

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 7. 5. 2021

G u t a c h t e n **G24/2021**

Gutachten zur Frage der eventuellen Blend- und Störwirkung von Nutzern der BAB A 7 durch eine bei Niederaula zu installierende PV-Dachanlage

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

1 Auftraggeber

Den Auftrag zur Erarbeitung des Gutachtens erteilte die RE. source Projects GmbH, Brombeerweg 12 in 14052 Berlin.

Auftragsdatum: 4. 5. 2021

2 Auftragsache

Die RE. source Projects GmbH plant die Errichtung einer Photovoltaik-Dachanlage auf Hallen eines bei Niederaula zu errichtenden Logistikzentrums in unmittelbarer Nähe der Anschlussstelle 89 „Niederaula“ der BAB A 7. Es stellt sich die Frage, ob Nutzer dieser Autobahn sowie der zur Anschlussstelle zu- und abführenden Rampen 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: $\alpha = 90^\circ$; Süd: $\alpha = 180^\circ$ usw.).

Es werden folgende Winkel verwendet:

Sonnenhöhenwinkel (vertikaler Sonnenwinkel)	γ
Azimut (horizontaler Sonnenwinkel) bzw. momentane Fahrtrichtung eines Kraftfahrers	α
Ausrichtung der Modultischreihen gegen Ost oder West	ν
vertikaler Winkel des von den Solarmodulen reflektierten Lichts	δ
Neigung der PV-Module gegen Süd	ε

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

4 Informationen zur Photovoltaik-Anlage

Die topografischen Daten und die Beschreibung der Anlage beruhen auf folgenden Informationen, die von der RE. source Projects GmbH zur Verfügung gestellt wurden:

- Lageplan des Logistikzentrums
- Geländeschnitt des Logistikzentrums
- Höhenplan des Logistikzentrums
- Modulbelegungsplan
- Moduldatenblatt
- Mündliche und Emailinformationen durch Herrn Tilo Nahrath, RE. source Projects GmbH

Die Geländehöhen der PV-Anlage wurden dem vorgelegten Höhenplan entnommen, die Geländehöhen der Autobahn und der Rampe zur Autobahn dem Geoportal Hessen. Die Entfernungen und horizontalen Winkel wurden mit google earth ermittelt.

5 Beschreibung der PV-Anlage Niederaula und topografische Daten

5.1 Die PV-Anlage

Das Logistikzentrum wird auf einem bisher landwirtschaftlich genutzten Gelände errichtet, s. Bild 1 im Anhang. Der Gebäudekomplex des Logistikzentrums besteht im Wesentlichen aus zwei Hallen (Bezeichnung NW bzw. SO in Bild 1), die in der Höhe gegeneinander versetzt sind (Bild 4). Beide Hallen haben rechteckige Grundflächen, deren Hauptachsen um 45° aus der Ost-West-Richtung gegen den Uhrzeigersinn gedreht sind. Die gesamte Dachfläche beträgt $91\,238\text{ m}^2$. Zwischen Dachrand und PV-Fläche bleibt umlaufend ein für Wartungsarbeiten benötigter Gang von $2,50\text{ m}$ frei. Die PV-Fläche beträgt $46\,492\text{ m}^2$. Das Dach der Halle NW liegt auf einer Höhe von $277,00\text{ m}$ über Normalnull (NN), das Dach der Halle SO auf $262,50\text{ m}$. Die Dächer werden umlaufend mit einer Attika versehen, deren Höhe an den Längsseiten 30 cm bis 50 cm und an den Querseiten ca. 50 cm beträgt, s. die Bilder 3 und 4.

Die Module werden in der sogenannten Satteldach-Anordnung installiert. Das heißt, dass eine Modulreihe um 10° nach Westen und die danebenliegende Modulreihe um 10° nach Osten geneigt wird ($\varepsilon = \pm 10^\circ$), s. Bild 3. Die Modulreihen werden nicht in Nord-Süd-Ausrichtung ausgerichtet, sondern gemäß der Ausrichtung der Dächer um 45° gegen den Uhrzeigersinn gedreht ($\nu = 135^\circ/315^\circ$), s. Bild 2. Die Höhen der Modulober- (MOK) und der -unterkante (MUK) über der Dachfläche betragen $25,7\text{ cm}$ bzw. $7,7\text{ cm}$.

Es ist geplant, Half-Cut-Solarmodule vom Typ JA Solar Serie JAM60S20 365-390/MR mit einer Modulleistung von je $385\text{ W}_{\text{peak}}$ einzusetzen. Wegen der z.Zt. schnellen Weiterentwicklung der Modultechnik kann sich der Modultyp noch ändern;

da aber alle handelsüblichen Solarmodule etwa die gleiche Reflexionscharakteristik besitzen, wirkt sich eine Änderung des Modultyps nicht auf die evtl. Blendwirkung aus. Die installierte Leistung liegt bei ca. 8 MWpeak.

5.2 BAB A 7

Von Nordwesten kommend, ist die PV-Anlage erst etwa 125 m vor Vorbeifahrt an dem nördlich der Autobahn gelegenen Waldstreifen für einen Kraftfahrer sichtbar. Die Autobahn führt im interessierenden Abschnitt in einem Fahrtrichtungswinkel $\alpha = 104^\circ \pm 5^\circ$ südlich an der PV-Anlage vorbei. Die Höhe der Fahrbahnoberkante (FOK) der Autobahn liegt bei Blickpunkt 1 eines Kraftfahrers (s. Bild 1) bei ca. 248 m über NN (s. Höhenverlauf der BAB gemäß Bild 5) und fällt bis zum Blickpunkt 2 auf 232 m.

Von Südosten kommend, beträgt der Fahrtrichtungswinkel bei Blickpunkt 3 ca. 310° und dreht wegen der Linkskurve bis zum Blickpunkt 4 auf ca. 295° . Bei Blickpunkt 3 beträgt die Höhe der FOK 216 m (s. Bild 6) und steigt bis zum Blickpunkt 4 auf 228 m.

Die Fahrtrichtung der Zufahrtsrampe von der B 62 zur Autobahn beträgt zunächst ca. 228° und dreht dann wegen des 270° -Rechtsbogens der Rampe auf dem Einfädelungsfahrestreifen auf ca. 120° . Die FOK steigt im Abschnitt von Blickpunkt 5 bis Blickpunkt 6 von 216 m auf 232 m.

6 Beschreibung der eventuell von PV-Anlagen ausgehenden Blendwirkung 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 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 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 (z.B. 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. 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 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 „auszublenken“: Er muss den vor ihm liegende Gleiskörper bzw. die 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 der Blendlichtquelle ins Verhältnis zur Beleuchtungsstärke der Sonne gesetzt werden.

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

7.1 Möglichkeit der Erkennbarkeit der PV-Anlage durch einen Lkw-Fahrer

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.

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 mittlere Augenhöhe eines Lkw-Fahrers über der Fahrbahn beträgt ca. 2,50 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 2,50 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 Auswahl der Untersuchungsstrecken auf der A 7 und der Zufahrtsrampe

Die zu untersuchenden Strecken der Autobahn und der Rampe wurden gemäß der in den Abschnitten 6 und 7.1.1 beschriebenen Bedingungen für Blickwinkel θ bis maximal 20° ausgewählt. Daraus ergeben sich die bereits in Abschnitt 5.2 beschriebenen Strecken. In Tabelle 1 sind die Augenhöhen eines Lkw-Fahrers bei Fahrt auf diesen

Streckenabschnitten zusammengestellt. Die Augenhöhen ergeben sich aus der Höhe der FOK (s. Bilder 5 bis 7) + 2,5 m Augenhöhe des Lkw-Fahrers über FOK. Für die Rampe von der BAB zur B 62 gelten etwa die gleichen Höhen wie für die Rampe von der B 62 zur BAB.

Fahrtrichtung	Markierung	Augenhöhe Lkw-Fahrer über FOK
Südost	1 bis 2	250,5 m bis 234,5 m
Nordwest	3 bis 4	218,5 m bis 230,5 m
Rampe zur BAB	5 bis 6	218,5 m bis 234,5 m

Tabelle 1: Augenhöhen eines Lkw-Fahrers auf der BAB A 7 und der Zufahrtsrampe von der B 62

Die Höhe der Dachhöhe einschließlich der Attiken gemäß Bild 4 sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

Halle	Dachhöhe einschl. Attiken
NW	277,5 m
SO	263 m

Tabelle : Dachhöhen der beiden Hallen

In Bild 8 wird dargestellt, wie ein Lkw-Fahrer in den drei untersuchten Abschnitten auf die Hallendächer schaut. Da die Oberkante der Attiken mit 30 cm bis 50 cm in jedem Falle höher liegt als die Moduloberkante mit 25,7 cm, kann der Lkw-Fahrer die Module nicht sehen, wenn sein Auge sich auf gleicher Höhe wie die Oberkante der Attiken befindet oder er gar von unten in Richtung der Dächer schaut. Die Module sind erst für ihn sichtbar, wenn er von oben auf die Module schaut.

Beim Vergleich der Augenhöhen des Lkw-Fahrers aus Tabelle 1 mit den Attikahöhen aus Tabelle 2 zeigt sich, dass der Lkw-Fahrer auf allen drei Abschnitten von unten zu den Hallendächern blickt, in keiner Situation der Vorbeifahrt an den Hallen des Logistikzentrums kann er die PV-Anlage sehen.

7.2 Zeitliche Wahrscheinlichkeit der Sonnenlichtreflexion ins Auge eines Kraftfahrers

Da ein Lkw-Fahrer die PV-Anlage nicht sehen kann, und erst recht nicht ein Pkw-Fahrer wegen dessen niedrigerer Augenhöhe, entfällt die Notwendigkeit und Möglichkeit, die Richtung des von den PV-Modulen reflektierten Sonnenlichts zu berechnen, Blendung der Nutzer der BAB A 7 und der Zu- und Abfahrtsrampen durch die auf den Dächern des Logistikzentrums zu installierende PV-Anlage tritt nicht auf.

8 Zusammenfassung

Es wurde untersucht, ob die auf den Dächern des Neubaus eines Logistikzentrums unmittelbar nördlich der Anschlussstelle 89 „Niederaula“ der BAB A 7 zur Blendung oder Belästigung von Nutzern der Autobahn oder der zu- und abführenden Rampen führt. Eine Blend- oder Störwirkung tritt nicht auf, da die Kraftfahrer in allen infrage kommenden Abschnitten der BAB und der Rampen nach oben zu den mit der PV-Anlage bestückten Dächern blicken und die PV-Anlage nicht sehen können. Von daher ist aus Sicht des Unterzeichners gegen die Errichtung der PV-Dachanlage auf dem Logistikzentrum nichts einzuwenden.



Dieses Gutachten wurde nach bestem Wissen und Gewissen angefertigt.

Anhang



Bild 1: Die geplante PV-Anlage Niederaula mit den Hallen NW und SO. Gelbe Linie A — A: Hallenquerschnitt, wiedergegeben in Bild 4



Bild 2: Layout der geplanten PV-Anlage Niederaula

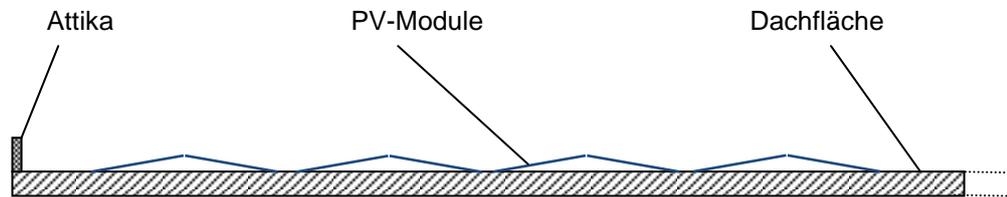


Bild 3: Satteldach-Anordnung der PV-Module

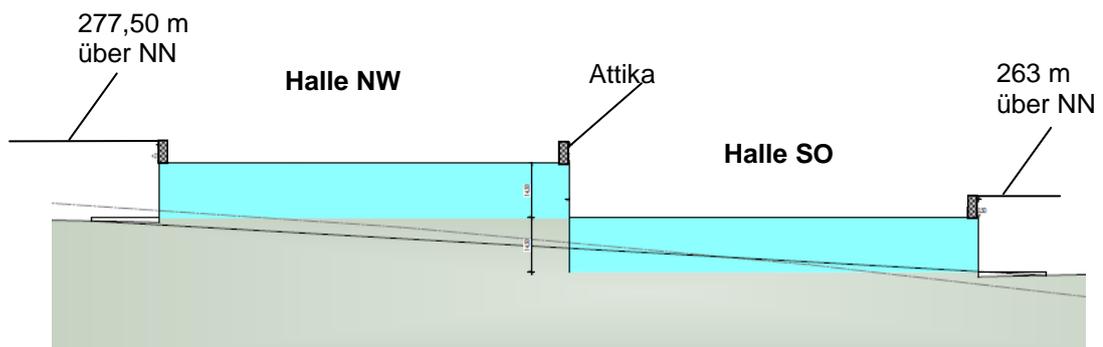


Bild 4: Querschnitt der geplanten PV-Anlage Niederaula von Nordwest nach Südost gemäß Linie A —A in Bild 1, Attiken nur an den Längsseiten gezeichnet

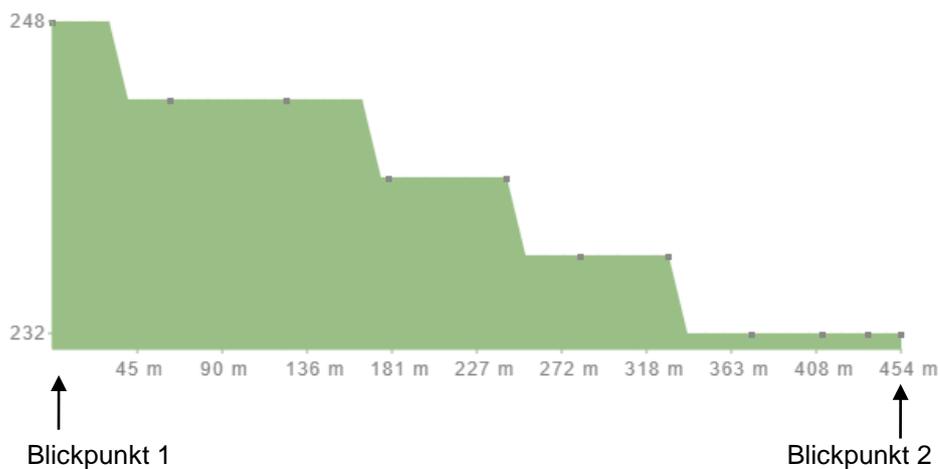


Bild 5: Höhenprofil der BAB A 7 im Abschnitt zwischen den Blickpunkten 1 und 2 eines Kraftfahrers auf der BAB A 7. Fahrtrichtung Südost

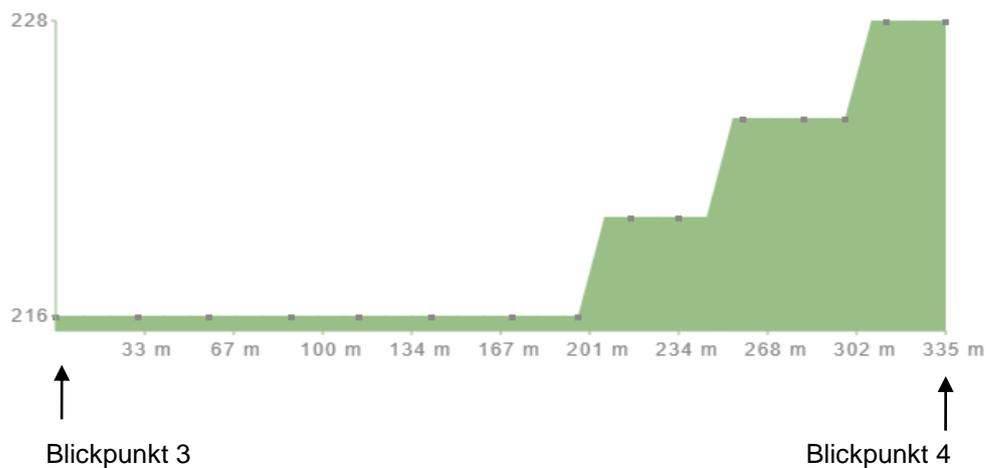


Bild 6: Höhenprofil der BAB A 7 im Abschnitt zwischen den Blickpunkten 3 und 4 eines Kraftfahrers auf der BAB A 7. Fahrtrichtung Nordwest

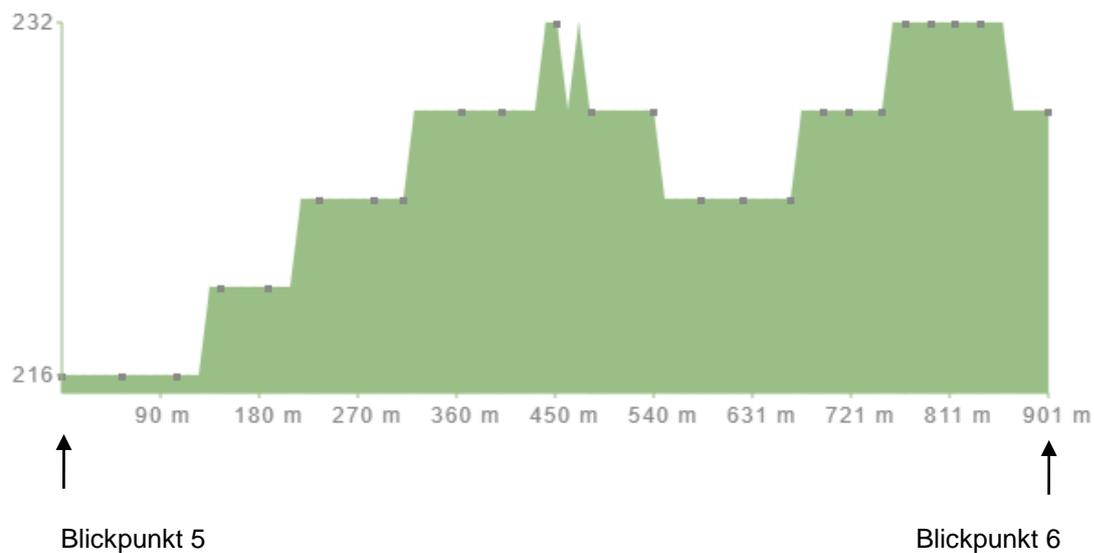


Bild 7: Höhenprofil der Rampe von der B 62 zur BAB A 7 im Abschnitt zwischen den Blickpunkten 5 und 6

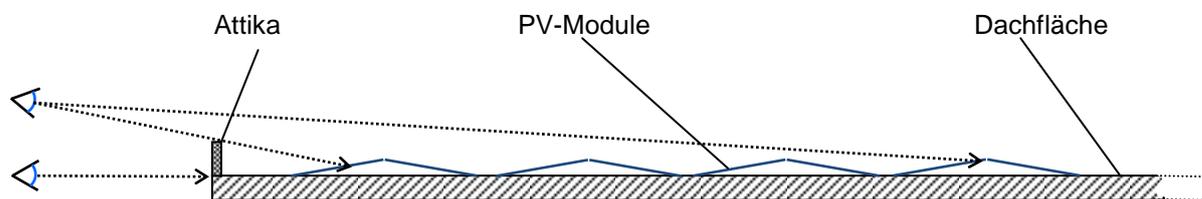


Bild 8: Schematische Darstellung der Abschirmung der PV-Module durch die Attiken

◁ : Kraftfahrerauge