

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 6. 6. 2018

G u t a c h t e n
G09B/2018
zur Frage der eventuellen Blend- und Störfwirkung von Autobahnnutzern
und Anwohnern durch eine bei Lünen installierte Photovoltaikanlage

(Dieses Gutachten besteht aus 12 Seiten
und einem Anhang mit weiteren 4 Seiten)

Dieses Gutachten ersetzt die Gutachten G09/2018 vom 7. 5. 2018
und G09A/2018 vom 27. 5. 2018

1 Auftraggeber

Den Auftrag zur Erarbeitung des Gutachtens erteilte die WES Green GmbH, Bahnhofstraße 30-32 in 54292 Trier.

Auftragsdatum: 27. 4. 2018

2 Auftragsache

Die WES Green GmbH plant die Errichtung einer Freiflächen-Photovoltaikanlage in 44532 Lünen. Es stellt sich die Frage, ob Nutzer der nahegelegenen BAB A 2 und Anwohner in benachbarten Gebäuden 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)	α
Orientierung der Modultischreihen gegen Ost oder West	ν
vertikaler Winkel des von den Solarmodulen reflektierten Lichts	δ
Neigung der PV-Module gegen Süd	ε

horizontaler Blickwinkel Mitte Kraftfahrer/Fensterfläche - PV-Anlage	τ
Differenz $\alpha - \tau$ (horizontaler Blickrichtung Kraftfahrer/Anwohner - PV-Anlage	ψ
vertikaler Blickwinkel Kraftfahrer/Anwohner - PV-Anlage	λ

4 Informationen zur Photovoltaik-Anlage

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

- Modulbelegungsplan
- Modultischquerschnitt
- Datenblatt PV-Modul Canadian Solar CS6K-P
- Geländehöhenplan
- Fotos
- Mündliche und Emailinformationen durch Herrn Rüdiger Fischer, WES Green GmbH

Die Geländehöhen der PV-Anlage wurden dem Höhenplan entnommen. Die Höhe der Fahrbahnoberkante der Autobahn wurde mittels des Höhenplans, des Programms google earth und der Fotos abgeschätzt. Diese Abschätzung genügt, da nach Abschnitt 8.1.3 die Höhe der Autobahn keinen direkten Einfluss auf die Berechnungsergebnisse hat. Die Geländehöhen der untersuchten Häuser wurden aus dem Höhenplan extrapoliert. Die Entfernungen und horizontalen Winkel wurden mit google earth ermittelt. Der monatliche Sonnenstand für Lünen (Sonnenhöhe und -azimut) wurde mit der Website www.stadtklima-stuttgart.de bestimmt. Die Berechnung der Winkel des reflektierten Sonnenlichts erfolgte mit eigenen Excel-Programmen.

5 Beschreibung der PV-Anlage Lünen und topografische Daten

5.1 Die PV-Anlage

Die PV-Anlage wird auf einem bisher landwirtschaftlich genutzten Gelände mit der Bezeichnung „Bullenrod Kamp“ errichtet. Nördlich der Anlage befinden sich Wohngebäude des Sonnenwegs, östlich Wohngebäude der Straße „Niersteheide“, südlich die BAB A 2 und westlich der PV-Anlage befindet sich eine Kleingartenkolonie, s. Bild 1 im Anhang. Die Grundfläche der PV-Anlage ist unregelmäßig; die Fläche ist langgestreckt und verläuft etwa parallel zur Autobahn. Die Ost-West-Ausrichtung beträgt ca. 320 m, die Ausrichtung senkrecht zur Autobahn ca. 32 m bis 60 m. Die Gesamtfläche beträgt ca. 15 300 m². Das PV-Anlagengelände steigt von Ost nach West kontinuierlich von 64,5 m auf 74,5 m über Normalnull NN.

Es ist geplant, polykristalline Solarmodule des Typs Canadian Solar CS6K-P mit einer Modulleistung von je 270 Wp einzusetzen. Die installierte Leistung liegt bei 1,497 MWp. Die Neigung ε der Module gegen Süd beträgt 20°. Die Module werden auf sogenannten Modultischreihen montiert, deren Länge der verfügbaren Breite der Fläche entspricht. Die Ausrichtung der Modultischreihen erfolgt nicht wie üblich in Ost-West-Richtung, sondern die Modultischreihen sind entgegen dem Uhrzeigersinn gedreht, um das Gelände mit einer maximalen Anzahl von Modulen bestücken zu können; die Modultischausrichtung verläuft etwa parallel zur Fahrtrichtung auf der

Autobahn (s. Bild 1): Die Orientierung der Modultischreihen des östlichen Teils der PV-Fläche beträgt $\nu = 26^\circ$, des westlichen Teils $\nu = 23^\circ$ bis 24° . Die Modulunterkante befindet in einer Höhe von 0,80 m über Geländeoberkante (GOK), die Höhe der Moduloberkante über GOK beträgt 2,56 m.

Zwischen den Wohngebäuden Niersteheide und der PV-Anlage befindet sich eine Reihe von Laubbäumen mit einer Kronenhöhe von bis zu 20 m. Vor den Häusern der Kleingartenkolonie in Richtung PV-Anlage befindet sich eine 1,50 m bis 2 m hohe Hecke. Die Verdeckung der PV-Anlage durch diese Vegetation wird bei den Berechnungen zunächst nicht berücksichtigt. Zusätzlich erfolgt eine Abpflanzung mit Gehölzen in den östlichen und nördlichen Randbereichen. Die Pflanzung soll hier ca. 4 m hoch werden. Zudem sollen bereits größere Gehölze gepflanzt werden, um eine Sichtschutzwirkung zeitnah zu erzeugen, also eine Pflanzgröße von 1,00 m/1,50 m. In die Berechnungen wird eine vorläufige Höhe der Hecke von 1,00 m einbezogen. Im Westen an der Kleingartenanlage ist eine Pflanzung nicht erforderlich, da hier bereits eine Hecke existiert.

5.2 Die BAB A 2

Die Autobahn beschreibt im interessierenden Bereich eine leichte Rechtskurve; in Höhe des östlichen Endes der PV-Anlage beträgt die Fahrtrichtung $\tau = 244^\circ$ und dreht bis zum westlichen Ende auf 252° . Die Fahrbahnoberkante der Autobahn liegt bei ca. 82 m bis 80 m, in Richtung West leicht abfallend, und liegt damit ca. 5 m höher als das Gelände der PV-Anlage. Im interessierenden Bereich befindet sich zwischen Autobahn und PV-Anlagengelände eine Lärmschutzwand, die den Einblick von der Autobahn zur künftigen PV-Anlage vollständig verhindert.

5.3 Die untersuchten Wohngebäude

Normalerweise werden die Modultischreihen in Ost-West-Richtung installiert. Dann bestünde ein Blend- und Störrisiko für Wohngebäude, die sich im Osten und Westen der Anlage befinden. Durch die Drehung der Modultischreihen um 23° bis 26° gegen den Uhrzeigersinn wird jedoch die Richtung des reflektierten Sonnenlichts ebenfalls gegen den Uhrzeigersinn gedreht, so dass u.U. auch Häuser betroffen sind, die sich weiter nördlich der PV-Anlage befinden. Deshalb wurden folgende Gebäude in die Untersuchungen einbezogen:

Niersteheide 25,	Markierung A in Bild 2
Niersteheide 21,	Markierung B
Niersteheide 20,	Markierung C
Sonnenweg 14	Markierung D
Zwei Gebäude der Kleingartenkolonie, Markierungen E und F	

Zur Auswahl der Gebäude der Kleingartenkolonie s. Abschnitt 7. Die GOK der Häuser A bis C liegt bei 64 m bis 65 m, die GOK von Haus D bei 74 m und die GOK der Gebäude E und F bei 76 m. Die Gebäude A bis D und F sind zweigeschossig, das Gebäude E ist eingeschossig.

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

6.1 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**, 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 (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 **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 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.

6.2 Störwirkung durch den Flimmereffekt und durch Ablenkung

Periodisch oder unregelmäßig an- und abschwelliges Licht, das ins Auge gelangt, wird als Flimmern bezeichnet. Im Verkehrswesen wird Flimmern z.B. durch die periodisch angeordneten Leuchten der Straßen- oder Tunnelbeleuchtung erzeugt. Der Flimmereffekt bei der Vorbeifahrt an einer PV-Anlage entsteht dadurch, dass die PV-Modultische in Reihen mit einem festen, regelmäßigen Abstand voneinander angebracht sind, wodurch es, wenn die Modultischausrichtung und die Fahrtrichtung etwa senkrecht zueinander stehen, zu einer periodischen Unterbrechung des reflektierten Sonnenlichts kommen kann. Es ist bekannt, dass **periodisches** Flimmern bei manchen Epileptikern sogar Anfälle auslösen kann (photosensitive Epilepsie). Bei der

PV-Anlage Lünen verlaufen jedoch die Autobahn und die Modultischreihen parallel zueinander, ein Flimmereffekt kann daher von vornherein ausgeschlossen werden.

Verkehrsfremde Sehobjekte neben der Autobahn können die Aufmerksamkeit eines Kraftfahrers so stark beanspruchen, dass er die vor ihm liegende Fahrbahn - zumindest für Sekunden - nicht mehr mit genügender Sorgfalt beobachtet, es kann zu verkehrgefährdenden Situationen kommen. Die Auffälligkeit hängt ab z.B. von der Größe, der Helligkeit/dem Helligkeitskontrast, der Bewegung oder dem Neuigkeitscharakter des Sehobjektes ab. Die PV-Anlage Lünen besteht im Wesentlichen aus regelmäßig angeordneten, eher dunklen Solarmodulen, hat zudem eine maximale Bauhöhe von nur 2,56 m über Geländeoberkante und liegt in Tieflage gegenüber der Autobahn. Sie ist ein insgesamt visuell unauffälliges Bauwerk; als einziges die Auffälligkeit erhöhendes Merkmal bleibt theoretisch der Neuigkeitscharakter der Anlage. In diesem Aspekt unterscheidet sich die PV-Anlage aber nicht von jedem beliebigen anderen neu errichteten Bauwerk, das von einer Straße aus sichtbar ist. Mittlerweile wurde eine Vielzahl von PV-Anlagen in Sichtweite zu Straßen errichtet, so dass es Kraftfahrer gewohnt sind, an solchen Anlagen vorbeizufahren. Eine erhöhte Aufmerksamkeit und Ablenkungsgefahr durch die PV-Anlage Lünen kann daher von vornherein ausgeschlossen werden.

7 Blend- und Störwirkung 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 nach den „Hinweisen zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen“ der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) vom 13. 9. 2012, Anhang 2, vorgenommen (im Folgenden „LAI-Hinweise“ genannt). Die Blend- und Störwirkung = Lichtimmission ist durch die Zeit definiert, in der Sonnenlicht von der PV-Anlage auf die Fensterflächen der betroffenen Gebäude 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 LAI-Hinweise gelten für „schutzwürde 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.

Nach bundes- und landesgesetzlichen Regelungen dürfen Gebäude in Kleingartenanlagen nicht zum dauerhaften Wohnen genutzt werden. Es ist deshalb fraglich, ob solche Räume formal unter die Regelung der LAI-Hinweise fallen. Andererseits ist

der ständige Aufenthalt in Gebäuden von Kleingarten tagesüber selbstverständlich unbeschränkt gestattet, so dass die Nutzer der Kleingartenanlage de facto den gleichen, evtl. unzumutbaren, Blend- und Störwirkungen unterliegen können wie die Nutzer „echter“ Wohnräume. Deshalb werden die Gebäude der in Lünen betroffenen Kleingartenanlage unabhängig von ihrer formalen Einstufung in diesem Gutachten de facto als Wohnräume in Sinne der LAI-Hinweise betrachtet. Aus diesem Grund werden in die Untersuchungen auch zwei repräsentative Gebäude (Markierungen E und F in Bild 2) der Kleingartenanlage einbezogen.

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 Störwirkung. Alle durchzuführenden Berechnungen beziehen sich daher lt. Abschnitt 7e. der LAI-Hinweise nur auf den Kernreflex, die zusätzliche Reflexionszeit durch den Streureflex wird nach den LAI-Hinweisen nicht berücksichtigt.

Sonnenlicht, das unter Sonnenhöhenwinkeln $\gamma \leq 7,5^\circ$ von einer PV-Anlage in Richtung Immissionsort reflektiert wird, wird wegen dessen geringer Intensität und wegen Bewuchs, Bebauung und der zu durchdringenden Atmosphärenschichten in ebenem Gelände nicht berücksichtigt.

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

8.1 Zeitliche Wahrscheinlichkeit der Sonnenlichtreflexion ins Auge eines Kraftfahrers

8.1.1 Sehbedingungen eines Kraftfahrers

Wie in Abschnitt 5.2 erwähnt, verhindert die Lärmschutzwand zwischen Autobahn und PV-Anlagengelände vollständig den Einblick von der Autobahn zur PV-Anlage. Zur Sicherheit wurde jedoch eine fiktive Berechnung des Blendrisikos ohne Vorhandensein der Lärmschutzwand durchgeführt.

Um die unter diesen Umständen 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 3 bis 5 zeigen das Sonnenstandsdiagramm für Lünen 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 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 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. Die Höhe des Lkw-Fahrers h_F über PV-Anlagengelände beträgt 2,50 m + 2,56 m (Moduloberkante) + 5 m (Differenz der Geländehöhen) = ca. 10 m.

8.1.2 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 $\varepsilon = 23^\circ$ bis 26° nach Süd 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 Lünen eingetragen. Da die Berechnungen für die gesamte Fläche oder eine Teilfläche der PV-Anlage durchgeführt werden, stellen die ermittelten α/γ -Werte für die Sonnenhöhenwinkel 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 6.1 nur in diesem Winkelbereich reflektiertes Sonnenlicht störende Blendung erzeugen kann.

8.1.3 Ergebnisse

Bei der Vorbeifahrt in Fahrtrichtung Südwest ist ein Einblick von der Autobahn zur PV-Anlage zumindest im Winterhalbjahr möglich, solange die Bäume am Rande der Autobahn unbelaubt sind. Bei der Vorbeifahrt in Richtung Nordost blickt ein Kraftfahrer über die Gegenfahrbahn zur tiefer liegenden PV-Anlage; ob ein Einblick zur PV-Anlage überhaupt möglich ist, kann im Moment nicht eingeschätzt werden, weil die jetzt im Mai belaubten Bäume den Blick zur Anlage versperren. Zur Sicherheit wird deshalb die Sonnenlichtreflexion für beide Fahrtrichtungen berechnet. Die berechneten γ -Flächen sind in Bild 3 eingezeichnet.

Fahrtrichtung Nordost: Die grün gezeichnete γ -Fläche liegt oberhalb der roten Sonnenstandslinien und hat keine Schnittpunkte mit diesen. Wie bereits in Abschnitt 8.1.2 erläutert, kann bei fehlenden Schnittpunkten mit den Sonnenstandslinien in keinem Fall reflektiertes Sonnenlicht zum Kraftfahrer gelenkt werden. Dieser Sachverhalt gibt die Tatsache wieder, dass auf der nördlichen Erdhalbkugel die Sonne nicht aus nördlichen Richtungen scheint und das Sonnenlicht daher nicht in Richtung Süden bis Südosten, d.h. ins Auge eines in Richtung Norden bis Nordwesten blickenden Kraftfahrers, reflektiert werden kann.

Fahrtrichtung Südwest: Die blau gezeichnete γ -Fläche liegt unterhalb der Sonnenstandslinien bzw. sogar unterhalb (außerhalb) des Sonnenstandsdiagramms und hat ebenfalls keine Schnittpunkte mit den Sonnenstandslinien, Sonnenlicht kann in keinem Fall zum Kraftfahrer gelenkt werden. Dieser Sachverhalt gibt die Tatsache wieder, dass wegen der Drehung der Modultische um 23 bis 26° gegen den Uhrzeigersinn das Sonnenlicht nach Süden abgelenkt wird und nicht den von Südwesten kommenden Kraftfahrer erreicht.

Wie in Abschnitt 4 erwähnt, wurde die Höhe der Fahrbahnoberkante der Autobahn geschätzt. Werden die Berechnungen selbst mit einer abweichenden Höhe der Fahrbahnoberkante von ± 5 m durchgeführt, haben die γ -Flächen keine Schnittpunkte mit den Sonnenstandslinien, es gibt nach wie vor keine Blendung für einen Kraftfahrer auf der Autobahn.

Fazit: Da das von der PV-Anlage reflektierte Sonnenlicht auf der Autobahn vorbeifahrende Kraftfahrer nicht erreicht, könnten diese von der PV-Anlage nicht geblendet werden, selbst wenn keine Lärmschutzwand vorhanden wäre.

9 Zeitliche Wahrscheinlichkeit der Sonnenlichtreflexion in Richtung Wohngebäude

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 ebenfalls mit dem Sonnenstandsdiagramm für Lünen ermittelt werden.

Für die zu untersuchenden Immissionsorte wurden die horizontalen und vertikalen Blickwinkel Anwohner - PV-Anlage ψ und λ ermittelt und daraus die horizontalen Sonnenwinkel α und die vertikalen Sonnenhöhenwinkel γ berechnet, unter denen das Sonnenlicht auf die PV-Module treffen müsste, damit es ins Auge eines Bewohners dieser Gebäude gelangen könnte. Die Berechnungen erfolgen jeweils für die Fenstermitte der Obergeschosse bei den Gebäuden A bis D und F, weil dies hinsichtlich der evtl. Blendwirkung der kritischere Fall gegenüber der Bewertung für das Erdgeschoss ist. Bei Gebäude E werden die Untersuchungen für das Erdgeschoss durchgeführt. Die Hecken und die Baumreihe an der östlichen Seite der PV-Anlage werden bei den Berechnungen nicht berücksichtigt.

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 in den Polardiagrammen der Bilder 4 und 5 rot schraffiert dargestellt.

10 Berechnungsergebnisse

10.1 Wohngebäude A bis C

Wohngebäude A: Die hierfür berechnete γ -Fläche ist in Bild 4 als blaue Fläche eingezeichnet. Die Fläche hat Schnittpunkte mit den Sonnenstandslinien, Sonnenlicht kann zu diesem Haus in der Jahreszeit etwa vom 1. Februar bis 16. April und vom 31. August bis 15. November, d.h. für 152 Tage, zwischen 15.20 Uhr und 16.30 Uhr MEZ zum Gebäude reflektiert. Die maximale Reflexionszeit beträgt 15 min, die mittlere Reflexionszeit innerhalb der genannten 152 Tage beträgt 8,9 min. Die gesamte, jährliche Reflexionszeit errechnet sich daraus zu 152 Tage x 8,9/60 Stunden = 22,5 Stunden. Teilweise sind die Bäume vor dem Wohngebäude innerhalb der genannten Jahreszeiträumen belaubt, mindestens vom 1. bis 15. April und 31. August bis 15. Oktober, so dass dann das reflektierte Sonnenlicht in Richtung Wohngebäude abgeschirmt wird. Dadurch reduziert sich die jährliche Reflexionszeit geschätzt um ein Viertel, es verbleiben also endgültige ca. 18 Stunden jährliche Reflexionszeit. Die nach den LAI-Hinweisen erlaubte tägliche Reflexionszeit von 30 min und jährliche Reflexionszeit von 30 Stunden wird damit bei Wohngebäude A unterschritten.

Wohngebäude B: Die hierfür berechnete γ -Fläche ist in Bild 4 als grüne Fläche eingezeichnet. Sie liegt unterhalb der Sonnenstandslinien bzw. außerhalb des Sonnenstandsdiagramms, zu diesem Haus wird zu keiner Zeit Sonnenlicht reflektiert.

Wohngebäude C: Die für dieses Gebäude berechnete, in Bild 4 in brauner Farbe eingezeichnete γ -Fläche hat Schnittpunkte mit den Sonnenstandslinien, Sonnenlicht wird in der Jahreszeit ca. vom 5. bis 28. März und vom 17. September bis 10. Oktober, d.h. für insgesamt ca. 48 Tage, zwischen 7.10 Uhr und 7.50 Uhr MEZ zum Gebäude reflektiert. Die maximale Reflexionszeit (nur am 19. März und 22. September) beträgt 27 min, die mittlere Reflexionszeit innerhalb der genannten 48 Tage beträgt 15 min. Die gesamte Reflexionszeit errechnet sich daraus zu 48 Tage x 15/60 Stunden = 12 Stunden. Durch die Vegetation vor dem Haus sinkt die tatsächliche Reflexionszeit auf ca. 10 Stunden. Die nach den LAI-Hinweisen erlaubte tägliche Reflexionszeit von 30 min und jährliche Reflexionszeit von 30 Stunden wird damit auch bei Wohngebäude C unterschritten.

10.2 Gebäude D bis F

Wohngebäude D: Die für dieses Gebäude berechnete, in Bild 5 in brauner Farbe eingezeichnete γ -Fläche hat Schnittpunkte mit den Sonnenstandslinien, Sonnenlicht wird in der Jahreszeit ca. vom 16. März bis 8. April und vom 6. bis 29. September, d.h. für insgesamt ca. 46 Tage, zwischen 6.40 Uhr und 7.20 Uhr MEZ zum Gebäude D reflektiert. Die maximale Reflexionszeit (nur am 22. März und 10. September) beträgt 19 min, die mittlere Reflexionszeit innerhalb der genannten 46 Tage beträgt 9,1 min. Die gesamte Reflexionszeit errechnet sich daraus zu 46 Tage x 9,1/60 Stunden = 7,0 Stunden. Die nach den LAI-Hinweisen erlaubte tägliche Reflexionszeit von 30 min und jährliche Reflexionszeit von 30 Stunden wird damit auch bei Wohngebäude D unterschritten.

Gebäude E: die für dieses Gebäude ermittelte, in Bild 5 in blauer Farbe eingezeichnete γ -Fläche liegt oberhalb der Sonnenstandslinien und hat keine Schnittpunkte mit diesen, Sonnenlicht kann nicht zu diesem Gebäude gelenkt werden.

Gebäude F: Die für dieses Gebäude berechnete, in Bild 5 in grüner Farbe eingezeichnete γ -Fläche hat Schnittpunkte mit den Sonnenstandslinien, Sonnenlicht wird in der Jahreszeit ca. vom 14. April bis 1. September, d.h. für insgesamt ca. 137 Tage, zwischen 7 Uhr und 7.30 Uhr MEZ zum Gebäude reflektiert. Die maximale Reflexionszeit (nur am 21. Juni) beträgt 23,6 min, die mittlere Reflexionszeit innerhalb der genannten 141 Tage beträgt 10,7 min. Die gesamte Reflexionszeit errechnet sich daraus zu 141 Tage x 10,7/60 Stunden = 25,1 Stunden. Die nach den LAI-Hinweisen erlaubte tägliche Reflexionszeit von 30 min und jährliche Reflexionszeit von 30 Stunden wird damit auch bei Wohngebäude F unterschritten.

Fazit: Zu den Fensterflächen der Gebäude B und E wird kein Sonnenlicht reflektiert. Zu den Fensterflächen der Gebäude A, C, D und F wird zu bestimmten Jahres- und Tageszeiten zwar Sonnenlicht reflektiert, aber die Zeiten sind so kurz, dass die Forderungen der LAI-Hinweise in allen Fällen eingehalten werden.

Das Ergebnis für Wohngebäude A (Niersteheide 25) ist auch repräsentativ für Niersteheide 27. Die Reflexionszeiten der Häuser Niersteheide 23 und 23a liegen zwischen den für Niersteheide 21 (0 Stunden) und Niersteheide 25 (18 Stunden) berechneten Zeiten. Für das Haus Niersteheide 17 gelten wie für die benachbarten Häuser Niersteheide 21 und Niersteheide 20 (Wohngebäude C) 0 Stunden Reflexionszeit.

11 Zusammenfassung

Zwischen Autobahn BAB A 2 und PV-Anlagengelände befindet sich eine Lärmschutzwand, die den Einblick von der Autobahn auf die künftige PV-Anlage vollständig verhindert. Zur Sicherheit wurde jedoch eine fiktive Berechnung ohne Vorhandensein der Lärmschutzwand durchgeführt. Da das von der PV-Anlage reflektierte Sonnenlicht jedoch auf der Autobahn vorbeifahrende Kraftfahrer nicht erreicht, könnten diese von der PV-Anlage nicht geblendet werden, selbst wenn keine Lärmschutzwand vorhanden wäre. Ein zusätzliches Störrisiko durch einen Flimmereffekt oder durch erhöhte Auffälligkeit ist ebenfalls nicht gegeben.

Weiterhin wurde berechnet, ob die Blendzeiten = Lichtimmission der PV-Anlage auf die Bewohner nahegelegener Häuser die Anforderung der „Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen“ der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) vom 13. 9. 2012 (LAI-Hinweise) erfüllen. Diese Vorgaben werden bei allen in Frage kommenden Gebäuden erfüllt.

Von daher ist gegen die Errichtung der PV-Freiflächenanlage bei Lünen nichts einzuwenden.



Dieses Gutachten wurde nach bestem Wissen und Gewissen angefertigt.

Anhang



Bild 1: Die geplante PV-Anlage Lünen. Rechter Teil der Anlage: Orientierung der Modultischreihen gegen Ost oder West $\nu = 26^\circ$, linker Teil $\nu = 23^\circ$ bis 24°

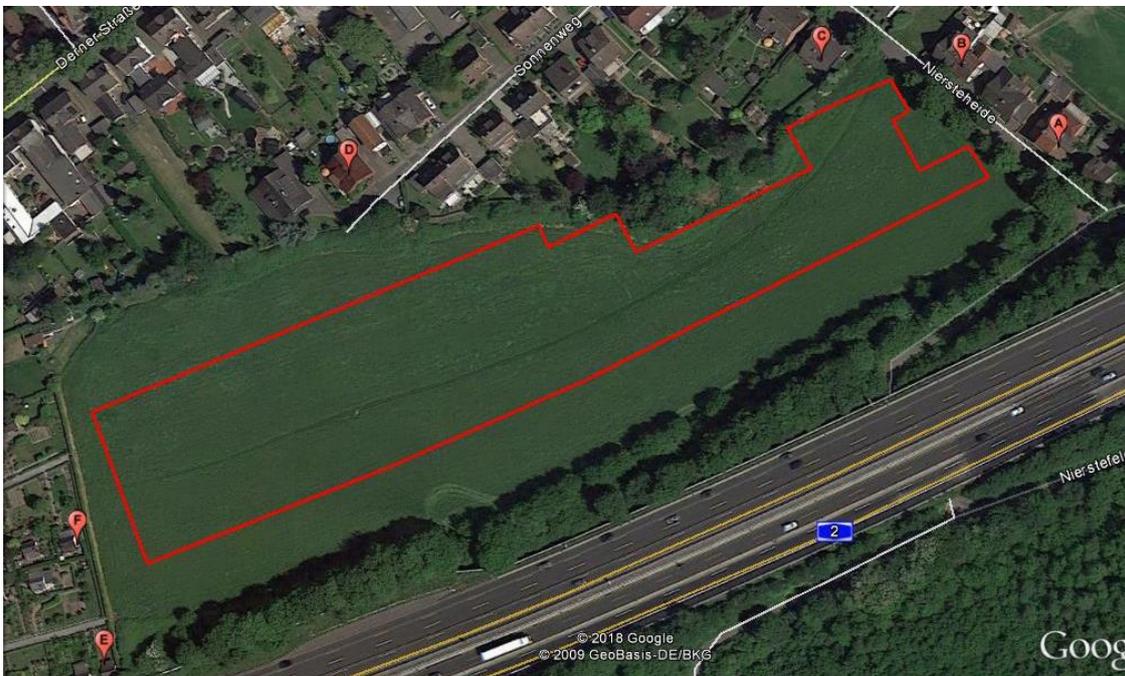


Bild 2: Umriss der PV-Anlage mit den untersuchten Häusern A bis F

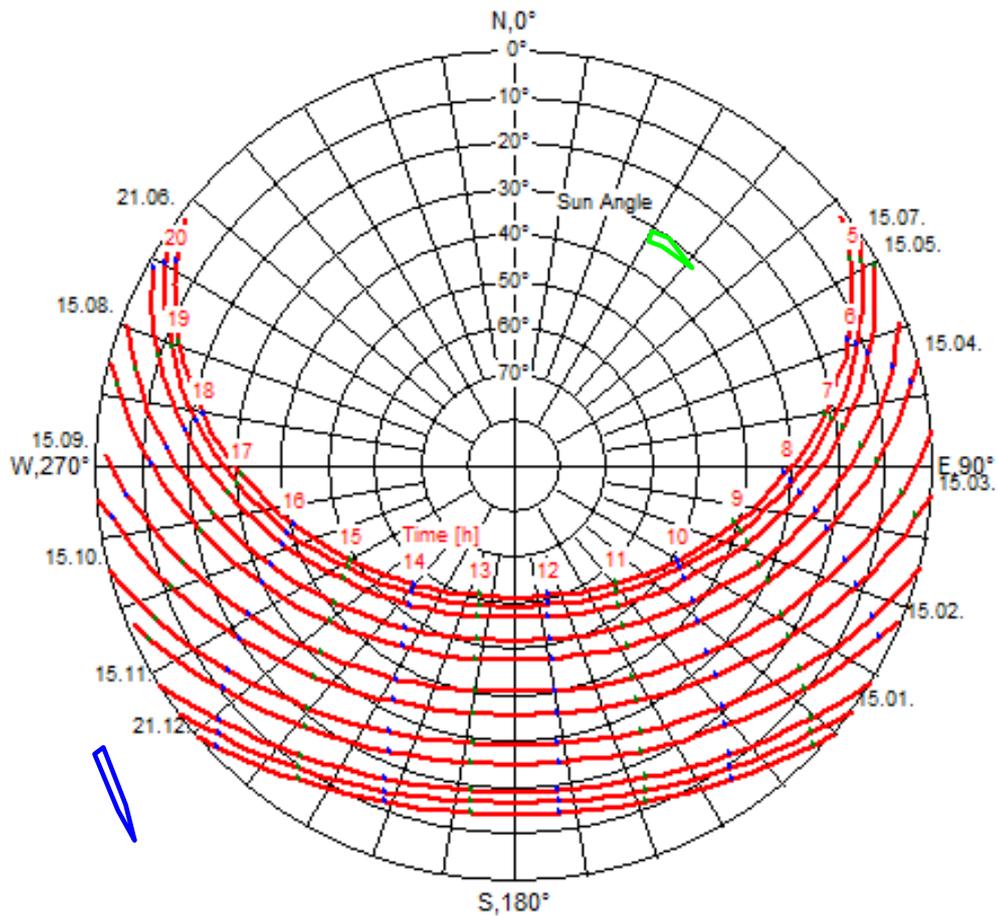


Bild 3: Monatlicher Sonnenstand (Sonnenhöhe und -richtung) für Lünen mit γ -Flächen zur Bewertung der Vorbeifahrt eines Kfz auf der BAB A 2 an der PV-Anlage

Quelle des Sonnenstandsdiagramms: www.stadtklima-stuttgart.de

grün: Fahrtrichtung Nordost
blau: Fahrtrichtung Südwest

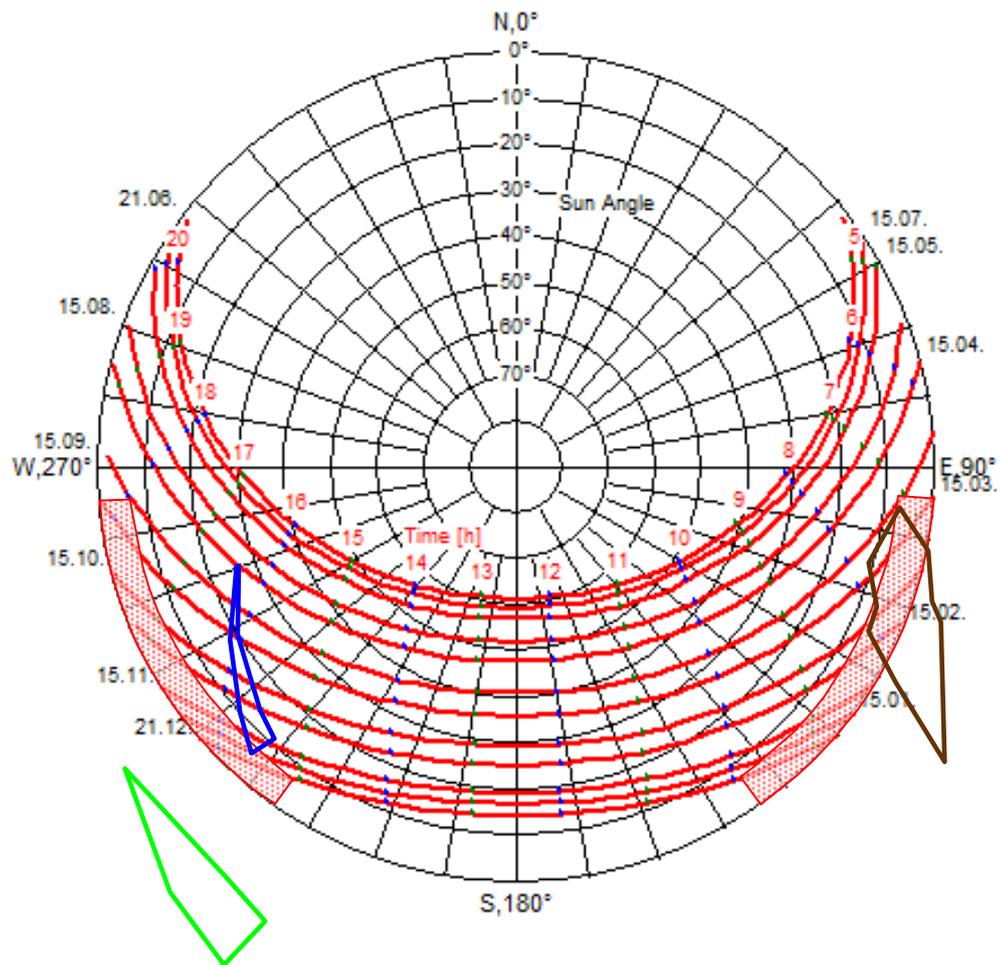


Bild 4: Monatlicher Sonnenstand (Sonnenhöhe und -richtung) für Lünen mit γ -Flächen zur Bewertung der Reflexionszeiten zu Wohngebäuden. Orientierung der Modultischreihen $\nu = 26^\circ$

Rot schraffierte Flächen: Bereich des Sonnenhöhenwinkels $\gamma \leq 7,5^\circ$, der bei der Bewertung der Reflexionszeiten nicht berücksichtigt wurde

Blau: Haus A
grün: Haus B
braun: Haus C

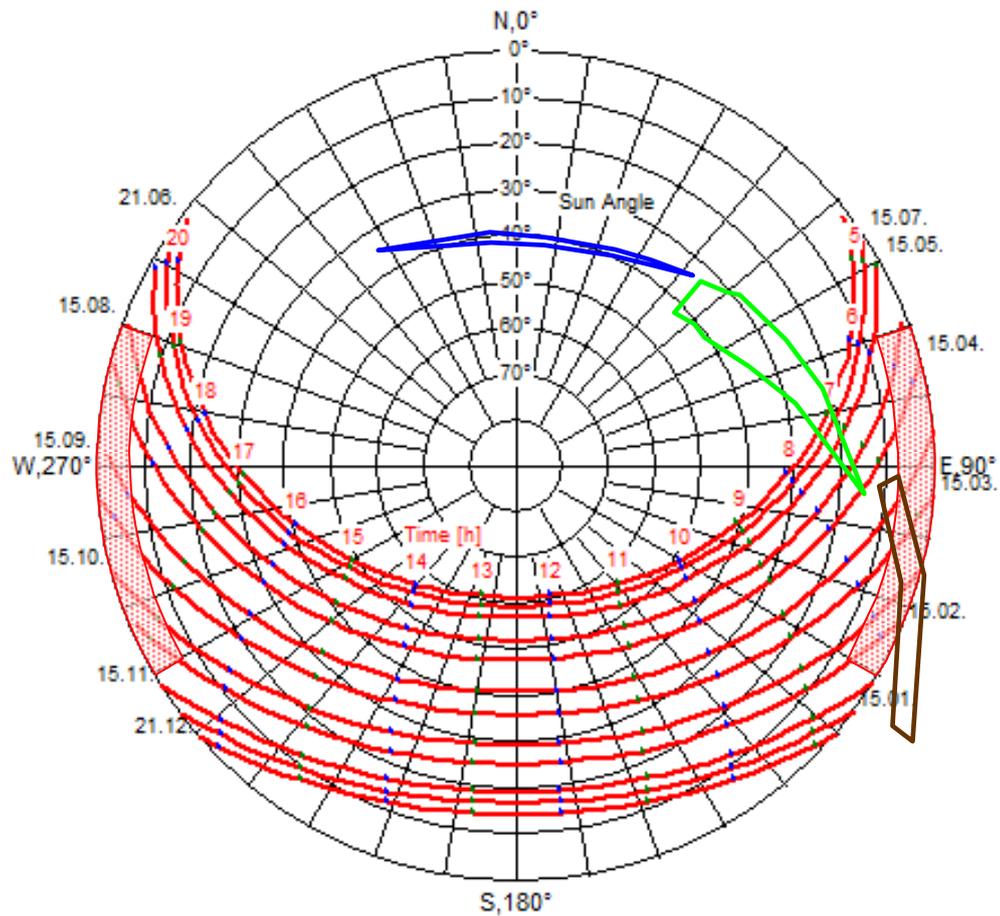


Bild 5: Monatlicher Sonnenstand (Sonnenhöhe und -richtung) für Lünen mit γ -Flächen zur Bewertung der Reflexionszeiten zu Wohngebäuden. Orientierung der Modultischreihen $\nu = 23^\circ$

Rot schraffierte Flächen: Bereich des Sonnenhöhenwinkels $\gamma \leq 7,5^\circ$, der bei der Bewertung der Reflexionszeiten nicht berücksichtigt wurde

braun: Haus D

Blau: Haus E

grün: Haus F