

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

Berlin, den 18. Oktober 2023

G u t a c h t e n

G59/2023

zur Frage der eventuellen Blend- und Störfwirkung von Lokführern, Straßennutzern und Anwohnern durch eine in der Ortslage Ribnitz-Damgarten-Borg zu installierende Photovoltaik-Freiflächenanlage

(Dieses Gutachten besteht aus 13 Seiten
und einem Anhang mit 7 weiteren Seiten)

1 Auftraggeber

Den Auftrag zur Erarbeitung des Gutachtens erteilte die Energiepark Linstow GmbH, Obotritenring 40 in 19053 Schwerin.

Auftragsdatum: 18. August 2022

2 Auftragsache

Die Energiepark Linstow GmbH plant die Errichtung einer Photovoltaik-Freiflächenanlage in Ribnitz-Damgarten Ortsteil Borg, die sowohl in unmittelbarer Nähe der Bahnstrecke Rostock-Ribnitz-Damgarten als auch der Bundesstraße 105 „Bei den Borger Tannen“, liegt. Es besteht die Besorgnis, ob Lokführer bzw. Nutzer der B 105 bei der Vorbeifahrt an der PV-Anlage durch Sonnenlicht, das von der Oberfläche der PV-Module reflektiert wird, geblendet oder in sonst unzumutbarer Weise gestört werden. Des Weiteren soll geklärt werden, ob Bewohner von Wohn- und Gewerbegebäuden (Immissionsorten) in der Umgebung der PV-Anlage durch von der PV-Anlage reflektiertes Sonnenlicht gestört oder belästigt werden. Dieses Gutachten dient der Klärung der Frage, ob und mit welcher Häufigkeit solche Situationen entstehen können und falls ja, welche Abhilfemöglichkeiten bestehen.

3 Definitionen

Im Folgenden wird der Richtung Nord der horizontale Winkel $\alpha = 0^\circ$ zugeordnet; der Winkel steigt mit dem Uhrzeigersinn (Ost: $\alpha = 90^\circ$; Süd: $\alpha = 180^\circ$ usw.).

Es werden folgende Winkel verwendet:

Sonnenhöhenwinkel (vertikaler Sonnenwinkel)	γ
Azimut (horizontaler Sonnenwinkel) bzw. momentane Fahrtrichtung eines Zuges/eines Kfz	α
Orientierung der Modultischreihen	α_M

Orientierung der Modultischreihen gegen Ost oder West $\alpha_M - \alpha$	ν
vertikaler Winkel des von den Solarmodulen reflektierten Lichts im Raum liegender Blickwinkel (gebildet durch die Blickrichtung eines Beobachters - Richtung reflektiertes Sonnenlicht)	δ
Neigung der PV-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 Beobachter - vor ihm liegende Bahntrasse/Fahrbahn	λ
	σ

4 Topografische Daten und Angaben zur Photovoltaik-Anlage

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

- B-Plan Nr. 112 vom 8. August 2023
- Lageplan der PV-Anlage
- Belegungsplan der PV-Anlage
- Modultischquerschnitt
- Fotos
- Mündliche und Emailinformationen von Herrn Felix Borufka, WEMAG Projektentwicklung GmbH

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

4.1 Beschreibung der PV-Anlage, topografische Daten

Die PV-Anlage wird südlich von Borg auf einem bisher landwirtschaftlich genutzten Gelände errichtet (s. Bild 1 im Anhang). Die Anlage besteht aus sechs Teilflächen (TF1 bis TF6). Das Anlagengelände grenzt im Norden an die B 105 und an den anderen Seiten an Ackerland und Wald. TF1 bis TF5 sind von TF5 und TF6 durch die Trasse der Bahnstrecke Rostock-Ribnitz-Damgarten getrennt. Das Gelände der PV-Anlage steigt leicht von 7 m über Normalhöhennull (NHN) an der Südwestecke von TF5 auf 10 m bei TF3. Die geplante Zaunhöhe beträgt 2 m.

Es sollen Module Typ Canadian Solar HiBiKu7 mit einer Leistung von 640-670 W_{peak} je Modul installiert werden. Die Module werden auf Modultischen montiert, die gemäß aktueller Planung in Ost-West-Richtung ausgerichtet sind. Die Modulneigung beträgt 17°, die Höhen der Modulober- und -unterkante liegen bei 2,83 m und 0,8 m.

4.2 Die Bahntrasse

Die eingleisige Bahnstrecke verläuft im Bereich der PV-Anlage geradlinig in Nordost-Südwest-Richtung, der Fahrtrichtungswinkel α beträgt ca. 58,6°/238,6. Die Schienen-

oberkante liegt etwa auf gleicher Höhe wie das Gelände der jeweils benachbarten TF. Von der Bahnstrecke ist ein freier Blick auf die PV-Anlage gegeben.

4.3 Die Bundesstraße B 105

Die zweistreifige Straße verläuft im Bereich der PV-Anlage geradlinig in Nordost-Südwest-Richtung, der Fahrtrichtungswinkel α beträgt ca. $56,6^\circ/236,6^\circ$. Die Fahrbahnoberkante liegt etwa auf gleicher Höhe wie das Gelände der jeweils benachbarten TF. Der Blick auf die PV-Anlage ist für zwei Straßenabschnitte gegeben, die durch die Immissionsorte 1 bis 3 voneinander getrennt sind.

4.4 Die Immissionsorte

In Tabelle sind die theoretisch blendgefährdeten Wohnhäuser bzw. Gewerbegebäude (Immissionsorte) zusammengestellt.

Immissionsort	Adresse	Höhe des Fenstermitte des höchsten Geschosses über Grund
1	Bei den Borger Tannen 3, Ostfassade	OG: 6 m
2	Bei den Borger Tannen 3, Südfassade	EG: 2 m
3	Bei den Borger Tannen 4	¹⁾
4	Bei den Borger Tannen 5 und 6	²⁾
5	Bei den Borger Tannen 7	EG: 2,50 m
6	Am Wäldchen 5, Nordfassade	EG: 2 m
7	Am Wäldchen 5; Westfassade	EG: 2 m
8	Am Wäldchen 1, Westfassade	³⁾

EG :Erdgeschoss; OG: 1.Obergeschoss

¹⁾: An diesem Immissionsort (Landhaus Kreitlow) befinden sich an der Nordost- und Südwestgrenze des Grundstücks dichtstehende, immergrüne Bäume (Eiben?), die den Blick zur PV-Anlage verhindern. Im Süden des Gebäudes befinden sich nur Pkw-Einstellplätze und ein Geräteschuppen. Zum diesem Gebäude kann kein Sonnenlicht von der Anlage reflektiert werden.

²⁾: Diese Immissionsorte befinden sich nördlich der B 105, die Sicht auf die PV-Anlage ist durch hohe Hecken und die Gebäude des Immissionsortes 3 vollständig verdeckt.

³⁾: Zwischen PV-Anlage und diesem Immissionsort befinden sich ebenfalls dichtstehende, immergrüne Bäume, die die Sicht vom Immissionsort zur PV-Anlage vollständig verdecken.

Damit müssen nur die Immissionsorte 1, 2, 5 bis 7 untersucht werden.

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

Unter Blendung versteht man eine vorübergehende Funktionsstörung des Auges, die, ganz allgemein ausgedrückt, durch ein Übermaß an Licht hervorgerufen wird. Liegt eine messbare Beeinträchtigung der Sehleistung vor, spricht man von **physiologi-**

scher Blendung, wird die Blendwirkung dagegen subjektiv als unangenehm, störend oder ablenkend empfunden, ohne dass eine messbare Beeinträchtigung der Sehleistung vorhanden ist, liegt **psychologische Blendung** vor. Sind die Leuchtdichten des Umfeldes so groß, dass das visuelle System nicht mehr in der Lage ist, auf diese zu adaptieren, handelt es sich um **Absolutblendung**, sonst um **Adaptationsblendung**. Weiterhin differenziert man zwischen **direkter Blendung**, die durch eine Lichtquelle selbst ausgelöst wird, und **indirekter Blendung**, die durch das Reflexbild einer Lichtquelle erzeugt wird.

Die bei Tageslicht am häufigsten auftretende Blendung wird von der Sonne verursacht. Befindet sich die Sonne im zentralen Gesichtsfeld eines Beobachters, tritt Absolutblendung auf, bei der man nicht mehr in der Lage wäre, z.B. ein Kfz sicher zu führen, da im Gesichtsfeld des Autofahrers keine Kontraste mehr erkennbar sind. Dieser sehr gefährlichen Situation entzieht man sich, indem die Sonne gegenüber dem Auge durch eine Sonnenblende bzw. Jalousie oder durch eine Hand abgeschattet wird. Das Aufsetzen einer Sonnenbrille hilft hier kaum, da dadurch nicht nur die Intensität des Sonnenlichtes, sondern auch die Helligkeiten aller anderen Objekte im Gesichtsfeld herabgesetzt werden.

Häufig wird das Licht der Sonne auch durch glänzende Objekte ins Auge eines Betrachters gespiegelt: Wasseroberflächen, Fensterfronten von Gebäuden, verglaste Treibhäuser. Gegenüber der direkten Sonnenblendung ist bei dieser indirekten Blendung die tatsächliche Blendefahrer geringer:

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

Ob Blendung auftritt, ist sehr stark vom Winkel θ , gebildet von der Blickrichtung eines Beobachters und der Verbindungslinie Auge des Beobachters - blendende Lichtquelle (z.B. Auge des Kraftfahrers/Lokführers zur PV-Anlage) abhängig. Dieser Blickwinkel wird auch als Blendwinkel bezeichnet. **Bei Nacht** nimmt die Blendempfindlichkeit B proportional mit dem reziproken Wert des Winkelquadrats ab: $B \sim 1/\theta^2$. Bei Nacht wird physiologische Blendung deshalb nur in einem Winkelbereich $\theta \pm 30^\circ$, bezogen auf die Blickrichtung, berücksichtigt; Licht aus größeren Winkeln liefert keinen nennenswerten Betrag zur Blendung. **Bei Tageslicht** hat man andere Verhältnisse: Die Gesamthelligkeit ist um mehrere Zehnerpotenzen höher als bei Nacht. Die evtl. blendenden Objekte werden nicht wie bei Nacht gegen eine meist lichtlose Umgebung gesehen, sondern die Umgebung hat ebenfalls eine gewisse Helligkeit. Diese beiden Unterschiede 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 Nacht gibt es klare Anforderungen an die Begrenzung der Blendung, die von leuchtenden Objekten ausgeht. Für die Bewertung von Blend- oder anderen visuellen Störeffekten, die von Bauwerken oder anderen technischen Anlagen bei Tageslicht für Verkehrsteilnehmer erzeugt werden, gibt es überhaupt keine Regelwerke oder Vorschriften. Deshalb ist man hier auf Einzelfallbetrachtungen und -entscheidungen angewiesen.

Der Blickwinkel 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. Kritischer sind **Blendwinkel $5^\circ \leq \theta \leq 10^\circ$** , und besonders kritisch Winkel $\theta \leq 5^\circ$, wenn also die störende Lichtquelle direkt im Gesichtsfeld des Beobachters liegt. Ein Lokführer/Kraftfahrer hat nicht mehr die Möglichkeit, diese Lichtquelle „auszublenden“: Er muss den vor ihm liegende Gleiskörper bzw. die Straße und dessen Umgebung beobachten und alle Licht- und sonstigen Signale sowie die Anzeigeeinstrumente in der Lok oder im Pkw eindeutig erkennen können. Deshalb kann man in solchen Situationen seinen Blick nicht beliebig zur Seite richten, um einem evtl. vorhandenen Blendreflex auszuweichen.

Bei allen Situationen, in denen evtl. eine Blendgefahr besteht, ist jedoch zu berücksichtigen, dass sich die Sonne ebenfalls im Blickfeld des Beobachters befindet und das direkte Sonnenlicht **gleichzeitig** mit dem Blendreflex auf den Beobachter einwirkt.

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

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

Um die evtl. von der PV-Anlage ausgehende Blendung zu bewerten, ist es zunächst notwendig, die Wahrscheinlichkeit dafür zu ermitteln, dass von der Anlage reflektiertes Licht in das Sichtfeld eines Lokführers oder Kraftfahrers gelangt. Ist eine gewisse Wahrscheinlichkeit gegeben, muss die Intensität des ins Auge des Lokführers/Kraftfahrers reflektierten Lichts ermittelt werden. Das Blendrisiko insgesamt ergibt sich aus der Bewertung der Wahrscheinlichkeit des Auftretens und der Intensität des ins Auge eines Lokführers/Kraftfahrers reflektierten Sonnenlichts.

Die Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines Blendrisikos kann mithilfe eines so genannten Sonnenstandsdiagramms ermittelt werden. Die Bilder 2 bis 5 zeigen das Sonnenstandsdiagramm für Ribnitz-Damgarten 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.

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

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

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

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

ψ ist der horizontale Winkel zwischen der momentanen Fahrtrichtung α und der horizontalen Blickrichtung τ Lokführer-/Kraftfahrerauge - bestimmter Punkt der PV-Anlage. Nähert sich ein Zug/ein Kfz der PV-Anlage, ändern sich ständig sowohl die Blickrichtung τ des Lokführers/Kraftfahrers zur Anlage als auch die Fahrtrichtung α auf der Bahnstrecke und der B 105. Mit der Änderung von τ und α ändert sich auch der Winkel ψ mit zunehmender Annäherung an die PV-Anlage.

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

Da die Winkel α/γ für die gesamte Fläche oder eine Teilfläche der PV-Anlage bestimmt werden, bilden die α/γ -Werte eine Fläche in Form eines Polygonzuges. Diese sogenannten γ -Flächen werden in das Sonnenstandsdiagramm der Bilder 2 bis 5 eingetragen; haben sie Schnittmengen mit den roten Sonnenstandslinien, fällt Sonnenlicht ins Fahrerauge. Die dazugehörigen Jahres- und Tageszeiten können aus dem Polardigramm abgelesen werden. Bei fehlenden Schnittmengen ist keine Sonnenlichtreflexion von der PV-Anlage zu einem Lokführer/Kraftfahrer möglich. Berücksichtigt werden

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

7 Berechnungsergebnisse Bahnstrecke

Als Blickpunkte eines Lokführers wurde die Markierungen A und B in Bild 1 ausgewählt. In Bild 2 sind die berechneten γ -Flächen für diese Blickpunkte eingezeichnet.

7.1 Fahrtrichtung Südwest

Die schwarz bzw. braun gezeichneten γ -Flächen für die nördlich und südlich der Trasse gelegenen TF liegen unterhalb der Sonnenstandslinien, sogar außerhalb des Polardiagramms und haben keine Schnittpunkte mit den Sonnenstandslinien, Sonnenlichtreflexion von der PV-Anlage und Lokführerblendung sind in dieser Fahrtrichtung nicht möglich.

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

7.2 Fahrtrichtung Nordost

Die blau gezeichnete γ -Fläche für die nördlich der Trasse gelegenen TF liegt oberhalb der Sonnenstandslinien und hat keine Schnittpunkte mit diesen. Lokführerblendung ist nicht möglich. Die grün gezeichnete γ -Fläche für die südlich der Trasse gelegenen TF hat jedoch solche Schnittpunkte, Sonnenlicht kann von Mitte April bis Ende August zwischen 6 Uhr und 6.30 Uhr zum Lokführer reflektiert werden. Der Blickwinkel θ des Lokführers zur PV-Anlage liegt zwischen 1° und 20° , also teilweise im besonders blendkritischen Bereich, so dass mit einer verkehrsgefährdenden, inakzeptablen Blendung des Lokführers bei der Vorbeifahrt an der Anlage zu rechnen ist.

Abhilfemaßnahme: Die Veränderung der Modulneigung verschiebt nur die Blend- und Störwirkung in andere Tages- und Jahreszeiten und ist daher wirkungslos. Deshalb wird folgende Maßnahme vorgeschlagen: Der Zaun an der gesamten Grenze der Trasse zu den südlich der Trasse gelegenen TF wird mit einem dunklen Kunststoffgewebe ausgerüstet, das nicht mehr als 30 % Transmission besitzt. Da die Augenhöhe des Lokführers bis zu 3,30 m oberhalb der Schienenoberkante liegt und diese etwa die gleiche Höhe hat wie die Geländeoberkante der PV-Flächen, muss der zu verkleidende Zaun eine Höhe von mindestens 3,30 m haben, um den Blick des Lokführers zur PV-Anlage zu verhindern. Die Länge des mit der Abschirmung zu versehenen Zaunes ist in Bild 1 durch zwei gelbe Linien gekennzeichnet.

Der Unterzeichner hat das o.a. Kunststoffgewebe (s. Bild 6) 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 z.B. das in Bild 7 gezeigte Kunststoffnetz infrage, das etwa die gleichen Eigenschaften hat wie das geprüfte Kunststoffnetz.

8 Berechnungsergebnisse B 105

Da die an die B 105 angrenzenden TF1 und TF3 unterschiedliche Abstände zur B 105 haben, müssen die Berechnungen für die beiden Straßenabschnitte getrennt vorgenommen werden. In Bild 3 sind die berechneten γ -Flächen eingezeichnet.

8.1 Fahrtrichtung Nordost

Als Blickpunkte eines Kraftfahrers wurde die Markierungen C und E in Bild 1 ausgewählt. Die blau gezeichnete γ -Fläche von Markierung C zu TF1 ist in Bild 3 eingetragen. Sie hat Schnittpunkte mit den Sonnenstandslinien, Sonnenlicht kann von der PV-Anlage von Mai bis Mitte August gegen 6 Uhr zum Kraftfahrer reflektiert werden. Der Blickwinkel θ des Kraftfahrers zur PV-Anlage liegt zwischen 6° und 20° , also teilweise im besonders blendkritischen Bereich, so dass mit einer verkehrsgefährdenden, inakzeptablen Blendung eines Kraftfahrers bei der Vorbeifahrt an der Anlage zu rechnen ist. Trotz der größeren Entfernung bei TF3 als bei TF1 zur B 105 ist die berechnete γ -Fläche von Markierung E zu TF3 praktisch identisch mit der γ -Fläche von Markierung C zu TF1, so dass für die Vorbeifahrt an TF3 das gleiche Kraftfahrer-Blendrisiko besteht wie bei der Vorbeifahrt an TF1.

8.2 Fahrtrichtung Südwest

Als Blickpunkte eines Kraftfahrers wurde die Markierungen D und F in Bild 1 ausgewählt. Die grün gezeichnete γ -Fläche für Markierung D zu TF1 ist in Bild 3 eingetragen. Sie ist wieder praktisch identisch mit der γ -Fläche von Markierung F zu TF 3, so dass auf die Wiedergabe dieser γ -Fläche verzichtet werden kann. Beide γ -Flächen liegen außerhalb des Polardiagramms, Kraftfahrerblendung tritt in dieser Fahrtrichtung nicht auf.

8.3 Abhilfemaßnahmen

Abhilfemaßnahme 1: Auch auf dem Zaun an der Grenze von TF1 und TF3 zur B 105 sollte das gleiche Kunststoffgewebe angebracht werden wie an der Bahntrasse. Da die Augenhöhe eines Lkw-Fahrers höchstens 2,5 m beträgt, genügt eine Zaunhöhe von 2,50 m zur Anbringung des Kunststoffgewebes. Die Länge des mit der Abschirmung zu versehenen Zaunes ist in Bild 1 durch zwei grüne Linien gekennzeichnet.

Abhilfemaßnahme 2: Die Anbringung der Abschirmung auf dem Zaun bei TF1 und TF3 kann bei folgender Maßnahme entfallen:

- Die nördlichsten Modulreihen von TF1 werden über eine Tiefe von ca. 42 m senkrecht zur B 105 parallel zur Fahrtrichtung der B 105 gedreht.
- Die nördlichsten Modulreihen von TF3 werden ebenfalls parallel zur B 105 gedreht; zur Einhaltung der LAI-Hinweise ist eine teilweise Moduldrehung bei TF3 ebenfalls notwendig (s. Abschnitt 10.1).

In Bild 3 sind auch die γ -Flächen für TF1 und TF3 bei der Moduldrehung parallel zur B 105 für beide Fahrtrichtungen eingezeichnet. Sie haben keine Schnittpunkte mit den Sonnenstandslinien, eine Kraftfahrerblendung tritt nicht auf.

Die Flächenanteile von TF1 und TF3, bei denen die Modulreihen gedreht werden sollten, sind in Bild 1 dunkelrot schraffiert dargestellt. Bei TF3 wird die dunkelrot schraffierte Fläche von der hellrot gezeichneten Fläche überlappt, deren Modulreihen gemäß Empfehlung in Abschnitt 10.1 zur Verhinderung der Blendung zu Immissionsort 1 ebenfalls parallel zur B 105 gedreht werden sollten.

9 Blend- und Störf Wirkung von sich in Gebäuden aufhaltenden Personen

Lichtimmissionen gehören nach dem Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) formal zu den schädlichen Umwelteinwirkungen, wenn sie nach Art, Ausmaß oder Dauer geeignet sind, Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit oder für die Anwohner herbeizuführen. Weitere Ausführungen hierzu macht das BImSchG jedoch nicht. Die von PV-Freiflächenanlagen verursachte Blend- und Störf Wirkung von Personen, die sich in Wohn- oder Gewerbegebäuden aufhalten, wird im Allgemeinen nach den „Hinweisen zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen“ der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) vom 13. 9. 2012, Anhang 2, (Stand 3. 11. 2015) vorgenommen (im Folgenden „LAI-Hinweise“ genannt). Die Blend- und Störf Wirkung = Lichtimmission ist durch die Zeit definiert, in der Sonnenlicht von der PV-Anlage auf die Fensterflächen der betroffenen Gebäude (Immissionsorte) auftrifft. Diese Zeit, damit ist die astronomisch maximal mögliche Zeit von Sonnenaufgang bis Sonnenuntergang gemeint, darf täglich 30 min und im Kalenderjahr 30 Stunden nicht überschreiten („30 Minuten-/30 Stunden-Regel“).

Die LAI-Hinweise gelten für „schutzwürdige Räume“. Dazu gehören

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

Lt. Abschnitt 7e. der LAI-Hinweise sind die Sonne als punktförmig und die Solarmodule als ideal verspiegelt zu betrachten, so dass die Berechnungen gemäß dem Reflexionsgesetz Einfallswinkel = Ausfallswinkel durchgeführt werden können. Tatsächlich wird das Sonnenlicht von den üblicherweise verwendeten Solarmodulen aber auch teilweise gestreut reflektiert. Das führt dazu, dass das Sonnenlicht z.T. spiegelnd (Kernreflex) und z.T. gestreut (Streureflex) reflektiert wird. Der Streureflex kann je nach Entfernung Beobachter - PV-Anlage und Grad der Streuwirkung bis zu 40 min vor dem Kernreflex auftreten und erst bis zu 40 min nach dem Kernreflex verschwinden. Die Intensität des Streureflexes ist aber immer deutlich geringer als die Intensität des Kernreflexes und erzeugt daher keine nennenswerte Störf Wirkung. Alle durchzuführenden Berechnungen beziehen sich daher nur auf den Kernreflex, die zusätzliche Reflexionszeit durch den Streureflex wird nach den LAI-Hinweisen nicht berücksichtigt.

In den LAI-Hinweisen wird ausgeführt: „*Wirkungsuntersuchungen oder Beurteilungsvorschriften zu diesen Immissionen sind bisher nicht vorhanden.*“ Mangels solcher Untersuchungen wurde der Inhalt der Regelungen der LAI-Hinweise daher weitgehend

den „Hinweisen zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen“ (WEA-Schattenwurf-Hinweise) des LAI entlehnt. Diese Übertragung ist sehr angreifbar, da die durch den Schattenwurf von Windkraftanlagen erzeugte 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 weiter ausgeführt: *„Der genannte Wertungsmaßstab kann allenfalls ein erster Anhaltspunkt für die Beurteilung von Blendungen sein. Im Einzelfall muss dann aber begründet werden, warum eine Übertragbarkeit gegeben, bzw. aufgrund welcher Überlegungen eine ggf. abweichende Bewertung erfolgt ist.“*

Diese Einschränkung der Bewertungsmöglichkeit der Lichtimmissionen durch die LAI-Hinweise führt dazu, dass die LAI-Hinweise nur eine Empfehlung darstellen und deshalb nur in wenigen Bundesländern verbindlich zur Bewertung von Lichtimmissionen vorgeschrieben sind. Sie stellen aber den Stand der Technik dar und können, wenn einige Änderungen an der Bewertungsmethodik vorgenommen werden, durchaus sinnvoll angewendet werden. Folgende Aspekte der LAI-Hinweise werden im Folgenden modifiziert bzw. neu aufgenommen:

- a. Es heißt in den LAI-Hinweisen, dass Immissionsorte, die sich weiter als ca. 100 m von einer Photovoltaikanlage entfernt befinden, erfahrungsgemäß nur kurzzeitige Blendwirkungen erfahren. Nur Immissionsorte, die vorwiegend westlich oder östlich einer Photovoltaikanlage liegen und nicht weiter als ca. 100 m von dieser entfernt sind, seien hinsichtlich einer möglichen Blendung als kritisch zu betrachten. Dieser Aussage ist nicht zuzustimmen, denn nach den Erfahrungen des Unterzeichners bei der Begutachtung vieler PV-Anlagen können PV-Anlagen auch dann eine längere und damit unzumutbare Störf Wirkung entfalten, wenn ihre Entfernung von Immissionsort beträchtlich größer als 100 m ist, z.B. wenn sich die betroffenen Fenster sehr weit oberhalb des PV-Anlagengeländes befinden, das Anlagengelände ein erhebliches Gefälle in oder gegen die Richtung Immissionsort aufweist oder die PV-Fläche sehr ausgedehnt ist. Außerdem wird in den LAI-Hinweisen nicht gesagt, wie verfahren werden soll, wenn, wie im vorliegenden Fall, die PV-Anlage teilweise innerhalb und teilweise außerhalb der 100 m-Zone liegt. Deshalb wird vom Unterzeichner die evtl. Blendwirkung für Anwohner generell unabhängig von der Entfernung der betroffenen Immissionsorte berechnet.
- b. In den WEA-Schattenwurfhinweisen wird Schattenwurf für Sonnenstände $\gamma \leq 3^\circ$ Erhöhung über Horizont wegen Bewuchs, Bebauung und der zu durchdringenden Atmosphärenschichten in ebenem Gelände vernachlässigt. Gerade diese wichtige, sehr sinnvolle Einschränkung bzw. eine vergleichbare Regelung fehlt in den LAI-Hinweisen. Deshalb wird vom Unterzeichner folgende, den Schattenwurfhinweisen analoge Regelung verwendet: Sonnenlicht, das unter Winkeln $\gamma \leq 7,5^\circ$ von einer PV-Anlage in Richtung Immissionsort reflektiert wird, wird wegen dessen geringer Intensität (vergleichbar der Intensität des direkten Sonnenlichts, das unter $\gamma = 3^\circ$ reflektiert wird, d.h. unmittelbar nach Sonnenaufgang oder vor Sonnenuntergang) und wegen Bewuchs, Bebauung und der zu durchdringenden Atmosphärenschichten in ebenem Gelände generell nicht berücksichtigt.
- c. Sonnenlicht, das sehr streifend in die Fensterflächen betroffener Gebäude fällt, trifft nur auf das Mauerwerk der gegenüberliegenden Seite der Fensteröffnung und kann nicht in den dahinter liegenden Raum eindringen. Der (horizontale) Winkel δ zwi-

schen Hausfassade bzw. Fensterfläche und der Einfallrichtung des Sonnenlichts, unter dem das Sonnenlicht nicht in den Raum eindringen kann, hängt von der Fensterbreite und der Tiefe des Mauerwerks ab. Bei einer Mauerwerkstiefe von 0,41 m (zweischalige Bauweise) und einer Fensterbreite (nur verglaste Fläche, also ohne Fensterrahmen) von z.B. 1,20 m trifft das Sonnenlicht bei Winkeln bis zu ca. 19°, 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 δ 35°, bei schrägliegenden Dachgeschossfenstern ca. 10°. Bei den Berechnungen ist der für die jeweiligen Fenster maßgebliche Winkelbereich nicht zu berücksichtigen.

10 Berechnungsergebnisse der Blend- und Störf Wirkung von sich in Gebäuden aufhaltenden Personen

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

10.1 Immissionsorte 1 und 2, Bei den Borger Tannen 3

Die berechneten γ -Flächen sind in Bild 4 in grüner und schwarzer Farbe wiedergegeben. Sie haben Schnittpunkte mit den Sonnenstandslinien, Sonnenlicht kann von der PV-Anlage zu Immissionsort 1 von Mitte März bis September zwischen 6 Uhr und 7.20 Uhr MEZ reflektiert werden. Zu Immissionsort 2 erfolgt die Sonnenlichtreflexion etwa vom 7. April bis 3. Mai und vom 15. August bis 8. September zwischen 6 Uhr und 6.15 Uhr. In Tabelle 2 sind die aus den γ -Flächen berechneten Reflexionszeiten aufgelistet.

Immissionsort	Reflexionstage pro Jahr	Maximale tägliche Reflexionszeit	Mittlere tägliche Reflexionszeit	Astronomisch mögliche jährliche Reflexionszeit im Kalenderjahr
1	178	43,9 min	38,8 min	178 · 43,4 min = 115 Stunden
2	54	15,4 min	11,5 min	54 · 11,5 min = 10,35 Stunden

Tabelle 2: Maximale tägliche und mögliche jährliche Reflexionszeiten für Immissionsorte 1 und 2, Bei den Borger Tannen 3

Bei Immissionsort 1 wird die 30 Minuten-/30 Stunden-Regel der LAI-Hinweise sowohl bei der täglichen maximalen als auch bei der jährlichen Reflexionszeit weit überschritten. Bei Immissionsort 2 wird diese Regel jedoch eingehalten.

Abhilfemaßnahme: Um die Reflexionszeiten auf die nach LAI-Hinweisen zulässigen Zeiten mittels des Kunststoffgewebes auf dem Zaun zu reduzieren, müsste der Zaun 5 bis 6 m hoch sein, da die Höhe der Fenstermitte im OG von Immissionsort 1 ca. 6 m beträgt. Das ist technisch aufwändig (Windlast) und sicherlich nicht genehmigungsfähig. Deshalb wird folgende Abhilfemaßnahme vorgeschlagen: Die Sonnenlichtreflexion

stammt aus dem nördlichen Teil von TF3. Die Modulreihen auf dieser Teilfläche sollten um $33,4^\circ$ gegen den Uhrzeiger gedreht werden, so dass sie parallel zur nördlichen Grenze von TF3 bzw. parallel zur B 105 angeordnet sind. Die für dieses Modullayout berechnete γ -Fläche ist in Bild 4 in blauer Farbe eingezeichnet. Sie hat im Bereich der Sonnenhöhenwinkel $\gamma \geq 7,5^\circ$ keine Schnittpunkte mit den Sonnenstandslinien, Blend- und Störf Wirkung für die Bewohner von Immissionsort 1 tritt nicht auf. Die Teilfläche von TF3, die gemäß dieser Empfehlung gedreht werden sollte, ist in Bild 1 hellrot schraffiert dargestellt.

In Abschnitt 8.3 wurde bereits geklärt, dass die Drehung dieser Modulreihen auch zur Verhinderung von Kraftfahrerblendung hilfreich ist.

10.2 Immissionsort 5, Bei den Borger Tannen 7 und Immissionsorte 6 und 7, Am Wäldchen 5

Die γ -Flächen für diese Immissionsorte sind in Bild 5 eingetragen. Sie haben Schnittpunkte mit den Sonnenstandslinien. Zu Immissionsort 5 kann nur an je 5 Tagen im April und September Sonnenlicht gegen 6.05 Uhr MEZ reflektiert werden, zu den Immissionsorten 6 und 7 erfolgt die Sonnenlichtreflexion theoretisch vom 8. April bis 7. September zwischen 18 Uhr und 19 Uhr MEZ, also in der Vegetationszeit. Die Reflexionszeiten enthält Tabelle 3.

Immissionsort	Reflexionstage pro Jahr	Maximale tägliche Reflexionszeit	Mittlere tägliche Reflexionszeit	Astronomisch mögliche jährliche Reflexionszeit im Kalenderjahr
5	10	3,1 min	1,54 min	$10 \cdot 1,54 \text{ min}$ = 0,26 Stunden
6	154	20,0 min	16,69 min	$154 \cdot 16,69 \text{ min}$ = 42,8 Stunden
7	139	7,3 min	4,80 min	$146 \cdot 5,98 \text{ min}$ = 11,1 Stunden

Tabelle 3: Maximale tägliche und mögliche jährliche Reflexionszeiten für die Immissionsorte 5 bis 7

Bei den Immissionsorten 5 und 7 werden die Anforderungen der LAI-Hinweise erfüllt, bei Immissionsort 6 jedoch überschritten. Vor dem Wohngebäude Am Wäldchen 5 - Immissionsorte 6 und 7 - sind dichtstehende Laubgehölze vorhanden, die den Blick von diesem Gebäude zu PV-Anlage in der Vegetationszeit vollständig verhindern. Damit werden die Anforderungen der LAI-Hinweise auch für die Immissionsorte 6 und 7 erfüllt.

11 Zusammenfassung

Es wurde untersucht, ob die geplante PV-Anlage Ribnitz-Damgarten-Borg ein Blendrisiko für Lokführer auf der Bahnstrecke Rostock- Ribnitz-Damgarten und Nutzer der B 105 erzeugt und ob Personen in Wohn- und Gewerbegebäuden (Immissionsorten) durch von der PV-Anlage reflektiertes Sonnenlicht gestört oder belästigt werden.

In Fahrtrichtung Nordost werden Lokführer und Kraftfahrer beim geplanten Modullayout durch die Anlage geblendet. Die Lokführerblendung kann verhindert werden, wenn der Zaun zwischen Bahntrasse und PV-Flächen (s. Bild 1) mit einem dunklen Kunststoffgewebe ausgestattet wird.

Die Kraftfahrerblendung tritt nicht auf, wenn die Modulreihen der Teilflächen 1 und 3, die an die B 105 angrenzen, im nördlichen Bereich um $33,4^\circ$ gegen den Uhrzeiger gedreht werden

Am Immissionsort Bei den Borger Tannen 3 werden die Anforderungen der „Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen“ (LAI-Hinweise) deutlich überschritten. Die LAI-Hinweise können eingehalten werden, wenn bei einem Teil der Teilfläche 3 der PV-Anlage (s. Bild 1) die Modulreihen ebenfalls um $33,4^\circ$ gegen den Uhrzeiger gedreht werden.

Nach Durchführung der empfohlenen Änderungsmaßnahmen ist gegen die Errichtung der Photovoltaik-Freiflächenanlage Ribnitz-Damgarten-Borg aus Sicht des Unterzeichners nichts einzuwenden.



Dieses Gutachten wurde nach bestem Wissen und Gewissen angefertigt.

Anhang

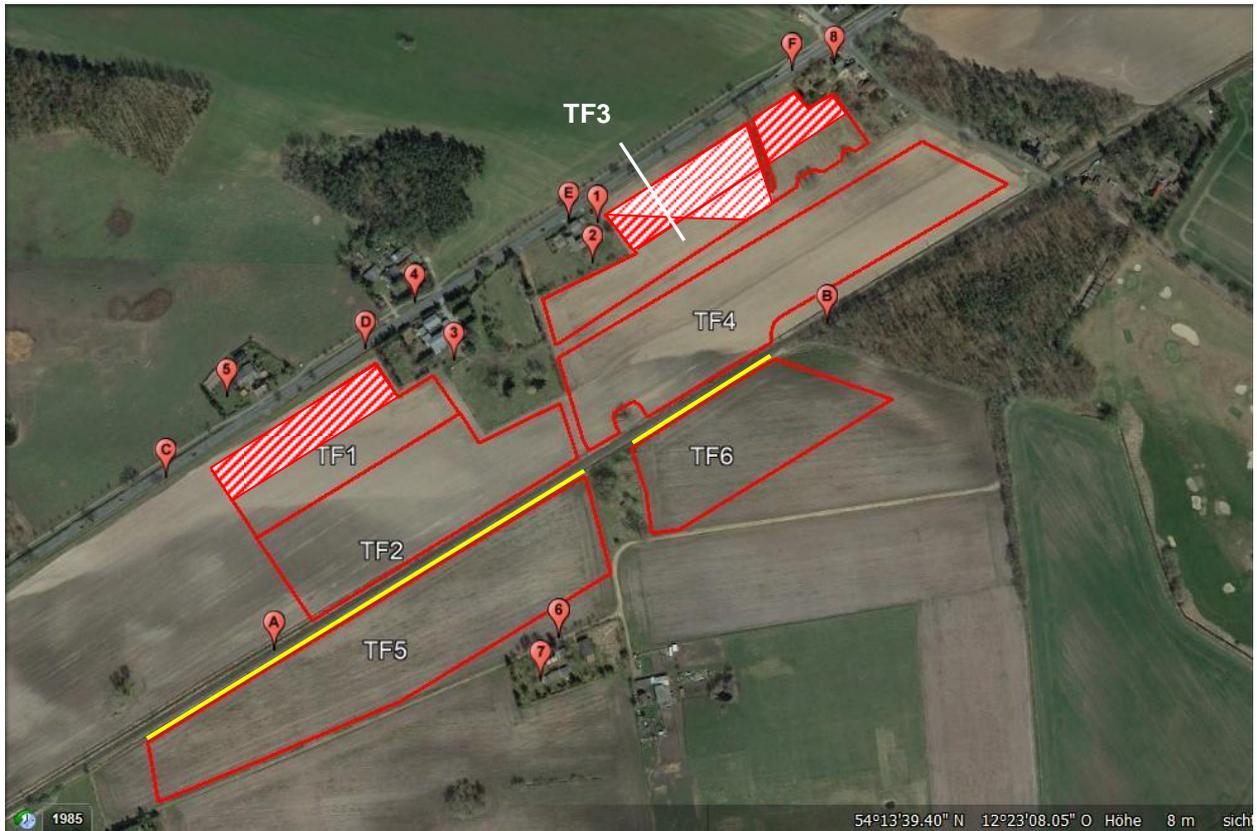


Bild 1: Schematische Darstellung der PV-Anlage Ribnitz-Damgarten mit Markierung der verschiedenen Blickpunkte

Gelbe Linien: Zaunabschirmung an der Bahntrasse

- : Teilflächen von TF1 und TF 3, bei denen die Modulreihen um $33,4^\circ$ gegen den Uhrzeigersinn zur Verhinderung von Kraftfahrerblendung gedreht werden sollten
- : Teilfläche von TF 3, bei der die Modulreihen um $33,4^\circ$ gegen den Uhrzeigersinn zur Verhinderung der Blendung für Immissionsort 1 gedreht werden sollten

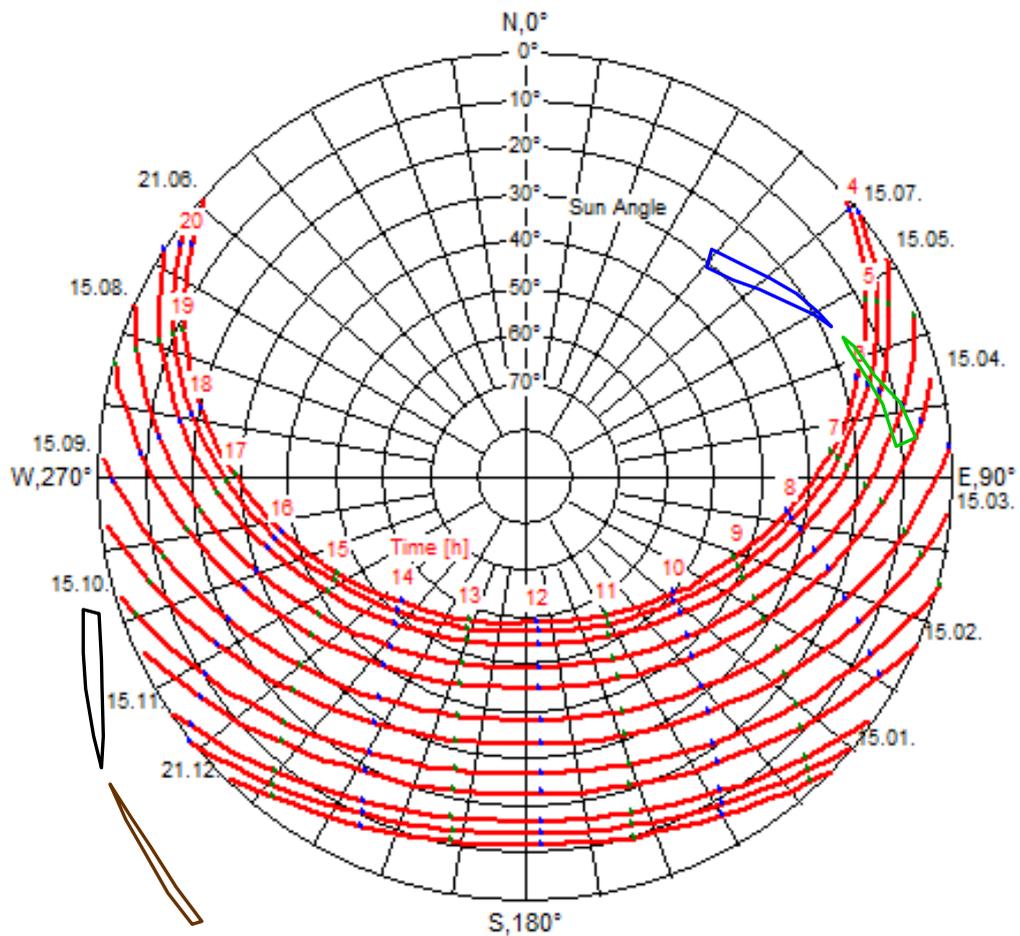


Bild 2: Monatlicher Sonnenstand (Sonnenhöhe und -richtung; rote Linien) für Ribnitz-Damgarten mit γ -Flächen für die Vorbeifahrt auf der Bahnstrecke Rostock-Ribnitz-Damgarten in Borg

Quelle des Sonnenstandsdiagramms: www.stadtklima-stuttgart.de;
Copyright: © Lohmeyer GmbH & Co. KG, Karlsruhe 2007

- : Markierung A zu Flächen nördlich der Trasse, Fahrtrichtung Nordost
- : Markierung A zu Flächen südlich der Trasse, Fahrtrichtung Nordost
- : Markierung B zu Flächen nördlich der Trasse, Fahrtrichtung Südwest
- : Markierung B zu Flächen südlich der Trasse, Fahrtrichtung Südwest

S

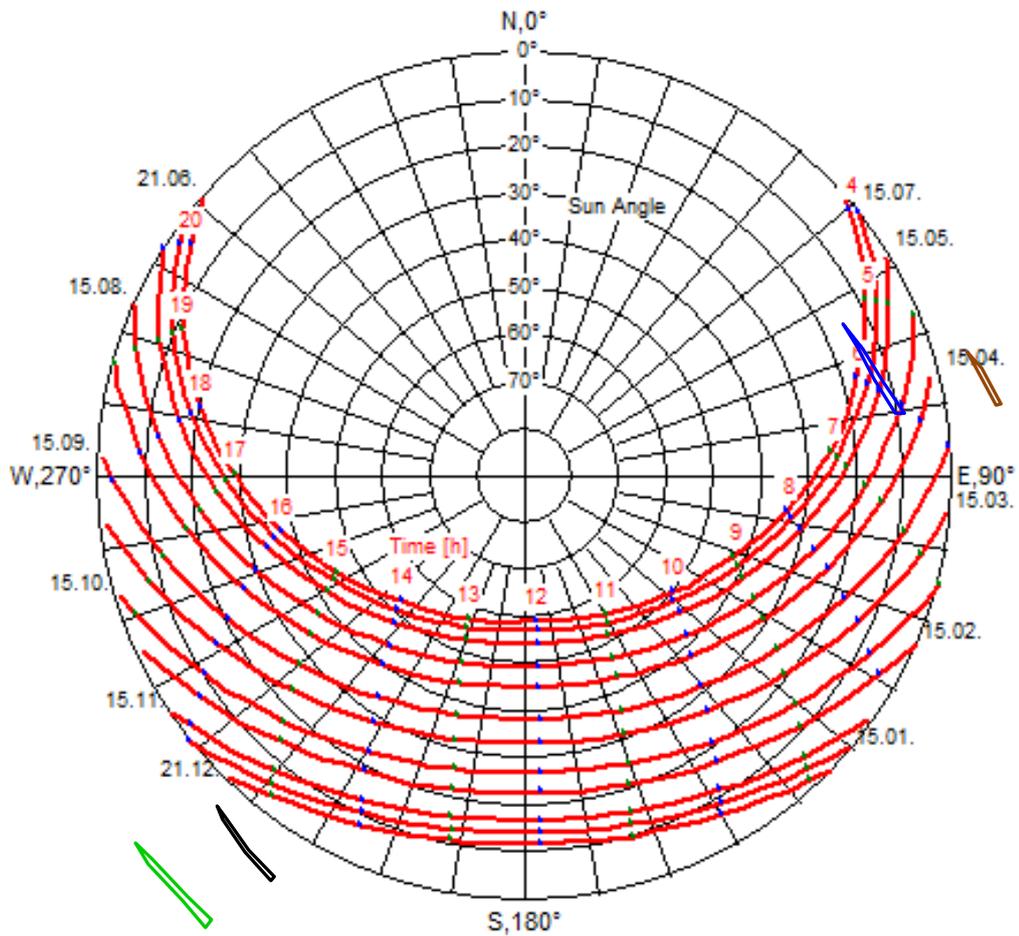


Bild 3: Monatlicher Sonnenstand (Sonnenhöhe und -richtung; rote Linien) für Ribnitz-Damgarten mit γ -Flächen für die Vorbeifahrt auf der B 105 in Borg

Markierung C zu TF1 und Markierung E zu TF3, Fahrtrichtung Nordost

— : Modulreihen in Ost-West-Richtung

— : Modulreihen um $33,4^\circ$ gegen den Uhrzeiger gedreht

Markierung D zu TF1 und Markierung F zu TF3, Fahrtrichtung Südwest

— : Modulreihen in Ost-West-Richtung

— : Modulreihen um $33,4^\circ$ gegen den Uhrzeiger gedreht

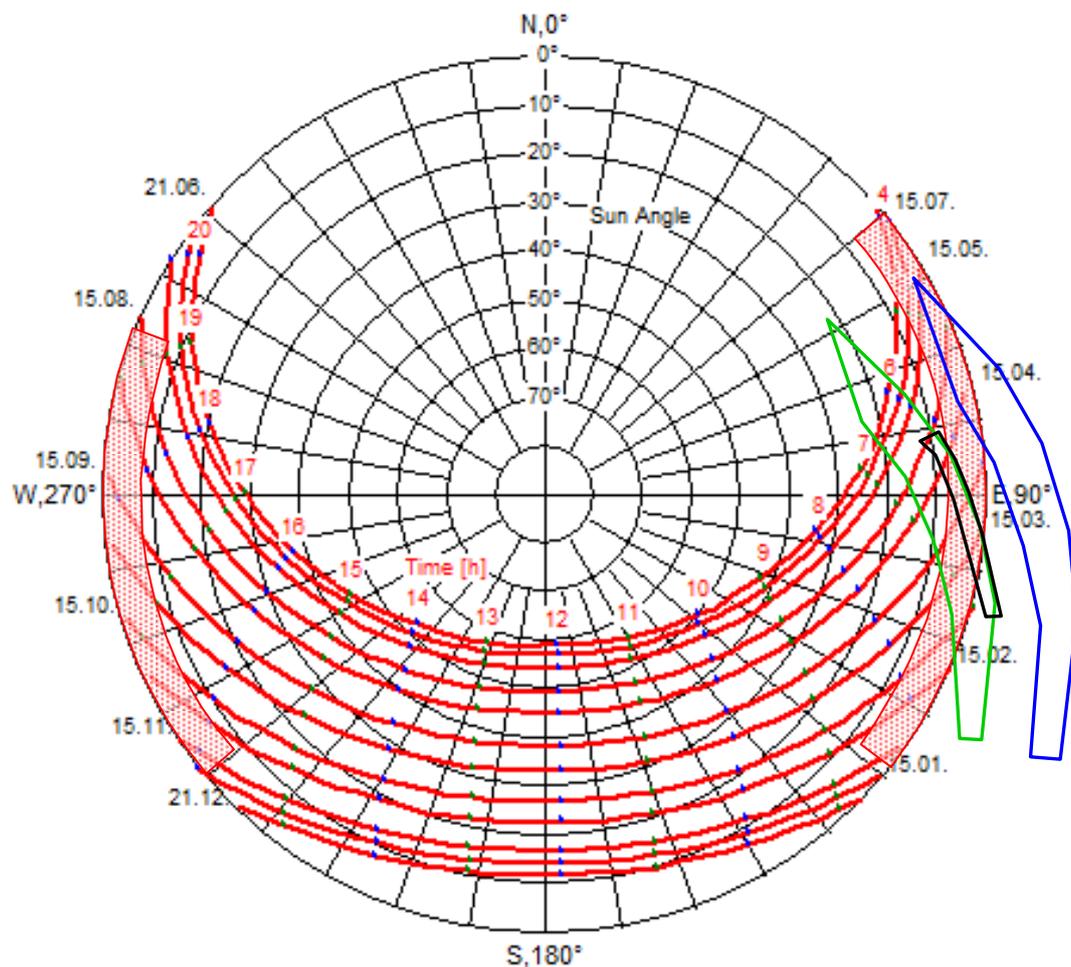


Bild 4: Monatlicher Sonnenstand (Sonnenhöhe und -richtung; rote Linien) für Ribnitz-Damgarten mit γ -Flächen für Immissionsorte in Borg

- : von Immissionsort 1 Bei den Borger Tannen 3 Ostfassade, zu TF3
- : von Immissionsort 2 Bei den Borger Tannen 3 Südfassade, zu TF3
- : von Immissionsort 1 Bei den Borger Tannen 3 Ostfassade, zu TF3, Drehung Modulausrichtung um $33,4^\circ$ gegen den Uhrzeigersinn

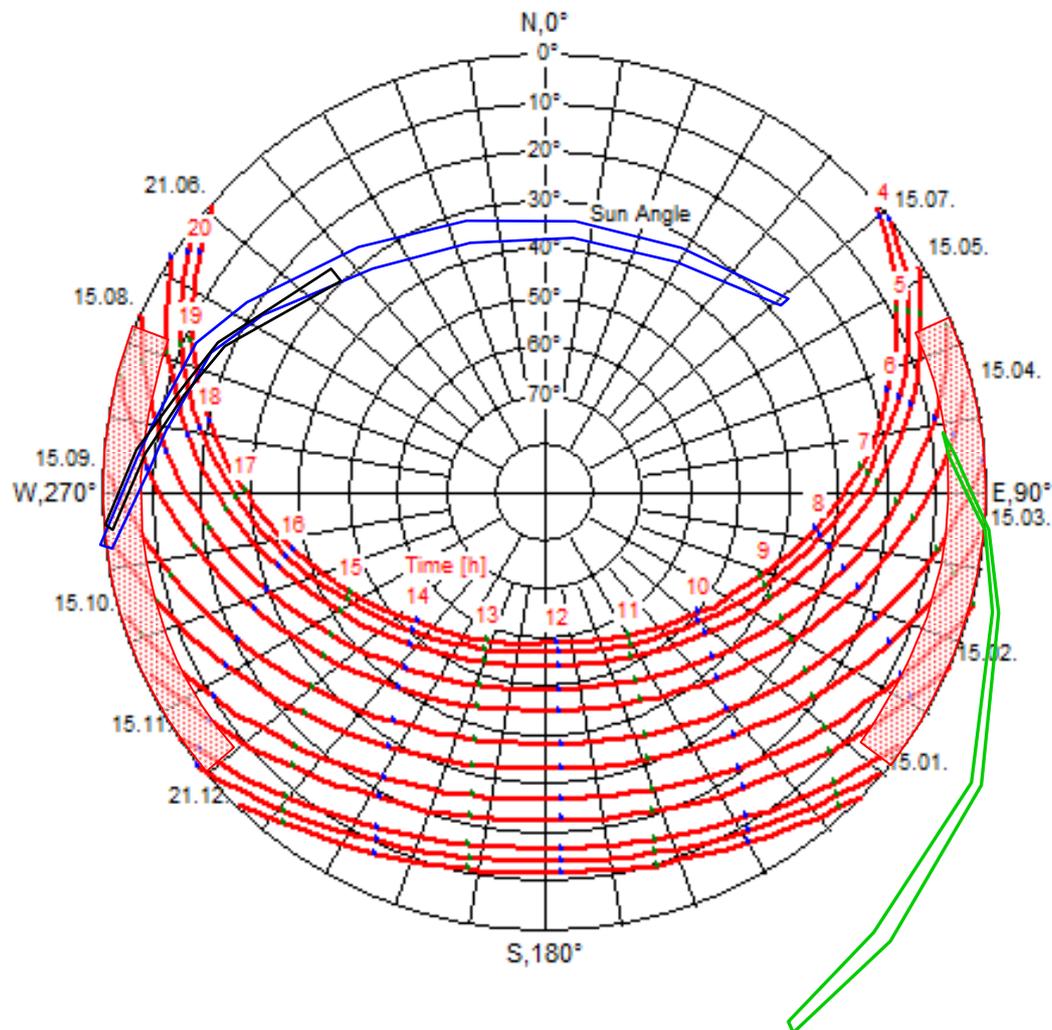


Bild 5: Monatlicher Sonnenstand (Sonnenhöhe und -richtung; rote Linien) für Ribnitz-Damgarten mit γ -Flächen für Immissionsorte in Borg

- : von Immissionsort 5 Bei den Borger Tannen 7 Südfassade, zu TF1
- : von Immissionsort 6 Am Wäldchen 5 Nordfassade, zu TF4 und TF5
- : von Immissionsort 7, Am Wäldchen 5 Westfassade, zu TF4 und TF5



*Bild 6: Untersuchtes Kunststoffgewebe der Fa. Evios Energy Systems GmbH
Maßstab: ca. 1:2*



*Bild 7: Untersuchtes Kunststoffgewebe, Lieferant Fa. evia Verkehrstechnik GmbH/ACCURA NTV KG
Maßstab: ca. 1:2*