

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

Berlin, den 18. 9. 2024

B l e n d g u t a c h t e n
G75/2024
zum vorhabenbezogenen Bebauungsplan Nr. 07 "Photovoltaikanlage
westlich der Ortslage Wredenhagen" der Gemeinde Eldetal
(Wredenhagen II)

(Dieses Gutachten besteht aus 7 Seiten
und einem Anhang mit weiteren 4 Seiten)

1 Auftraggeber

Den Auftrag zur Erarbeitung des Gutachtens erteilte die E&S Projektentwicklungs- und Projektvermittlungs GmbH, Kirchsteig 1 in 17214 Silz.

Auftragsdatum: 11. 9. 2024

2 Auftragsache

Die Fa. E&S plant die Errichtung einer dreiteiligen Freiflächen-Photovoltaikanlage in der Nähe von Wredenhagen in unmittelbarer Nähe zur Kreisstraße MSE 13. Es stellt sich die Frage, ob Kraftfahrer, die diese Straße befahren, durch die PV-Anlage in unzumutbarer Weise geblendet oder belästigt werden könnten. Dieses Gutachten dient der Untersuchung der Frage, ob und mit welcher Häufigkeit solche Situationen entstehen können und falls ja, welche Abhilfemöglichkeiten bestehen.

3 Definitionen

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

Es werden folgende Winkel verwendet:

Sonnenhöhenwinkel (vertikaler Sonnenwinkel)	γ
Azimut (horizontaler Sonnenwinkel) bzw. momentane Fahrtrichtung eines Kfz	α
Orientierung der Modultischreihen	ν
vertikaler Winkel des von den Solarmodulen reflektierten Lichts	δ
Neigung der PV-Module gegen Süd	ε
vertikaler Blickwinkel Kraftfahrer - vor ihm liegende Fahrbahn	σ

im Raum liegender Blickwinkel (gebildet durch die Blickrichtung eines Kraftfahrers - Richtung reflektiertes Sonnenlicht)	θ
horizontaler Blickwinkel Kraftfahrer - PV-Anlage	τ
Differenz $\alpha - \tau$ (horizontale Blickrichtung Kraftfahrer - PV-Anlage)	ψ
vertikaler Blickwinkel Kraftfahrer - PV-Anlage	λ

4 Informationen zur Photovoltaik-Anlage

Die topografischen Daten und die Beschreibung der Anlage beruhen auf folgenden Informationen, die von der Fa. E&S zur Verfügung gestellt wurden:

- Bebauungsplan
- Modulbelegungsplan
- Modultischquerschnitt

Die Entfernungen, horizontalen Winkel und Geländehöhen wurden mit google earth ermittelt. Der monatliche Sonnenstand für Wredenhagen (Sonnenhöhe und -azimut) wurde mit der Website www.stadtklima-stuttgart.de bestimmt. Weitere Informationen wurde mit dem Programm street view gewonnen. Die Berechnung der Winkel des reflektierten Sonnenlichts erfolgte mit eigenen Excel-Programmen.

5 Beschreibung der PV-Anlage Wredenhagen II und topografische Daten

5.1 Die PV-Anlage

Die dreiteilige Anlage befindet sich nördlich und südlich der Straße MSE 13, s. Bild 1 im Anhang, und wird auf einem bisher landwirtschaftlich genutzten Gelände errichtet. Die Geländeoberkante (GOK) der nördlichen Teilfläche TF1 (s. Bild 1) steigt von Ost nach West von ca. 70 m auf 81 m über Normalhöhennull (NHN), die GOK von TF2 steigt von Nord in Richtung Ost, Süd und West von ca. 79 m bis 82 m und die GOK von TF3 steigt von West nach Nord, Nordost und Süd von ca. 79 m auf 82 m.

Es werden Module des Herstellers Canadian Solar, Typ CS3W-450MS mit einer Moduleleistung von 450 W_{peak} installiert. Die PV-Leistung beträgt 74,407 MW_{peak}. Die Modulfläche liegt bei ca. 46,5 ha. Die Modultischreihen verlaufen von Ost nach West ($\nu = 90^\circ$). Die Länge der Modultischreihen entspricht der jeweils verfügbaren Breite der PV-Fläche. Die Modulneigung ε beträgt 17° nach Süd. Modulober- und -unterkante befinden sich 2,92 m bzw. 0,80 m über GOK.

5.2 Die MSE 13

Die Straße hat zwei Fahrstreifen. Von Westen kommend, beträgt der Fahrtrichtungswinkel bei Markierung D in Bild 1 ca. $67,3^\circ$, dreht hinter Markierung C in einer langgezogenen S-Kurve zunächst auf 82° und dreht bei Markierung B zurück auf ca. $66,3^\circ$. Die Fahrbahnoberkante (FOK) der Straße liegt bei Markierung D bei 82 m und fällt bis Markierung A kontinuierlich auf 74 m. Von der Straße ist ein freier Blick zu TF1 und TF2 gegeben. Ein Blick zu TF3 ist von der MSE 13 wegen des dazwischenliegenden Walds nicht möglich. In der Nähe von TF3 ist keine öffentliche Straße vorhanden. Diese Teilfläche muss daher nicht untersucht werden.

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

Unter Blendung versteht man eine vorübergehende Funktionsstörung des Auges, die, ganz allgemein ausgedrückt, durch ein Übermaß an Licht hervorgerufen wird. Liegt eine messbare Beeinträchtigung der Sehleistung vor, spricht man von **physiologischer Blendung**, wird die Blendwirkung dagegen subjektiv als unangenehm, störend oder ablenkend empfunden, ohne dass eine messbare Beeinträchtigung der Sehleistung vorhanden ist, liegt **psychologische Blendung** vor. Sind die Leuchtdichten des Umfeldes so groß, dass das visuelle System nicht mehr in der Lage ist, auf diese zu adaptieren, handelt es sich um **Absolutblendung**, sonst um **Adaptationsblendung**. Weiterhin differenziert man zwischen **direkter Blendung**, die durch eine Lichtquelle selbst ausgelöst wird, und **indirekter Blendung**, die durch das Reflexbild einer Lichtquelle erzeugt wird.

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

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

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

Ob Blendung auftritt, ist sehr stark vom Winkel θ , gebildet von der Blickrichtung eines Beobachters und der Verbindungslinie Auge des Beobachters - blendende Lichtquelle (Auge des Kraftfahrers zur PV-Anlage), abhängig. **Bei Nacht** nimmt die Blendempfindlichkeit B proportional mit dem reziproken Wert des Winkelquadrats ab: $B \sim 1/\theta^2$. Bei Nacht wird physiologische Blendung deshalb nur in einem Winkelbereich $\theta \pm 30^\circ$, bezogen auf die Blickrichtung, berücksichtigt; Licht aus größeren Winkeln liefert keinen nennenswerten Betrag zur Blendung. **Bei Tageslicht** hat man andere Verhältnisse: Die Gesamthelligkeit ist um mehrere Zehnerpotenzen höher als bei Nacht. Die evtl. blendenden Objekte werden nicht wie bei Nacht gegen eine meist lichtlose Umgebung gesehen, sondern die Umgebung hat ebenfalls eine gewisse Helligkeit. Die-

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

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

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

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

7.1 Zeitliche Wahrscheinlichkeit der Sonnenlichtreflexion ins Auge eines Kraftfahrers

7.1.1 Sehbedingungen eines Kraftfahrers

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

Die Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines Blendrisikos kann mithilfe eines so genannten Sonnenstandsdiagramms ermittelt werden. Die Bilder 2 und 3 zeigen das Sonnenstandsdiagramm für Wredenhagen 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 Blickwinkel θ zwischen Kraftfahrer und PV-Anlage ermittelt werden. θ ergibt sich aus folgender Formel:

$$\cos \theta = \cos \sigma \cdot \cos \lambda \cdot \cos \psi \quad (1)$$

Die in dieser Formel genannten Winkel müssen gemäß den Sehbedingungen für bestimmte Situationen der Vorbeifahrt von Kraftfahrern an der PV-Anlage ermittelt werden.

Die Berechnungen wurden für die Sehbedingungen eines Lkw-Fahrers durchgeführt, die hinsichtlich einer Sonnenlichtreflexion ins Fahrerauge kritischer anzusehen sind als die Bedingungen für einen Pkw-Fahrer: Die maximale Augenhöhe eines Lkw-Fahrers beträgt ca. 2,40 m, die des Pkw-Fahrers ca. 1,12 m; deshalb kann eine PV-Anlage vom höher sitzenden Lkw-Fahrer u.U. zeitlich eher und auf größere Entfernungen gesehen werden, wodurch theoretisch die Sonnenlichtreflexion zum Kraftfahrer erhöht werden kann. Es kann angenommen werden, dass der Fahrer bei einer Fahrt auf einer Straße normalerweise auf einen Punkt auf der Fahrbahn blickt, der etwa 50 m vor ihm liegt. Daraus ergibt sich mit der mittleren Augenhöhe eines Lkw-Fahrers h_F von 2,40 m ein vertikaler Winkel σ von ca. $-2,9^\circ$ (Blick leicht nach unten). Dieser Winkel σ wurde bei den weiteren Berechnungen zugrunde gelegt.

7.1.2 Auswertung mittels des Sonnenstandsdiagramms

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

Damit Sonnenlicht in Richtung Kraftfahrerauge reflektiert werden kann, muss der vertikale Blickwinkel des Kraftfahrerauges 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 bestimmte Punkte der Annäherung eines Kfz an die bzw. Vorbeifahrt an der PV-Anlage werden nun mittels google earth die Winkel τ , α , ψ bestimmt, dann wird nach obiger Formel (1) der Winkel θ berechnet. Mit den weiteren Parametern Neigung der Module $\varepsilon = 17^\circ$ nach Süd, der Modultischausrichtung Ost-West 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 PV-Module fallen müsste, damit das reflektierte Licht ins Auge eines Kraftfahrers fallen kann.

Die Ergebnisse der Berechnungen für α und γ werden in das Sonnenstandsdiagramm für Wredenhagen eingetragen. Die Berechnungen werden für einzelne Teilflächen der PV-Anlage von einem festen Beobachterstandort aus durchgeführt, daher 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 ins Auge eines Kraftfahrers; die dazugehörigen Jahres- und Tageszeiten können aus dem Polardiagramm abgelesen werden. Bei fehlenden Schnittpunkten ist keine Sonnenlichtreflexion zum Kraftfahrer möglich.

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

7.2 Ergebnisse

7.2.1 TF1

Fahrtrichtung Südwest: TF1 ist etwa ab Markierung A sichtbar. Dann beträgt der Blickwinkel des Kraftfahrers zu TF1 mindestens 36° , liegt also oberhalb des zu berücksichtigenden Blickwinkels θ von maximal 20° .

Fahrtrichtung Nordost: TF1 ist erst nach Vorbeifahrt am Wald, ab Markierung B, sichtbar. Dann beträgt der Blickwinkel θ des Kraftfahrers zu TF1 mindestens 60° und liegt damit weit oberhalb des zu berücksichtigenden Blickwinkels von maximal 20° .

Wegen des großen Kraftfahrerblickwinkels tritt in beiden Fahrtrichtungen keine Blendwirkung bei der Vorbeifahrt an TF1 auf.

7.2.2 TF2

Als Blickpunkte eines Kraftfahrers zu TF2 wurden die Markierungen C und D gewählt. Die dafür berechneten γ -Flächen sind in Bild 2 eingezeichnet.

Die γ -Fläche für die Fahrtrichtung Südwest hat keine Schnittpunkte mit den Sonnenstandslinien, Sonnenlicht wird in dieser Fahrtrichtung von TF2 nicht zum Kraftfahrer reflektiert.

Die γ -Fläche für die Fahrtrichtung Nordost hat Schnittpunkte mit den Sonnenstandslinien, Sonnenlicht kann von April bis Mitte November zwischen 6 Uhr und 6.30 Uhr von TF2 zum Kraftfahrer reflektiert werden. Da der Blickwinkel θ des Kraftfahrers mit 4° bis 20° teilweise im besonders blendkritischen Winkelbereich liegt, ist eine verkehrgefährdende Blendung nicht auszuschließen.

Abhilfemaßnahme: Veränderung der Modulneigung oder der Ausrichtung der Modultischreihen verändert nur die Jahres- oder Tageszeiten, an denen die Sonnenlichtreflexion zum Kraftfahrer auftritt, ändert aber nichts an der Blendwirkung insgesamt. Als Maßnahme zur Verhinderung der Blendung wird vorgeschlagen, den Zaun an der Nordseite von TF2, der parallel zur MSE 13 verläuft, in einer Höhe von bis zu 2,90 m zu installieren und mit einem dunklen Kunststoffgewebe zu versehen, das nicht mehr

als 30 % Transmission besitzt. Das Kunststoffgewebe muss in der Höhe von 0,80 m (Höhe Modulunterkante) bis zu einer Höhe von 2,90 m (ca. Höhe der Moduloberkante) auf dem Zaun angebracht werden. In Bild 1 ist die Lage des Zauns, der abgeschirmt werden muss, mit einer gelben Linie gekennzeichnet. Die Länge des abzuschirmenden Zaunes beträgt ca. 330 m.

Der Unterzeichner hat ein solches Kunststoffgewebe (s. Bild 3) lichttechnisch geprüft und zum Einsatz an mehreren anderen PV-Anlagen empfohlen; in einem Fall wird es seit ca. sechs Jahren problemlos an einer Autobahn eingesetzt. Sollte dieses Kunststoffnetz nicht verfügbar sein, kommt als Alternative das in Bild 4 gezeigte Kunststoffnetz infrage, das etwa die gleichen Eigenschaften hat wie das geprüfte Kunststoffnetz.

8 Zusammenfassung

Es wurde untersucht, ob Kraftfahrer auf der an der geplanten PV-Anlage Wredenhagen II vorbeiführenden Straße MSE 13 durch diese Anlage geblendet werden können. Die Teilflächen TF1 und TF3 (s. Bild 1) erzeugen keine Kraftfahrerblendung. Bei TF2 kommt es jedoch zu einer evtl. verkehrsgefährdenden Blendung in Fahrtrichtung Nordost. Als Abhilfemaßnahme wird vorgeschlagen, die Zäune an der Nordseite von TF2 in einer Höhe von 0,80 m bis 2,90 m mit einem dunklen Kunststoffgewebe zu versehen, das nicht mehr als 30 % Transmission besitzt. Die Zaunhöhe muss demzufolge in diesem Bereich 2,90 m betragen.

Gegen die Errichtung der PV-Freiflächenanlage Wredenhagen II ist bei Realisierung der vorgeschlagenen Abhilfemaßnahme aus Sicht des Unterzeichners nichts einzuwenden.



Dieses Gutachten wurde nach bestem Wissen und Gewissen angefertigt.

Anhang

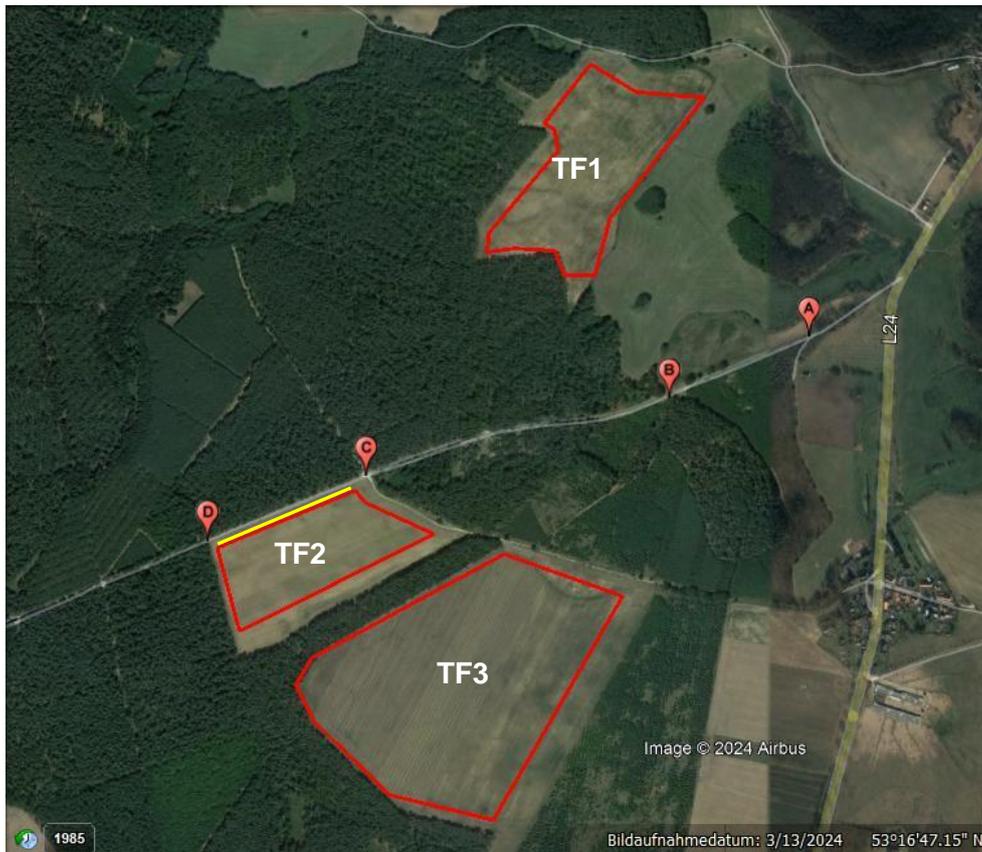


Bild 1: Übersicht der geplanten PV-Anlage Wredenhagen II (rot umrandet) mit den Teilflächen TF1 bis TF3 und den untersuchten Blickpunkten A bis D eines Kraftfahrers auf der MSE 13

Gelbe Linie: Abschnitt, in dem der Zaun von TF2 mit einem Kunststoffgewebe versehen werden muss



*Bild 3: Untersuchtes Kunststoffgewebe der Fa. Evios Energy Systems GmbH
Maßstab: ca. 1:2*



*Bild 4: Untersuchtes Kunststoffgewebe, Lieferant Fa. evia Verkehrstechnik GmbH/ACCURA NTV KG
Maßstab: ca. 1:2*