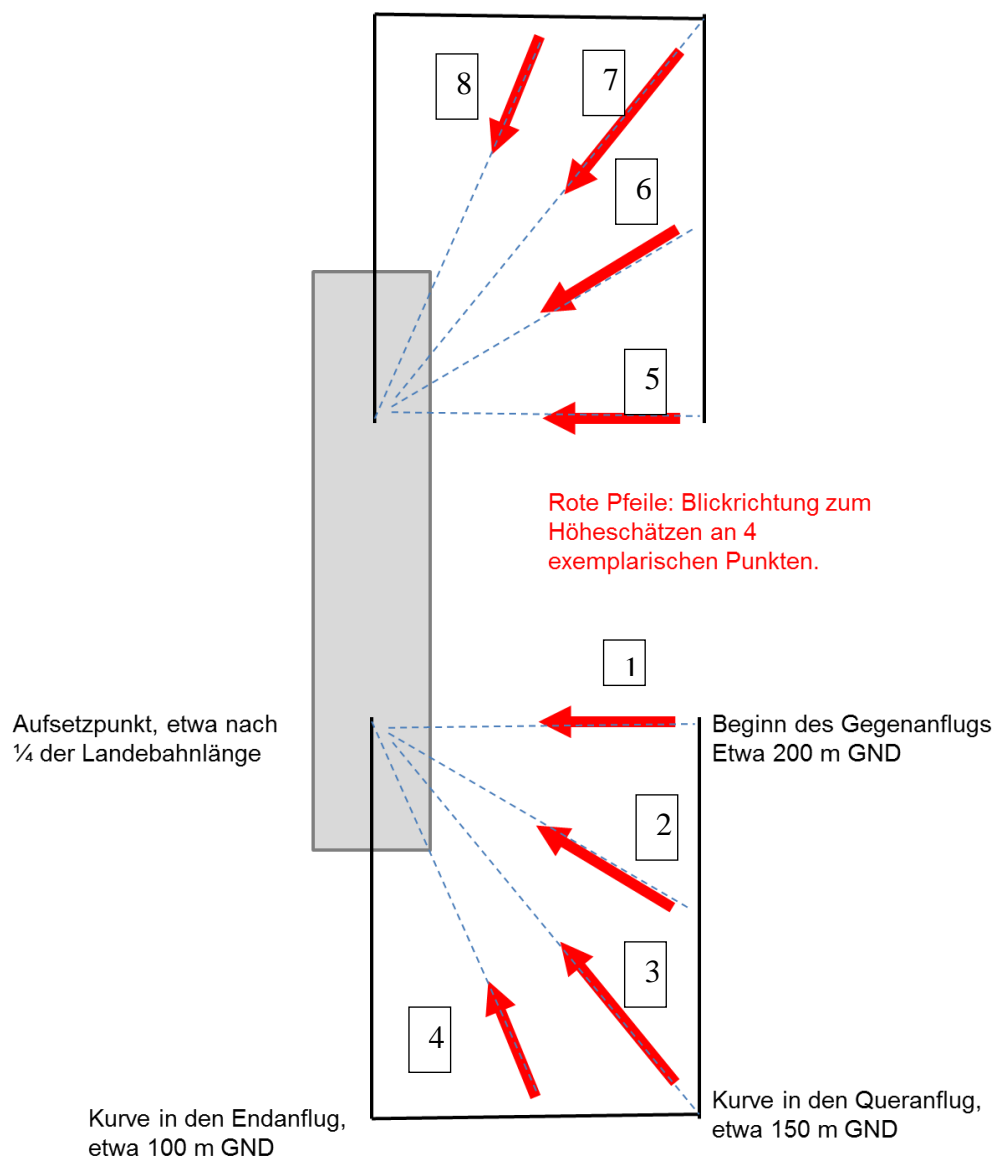


Bild 2: Sichtflugkarte für Heppenheim



**Bild 3:** Blickrichtung eines Segelflughpiloten beim Anflug auf den Flugplatz Heppenheim (Grafik nach einer Vorlage von Dr. Rüllmann)



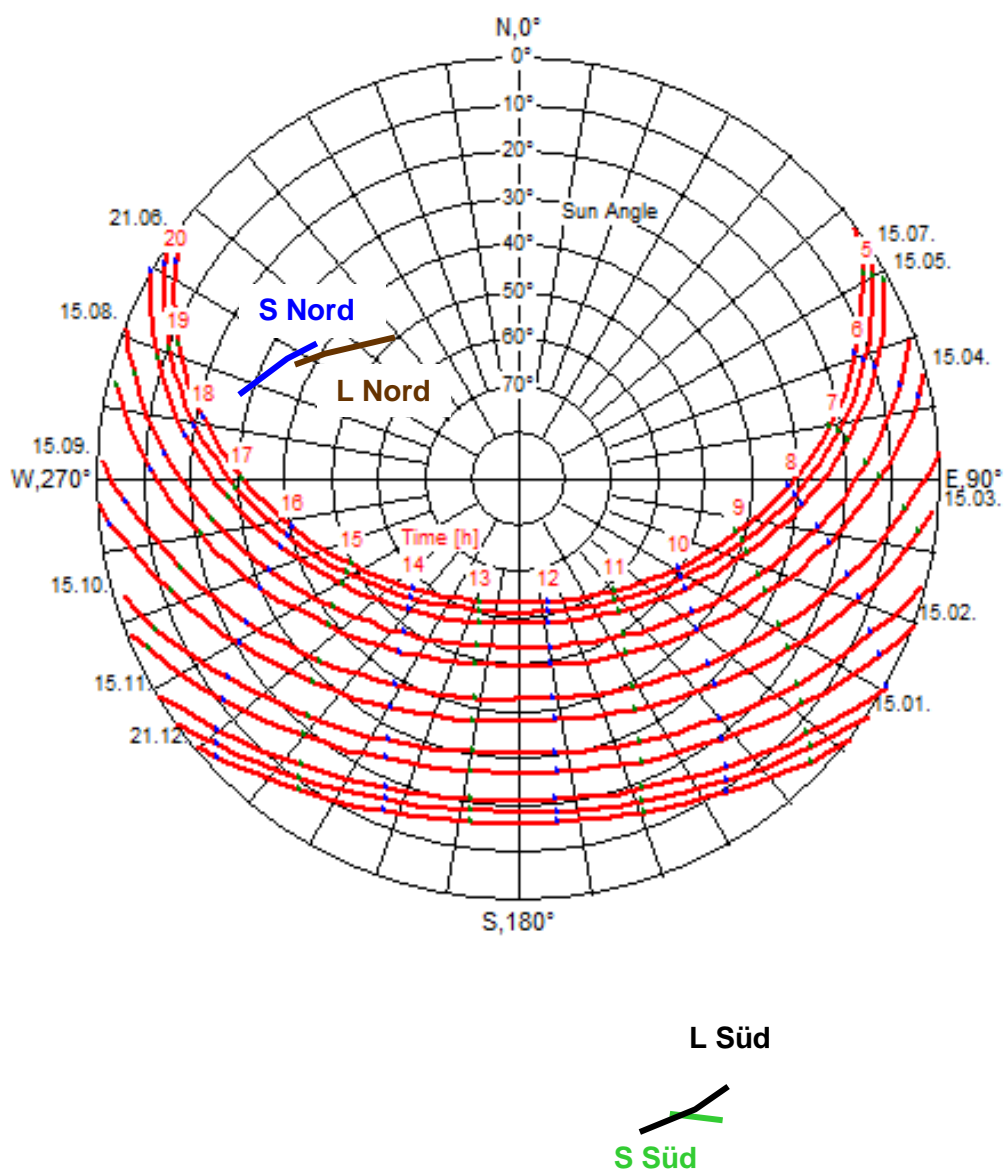


Bild 4: Sonnenstandsdiagramm für Heppenheim mit  $\gamma$ -Kurven für  
**S Nord**: Start Richtung Nord, Steigungswinkel  $\sigma = 3^\circ$ , Flug auf  $330^\circ$   
**L Nord**: Landung Richtung Nord, Sinkwinkel  $\sigma = 3^\circ$ , Flug auf  $330^\circ$   
**S Süd**: Start Richtung Süd, Steigungswinkel  $\sigma = 3^\circ$ , Flug auf  $150^\circ$   
**L Süd**: Landung Richtung Süd, Sinkwinkel  $\sigma = 3^\circ$ , Flug auf  $150^\circ$

Quelle des Sonnenstandsdiagramms: [www.stadtklima-stuttgart.de](http://www.stadtklima-stuttgart.de)

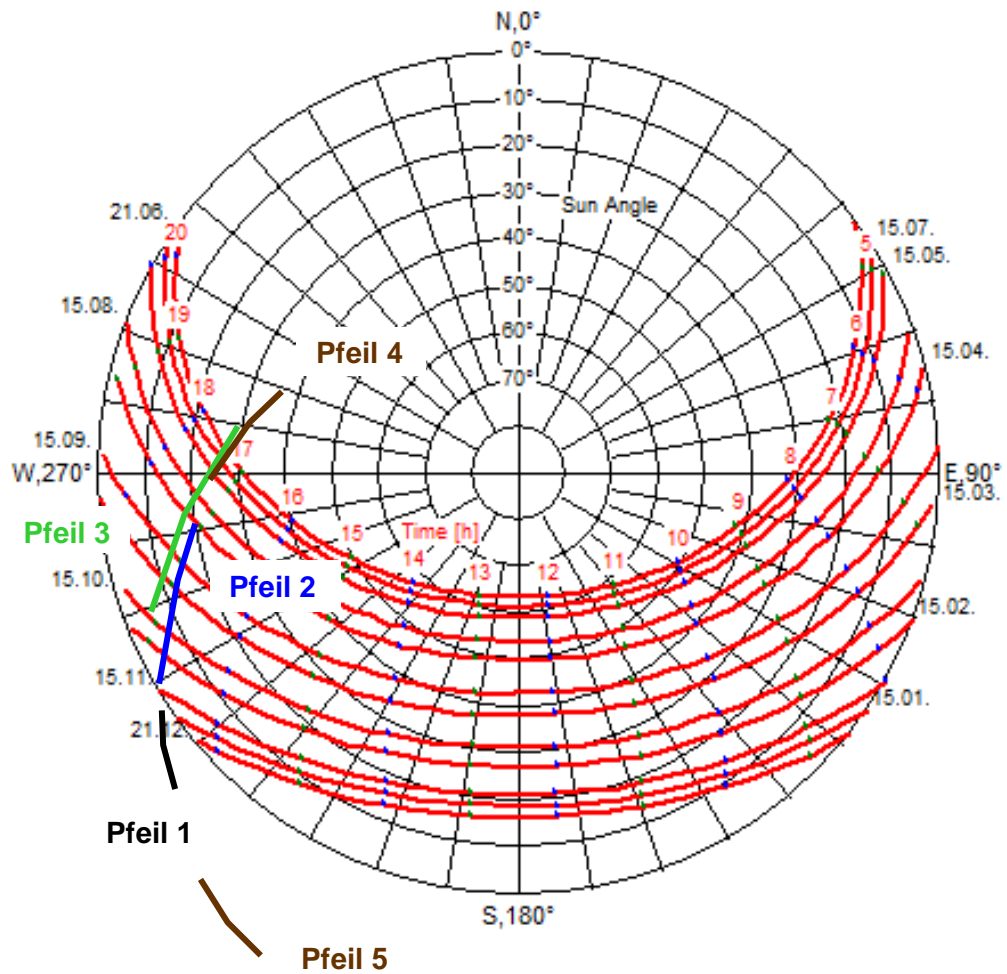


Bild 5: Sonnenstandsdiagramm für Heppenheim mit  $\gamma$ -Kurven für die Segelflugplatzrunde, Anflug Richtung 33R oder 33L, Pfeilbezeichnung lt. Bild 3



*Bild 6: Sonnenlichtreflexion eines Sees*



*Bild 7: Sonnenlichtreflexion einer PV-Freiflächenanlage*