



**Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie e.V.**  
International Solar Energy Society, German Section

DGS Landesverband Berlin Brandenburg e.V.  
Erich-Steinfurth-Str. 8  
10243 Berlin

## **Fachgutachten zur Bewertung der Blendwirkung durch Reflexion an PV-Modulen (Blendgutachten) für den Solarpark Detershagen**

Anlage: Solarpark Detershagen  
54.058204°, 11.759257°  
Kröpelin, 18236

in Auftrag gegeben von: PV Projektentwicklungsgesellschaft mbH & Co. KG  
Schwarzer Weg 2  
18069 Rostock

Projektnummer: A-LV24/0019

Gutachter: Dipl.-Ing. Ralf Haselhuhn

Bearbeiter: M. Eng. Joris Neumann

Berlin, 15.04.2024

Vereinsregister:  
Amtsgericht  
Berlin-Charlottenburg  
VR 7591 B

Bankverbindung:  
Bank für Sozialwirtschaft  
BLZ 100 205 00  
Konto 30 32 403

U-ID-Nr.: DE151155798  
BIC: BFSWDE33BER  
IBAN: DE74 1002 0500 0003 0324 03

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	3
2	Beschreibung der Umgebung .....	3
3	Beschreibung der PV – Anlage .....	4
4	Grundlagen der Optik .....	6
	4.1 Geometrische Reflexionssituation .....	6
	4.2 Reflexionseigenschaften verschiedener Modultypen .....	7
	4.3 Blendung.....	9
5	Methodik der Untersuchung .....	10
	5.1 Bewertungsbasis .....	10
	5.2 Simulationstool und Modellierung .....	11
	5.3 Simulationsausgabe und -bewertung .....	12
6	Simulation.....	13
	6.1 PV - Anlage.....	13
	6.2 Immissionsorte.....	13
7	Ergebnisse .....	15
8	Blendschutzmaßnahmen.....	24
9	Schlussbemerkung.....	26
10	Literaturverzeichnis .....	27
11	Abbildungsverzeichnis.....	28
12	Anhang .....	29

## 1 Einleitung

Im folgenden Gutachten wird die durch Reflexion direkter Sonneneinstrahlung verursachte Lichtemission des geplanten Solarparks Detershagen und die damit einhergehende potenzielle Beeinträchtigung der Umgebung untersucht und nach den *Hinweisen zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen* (kurz: LAI) der *Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz* bewertet.

Es werden hierzu zunächst relevante Bereiche ausgemacht, die einer näheren Betrachtung bedürfen. Wird für einen oder mehrere Bereiche potenzielle Blendung vermutet, kann dies anhand einer Simulation ausgeschlossen oder nachgewiesen werden. Abschließend werden die Ergebnisse bewertet und eingeordnet und bei Bedarf Blendschutzmaßnahmen empfohlen.

## 2 Beschreibung der Umgebung

Gelegen ist der geplante Solarpark in den Gemeinden Kröpelin und Biendorf im Landkreis Rostock in Mecklenburg-Vorpommern. Die Flächen des Solarparks liegen nördlich und südlich der Bahntrasse Wismar-Rostock. Im Norden des geplanten Solarparks verläuft die Bundesstraße B 105. Die Flächen des Solarparks werden derzeit als Ackerland genutzt. Eine Übersicht der Umgebung ist in Abbildung 1 gegeben.



Abbildung 1: Geplante PV-Flächen in Blau und Umgebung (Quelle: Google Earth)

### 3 Beschreibung der PV – Anlage

Der Modulbelegungsplan des Solarparks ist in Abbildung 2 zu sehen. Die Modulflächen werden mit  $180^\circ$  in Richtung Süden und  $90^\circ/270^\circ$  in Richtung Ost und West ausgerichtet. Die Module werden mit einem Neigungswinkel von  $15^\circ$  montiert. Eine Darstellung der Unterkonstruktionen mit Höhenangaben ist in Abbildung 3 gegeben.

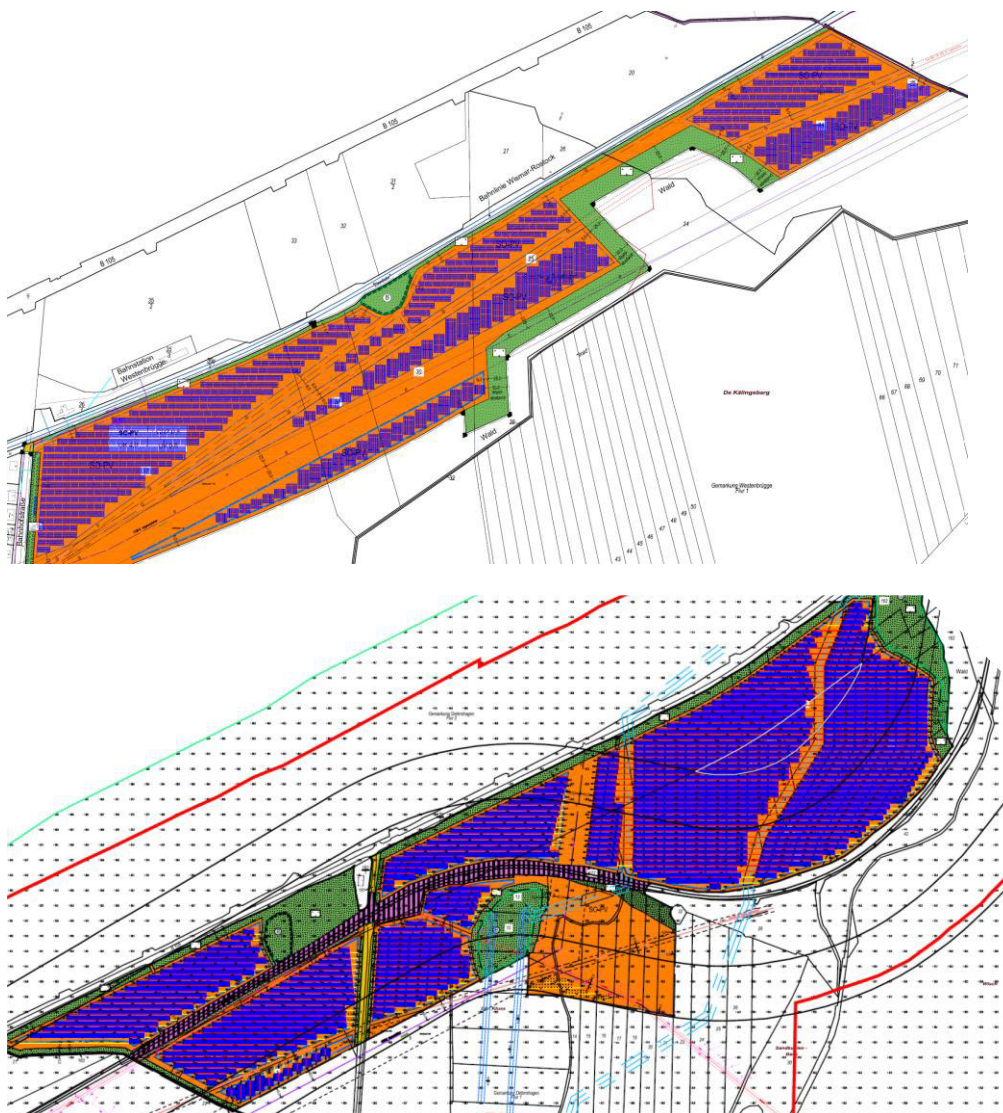


Abbildung 2: Modulbelegungsplan (Quelle: Auftraggeber)

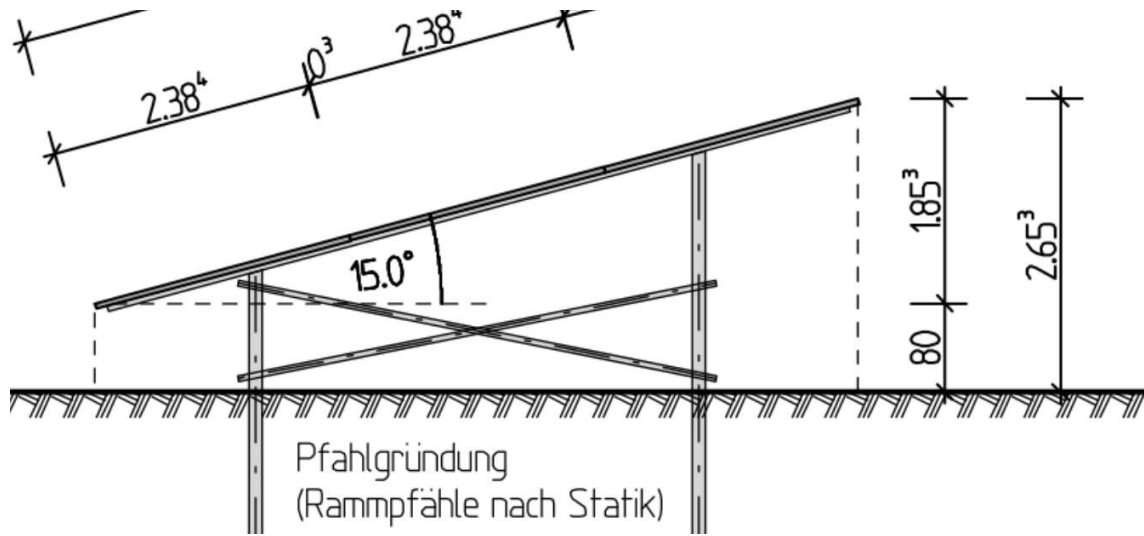


Abbildung 3: Unterkonstruktionen der geplanten PV-Anlage (Quelle: Auftraggeber)

## 4 Grundlagen der Optik

In diesem Abschnitt werden die Grundlagen zur Berechnung der Reflexion erläutert.

### 4.1 Geometrische Reflexionssituation

Nach dem Reflexionsgesetz ist der Winkel des einfallenden Lichtstrahls bezogen auf die Flächennormale (Senkrechte, Lot zur Fläche) gleich dem Winkel des reflektierten Strahls zur Normalen ( $\alpha = \beta$ ).

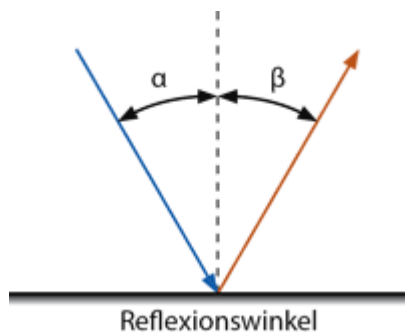


Abbildung 4: Reflexion eines Lichtstrahls

Das Reflexionsgesetz gilt grundsätzlich bei der Reflexion von Lichtstrahlen unabhängig davon, ob es sich bei der reflektierenden Fläche um eine ebene oder raue Oberfläche handelt. Im Fall einer rauen Oberfläche ändert sich jedoch der Einfallswinkel mit dem konkreten Einfallsort, sodass es zu einer Aufweitung des reflektierten Strahls kommt. Generell gilt, je rauer die Oberfläche, desto diffuser die Reflexion. In Abbildung 5 ist in a) die ideal gerichtete Reflexion an einer völlig glatten Oberfläche, eine reale auftretende Streuung an einer unebenen Oberfläche und eine ideal gestreute Reflexion nach dem Lambertschen Gesetz zu sehen.

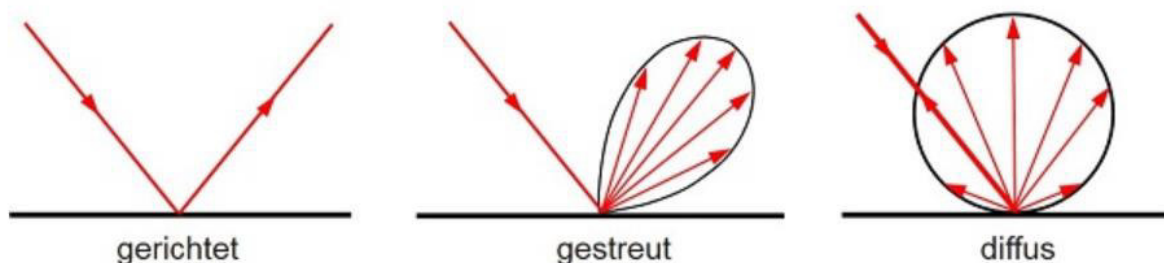


Abbildung 5: (a) gerichtete Reflexion, (b) reale Reflexion, (c) Ideale diffuse Reflexion (Trempler 2015)

Bei realer Reflexion kommt zudem zu sogenannter Bündelaufweitung, einer Streuung um den idealen Reflexionswinkel. Mit steigendem Differenzwinkel zwischen idealem Reflexionswinkel und Streuwinkel nimmt die Intensität der reflektierten Strahlung stark ab, hier wird, wenn von einer Bündelaufweitung gesprochen wird, das Bogenmaß (oder der Winkel) der Standardabweichung um die Intensität der realen Reflexion verwendet, in Abbildung 6.

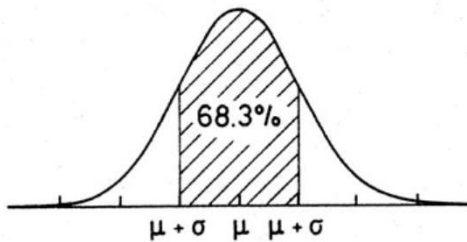


Abbildung 6: Standardabweichung um Maximum einer Normalverteilung

## 4.2 Reflexionseigenschaften verschiedener Modultypen

Entscheidend für die Reflexionseigenschaften eines PV-Moduls ist die Oberflächenstruktur des Glases. In Abbildung 7 sind Messungen der Oberflächenstruktur und Bilder der auftretenden Reflexion für drei unterschiedlich stark texturierten Frontgläser zu sehen.

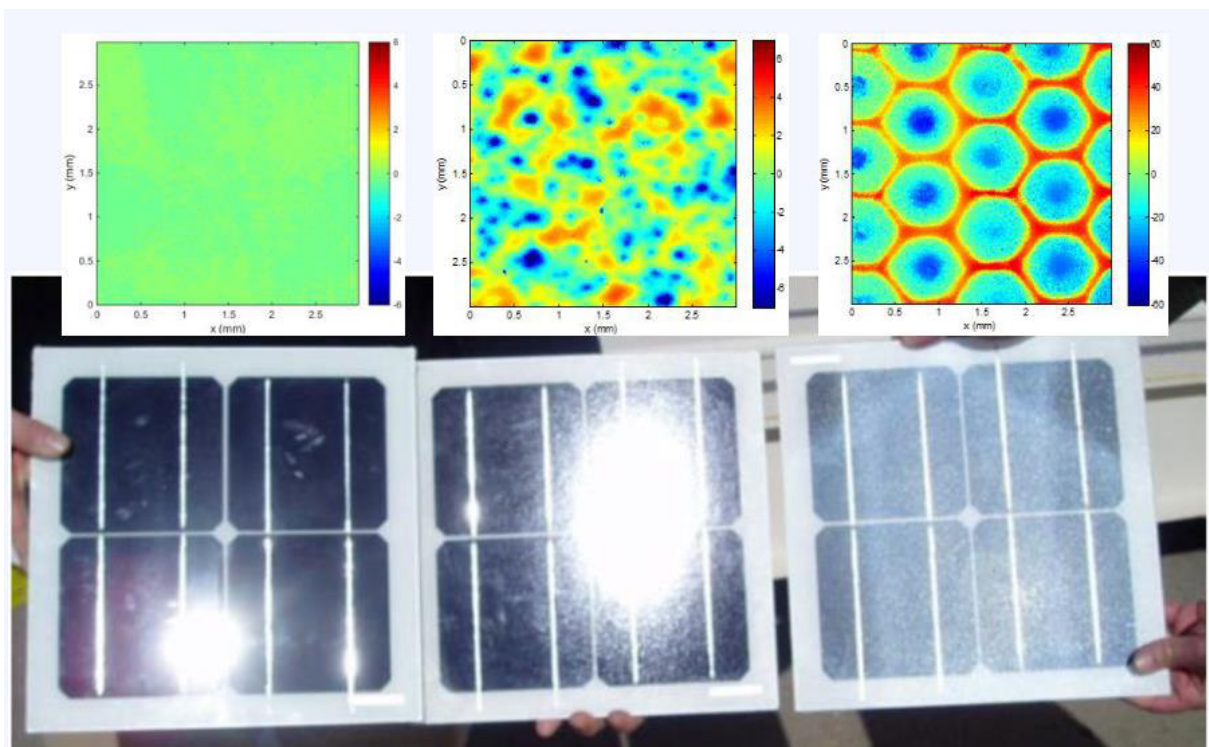


Abbildung 7: Messung der Oberflächenstruktur und Aufnahmen der Reflexion an Solarmodulen mit verschiedener Frontglas-Strukturierung, links: glattes Floatglas, mitte: leicht strukturiert mit Anti-Reflexionsschicht, rechts: tief strukturiert (Yellowhair und Ho 2015)

In der Messdatenanalyse wurde für Floatglas ein Strahlweite von 20mrad ( $1,16^\circ$ ), für leicht- bis mittelstark texturiertes Glas eine Aufweitung von 92-184 mrad ( $5,34-10,6^\circ$ ) und für tiefstrukturiertes Glas 1000 mrad ( $58^\circ$ ) gemessen (Yellowhair und Ho 2015). Während leicht bis mittelstark strukturiertes Glas bereits als Standardprodukt vertrieben wird, handelt es sich bei tief-strukturiertem Glas noch nicht um Massenware, da die Herstellung mit erheblichen Mehrkosten einhergeht. Alternativ ist jedoch auch das Aufbringen geeigneter Folien oder das Verwenden von satiniertem Glas eine Möglichkeit beinahe vollständig blendfreie Module herstellen, siehe Abbildung 8.

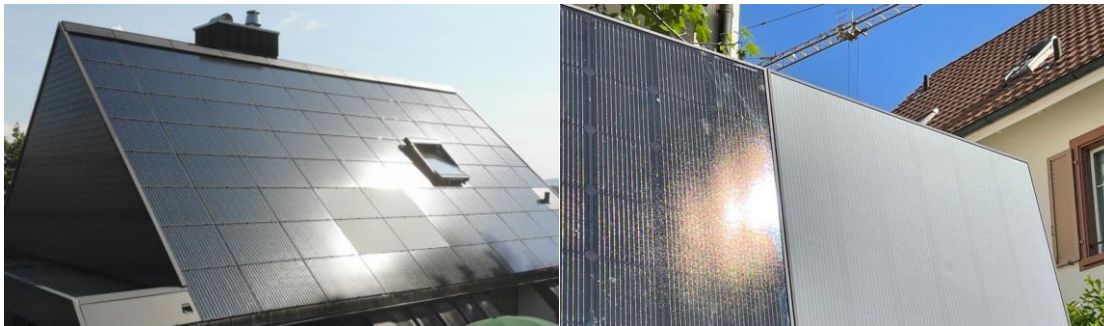


Abbildung 8: links: Module mit satinierter Folie (Buchner 2021), rechts: nachträglich sandgestrahltes Modul (Warthmann 2021)

Solarmodule sind so konzipiert, dass sie einen möglichst hohen Anteil des Sonnenlichtes zu nutzen, das Frontglas also eine möglichst hohe Transmissionsgrad und möglichst niedrigen Reflexionsgrad aufweist. Die Transmission von Solargläser liegt typischerweise bei rund 96% bei senkrechter Einstrahlung, sodass die Reflexionsverluste etwa 4% betragen. Mit Verwendung von Anti-Reflexions-Beschichtungen sind auch Reflexionsgrade von nur 2% möglich. Mit höheren Einfallswinkeln steigt der Reflexionsgrad jedoch bei beinahe allen Modularten stark an, zu sehen in Abbildung 9, Ausnahme sind hier nur tief texturierte Module.

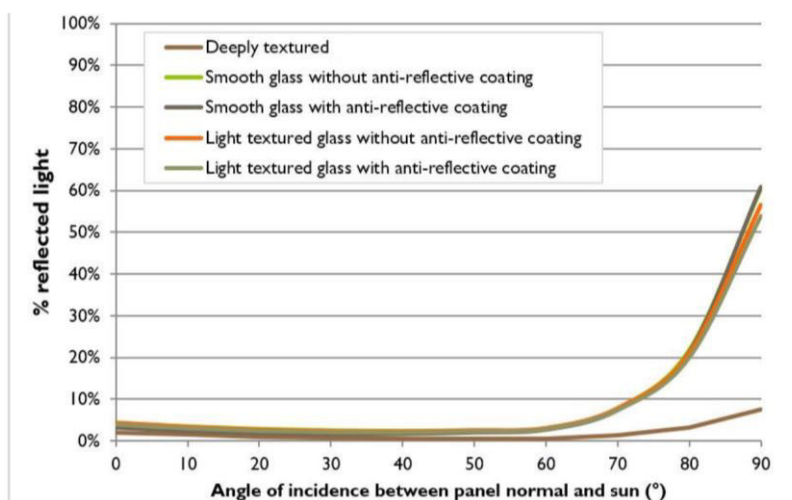


Abbildung 9 Reflexionsgrad über Einfallswinkel für verschiedene Modultypen (Yellowhair und Ho 2015)



### 4.3 Blendung

Blendung wird hier definiert als eine Störung der Wahrnehmung durch eine Lichtquelle. Hierfür ist zum einen die gewichtete Helligkeit des Sichtfeldes relevant, welche zu einer entsprechenden Adaption des Auges führt. Zum anderen die Helligkeit des Objekts, auf welche das Auge fokussiert ist. Wenn die Helligkeit der Blendquelle (gewichtet mit deren Entfernung zum zentralen Sichtfeld), eine Anhebung der adaptiven Helligkeit zur Folge hat, welche dann dazu führt, dass das Ziel nicht mehr richtig wahrgenommen werden kann, liegt eine Beeinträchtigung der Sicht vor. Dies wird in Abbildung 10 verdeutlicht: Erhöht sich die Adaptive Helligkeit, erhöht sich auch die minimale Helligkeit, die ein Objekt haben muss, um gut erkennbar zu sein.

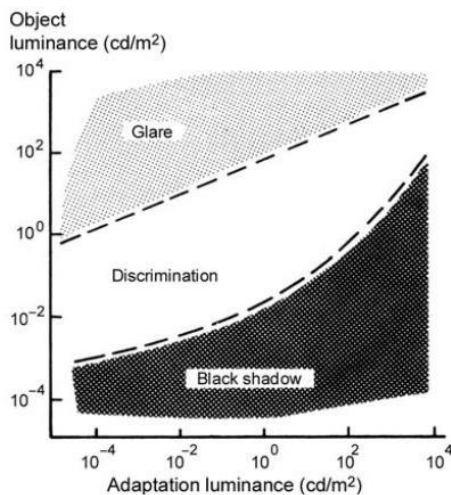


Abbildung 10: Wahrnehmungsbereiche von Objekthelligkeiten in Abhängigkeit der Helligkeitsadaption des Auges (Boyce 2014)

Es wird zwischen Blendung unterschieden, welche eine Beeinträchtigung der Sicht zur Folge hat und einer Blendung welche „nur“ als unangenehm empfunden wird. Während eine Beeinträchtigung der Sicht in Verkehrssituationen gänzlich vermieden werden sollte, ist für ortsfeste Beobachter eine kurzzeitige Beeinträchtigung durch Blendung ein geringeres Problem als eine lang andauernde „nur“ unangenehm empfundene Blendung. Wann eine Reflexion als unangenehm empfunden, wird hängt von einer Vielzahl von Faktoren ab. In der Literatur werden verschiedene Berechnungsmethoden vorgeschlagen, es hat sich jedoch bisher kein Standard etablieren können (Boyce 2014).

## 5 Methodik der Untersuchung

### 5.1 Bewertungsbasis

Um die betroffenen örtlich aufgelösten Bereiche bestimmen zu können und eine quantitative Aussage über die Reflexionsimmissionen zu treffen, wird ein Simulationstool verwendet. Dieses soll minutengenau darstellen, ob und zu welchem Zeitpunkt schutzwürdige Räume einer potenziellen Blendung ausgesetzt sind. Schutzwürdige Räume sind laut LAI-Hinweisen:

- 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 (Ministerium für Umwelt 2012)

Ist einer dieser Räume von Blendung betroffen, wird überprüft, ob es zu einer erheblichen Belästigung im Sinne der LAI-Hinweise kommt. Derzeit gibt es dafür in Deutschland keine gesetzlichen Regelungen, bzw. Grenzwerte. Allerdings leiten die LAI - Hinweise Bewertungsgrößen aus einem Hinweispapier für Windenergieanlagen (Immissionsschutz 2002) ab. Die LAI-Hinweise definieren diese Bewertungsgrößen wie folgt:

*„[Gegenwärtig wird davon ausgegangen, dass...] eine erhebliche Belästigung im Sinne des BImSchG durch die maximal mögliche astronomische Blenddauer unter Berücksichtigung aller umliegenden Photovoltaikanlagen vorliegt, wenn diese **mindestens 30 Minuten am Tag oder 30 Stunden pro Kalenderjahr** beträgt.“* (Ministerium für Umwelt 2012)

Liegt die Blenddauer unterhalb dieser Grenzwerte wird die Blendung als allgemein hinnehmbar bewertet. Auch der Österreichische Verband für Elektrotechnik veröffentlichte im November 2016 eine Richtlinie mit identischen Richtwerten für die Ermittlung von durch Blendung verursachte Belästigung (OVE, Österreichischer Verband für Elektrotechnik 2016). Zusätzlich zu den schutzwürdigen Räumen muss überprüft werden, ob die auftretende Blendung die Sicherheit von folgenden Bereichen gefährdet:

- Straßenverkehr
- Schienenverkehr
- Schifffahrtsverkehr
- Flugverkehr

Tritt in einem dieser Arbeitsbereiche Blendung auf, kann selbst eine kurzzeitige Blendung schwerwiegend Folgen haben. Es sollte deshalb beim Auftreten von Blendung im Verkehrsbereich mit der Behörde und den Beteiligten eine Risikoanalyse zur Gefährdungsbeurteilung vorgenommen werden, um ggf. Blendschutzmaßnahmen vorzunehmen.

## 5.2 Simulationstool und Modellierung

Als Simulationstool zur Bestimmung der auftretenden Blendung wird das Programm *ForgeSolar* der Firma Sims Industries, LLC verwendet. Dieses basiert auf dem wissenschaftlichen Modell „Solar Glare Hazard Analysis Tool“, welches durch die Sandia National Laboratories, New Mexico entwickelt wurde. Dieses wurde 2013 in den USA von staatlicher Seite anerkannt und bis 2021 war eine Analyse mit diesem Tool verpflichtend für PV-Flächen in Flughafenumgebung (Federal Aviation Administration 2013).

Das Tool berechnet aus den lokalen Sonnenständen die Einfallswinkel auf die Module, bzw. Modulreihen. Hierzu werden auf einer Karte die Modulflächen markiert und Neigungswinkel und Azimut der Ausrichtung eingestellt. Mit den Höhendaten des Geländes wird hieraus eine einheitliche Fläche approximiert. Es lassen sich verschiedene Modultypen mit unterschiedlichen Reflexionseigenschaften auswählen, welche im Wesentlichen darüber entscheiden, wie stark das reflektierte Licht gestreut wird. Die Simulation wertet nur als relevant markierte Beobachtungspunkte und Strecken aus. Die Auflösung der Simulation ist minütlich und erfolgt für ein Kalenderjahr. Bei der Simulation werden folgende Annahmen getroffen:

- Die Blendwirkung wird unabhängig vom Bedeckungsgrad des Himmels berechnet. Somit ergeben sich die astronomisch maximalen Blendzeiträume. Das entspricht einer „worst case“ Betrachtung der Blendsituation. Das Vernachlässigen der Wetterverhältnisse empfiehlt auch das Ministerium für Umwelt (Ministerium für Umwelt 2012) und die TU Ilmenau (Schierz 2012).
- Zur Bewertung des Straßenverkehrs wird nur die Blendung im Bereich des Blickwinkels von  $\pm 30^\circ$  berücksichtigt, ausgehend von der jeweiligen Fahrtrichtung. Zur Bewertung des Bahnverkehrs wird die Blendung im Bereich des Blickwinkels von  $\pm 20^\circ$  berücksichtigt. Zudem werden Blendungen nicht betrachtet, welche aus der gleichen Richtung wie die direkte Sonnenstrahlung kommen. Somit muss die Differenz der Richtungsvektoren von Reflexionsstrahl und Sonneneinstrahlung weniger als  $10^\circ$  betragen. Dies wird begründet dadurch, dass die Sonne, die eine höhere Lichtintensität aufweist als die Reflexion, als Hauptblendquelle wahrgenommen wird und die Reflexion in diesen Fällen keine zusätzliche Blendungsquelle darstellt (OVE, Österreichischer Verband für Elektrotechnik 2016).
- Der Immissionsort im Straßenverkehr wird in der Regel auf eine Höhe von 3 m festgelegt, was in etwa der Sichthöhe von Lastkraftwagen entspricht. Grund hierfür ist, dass in der Regel höhere Beobachtungspositionen auch einer stärkeren Blendung ausgesetzt sind. In Situationen, in denen das nicht zutrifft, weil eine Blendung von oben stattfindet, wird die Sichthöhe stattdessen auf 1,5 m über dem Boden festgelegt, um in diesem Fall einen PKW abzubilden. Der Immissionsort von Bahntrassen wird typischerweise auf 3 m über dem Boden festgelegt.

Für weitere Informationen wird an dieser Stelle auf die Webseite von ForgeSolar verwiesen (ForgeSolar 2022).

### 5.3 Simulationsausgabe und -bewertung

Die Simulation wertet jede PV-Fläche und jeden Beobachtungspunkt bzw. Strecke einzeln aus. Es werden dabei folgende Werte für jede Minute, jeweils für die betreffende Position berechnet:

- Die Einstrahlungsstärke der Sonne in Abhängigkeit der Uhrzeit [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]
- Der berechnete Reflexionsgrad des PV-Fläche [-]
- Alle Strahlungsvektoren
- Der Raumwinkel des blendenden Bereichs der PV-Fläche aus Sicht des Beobachters [rad]
- Die Bestrahlungsstärke der Reflexion auf der Netzhaut [ $\text{W}/\text{cm}^2$ ]
- Die Einstufung des Blendpotenzials auf Basis der Bestrahlungsstärke und der Größe der Blendquelle [grün/gelb/rot]
- Leuchtdichte der Blendung [ $\text{cd}/\text{m}^2$ ]

Das Blendpotenzial wird gemäß Abbildung 11 in drei Bereiche unterteilt. Im grünen Bereich ist davon auszugehen, dass keine Beeinträchtigung der Sicht stattfindet, im gelben Bereich kann es dagegen zu Sichteinschränkungen kommen und im roten Bereich sogar zu dauerhaften Verbrennungen der Netzhaut. Je größer die Blendquelle (angegeben als Sichtwinkel in Milli-rad), desto größer ist auch deren Blendpotenzial.

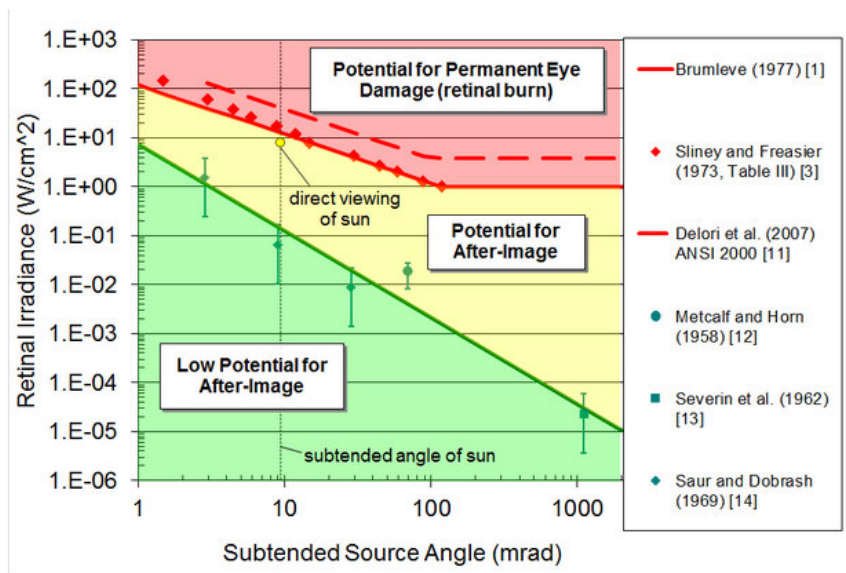


Abbildung 11: Einstufung des Blendpotenzials hinsichtlich der Sichtbeeinträchtigung (ForgeSolar 2022)

## 6 Simulation

Dieses Kapitel stellt die Simulationsparameter dar. Es werden die Eingabedaten und Simulationsparameter für die PV-Flächen und die zu untersuchenden Immissionsorte aufgeführt. In Abbildung 12 ist eine Übersicht über die angelegte Simulation dargestellt.



Abbildung 12: Anlage der PV-Flächen und Immissionsorte in der Simulationssoftware ForgeSolar

### 6.1 PV - Anlage

Für die Simulation werden die Eingabedaten der PV-Anlage mit den Koordinaten und der Höhe über Normalhöhennull ermittelt. Die Nachstellung im Simulationsprogramm basiert auf den vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Planungsunterlagen, sowie Satellitendaten. Die PV-Flächen werden mit 180° bzw. 90°/270° Azimut und 15° Neigungswinkel simuliert. Die mittlere Modulhöhe ergibt sich zu 1,7 m. Die genauen Koordinaten der Eckpunkte der PV-Flächen sind im Anhang in Tabelle 2 aufgeführt.

### 6.2 Immissionsorte

Als relevante Immissionsorte werden die angrenzende Bundesstraße B 105, die Bahntrasse, die Bahnhofstraße, die Straße „An Eikbarg“ und angrenzende Wohnbebauung untersucht. Grundlage für die gewählten Immissionsorte sind Angaben des Auftraggebers, sowie Satellitenbilder. Die Untersuchungshöhe für den Straßenverkehr wird auf 3 m über der Strecke festgelegt. Für die Straßen



wird ein relevanter Sichtwinkel von +/- 30° zur Fahrtrichtung untersucht. Für die Bahnverkehr wird ebenfalls eine Untersuchungshöhe von 3 m über den Gleisen festgelegt und ein relevanter Sichtwinkel von +/- 20° zur Fahrtrichtung untersucht. Die exakten Koordinaten, Höhe ü. NN, die für die Simulation angenommene Untersuchungshöhe und die daraus resultierende Gesamthöhe sind aus Tabelle 3 im Anhang zu entnehmen.

## 7 Ergebnisse

Nachfolgend sind die Ergebnisse der Simulation bezüglich der potenziell auftretenden solaren Blendungen durch Reflexionen dargestellt. Die Simulationsergebnisse werden aufgrund der technischen Limitierung der Simulationssoftware einer weiteren Korrektur unterzogen. So ist gemäß LAI-Hinweisen keine Blendung gegeben, wenn die Richtung des Vektors der Lichtreflexion und die des Vektors der Sonnenstrahlung weniger als  $10^\circ$  auseinander liegen. Das bedeutet, dass die Sonne aus nahezu der gleichen Richtung scheint wie die Reflexion der Sonne an den PV-Modulen. Somit wird die Sonne, die eine höhere Lichtintensität aufweist als die Reflexion, als Hauptblendquelle wahrgenommen. Die Reflexion wird sozusagen von der Sonne überstrahlt und erscheint nicht als zusätzliche Blendung. Auch Sichtunterbrechungen werden durch die Simulation nicht ermittelt und müssen nachträglich herausgefiltert werden. Die genaue Vorgehensweise hierbei wird in den folgenden Abschnitten erläutert. In Tabelle 1 sind die Werte nach genannten Korrekturen aufgeführt, kritische Werte welche den LAI-Grenzwert von 30 Stunden/Jahr bzw. 30 Minuten/Tag überschreiten oder den Verkehr betreffen sind in Rot dargestellt. Die so simulierte Blenddauer stellt das Höchstmaß potenzieller Blendung dar, welche ohne Bewölkung auftritt.

Tabelle 1: Simulationsergebnisse: gesamte potenzielle Blenddauer in Stunden über ein Jahr

Immissionsort	Potenzielle Blenddauer in Stunden
Straße „An Eikborg“	0
Bahnhofstraße	0
Bahntrasse Abschnitt 1	47,7
Bahntrasse Abschnitt 2	33,1
Bundesstraße B 105	44,1
Wohnbebauung Detershagen	0
Wohnbebauung An Eikborg	0
Wohnbebauung An Eikborg 1	0
Wohnbebauung Sandhagen	0
Wohnbebauung Bahnhofsgebäude	9,7
Wohnbebauung Bahnhofstraße	28,8

### Bahntrasse Abschnitt 1

Die Ergebnisse der Simulation für die Bahntrasse Abschnitt 1 sind in Abbildung 13 dargestellt. Es kommt von Anfang April bis Mitte September zwischen 6:30 und 7:35 Uhr zu potenzieller Blendung. Die Immissionswinkel liegen zwischen  $64^\circ$  -  $88^\circ$  Azimut und es werden tägliche Blenddauern von bis zu 24 Minuten ermittelt.

Der betroffene Streckenabschnitt ist in Abbildung 14 dargestellt. Es ist nur teilweise Bewuchs als Sichtunterbrechung vorhanden. Hier treten potenzielle Reflexionen in Fahrtrichtung auf. Eine Blendung der Zugführer kann nicht ausgeschlossen werden, weshalb Blendschutzmaßnahmen empfohlen werden.

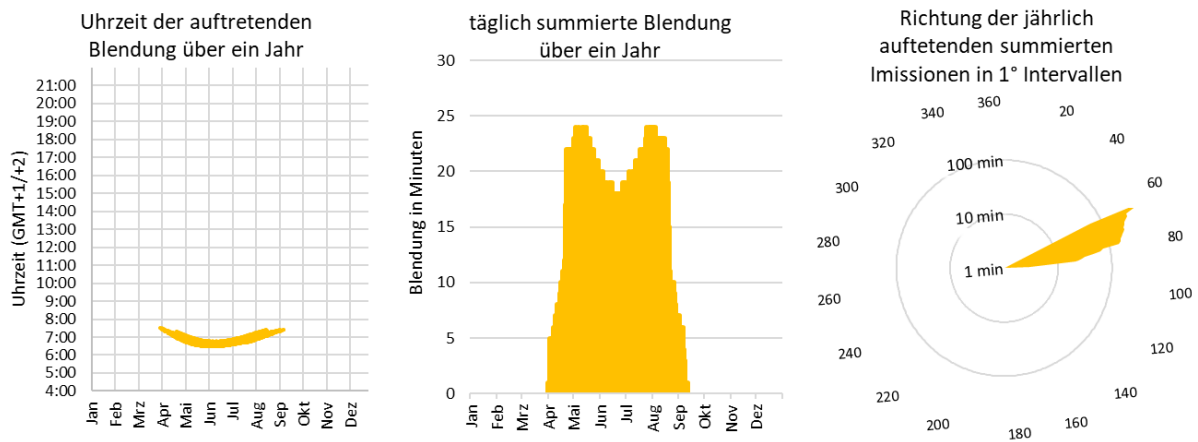


Abbildung 13: Zeitraum und Richtung der potenziellen Blendung auf der Bahntrasse Abschnitt 1



Abbildung 14: Von potenzieller Blendung betroffenes Sichtfeld entlang der Bahntrasse Abschnitt 1 in Rot, betroffener Streckenabschnitt in Orange

## Bahntrasse Abschnitt 2

Die Ergebnisse der Simulation für die Bahntrasse Abschnitt 2 sind in Abbildung 15 dargestellt. Es kommt von Mitte März bis Mitte September zwischen 6:20 und 7:40, sowie 19:40 und 20:10 Uhr zu potenzieller Blendung. Die Immissionswinkel liegen zwischen  $63^\circ - 87^\circ$ ,  $91^\circ - 94^\circ$ , sowie  $290^\circ - 297^\circ$  Azimut und es werden tägliche Blendedauern von bis zu 35 Minuten ermittelt.

Die betroffenen Streckenabschnitte sind in Abbildung 16 und Abbildung 17 dargestellt. Es ist kein ausreichender Bewuchs als Sichtunterbrechung vorhanden. Hier treten potenzielle Reflexionen in



Fahrtrichtung im zentralen Sichtbereich auf. Eine Blendung der Zugführer kann nicht ausgeschlossen werden, weshalb Blendschutzmaßnahmen empfohlen werden.

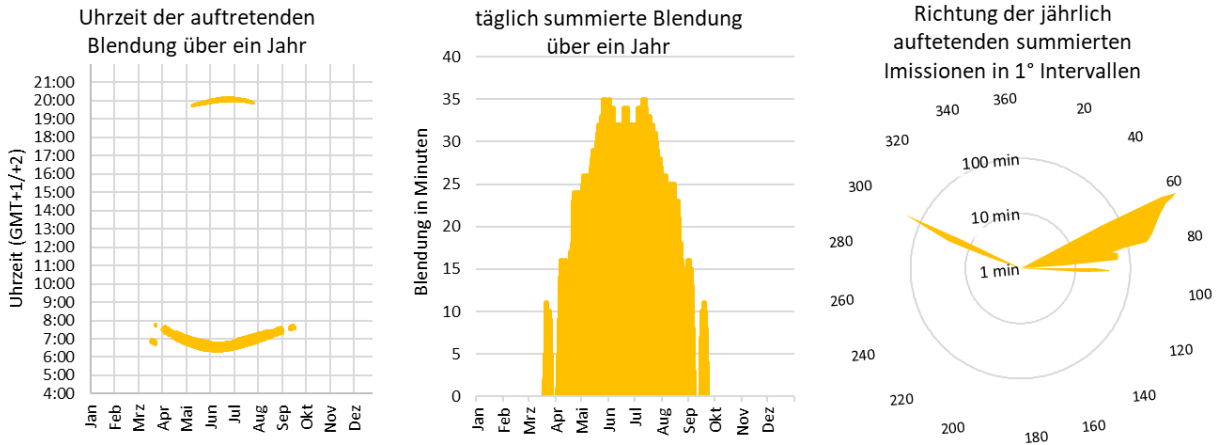


Abbildung 15: Zeitraum und Richtung der potenziellen Blendung auf der Bahntrasse Abschnitt 2



Abbildung 16: Von potenzieller Blendung betroffenes Sichtfeld entlang der Bahntrasse Abschnitt 2 (1) in Rot, betroffener Streckenabschnitt in Orange



Abbildung 17: Von potenzieller Blendung betroffenes Sichtfeld entlang der Bahntrasse Abschnitt 2 (2) in Rot, betroffener Streckenabschnitt in Orange

### **Bundesstraße B 105**

Die Ergebnisse der Simulation für die Bundesstraße B 105 sind in Abbildung 18 dargestellt. Es kommt von Mitte März bis Mitte September zwischen 6:25 und 7:45 Uhr zu potenzieller Blendung. Die Immissionswinkel liegen zwischen  $64^{\circ}$  -  $93^{\circ}$  Azimut und es werden tägliche Blenddauern von bis zu 21 Minuten ermittelt.

Die betroffenen Streckenabschnitte sind in Abbildung 19 und Abbildung 20 dargestellt. Es ist kein ausreichender Bewuchs als Sichtunterbrechung vorhanden. Hier treten potenzielle Reflexionen in Fahrtrichtung auf. Eine Blendung der Verkehrsteilnehmer kann nicht ausgeschlossen werden, weshalb Blendschutzmaßnahmen empfohlen werden.

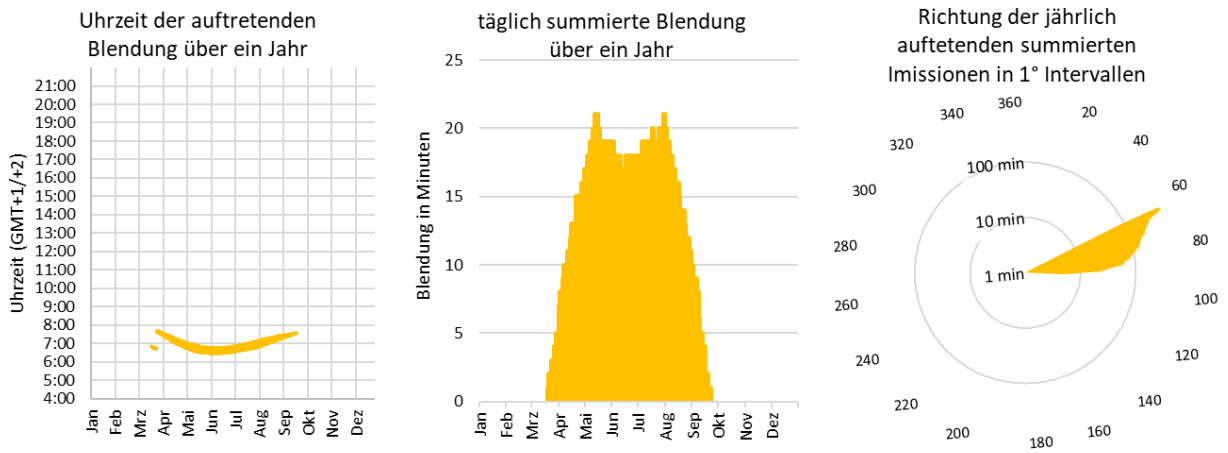


Abbildung 18: Zeitraum und Richtung der potenziellen Blendung auf der Bundesstraße B105



Abbildung 19: Von potenzieller Blendung betroffenes Sichtfeld entlang der Bundesstraße B 105 (1) in Rot, betroffener Streckenabschnitt in Orange



Abbildung 20: Von potenzieller Blendung betroffenes Sichtfeld entlang der Bundesstraße B 105 (2) in Rot, betroffener Streckenabschnitt in Orange

### **Wohnbebauung Bahnhofsgebäude**

Die Ergebnisse der Simulation für die Wohnbebauung Bahnhofsgebäude sind in Abbildung 21 dargestellt. Es kommt von Anfang April bis Anfang September in den Morgenstunden zu potenzieller Blendung. Die Immissionswinkel liegen zwischen  $65^\circ$  -  $84^\circ$  Azimut und es werden tägliche Blenddauern von bis zu 13 Minuten ermittelt.

Die Werte liegen unterhalb der täglichen und jährlichen Grenzwerte gemäß LAI-Hinweisen. Eine erhebliche Beeinträchtigung wird daher ausgeschlossen.

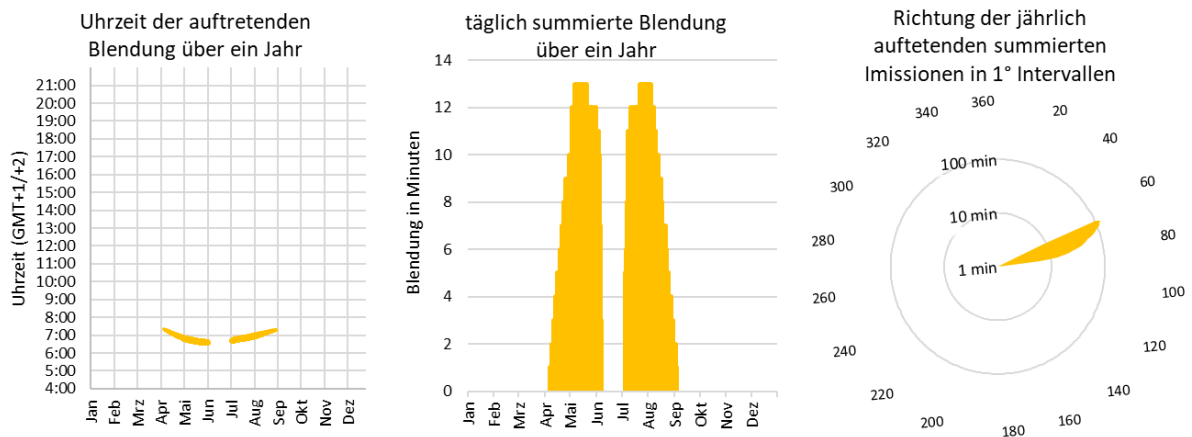


Abbildung 21: Zeitraum und Richtung der potenziellen Blendung auf die Wohnbebauung Bahnhofsgebäude

### Wohnbebauung Bahnhofsstraße

Die Ergebnisse der Simulation für die Wohnbebauung Bahnhofsstraße sind in Abbildung 21 dargestellt. Es kommt von Mitte April bis Ende August zwischen 6:30 und 7:20 zu potenzieller Blendung. Die Immissionswinkel liegen zwischen 65° - 84° Azimut und es werden tägliche Blenddauern von bis zu 15 Minuten ermittelt.

Die Werte liegen unterhalb der täglichen und jährlichen Grenzwerte gemäß LAI-Hinweisen. Eine erhebliche Beeinträchtigung wird daher ausgeschlossen.

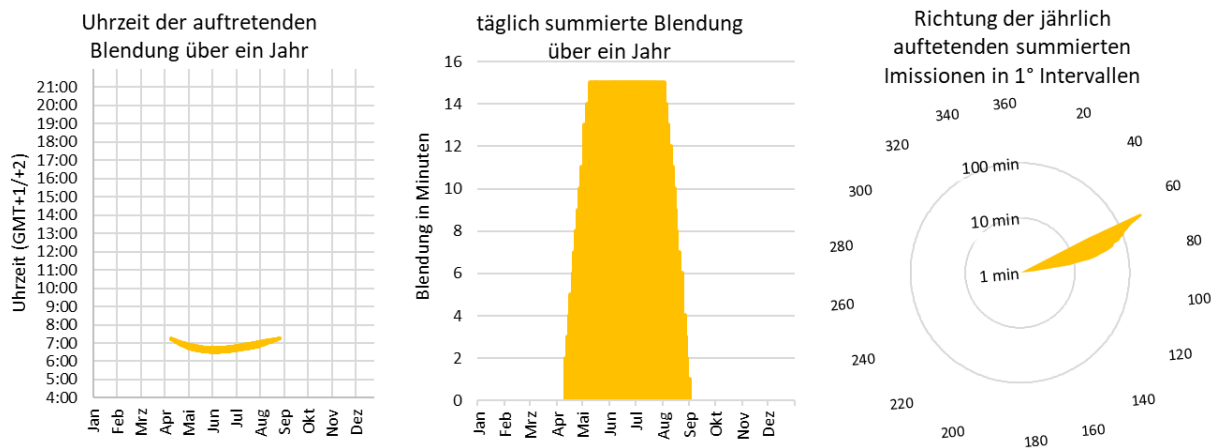


Abbildung 22: Zeitraum und Richtung der potenziellen Blendung auf die Wohnbebauung Bahnhofsstraße

## Wohnbebauung An Eikbarg 1

Die Ergebnisse der Simulation für die Wohnbebauung An Eikbarg 1 sind in Abbildung 21 dargestellt. Es kommt von Anfang April bis Anfang September zwischen 6:25 und 7:30 zu potenzieller Blendung. Die Immissionswinkel liegen zwischen  $64^\circ$  -  $86^\circ$  Azimut und es werden tägliche Blendauern von bis zu 21 Minuten ermittelt.

Die Werte liegen oberhalb der jährlichen Grenzwerte gemäß LAI-Hinweisen. Eine erhebliche Beeinträchtigung wird jedoch aufgrund des vorhandenen Bewuchses auf dem Grundstück ausgeschlossen, da dieser eine direkte Sichtverbindung zum geplanten Solarpark verhindert. Der bestehende Bewuchs, sowie der betroffene Sichtbereich ist in Abbildung 24 dargestellt.

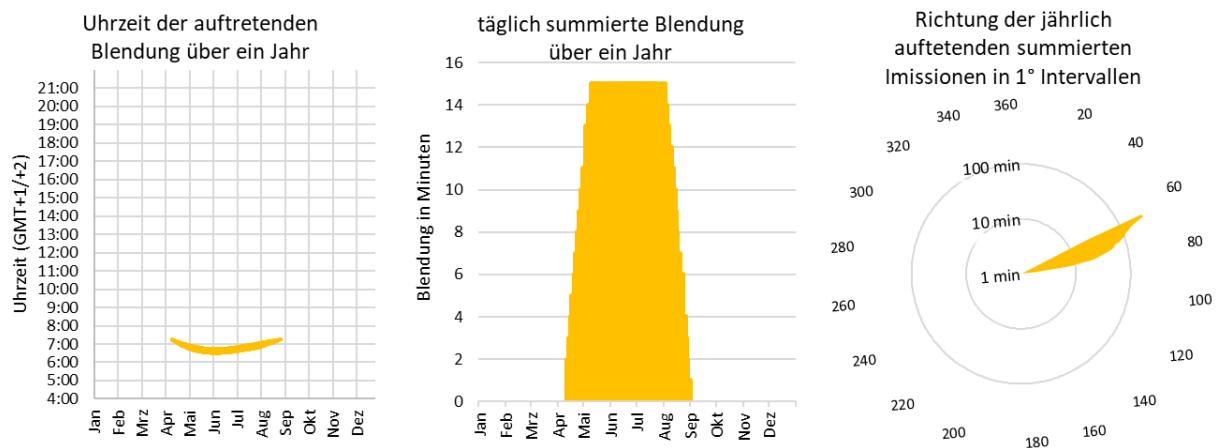


Abbildung 23: Zeitraum und Richtung der potenziellen Blendung auf die Wohnbebauung An Eikbarg 1

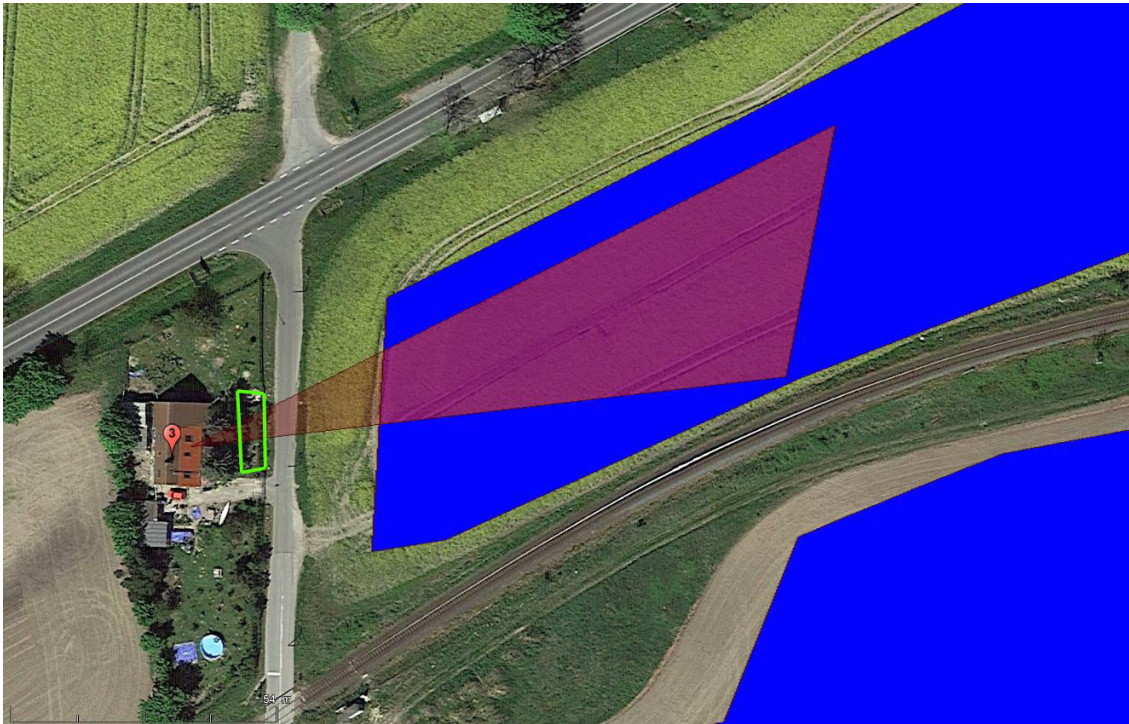


Abbildung 24: Von potenzieller Blendung betroffenes Sichtfeld für Wohnbebauung An Eikbarg 1, bestehender Bewuchs in Grün markiert

## 8 Blendschutzmaßnahmen

Gemäß der Simulationsauswertung werden zur Vermeidung potenzieller Blendung für die Bundesstraße B105 und Bahntrasse Blendschutzmaßnahmen empfohlen. Nachfolgend werden mögliche Maßnahmen beschrieben, welche geeignet sind, die ermittelte potenzielle Blendung zu verhindern. Es handelt sich lediglich um Vorschläge, auch andere Arten von Blendschutzmaßnahmen können zielführend sein.

Es werden Sichtunterbrechungen mit einer Höhe von 2,5 m und ab einer Höhe gemäß der Modulunterkante, also ab 0,8 m empfohlen. Die Bereiche für diese Sichtunterbrechungen sind in Abbildung 25, Abbildung 26 und Abbildung 27 in Gelb dargestellt.

Wird der Sichtschutz mittels Pflanzungen realisiert, sollte darauf geachtet werden, dass die potenzielle Blendung ab Mitte März auftritt und dementsprechend frühhaustreibende Begrünung oder Dauergrün zu verwenden ist.



Abbildung 25: Empfohlener Blendschutz entlang der Bahntrasse in Gelb, von potenzieller Blendung betroffenes Sichtfeld in Rot, betroffener Streckenabschnitt in Orange





Abbildung 26: Empfohlener Blendschutz entlang der Bahntrasse und Bundesstraße (1) in Gelb, von potenzieller Blendung betroffenes Sichtfeld in Rot, betroffener Streckenabschnitt in Orange



Abbildung 27: Empfohlener Blendschutz für Bahntrasse und Bundesstraße (2) in Gelb, von potenzieller Blendung betroffenes Sichtfeld in Rot, betroffener Streckenabschnitt in Orange



## 9 Schlussbemerkung

Untersucht wurde die potenzielle Blendung durch direkte Reflexion der Sonnenstrahlen an den Modulflächen für den geplanten Solarpark Detershagen. Für die Straße „An Eikbarg“, Bahnhofstraße und die Wohnbebauungen „An Eikbarg“, Detershagen und wird Blendung auf Basis der Simulationsergebnisse ausgeschlossen.

Für die Wohnbebauung Bahnhofsgebäude und Bahnhofstraße liegen die Immissionswerte unterhalb der täglichen und jährlichen Grenzwerte gemäß LAI-Hinweisen. Eine erhebliche Beeinträchtigung wird daher ausgeschlossen. Bei der Wohnbebauung „An Eikbarg 1“ stellt der vorhandene Bewuchs eine ausreichende Sichtunterbrechung dar.

Für die Bahntrasse Wismar-Rostock und die Bundesstraße B105 wird in der Simulation potenzielle Blendung ermittelt. Es werden hier daher Blendschutzmaßnahmen in Form einer Sichtunterbrechung für die Bahntrasse und Bundesstraße empfohlen, um Blendung der Verkehrsteilnehmer zu vermeiden. Mit Umsetzung der empfohlenen Blendschutzmaßnahmen wird eine Gefährdung der Verkehrssicherheit durch Reflexionen an den Modulflächen des Solarparks Detershagen ausgeschlossen.

## 10 Literaturverzeichnis

- Boyce, Peter R. *Human Factors in Lightning*. Boca Raton: CRC Press, 2014.
- Bucher, Christof. „bulletin.ch.“ *Reflexionen an Photovoltaikanlagen*. 24. September 2021. <https://www.bulletin.ch/de/news-detail/reflexionen-an-photovoltaikanlagen.html>.
- Federal Aviation Administration. „Interim Policy, FAA Review of Solar Energy System Projects on Federally Obligated Airports.“ *Vol. 78, No. 205*. Federal Register, 23. October 2013.
- ForgeSolar. *ForgeSolar*. 29. 07 2022. <https://www.forgesolar.com/help/#ref-yel-2015>.
- Immissionsschutz, Länderausschuss für. „Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immission von Windnergieanlagen (WEA-Schattenwurf-Hinweise), verabschiedet auf der 103. Sitzung.“ 2002.
- Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg als Vorsitzland der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI). „Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI).“ 2012.
- OVE, Österreichischer Verband für Elektrotechnik. „Blendung durch Photovoltaikanlagen.“ Wien, 1. 11 2016.
- Schierz, Christoph. *Über die Blenbewertung von reflektierenden Sonnenlicht bei Solaranlagen*. Ilmenau: TU Ilmenau, FG Lichttechnik, 2012.
- Trempler, J. *Optische Eigenschaften*. München: Carl Hanser Verlag, 2015.
- Warthmann, Peter. „gebaeudetechnik.ch.“ *Sandstrahl-Atelier löst Blendproblem*. 15. Oktober 2021. <https://www.gebaeudetechnik.ch/gebaeudehuelle/photovoltaikanlage/sandstrahl-atelier-loest-blendproblem/>.
- Yellowhair, Julius Yellowhair, und Clifford K. Ho. „Assessment of Photovoltaic Surface Texturing on Transmittance Effects and GlintGlare Impacts.“ *Proceedings of the ASME 2015 9th International Conference on Energy Sustainability*. Albuquerque, New Mexico: Laboratories, Sandia National, 2015. 49481.
- Zehndorfer Engineering GmbH . „Lichttechnisches Gutachten Reflexionen KIOTO HC Modul.“ Klagenfurt, 2022.

## 11 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Geplante PV-Flächen in Blau und Umgebung (Quelle: Google Earth).....	3
Abbildung 2: Modulbelegungsplan (Quelle: Auftraggeber) .....	4
Abbildung 3: Unterkonstruktionen der geplanten PV-Anlage (Quelle: Auftraggeber).....	5
Abbildung 4: Reflexion eines Lichtstrahls.....	6
Abbildung 5: (a) gerichtete Reflexion, (b) reale Reflexion, (c) Ideale diffuse Reflexion (Trempler 2015) .....	6
Abbildung 6: Standardabweichung um Maximum einer Normalverteilung .....	7
Abbildung 7: Messung der Oberflächenstruktur und Aufnahmen der Reflexion an Solarmodulen mit verschiedener Frontglas-Strukturierung, links: glattes Floatglas, mitte: leicht strukturiert mit Anti-Reflexionsschicht, rechts: tief strukturiert (Yellowhair und Ho 2015) .....	7
Abbildung 8: links: Module mit satiniertes Folie (Bucher 2021), rechts: nachträglich sandgestrahltes Modul (Warthmann 2021) .....	8
Abbildung 9 Reflexionsgrad über Einfallswinkel für verschiedene Modultypen (Yellowhair und Ho 2015) .....	8
Abbildung 10: Wahrnehmungsbereiche von Objekthelligkeiten in Abhängigkeit der Helligkeitsadaption des Auges (Boyce 2014).....	9
Abbildung 11: Einstufung des Blendpotenzials hinsichtlich der Sichtbeeinträchtigung (ForgeSolar 2022) .....	12
Abbildung 12: Anlage der PV-Flächen und Immissionsorte in der Simulationssoftware ForgeSolar .....	13
Abbildung 13: Zeitraum und Richtung der potenziellen Blendung auf der Bahntrasse Abschnitt 1.....	16
Abbildung 14: Von potenzieller Blendung betroffenes Sichtfeld entlang der Bahntrasse Abschnitt 1 in Rot, betroffener Streckenabschnitt in Orange .....	16
Abbildung 15: Zeitraum und Richtung der potenziellen Blendung auf der Bahntrasse Abschnitt 2.....	17
Abbildung 16: Von potenzieller Blendung betroffenes Sichtfeld entlang der Bahntrasse Abschnitt 2 (1) in Rot, betroffener Streckenabschnitt in Orange .....	17
Abbildung 17: Von potenzieller Blendung betroffenes Sichtfeld entlang der Bahntrasse Abschnitt 2 (2) in Rot, betroffener Streckenabschnitt in Orange .....	18
Abbildung 18: Zeitraum und Richtung der potenziellen Blendung auf der Bundesstraße B105.....	19
Abbildung 19: Von potenzieller Blendung betroffenes Sichtfeld entlang der Bundesstraße B 105 (1) in Rot, betroffener Streckenabschnitt in Orange .....	19
Abbildung 20: Von potenzieller Blendung betroffenes Sichtfeld entlang der Bundesstraße B 105 (2) in Rot, betroffener Streckenabschnitt in Orange .....	20
Abbildung 21: Zeitraum und Richtung der potenziellen Blendung auf die Wohnbebauung Bahnhofsgebäude .....	21

Abbildung 22: Zeitraum und Richtung der potenziellen Blendung auf die Wohnbebauung  
Bahnhofsstraße ..... 21

Abbildung 23: Zeitraum und Richtung der potenziellen Blendung auf die Wohnbebauung An  
Eikbarg 1 ..... 22

Abbildung 24: Von potenzieller Blendung betroffenes Sichtfeld für Wohnbebauung An Eikbarg 1,  
bestehender Bewuchs in Grün markiert..... 23

Abbildung 25: Empfohlener Blendschutz entlang der Bahntrasse in Gelb, von potenzieller  
Blendung betroffenes Sichtfeld in Rot, betroffener Streckenabschnitt in Orange..... 24

Abbildung 26: Empfohlener Blendschutz entlang der Bahntrasse und Bundesstraße (1) in Gelb,  
von potenzieller Blendung betroffenes Sichtfeld in Rot, betroffener Streckenabschnitt in  
Orange..... 25

Abbildung 27: Empfohlener Blendschutz für Bahntrasse und Bundesstraße (2) in Gelb, von  
potenzieller Blendung betroffenes Sichtfeld in Rot, betroffener Streckenabschnitt in Orange ..... 25

## 12 Anhang

Tabelle 2: Koordinaten der PV-Flächen

PV-Fläche	Punkt	Breitengrad [°]	Längengrad [°]	Geländehöhe ü. NN [m]	Modulhöhe [m]	Höhe ü. NN gesamt [m]
PV-Feld 1	1	54,0604154	11,7616939	36,1	1,7	37,8
	2	54,06094908	11,76172073	36,1	1,7	37,8
	3	54,06126708	11,76300014	33,9	1,7	35,6
	4	54,06157563	11,76391746	35,2	1,7	36,9
	5	54,0626519	11,76748701	36,5	1,7	38,2
	6	54,06356705	11,76998755	40,4	1,7	42,1
	7	54,06497905	11,7732813	38,8	1,7	40,5
	8	54,06497905	11,77362194	39,9	1,7	41,6
	9	54,0641306	11,77447757	38,5	1,7	40,2
	10	54,06403466	11,77525161	38,8	1,7	40,6
	11	54,06303665	11,775434	37,4	1,7	39,1
	12	54,06269591	11,77523021	36	1,7	37,8
	13	54,06138932	11,77321855	38,1	1,7	39,9
	14	54,06086037	11,77109424	34,2	1,7	36
	15	54,0607911	11,76886264	35,6	1,7	37,4
	16	54,06104921	11,76652936	35,5	1,7	37,2
	17	54,06112162	11,76426557	33,5	1,7	35,2
	18	54,06044627	11,76178855	35,9	1,7	37,7
PV-Feld 2	1	54,05984125	11,76150303	34,7	1,7	36,4
	2	54,06002702	11,76250349	33,9	1,7	35,6
	3	54,06047254	11,7629997	33	1,7	34,7
	4	54,060652	11,76426034	30,3	1,7	32
	5	54,06005063	11,76373999	29,7	1,7	31,4
	6	54,05981449	11,7636327	29,9	1,7	31,6
	7	54,05930756	11,76402967	29,9	1,7	31,6
	8	54,05897066	11,7632411	31,9	1,7	33,6
	9	54,05869357	11,76154058	33	1,7	34,8
PV-Feld 3	1	54,05803234	11,75247471	35,5	1,7	37,3
	2	54,05981764	11,75837557	34	1,7	35,7
	3	54,05934534	11,75884764	33,3	1,7	35
	4	54,0583976	11,75644974	34,1	1,7	35,8

	5	54,05851095	11,75585966	34,5	1,7	36,2
	6	54,05792844	11,75305943	35	1,7	36,7
PV-Feld 4	1	54,05792568	11,75631888	32,8	1,7	34,5
	2	54,059648	11,76107444	35,5	1,7	37,2
	3	54,0584956	11,76103152	33,2	1,7	35
	4	54,05741873	11,75758757	32,4	1,7	34,1
PV-Feld 5	1	54,0582389	11,76108521	33,7	1,7	35,4
	2	54,05720926	11,75827962	30,9	1,7	32,6
	3	54,0573667	11,75788802	31,5	1,7	33,2
	4	54,05835768	11,76102819	33,4	1,7	35,1
PV-Feld 6	1	54,05772297	11,75557587	33,7	1,7	35,5
	2	54,05704362	11,75797376	30,3	1,7	32
	3	54,05594625	11,75476048	31	1,7	32,7
	4	54,05647841	11,75392899	31,7	1,7	33,5
	5	54,05672717	11,75310019	33,4	1,7	35,1
PV-Feld 7	1	54,05115917	11,7400789	26,6	1,7	28,3
	2	54,05241571	11,7402291	28,2	1,7	29,9
	3	54,05338427	11,74399895	27,5	1,7	29,3
	4	54,05414634	11,74636466	27,8	1,7	29,5
	5	54,05405502	11,74691719	27,7	1,7	29,5
	6	54,05127431	11,74062645	26,4	1,7	28,1
PV-Feld 8	1	54,05351965	11,74881791	28,1	1,7	29,8
	2	54,05317798	11,74887692	28,2	1,7	29,9
	3	54,05231197	11,74547588	26,6	1,7	28,3

Tabelle 3: Koordinaten der zu untersuchenden Immissionsorte

Immissionsort	Punkt	Breitengrad [°]	Längengrad [°]	Geländehöhe ü. NN [m]	Betrachtungshöhe [m]	Höhe ü. NN gesamt [m]
Straße „An Eikbarg“	1	54,05644226	11,76287564	34,8	3	37,8
	2	54,0565934	11,76203075	31,8	3	34,8
	3	54,05676029	11,76143261	31	3	34
	4	54,05693662	11,76122608	31,9	3	34,9
	5	54,05725465	11,76121536	32,1	3	35,1
	6	54,05845385	11,76128766	33,6	3	36,6
	7	54,05912609	11,76131984	35,4	3	38,4
	8	54,06042028	11,76133987	37,1	3	40,1
	9	54,06099016	11,76134523	36,3	3	39,3
Bahnhofstraße	1	54,05287414	11,73988075	28	3	31
	2	54,05213624	11,73983303	28,5	3	31,5
	3	54,0516116	11,7397829	27,5	3	30,5
	4	54,05047314	11,73971048	25,8	3	28,8
	5	54,05015191	11,73970243	27	3	30
Bahntrasse	1	54,05213575	11,73847233	27,1	3	30,1
	2	54,05321748	11,74263511	28	3	31
	3	54,05379376	11,74465482	28,1	3	31,1
	4	54,05451174	11,7467228	28,8	3	31,8
	5	54,05669866	11,75243591	34	3	37
	6	54,05831004	11,75667782	34,5	3	37,5
	7	54,05993081	11,76090632	35,7	3	38,7
	8	54,06045426	11,76230363	34,9	3	37,9
	9	54,06063373	11,76293127	34	3	37
	10	54,06079588	11,76374532	33,3	3	36,3
	11	54,0608738	11,76443867	32,7	3	35,7
	12	54,06091237	11,765014	32,8	3	35,8
	13	54,06090135	11,76583208	33,4	3	36,4
	14	54,06073842	11,76772169	34,5	3	37,5
	15	54,06061641	11,76907085	35,4	3	38,4



	16	54,0605802	11,76976151	35,4	3	38,4
	17	54,06059909	11,77054606	35	3	38
	18	54,06065577	11,77121393	36,1	3	39,1
	19	54,06080165	11,77203603	36,5	3	39,5
	20	54,06104566	11,77294261	38,9	3	41,9
	21	54,0613917	11,77380897	40,6	3	43,6
	22	54,06171521	11,77438698	42,1	3	45,1
	23	54,06223233	11,77514739	48,6	3	51,6
	24	54,0625881	11,77558861	45,2	3	48,2
	25	54,0629722	11,77593596	40,4	3	43,4
Bundesstraße B105	1	54,05780394	11,75117254	35,4	3	38,4
	2	54,0584392	11,75317749	36,2	3	39,2
	3	54,05919331	11,75551906	36,5	3	39,5
	4	54,05979312	11,75739661	36	3	39
	5	54,06107838	11,76143819	36	3	39
	6	54,06230943	11,76533812	38,2	3	41,2
	7	54,06345035	11,76882767	40	3	43
	8	54,0638124	11,76987105	40,7	3	43,7
	9	54,06409575	11,7705577	41,5	3	44,5
	10	54,06581939	11,77411431	41,3	3	44,3
	11	54,06650253	11,77541518	42,4	3	45,4
Wohnbebauung Detershagen	1	54,05644907	11,7693813	34	1,7	35,7
Wohnbebauung An Eikbarg	2	54,05674663	11,76325782	32,2	1,7	33,9
Wohnbebauung An Eikbarg 1	3	54,06053853	11,76104232	38,1	1,7	39,8
Wohnbebauung Sandhagen	4	54,05768656	11,74352916	34,2	1,7	35,9
Wohnbebauung Bahnhofs- gebäude	5	54,0527688	11,7406236	29,3	1,7	31
Wohnbebauung Bahnhofstraße	6	54,05155258	11,73964598	27,7	1,7	29,4