

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

Berlin, den 7. September 2020

**Gutachten
G26/2020
zur Frage der eventuellen Blend- und Störwirkung von Anwohnern,
von Straßennutzern, Lokführern und Piloten
durch eine in Letschin zu installierende Photovoltaik-Anlage**

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

1 Auftraggeber

Den Auftrag zur Erarbeitung des Gutachtens erteilten die Energiekontor AG - Solar - Mary-Somerville-Straße 5 in 28359 Bremen.

Auftragsdatum: 21. August 2020

2 Auftragsache

Die Energiekontor AG plant die Errichtung einer Photovoltaikanlage, die auf einem bisher landwirtschaftlich genutzten Gelände errichtet werden soll. Es stellt sich die Frage, ob Bewohner des Hauses Gusower Str. 12, Kraftfahrer auf der Gusower Straße und Lokführer der an dem Gelände vorbeiführenden Bahnstrecke Seelow-Eberswalde bei der Vorbeifahrt an der Anlage durch Sonnenlicht, das von der Oberfläche der PV-Module reflektiert wird, geblendet oder in sonst unzumutbarer Weise gestört werden. Zusätzlich soll geklärt werden, ob auf dem Flugplatz Neuhardenberg startende oder landende Piloten durch die PV-Anlage geblendet 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/Lokführer/Piloten/Anwohner mit dem Begriff „Beobachter“ zusammengefasst.

Es werden folgende Winkel verwendet:

Sonnenhöhenwinkel (vertikaler Sonnenwinkel)	γ
Azimet (horizontaler Sonnenwinkel) bzw. momentane Fahrtrichtung eines Kfz auf der Gusower Straße bzw. eines Lokführers auf der Bahntrasse oder Ausrichtung der Start- und Landebahn	α
Orientierung der Modulreihen gegen Ost oder West	ν
vertikaler Winkel des von den Modulen reflektierten Lichts im Raum liegender Blendwinkel, gebildet durch die Blickrichtung eines Beobachters - Richtung reflektiertes Sonnenlicht = Blickwinkel	δ
Neigung der Module gegen Süd	θ
horizontaler Blickwinkel Beobachter - PV-Anlage	ε
Differenz $\alpha - \tau$ (horizontale Blickrichtung Beobachter - PV-Anlage)	τ
vertikaler Blickwinkel Beobachter - PV-Anlage	ψ
vertikaler Blickwinkel Kraftfahrer/Lokführer - vor ihm liegende Fahrbahn/Bahntrasse	λ
Steig- oder Sinkwinkel eines Flugzeuges	σ

4 Topografische Daten und technische Daten der Solarthermieanlage

4.1 Verwendete Informationen und Programme

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

- Lageplan der PV-Anlage
- Moduldatenblatt
- Vorläufiger Modultischquerschnitt
- Bebauungsplan Letschin Nr. 9, Vorentwurf vom Mai 2020 (Planzeichnung, Begründung, Scopingpapier)

Weitere Informationen wurden von Herrn P. Jankowski, Energiekontor AG, übermittelt sowie bei einer Ortsbesichtigung eingeholt.

Verwendete Programme: Der monatliche Sonnenstand für Letschin (Sonnenhöhe und -azimet) wurde mit der Website 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.

4.2 Topografische Daten

Die PV-Anlage wird auf einer fast quadratischen Grundfläche mit den Kantenlängen ca. 765 m (Ausrichtung Nordwest-Südost) x 725 m (Ausrichtung Nordost-Südwest) errichtet, s. Bild 1. Die Gesamtfläche beträgt ca. 55 ha. An der Nordost-Grenze ragt das Gehöft Gusower Str. 12 in die PV-Fläche (Markierung I in Bild 1) hinein. Die Anlagenfläche ist praktisch eben: Die Fläche liegt überwiegend auf 4 m über Normalnull (NN), nur in der unmittelbaren Umgebung des Gehöfts Gusower Str. 12 beträgt die Höhe 5 m und steigt an der Ostecke des Geländes auf 7 an.

Auf dem Gehöft Gusower Str. 12 stehen drei Gebäude. Das Gebäude an der Westseite hat bewohnbare Räume und nur in Richtung Westen Fensterflächen, zu denen

Sonnenlicht reflektiert werden kann. Die Gebäude an der Süd- und an der Westseite des Gehöfts besitzen keine Fenster in Richtung PV-Anlage.

Die Gusower Straße verläuft östlich der PV-Anlage ziemlich genau in Nord-Süd-Richtung (Fahrtrichtungswinkel $\alpha = 7,9^\circ$ bzw. $187,9^\circ$). Der kleinste Abstand der Straße von der PV-Anlage (Westecke) beträgt ca. 240 m. Die Fahrbahnoberkante der Straße liegt auf einer Höhe von 4 m bis 5 m.

Die Bahnstrecke Seelow-Eberswalde verläuft westlich der PV-Anlage in Richtung Nordwest-Südost (Fahrtrichtungswinkel $\alpha = 155^\circ$ bzw. 335°). Der kleinste Abstand der Bahntrasse von der PV-Anlage (Ostecke) beträgt ca. 570 m. Die Schienenoberkante liegt ebenfalls auf einer Höhe von 4 m bis 5 m.

Die Start- und Landebahn (SLB) des Flugplatzes Neuhardenberg liegt ca. 7 km westlich der PV-Anlage auf einer Höhe von 8 m über NN. Die Ausrichtung der SLB beträgt $84,4^\circ/264,4^\circ$.

4.3 Technische Daten der PV-Anlage

Die Modultischreihen sind in Ost-West-Richtung ausgerichtet ($\nu = 90^\circ$ bzw. 270°). Die Neigung der Module gegen Süd beträgt voraussichtlich 20° , steht aber noch nicht endgültig fest; deshalb werden im Folgenden auch die Neigungen 15° und 25° betrachtet. Die Moduloberkante liegt bei 3,5 m und die Modulunterkante bei 0,70 m.

Es ist geplant, Module der Fa. LONGI Solar, Typ zu verwenden. Wegen der schnellen Entwicklung auf dem Markt der Modultechnologie ist zum Zeitpunkt der finalen Planung damit zu rechnen, dass evtl. auch andere, dann leistungsfähigere Module zur Verfügung stehen und eingesetzt werden könnten. Alle handelsüblichen Module aller Hersteller besitzen jedoch eine sehr ähnliche Reflexionscharakteristik und damit ein vergleichbares Blendrisiko.

5 Beschreibung der eventuell von PV-Anlagen ausgehenden Blend- und Störfwirkungen

5.1 Blendwirkung

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 eine Lok 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 Ausfallswinkel = Einfallswinkel, wobei beide Winkel und das Lot auf der spie-

gelnden 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 θ , 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 θ gilt auch nicht mehr unbedingt; allerdings nimmt auch bei Tageslicht die Blendung deutlich zu, wenn der Blickwinkel θ 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 θ 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 Bahntrasse 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 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 Störwirkung von Personen, die sich in Wohn- oder Gewerbegebäuden aufhalten, wird in Brandenburg nach der „Leitlinie des Ministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz zur Messung und Beurteilung von Lichtimmissionen (Licht-Leitlinie)“ vom 16. 4. 2014 vorgenommen. Die Blend- und Störwirkung für Anwohner = 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.

Die Licht-Leitlinie gilt 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.

In der Licht-Leitlinie wird ausgeführt: *„Wirkungsuntersuchungen oder Beurteilungsvorschriften zu diesen Immissionen sind bisher nicht vorhanden.“* Mangels solcher Untersuchungen wurde der Inhalt der Regelungen der Lichtleitlinie 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 der Lichtleitlinie weiter ausgeführt: *„Der entsprechende Wertungsmaßstab kann allenfalls ein erster Anhaltspunkt für die Beurteilung von Blendungen sein. Im Einzelfall muss begründet werden, warum eine Übertragbarkeit gegeben, bzw. aufgrund welcher Überlegungen eine ggf. abweichende Bewertung erfolgt ist.“*

Diese Einschränkung der Bewertungsmöglichkeit der Lichtimmissionen durch die Licht-Leitlinie führt dazu, dass diese Licht-Leitlinie nur als Empfehlung zu betrachten ist. Sie stellt aber den Stand der Technik dar und kann, wenn Änderungen an der Bewertungsmethodik vorgenommen werden, durchaus sinnvoll angewendet werden. So heißt es in der Lichtleitlinie, 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 das Anlagengelände sehr ausgedehnt ist, was in Letschin der Fall ist. Deshalb wird die evtl. Blendwirkung für Anwohner unabhängig von der Entfernung der betroffenen Gebäude berechnet.

In den WEA-Schattenwurfhinweisen wird Schattenwurf für Sonnenstände $\gamma \leq 3^\circ$ Erhöhung über Horizont wegen Bewuchs, Bebauung und der zu durchdringenden Atmo-

sphärensichten in ebenem Gelände vernachlässigt. Gerade diese wichtige, sehr sinnvolle Einschränkung bzw. eine vergleichbare Regelung fehlt in der Licht-Leitlinie. 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 Atmosphärensichten in ebenem Gelände nicht berücksichtigt.

Um die evtl. von der PV-Anlage ausgehende Störwirkung für Anwohner zu bewerten, ist es zunächst notwendig, die zeitliche Wahrscheinlichkeit dafür zu ermitteln, dass von der PV-Anlage reflektiertes Licht in die Fensterflächen bzw. die dahinterliegenden Räume der blendgefährdeten Gebäude gelangt. Diese Wahrscheinlichkeit kann mithilfe eines sogenannten Sonnenstandsdiagramms ermittelt werden. Die Bilder 2 bis 5 zeigen das Sonnenstandsdiagramm für Letschin in Form eines Polardiagramms. Die roten Linien zeigen den Sonnenstand (Sonnenhöhe γ und Azimut α) für den 15. Tag jedes Monats in Abhängigkeit von der Uhrzeit an. Die Darstellung erfolgt für die Mitteleuropäische Zeit (MEZ) ohne Berücksichtigung der Mitteleuropäischen Sommerzeit (MESZ). Die Uhrzeit ist durch blaue und grüne Punkte gekennzeichnet.

Zuerst werden mittels der geometrischen und topografischen Daten die Sonnenhöhe γ und das Sonnenazimut α , bei denen sich die Sonne befinden müsste, damit reflektiertes Sonnenlicht in die Fensterflächen des Wohnhauses Gusower Str. 12 gelangen könnte, berechnet. Die Ergebnisse der Berechnungen werden in das Sonnenstandsdiagramm für Letschin eingetragen. Da die Berechnungen für die gesamte Fläche oder eine Teilfläche der PV-Anlage durchgeführt werden, stellen die ermittelten α/γ -Werte Flächen in Form von geschlossenen Polygonzügen dar, die im Folgenden als γ -Flächen bezeichnet werden. Haben diese γ -Flächen Schnittpunkte mit den roten Sonnenstandslinien, fällt Sonnenlicht in die Fensterflächen; die dazugehörigen Jahres- und Tageszeiten können aus dem Polardiagramm abgelesen werden. Bei fehlenden Schnittpunkten ist keine Sonnenlichtreflexion in diese Fensterflächen möglich. Bei vorhandenen Schnittpunkten der γ -Flächen mit den Sonnenstandslinien müssen aus den Schnittflächen die Zeiten berechnet werden, zu denen Sonnenlicht von der PV-Anlage in die Fensterflächen der betroffenen Gebäude reflektiert wird.

Wie bereits ausgeführt, wird Sonnenlicht, das unter Winkeln $\gamma \leq 7,5^\circ$ von der PV-Anlage in Richtung Fensterflächen reflektiert wird, wegen dessen extrem geringer Intensität nicht berücksichtigt. Der Winkelbereich $0^\circ \leq \gamma \leq 7,5^\circ$ ist im Polardiagramm von Bild 2 rot schraffiert dargestellt.

7 Blend- und Störpotential der geplanten PV-Anlage für bewegliche Beobachter

Um die evtl. von der PV-Anlage ausgehende Blendung zu bewerten, ist es zunächst wieder notwendig, die Wahrscheinlichkeit dafür zu ermitteln, dass von der Anlage reflektiertes Licht in die Blickrichtung eines Kraftfahrers/Lokführers/Piloten (im Folgenden Beobachter genannt) 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.

Die Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines Blendrisikos wird in analoger Weise wie für Anwohner mithilfe eines Sonnenstandsdiagramms ermittelt werden.

8 Geometrische Bedingungen für die Berechnung der Sonnenlichtreflexion ins Auge eines beweglichen Beobachters

8.1 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. 2,50 m, die des Pkw-Fahrers ca. 1,12 m. Dadurch ergeben sich i.a. kleinere (kritischere) Blickwinkel θ 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 2,50 m ein vertikaler Winkel σ von ca. $-1,4^\circ$ (Blick leicht nach unten). Dieser Winkel σ wurde bei den weiteren Berechnungen zugrunde gelegt.

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

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

Für bestimmte Blickpunkte zur Anlage werden nun mittels google earth die Winkel τ , α , ψ und θ bestimmt. Mit den weiteren Parametern Neigung der Kollektoren $\varepsilon = 20^\circ \pm 5^\circ$ nach Süd, der Kollektortischausrichtung $90^\circ/270^\circ$, der Fahrtrichtung τ und dem vertikalen Winkel λ werden dann die trigonometrischen Berechnungen zur Ermittlung des Sonnenazimuts α und der vertikalen Sonnenhöhenwinkel γ durchgeführt, unter denen das Sonnenlicht auf die Kollektoren fallen müsste, damit das reflektierte Licht ins Auge eines Kraftfahrers fallen kann.

Die Ergebnisse der Berechnungen der α/γ -Werte werden in das Sonnenstandsdiagramm für Letschin eingetragen. Die Gesamtheit der α/γ -Werte bildet ein Polygon. Hat die Polygonfläche, im Folgenden γ -Fläche genannt, Schnittpunkte mit den roten Sonnenstandslinien, fällt Sonnenlicht ins Kraftfahrerauge; die dazugehörigen Jahres- und Tageszeiten können aus dem Polardiagramm abgelesen werden.

Die Berechnungen erfolgen nur für den Reflex, der sich aus dem Reflexionsgesetz Ausfallswinkel = Einfallswinkel herleitet, da nach den Ausführungen in den Abschnitten 6 und 7 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 bis C gewählt. Diese Blickpunkte sind repräsentativ für die gesamte Vorbeifahrt an der PV-Anlage.

8.2 Lokführer

Die geometrischen Bedingungen entsprechen weitgehend den für Kraftfahrer geschilderten Bedingungen. Anstelle der Höhe des Fahrerauges über FOK tritt hier die Höhe des Lokführerauges über der Schienenoberkante (SOK). Diese beträgt 3,30 m (worst case). Als Blickpunkte des Lokführers wurden die in Bild 1 eingezeichneten Markierungen D und E gewählt. Diese Blickpunkte sind wieder repräsentativ für die gesamte Vorbeifahrt an der PV-Anlage.

8.3 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 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 α/γ -Werte in diesem Fall keine Flächen, sondern nur Kurven dar.

9 Ergebnisse

9.1 Anwohner Gusower Str. 12

Die Mitte der Fenster an der Westseite des westlichen Gebäudes, zu denen das Sonnenlicht reflektiert werden kann, befindet sich ca. 2 m über Grund. Dieser Wert wurde bei den Berechnungen der γ -Flächen verwendet. In Bild 2 sind die γ -Flächen für die Neigungswinkel $\varepsilon = 15^\circ$, 20° und 25° eingezeichnet. Sie haben Schnittpunkte mit den roten Sonnenstandslinien, Sonnenlicht kann zu diesen Fenstern reflektiert werden. Die Reflexionszeiten sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Daraus wurden die in Tabelle 2 wiedergegebenen täglichen Reflexionszeiten und die astronomisch möglichen jährliche Reflexionszeiten berechnet.

1	Neigungswinkel ϵ	Jahreszeit	Tage	Uhrzeit MEZ (Mittelwert)
2	15°	17. 4. bis 28. 8.	132	18.20 - 18.35
3	20°	24. 4. bis 7. 9.	154	17.50 - 18.10
4	25°	3. 4. bis 13. 9.	164	17.35 - 17.50

Tabelle 1: Jahres- und Tageszeiten, in denen Sonnenlicht in Richtung der Fenster im westlichen Gebäude Gusower Str. 12 reflektiert werden kann

1	Neigungswinkel	Maximale tägliche Reflexionszeit	Mittlere tägliche Reflexionszeit	Astronomisch mögliche jährliche Reflexionszeit
2	15°	7,7 min	6,3 min	132 · 6,3/60 = 13,9 Stunden
3	20°	8,6 min	7,1 min	154 · 7,1/60 = 18,2 Stunden
4	25°	6,9 min	5,9 min	164 · 5,9/60 = 16,1 Stunden

Tabelle 2: Tägliche und jährliche Reflexionszeiten, in denen Sonnenlicht in Richtung der Fenster im westlichen Gebäude Gusower Str. 12 reflektiert werden kann

Die maximale tägliche Zeit von 6,9 Minuten bis 8,6 Minuten und die astronomisch mögliche jährliche Reflexionszeit von 5,9 Stunden bis 16,1 Stunden liegen weit unter den von der Licht-Leitlinie geforderten Werten von höchstens 30 Minuten bzw. höchstens 30 Stunden. Die Anforderungen der Lichtleitlinie werden damit für alle in Frage kommenden Modulneigungen erfüllt.

9.2 Gusower Straße

Der kleinste Blendwinkel eines die Gusower Straße befahrenden Kraftfahrers beträgt in Fahrtrichtung Süd 15,5° (Blick zur Westecke der PV-Fläche) und in Fahrtrichtung Nord 19° (Blick zur Ostecke der PV-Fläche). Die Entfernung des Kraftfahrers zu diesen Eckpunkten beträgt ca. 880 m bzw. 1780 m. Allein wegen der großen Entfernung ist Blendung praktisch ausgeschlossen, weil der Kraftfahrer die PV-Anlage als vertikal stark verkürztes Band sieht. Zur Sicherheit wurden jedoch für drei Blickpunkte des Kraftfahrers die γ -Flächen berechnet.

9.2.1 Fahrtrichtung Süd

Bild 3 zeigt die γ -Flächen für Blickpunkt A für die drei Modulneigungen. Alle drei γ -Flächen liegen weit unterhalb der roten Sonnenstandslinien, sogar unterhalb (außerhalb) des Polardiagramms und haben keine Schnittpunkte mit diesen, Sonnenlicht kann nicht zum Kraftfahrer gelenkt werden. Dieser Sachverhalt gibt die Tatsache wieder, dass ein Kraftfahrer, der in Richtung Süd unterwegs ist, überwiegend nur die Modulrückseiten sieht und das Sonnenlicht immer über das Kfz hinweg reflektiert wird. Blendung des Kraftfahrers ist nicht möglich. In Bild 3 ist auch die γ -Fläche für den Blickpunkt B des Kraftfahrers für die Modulneigung 20° eingezeichnet. Auch diese liegt unterhalb der Sonnenstandslinien, deshalb kann auf die Wiedergabe der γ -Flächen für 15° und 25° verzichtet werden.

Insgesamt ist in Fahrtrichtung Süd keine Kraftfahrerblendung möglich.

9.2.2 Fahrtrichtung Nord

Bild 3 enthält auch die γ -Fläche für den Blickpunkt C des Kraftfahrers für die Modulneigung 20° . Diese liegt komplett oberhalb der Sonnenstandslinien und hat ebenfalls keine Schnittpunkte mit diesen, Sonnenlichtreflexion zum Kraftfahrer tritt nicht auf, dieser kann von der PV-Anlage nicht geblendet werden. 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 blickt. Auf die Wiedergabe der γ -Flächen für 15° und 25° kann verzichtet werden, weil diese ebenfalls weit oberhalb der Sonnenstandslinien liegen.

Auch bei Fahrt in Richtung Nord auf der Gusower Straße kann ein Kraftfahrer nicht geblendet werden.

9.3 Bahnstrecke Seelow-Eberswalde

In Bild 4 sind die γ -Flächen für die Blickpunkte D (Fahrtrichtung Nord) und E (Fahrtrichtung Süd) eines Lokführers, jeweils Neigungswinkel 20° , eingezeichnet. Die γ -Flächen liegen wieder weit ober- bzw. unterhalb der Sonnenstandslinien. Auf die Wiedergabe der γ -Flächen für 15° und 25° kann verzichtet werden, weil diese ebenfalls deutlich ober- bzw. unterhalb der Sonnenstandslinien liegen. Gemäß der Erläuterungen im vorangehenden Abschnitt heißt das, dass in beiden Fahrtrichtungen kein Sonnenlicht zum Lokführer gelenkt werden kann, Blendung eines Lokführers durch die PV-Anlage kann nicht auftreten.

9.4 Flugplatz Neuhardenberg

9.4.1 Landungen

Landerichtung Ost: Der Blendwinkel liegt im Bereich von 2° bis 20° , das Blendrisiko ist deshalb zu untersuchen. Ein landender Pilot setzt möglichst früh auf der Start- und Landebahn (SLB) auf, etwa 100 m nach dem Beginn der SLB. In Landerichtung Ost ist der Pilot bei Einleitung der Landung 10 000 m bis 8 000 m von der PV-Anlage entfernt. Dann ist eine Pilotenblendung gemäß Abschnitt 8.3 ausgeschlossen.

Landerichtung West: In dieser Richtung fliegt der Pilot in relativer Nähe an der PV-Anlage vorbei. Bild 5 zeigt die grün gezeichnete γ -Kurve für diesen Anflug für den Standard-Sinkwinkel $\sigma = 3^\circ$. Die γ -Kurve liegt unterhalb der Sonnenstandslinien und außerhalb des Polardiagramms. Gemäß der Erläuterungen in Abschnitt 9.2.2 bedeutet das, dass der Pilot bei Landungen in Richtung West nicht geblendet werden kann. Diese γ -Kurve ist repräsentativ für die Modulneigungen 15° und 25° .

9.4.2 Starts

Startrichtung West: Der Pilot hat die PV-Anlage im Rücken, Blendung kann nicht auftreten.

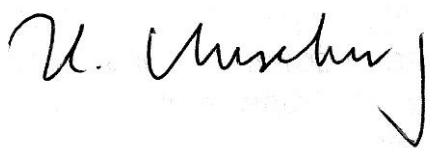
Startrichtung Ost: Auch hier liegt der Blendwinkel im Bereich von 2° bis 20° . Bild 5 zeigt die blau gezeichnete γ -Kurve für diesen Start für den Standard-Steigwinkel $\sigma = 3^\circ$. Die γ -Kurve liegt genau am Rande des Polardiagramms und ist repräsentativ für die Modulneigungen 15° und 25° . Sonne kann, soweit die Vegetation und evtl. leichte Geländeerhebungen dies überhaupt zulassen, nur unmittelbar bei Sonnenaufgang von der PV-Anlage zum Piloten reflektiert werden. Dann ist jedoch keine Pilotenblendung möglich, denn unmittelbar bei Sonnenaufgang kann man problemlos in die Sonne schauen. Zudem kommt das reflektierte Sonnenlicht etwa aus der gleichen Richtung und ist deutlich schwächer als das direkte Sonnenlicht. Eine Pilotenblendung ist auch bei Starts in Richtung Ost ausgeschlossen.

10 Gesamtergebnis

Alle Ergebnisse gelten für Neigungen der Module gegen Süd von 15° bis 25° .

Es wurde festgestellt, dass die in Letschin geplante PV-Anlage Bewohner des Hauses Gusower Str. 12 nicht blenden oder in unzumutbarer Weise stören kann. Die maximale tägliche Zeit und die astronomisch mögliche jährliche Reflexionszeit liegen weit unter den von der Licht-Leitlinie des Landes Brandenburg vom 16. 4. 2014 zulässigen Werten von höchstens 30 Minuten täglich bzw. höchstens 30 Stunden im Kalenderjahr. Die Anforderungen der Lichtleitlinie werden damit für alle in Frage kommenden Modulneigungen erfüllt.

Kraftfahrer auf der Gusower Straße, Lokführer der an dem Gelände vorbeiführenden Bahnstrecke Seelow-Eberswalde und auf dem Flugplatz Neuhardenberg startende oder landende Piloten werden durch die PV-Anlage ebenfalls nicht geblendet. Die Gefährdung der Verkehrssicherheit durch die geplante PV-Anlage kann mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden. Von daher ist gegen die Errichtung der PV-Anlage Letschin nichts einzuwenden.



Anhang

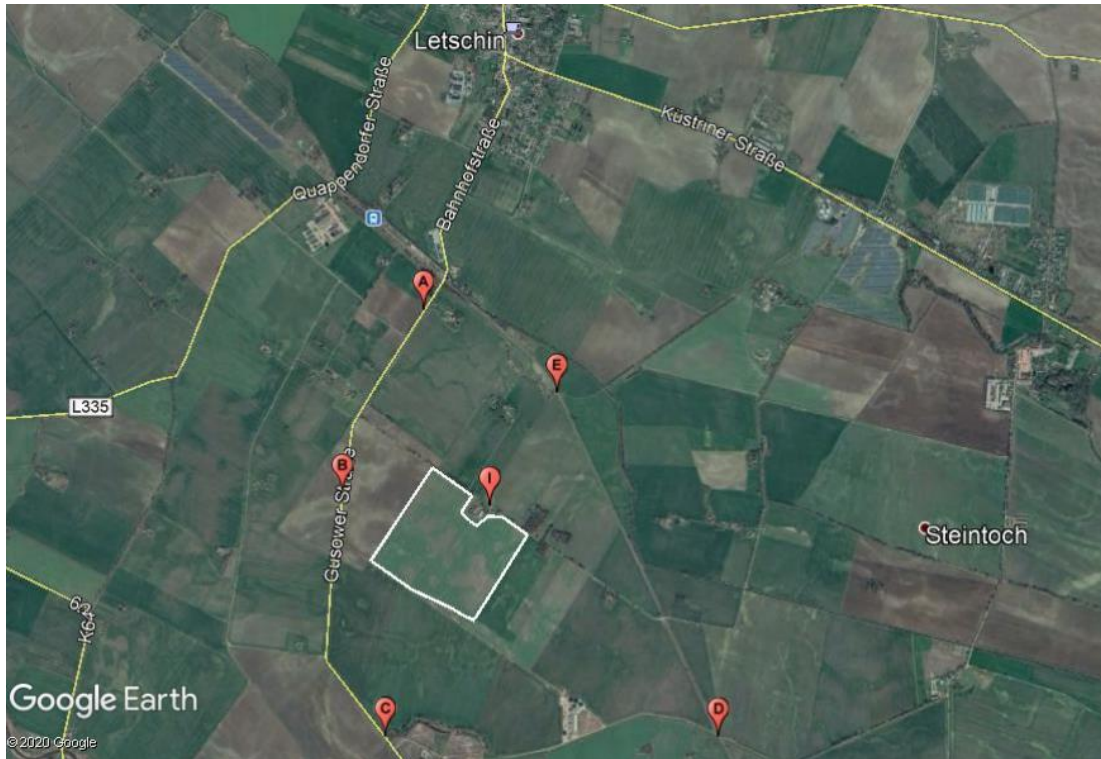


Bild 1: Schematische Darstellung der geplanten PV-Anlage Letschin (weiß gezeichnete Fläche) mit den Blickpunkten A bis C auf der Gusower Straße, D und E auf der Bahnstrecke und dem untersuchen Gehöft Gusower Str.12, Markierung I

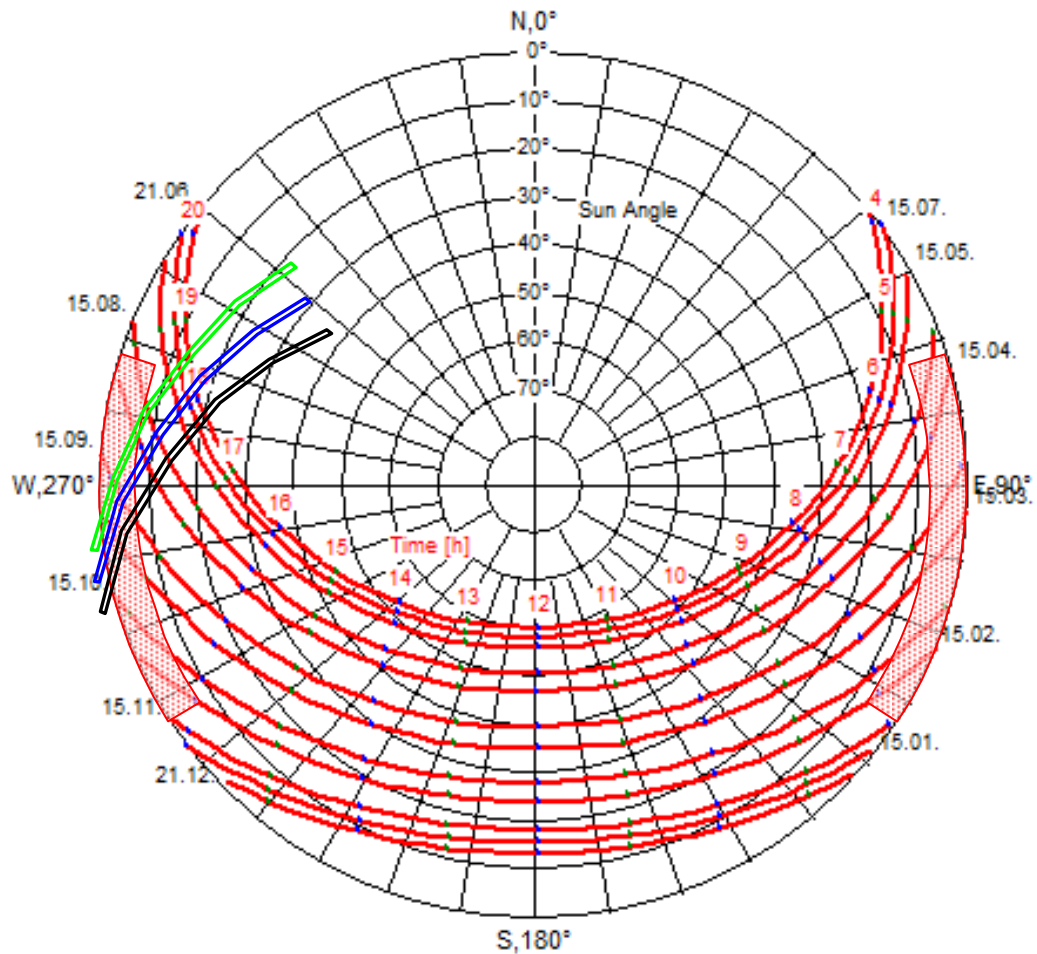


Bild 2: Monatlicher Sonnenstand (Sonnenhöhe und -richtung) für Letschin mit γ -Flächen zur Bewertung der Reflexionszeiten zum Immissionsort Gusower Straße 12

Quelle des Sonnenstandsdiagramms: www.stadtklima-stuttgart.de

- : Neigungswinkel $\varepsilon = 15^\circ$
- : Neigungswinkel $\varepsilon = 20^\circ$
- : Neigungswinkel $\varepsilon = 25^\circ$

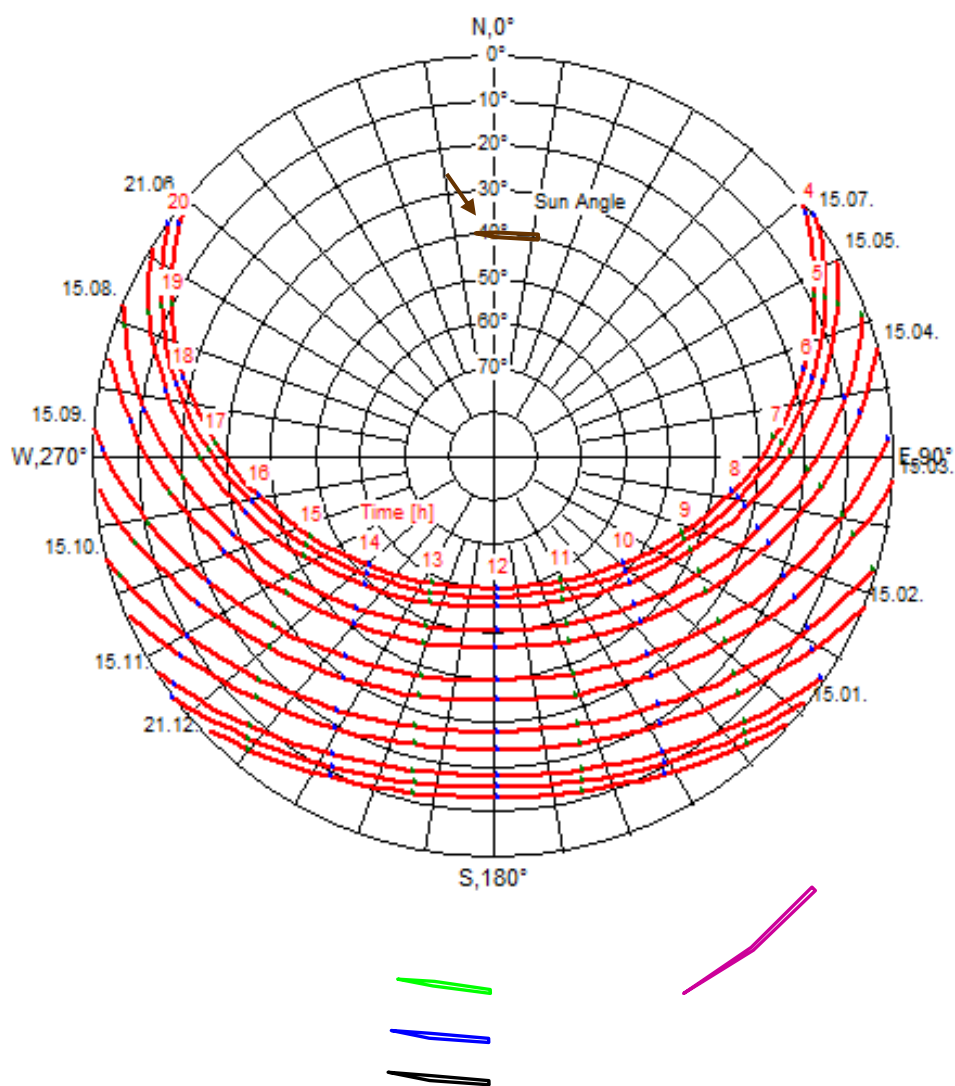


Bild 3: Monatlicher Sonnenstand (Sonnenhöhe und -richtung; rote Linien) für Letschin mit γ -Flächen und Punkten zur Berechnung der evtl. Blendung für Kraftfahrer auf der Gusower Straße

- : Fahrtrichtung Süd, Markierung A, Neigungswinkel $\varepsilon = 15^\circ$
- : Fahrtrichtung Süd, Markierung A, Neigungswinkel $\varepsilon = 20^\circ$
- : Fahrtrichtung Süd, Markierung A, Neigungswinkel $\varepsilon = 25^\circ$
- : Fahrtrichtung Süd, Markierung B, Neigungswinkel $\varepsilon = 20^\circ$
- : Fahrtrichtung Nord, Markierung C, Neigungswinkel $\varepsilon = 20^\circ$

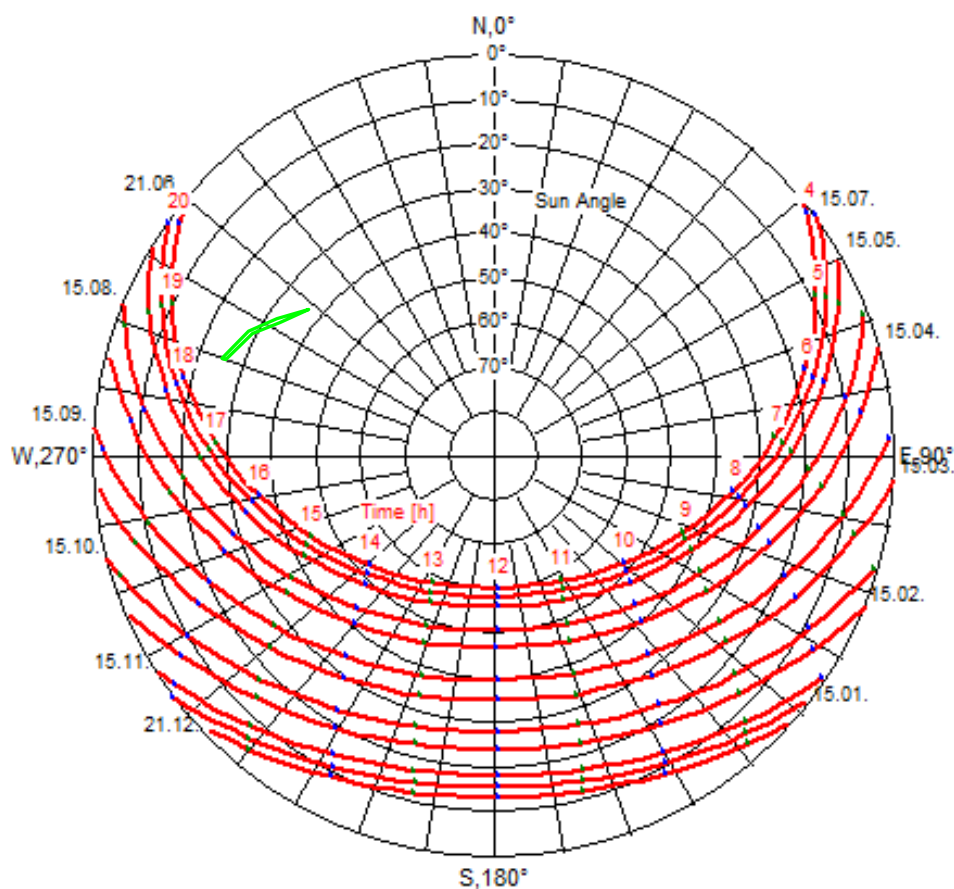


Bild 4: Monatlicher Sonnenstand (Sonnenhöhe und -richtung; rote Linien) für Letschin mit γ -Flächen zur Berechnung der evtl. Blendung für Lokführer der Strecke Seelow-Eberwalde

- : Fahrtrichtung Südost, Markierung E, Neigungswinkel $\varepsilon = 20^\circ$
- : Fahrtrichtung Nordwest Markierung D, Neigungswinkel $\varepsilon = 20^\circ$

Quelle des Sonnenstandsdiagramms: www.stadtklima-stuttgart.de

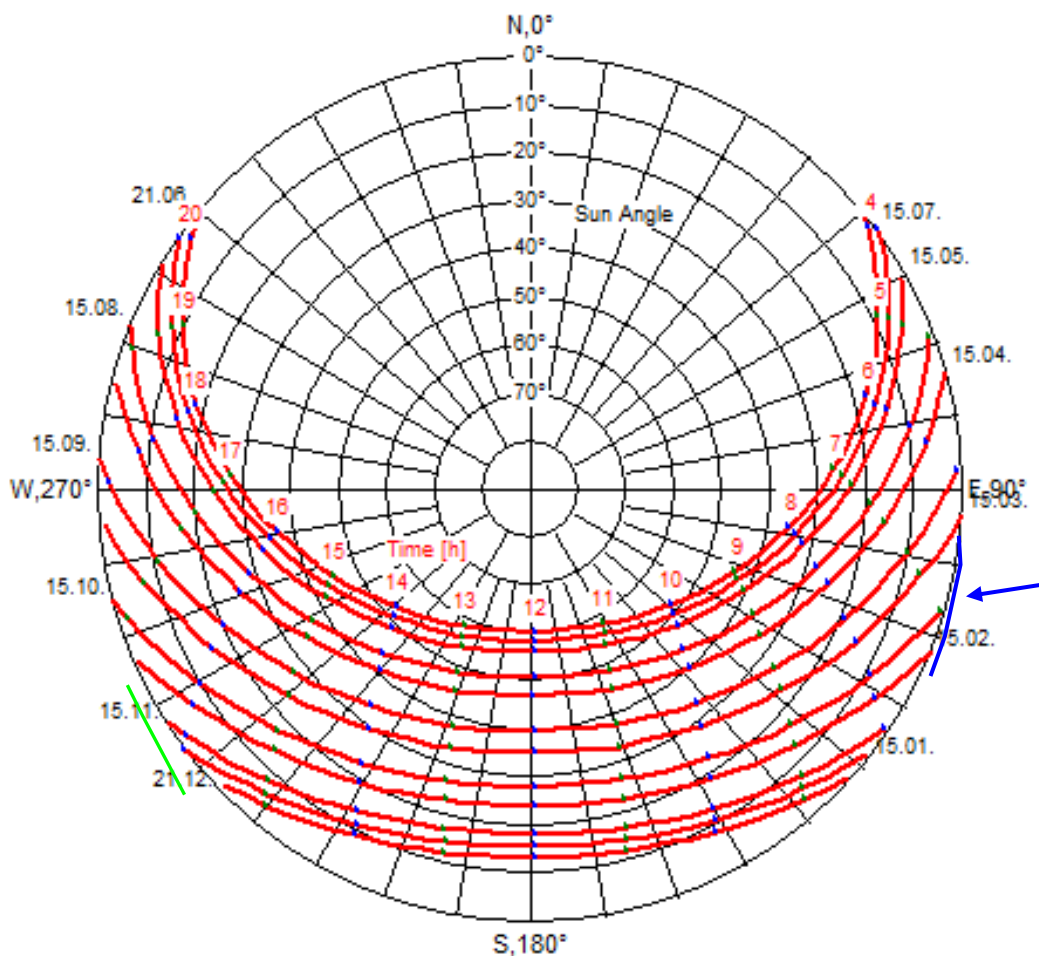


Bild 5: Monatlicher Sonnenstand (Sonnenhöhe und -richtung) für Letschin mit γ -Flächen zur Berechnung der evtl. Blendung für Piloten, die auf dem Flugplatz Neuhardenberg starten oder landen

Neigungswinkel $\varepsilon = 20^\circ$, Blick zur Mitte der PV-Anlage

— : Start in Richtung Ost, Steigwinkel $\sigma = 3^\circ$

— : Landung in Richtung West, Sinkwinkel $\sigma = 3^\circ$