

DGS Landesverband Berlin Brandenburg e.V.

Erich-Steinfurth-Str. 8

10243 Berlin

Phone +49 (0)30 29 38 12 80

Email solarservices@dgs-berlin.de

Web www.dgs-berlin.de

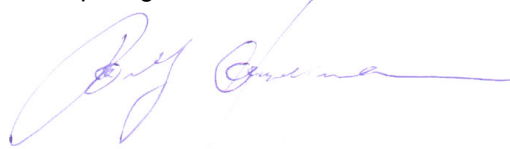
Fachgutachten zur Bewertung der Blendwirkung durch Reflexion an PV-Modulen (Blendgutachten) für den Solarpark Wittstock

Anlage: Solarpark Wittstock
53.363818°, 13.689141°
17291, Nordwestuckermark

in Auftrag gegeben von: AKE Projekt GmbH
Zu den Linden 29
17192 Waren (Müritz)

Projektnummer: A-LV25/0264

Gutachter: Dipl.-Ing. Ralf Haselhuhn

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Ralf Haselhuhn', written over a light blue horizontal line.

Bearbeiter: Dr.-Ing. Isaac Martinez-Noguez

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Isaac Martinez-Noguez', written over a light blue horizontal line.

Berlin, 02.02.2026

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 mit Reflexionsdiagramm	10
6	Auswertung mit Reflexionsdiagramm.....	11
7	Blendschutzmaßnahmen.....	15
8	Zusammenfassung.....	16
9	Literaturverzeichnis	17
10	Abbildungsverzeichnis.....	18
11	Gewährleistung	19
12	Vorbehaltsklausel für die Veröffentlichung des Gutachtens	19

1 Einleitung

Im folgenden Gutachten wird die durch Reflexion direkter Sonneneinstrahlung verursachte Lichtemission der geplanten PV-Anlage (PVA) Wittstock und die damit einhergehende potenzielle Beeinträchtigung der Umgebung untersucht und nach den *Hinweisen zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz* (kurz: LAI) bewertet. Es werden Zeitraum und Immissionswinkel potenzieller Blendung ermittelt und bei Bedarf Blendschutzmaßnahmen erarbeitet, um eine solche zu verhindern.

2 Beschreibung der Umgebung

Die geplante PVA liegt südwestlich des Ortsteils Wittstock im Landkreis Uckermark in Brandenburg. Nördlich des Solarparks liegt die Kirschallee an, westlich die Landstraße 25 (L25). Die PVA ist auf bisher landwirtschaftlich genutzten Flächen geplant. Das Gelände ist nicht eben. In Nord-Süd-Richtung zeigt die Fläche eine durchschnittliche Neigung von $2,4^\circ$, was auf ein leicht abfallendes Geländeprofil hinweist. In Ost-West-Richtung ist das Gelände überwiegend eben; lediglich in einigen kleinen Bereichen der PV-Anlage 1 wurde eine negative Neigung von $-0,53^\circ$ festgestellt, die auf eine sanfte Geländeerhöhung hindeutet. Für die PV-Anlage 2 (Rechts) ist die Neigung in Ost-West-Richtung hingegen positiv, was eine leichte Absenkung des Geländes in dieser Richtung beschreibt. Eine Übersicht über die nähere Umgebung der PV-Anlage wird in Abbildung 1 gegeben. Ein Ortstermin wurde nicht durchgeführt.



Abbildung 1: Modulflächen der geplanten PVA in Blau und Umgebung (Quelle: Google Earth, Airbus)

3 Beschreibung der PV-Anlage

Die PVA ist auf einer Fläche von ca. 21,3 ha und mit einer DC-Leistung von 47.553 kWp geplant. Vorgesehen ist eine Süd-Ausrichtung mit 180° Azimut und einem Neigungswinkel von 15°. Der Belegungsplan ist in Abbildung 2 dargestellt. Als Unterkonstruktion kommt ein 2-Pfeiler-System zum Einsatz mit drei im Hochformat (portrait) ausgerichteten Modulen über die Tischbreite. Die Modulunterkante ist auf 0,8 m Höhe und die Moduloberkante auf 2,7 m geplant. Die Unterkonstruktion ist schematisch in Abbildung 3 dargestellt.

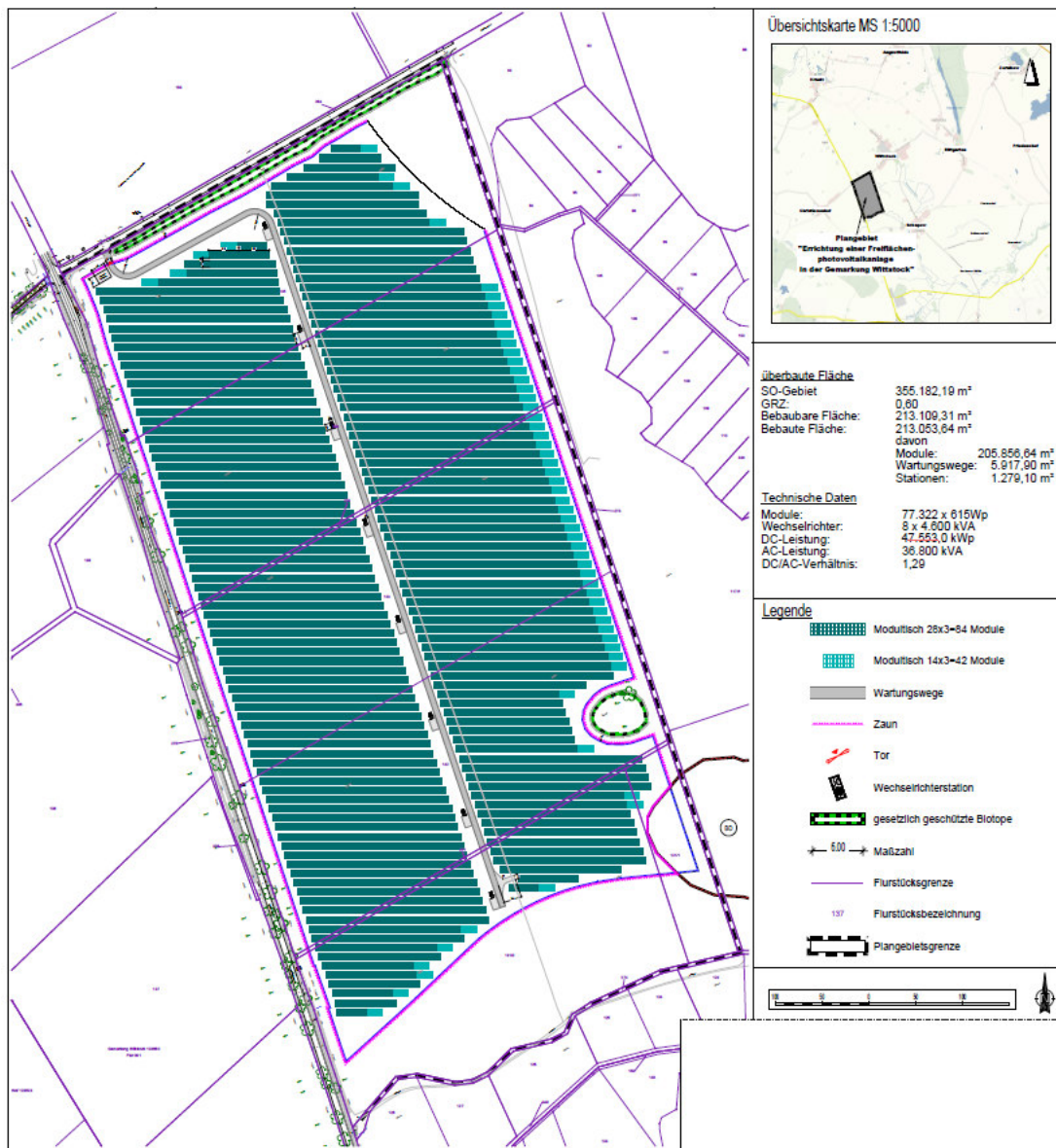


Abbildung 2: Modulbelegungsplan (Quelle: Auftraggeber)

Ansicht Modultisch
MS 1:100

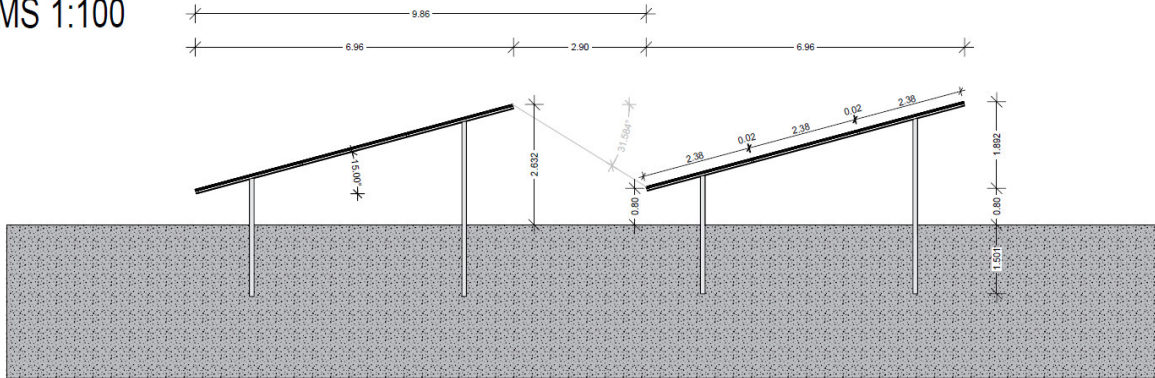


Abbildung 3: Zeichnung der Unterkonstruktion (Quelle: Auftraggeber)

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 ($\alpha = \beta$).

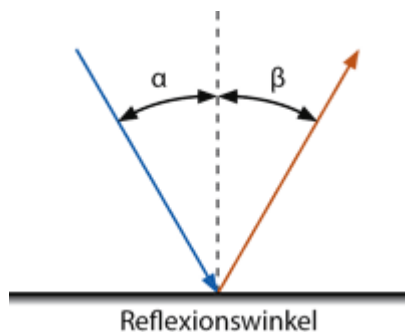


Abbildung 4: Reflexion eines Lichtstrahls

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, in b) eine reale auftretende Streuung an einer unebenen Oberfläche und in c) eine ideal gestreute Reflexion nach dem Lambertschen Gesetz zu sehen.

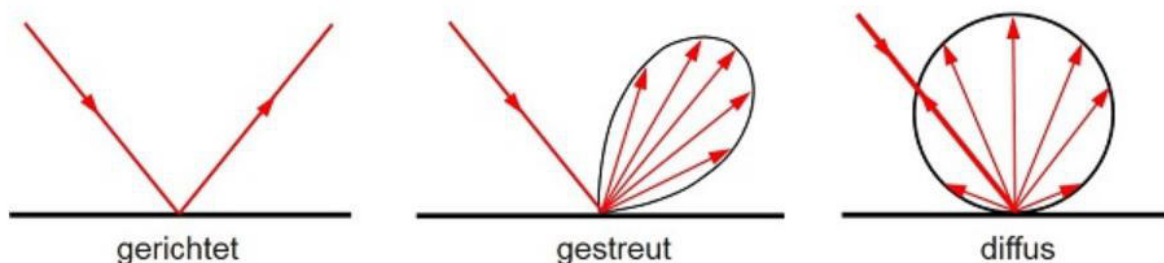


Abbildung 5: (a) gerichtete Reflexion, (b) reale Reflexion, (c) ideale diffuse Reflexion [1]

Bei realer Reflexion kommt es 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 (s. Abbildung 6).

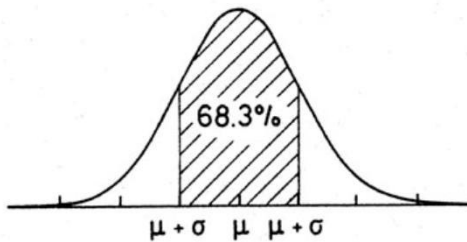


Abbildung 6: Standardabweichung um Maximum einer Normalverteilung

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 texturierte Frontgläser zu sehen.

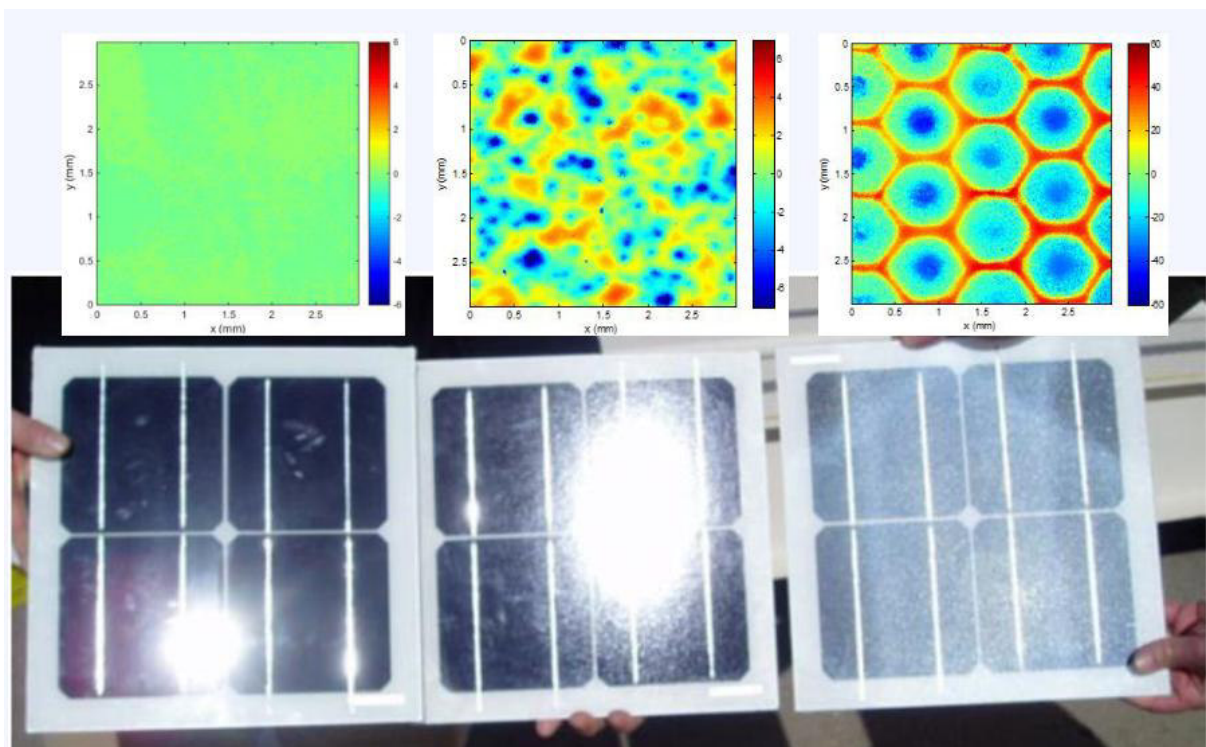


Abbildung 7: Messung der Oberflächenstruktur und Aufnahmen der Reflexion an Solarmodulen mit verschiedener Frontglas-Strukturierung, links: glattes Floatglas, mitte: leicht strukturiert mit Anti-Reflexionsschicht, rechts: tief strukturiert [2]

In der Messdatenanalyse wurde für Floatglas eine Strahlweite von 20 mrad ($1,15^\circ$), für leicht- bis mittelstark texturiertes Glas eine Aufweitung von 92-184 mrad ($5,27-10,56^\circ$) und für tiefstrukturiertes Glas 1000 mrad (57°) gemessen [2]. Während leicht bis mittelstark strukturiertes Glas bereits als Standardprodukt vertrieben wird, handelt es sich bei tiefstrukturiertem 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, um beinahe vollständig blendfreie Module herzustellen, siehe Abbildung 8.

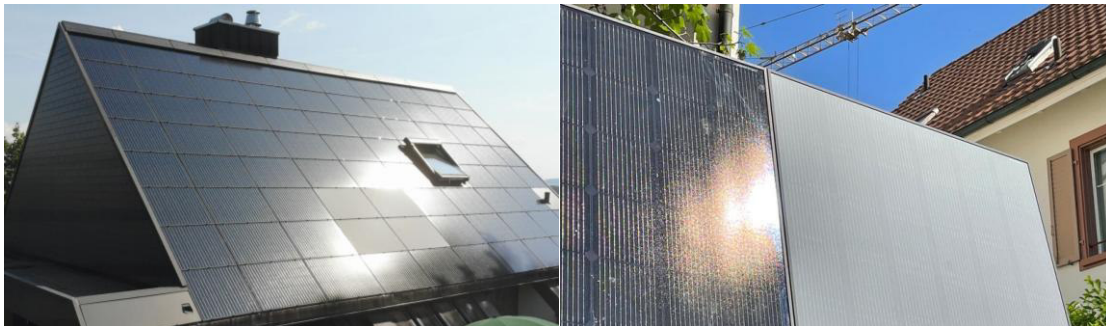


Abbildung 8: links: Module mit satinierter Folie [3], rechts: nachträglich sandgestrahltes Modul [4]

Solarmodule sind so konzipiert, dass sie einen möglichst hohen Anteil des Sonnenlichtes nutzen, das Frontglas also einen möglichst hohen Transmissionsgrad und möglichst niedrigen Reflexionsgrad aufweist. Die Transmission von Solargläsern 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 Modultypen stark an, wie in Abbildung 9 zu sehen ist. Ausnahmen sind hier nur tief texturierte Module.

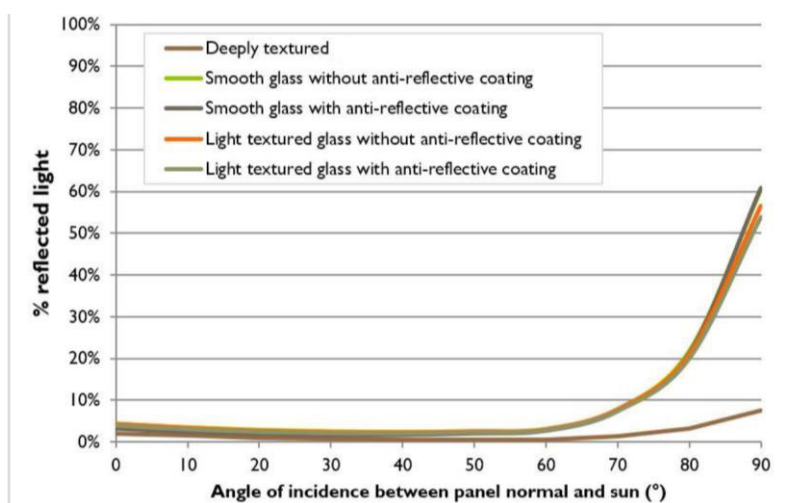


Abbildung 9 Reflexionsgrad über Einfallswinkel für verschiedene Modultypen [2]

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 welches das Auge fokussiert ist und welches wahrgenommen werden soll.

Es wird zwischen einer Blendung, welche eine Beeinträchtigung der Sicht zur Folge hat und einer Blendung, welche „nur“ als unangenehm empfunden wird, unterschieden. 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 [5].

Eine Beeinträchtigung der Sicht liegt vor, wenn die Helligkeit der Blendquelle (gewichtet mit deren Entfernung zum zentralen Sichtfeld) eine Anhebung der adaptiven Helligkeit zur Folge hat, welche dazu führt, dass das Ziel nicht mehr richtig wahrgenommen werden kann. 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. Das Anpassungsvermögen an die Umgebungshelligkeit endet bei einer Helligkeit zwischen $10^4 - 10^5 \text{ cd/m}^2$, was dann als Absolutblendung bezeichnet wird. Ob es durch eine Blendquelle zu einer Absolutblendung kommt, hängt somit immer auch von der Blickrichtung zu dieser ab und ist in der Regel nur bei einer Blickrichtung direkt in die Blendquelle oder in deren direkte Nähe möglich.

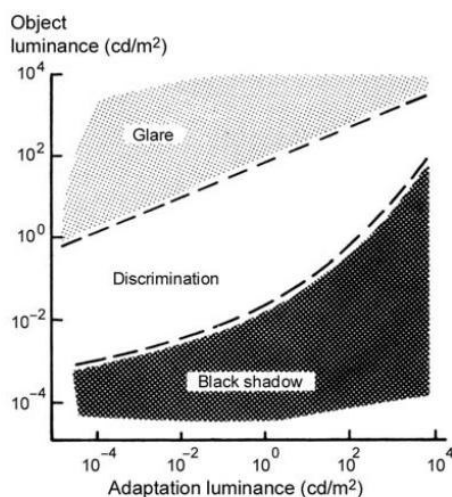


Abbildung 10: Wahrnehmungsbereiche von Objekthelligkeiten in Abhängigkeit der Helligkeitsadaption des Auges [5]

5 Methodik der Untersuchung mit Reflexionsdiagramm

Gemäß den LAI-Hinweisen werden folgende Orte als schutzwürdige Räume definiert und sind demnach auf potenzielle Blendung zu untersuchen:

- 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 [6]

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. Die LAI-Hinweise leiten Bewertungsgrößen aus einem Hinweispapier für Windenergieanlagen [7] ab und 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.“* [6]

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 verursachter Belästigung [8]. Zusätzlich zu den schutzwürdigen Räumen muss überprüft werden, ob die auftretende Blendung die Sicherheit in folgenden Bereichen gefährdet:

- Straßenverkehr / Schienenverkehr / Schifffahrtsverkehr / Flugverkehr

Tritt in einem dieser Bereiche Blendung auf, kann selbst eine kurzzeitige Blendung schwerwiegende Folgen haben. Es sollte deshalb beim Auftreten von potenzieller Blendung im Verkehrsbereich mit der Behörde und den Beteiligten eine Risikoanalyse zur Gefährdungsbeurteilung vorgenommen werden, um ggf. Blendschutzmaßnahmen vorzunehmen. Zur Bewertung des Straßenverkehrs werden nur Reflexionen im Bereich des Blickwinkels von $\pm 30^\circ$ als relevant erachtet, ausgehend von der jeweiligen Fahrtrichtung. Zur Bewertung des Bahnverkehrs wird die Reflexion im Bereich des Blickwinkels von $\pm 20^\circ$ berücksichtigt.

Für Blendung im Flugverkehr folgt das Gutachten der Beurteilung nach der *European Aviation Safety Agency 2022 - Certification Specifications and Guidance Material for Aerodromes Design (CS-ADR-DSN)* [9]. In dieser wird festgestellt, dass eine Blendung der Fluglotsen im Tower sowie der Piloten beim Landeanflug und auf dem Flugfeld mit einem inakzeptablen Risiko verbunden ist. Als Grenzwert wird eine Leuchtdichte über 20.000 cd/m^2 definiert.

6 Auswertung mit Reflexionsdiagramm

Auf Basis der Geokoordinaten und der Modulausrichtung wird das Reflexionsdiagramm für die Modulflächen erstellt, zu sehen in Abbildung 11. In diesem ist die Richtung der möglichen Reflexionen der Sonne an der Modulfläche zu sehen. Dargestellt sind die sich ergebenden Reflexionsrichtungen in 5 Minuten Abständen über den Tag und in zwei Wochen Abständen über das Jahr. Reflexionen mit einem Höhenwinkel größer 0° gehen in Richtung Himmel, Reflexionen mit einem Azimut von 90° gehen in Richtung Osten.

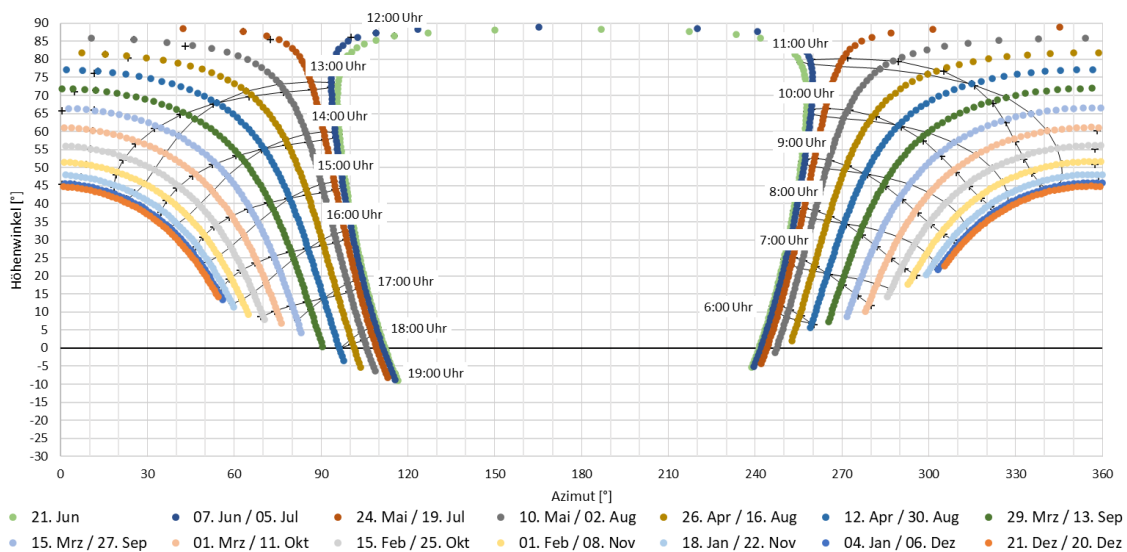


Abbildung 11: Reflexionsdiagramm der Modulfläche: 180° Süd-Ausrichtung, 15° Neigung, (UTC +1)

Gemäß des Reflexionsdiagramms treten an der Modulfläche horizontnahe Reflexionen mit einem Höhenwinkel bis 5° in Richtung Osten zwischen $91 - 116^\circ$ von April bis August und in Richtung Westen zwischen $244 - 268^\circ$ von März bis September auf. Das entspricht Immissionswinkeln zwischen $271 - 296^\circ$ und zwischen $64 - 88^\circ$.

Landstraße 25

Die Landstraße 25 verläuft in Südsüdost-/Nordnordwestrichtung mit $160^\circ/340^\circ$. Für den Verkehr wird ein Sichtwinkel von $\pm 30^\circ$ zur Fahrtrichtung für relevant erachtet. In Fahrtrichtung Nordwesten liegt das relevante Sichtfeld der Verkehrsteilnehmenden zwischen $370 - 310^\circ$, in Fahrtrichtung Südosten zwischen $130 - 190^\circ$.

Die Reflexionen liegen damit in beiden Fahrtrichtungen nicht im relevanten Sichtfeld der Verkehrsteilnehmer, es ist daher durch die Reflexionen nicht von einer wahrnehmungsbeeinträchtigenden Blendwirkung auszugehen.

Die Reflexionssituationen für den Verkehr sind in Abbildung 12 dargestellt.

Es sind keine Blendschutzmaßnahmen erforderlich.



Abbildung 12: Relevanter Sichtwinkel der Verkehrsteilnehmer auf der L24 in Gelb, Immissionswinkel möglicher Reflexionen von der Modulfläche in Rot (Quelle: Google Earth, Airbus)

Kirschallee

Die Kirschallee verläuft in Nordost-/Südwestrichtung mit 239/59°. Für den Verkehr wird ein Sichtwinkel von +/- 30° zur Fahrtrichtung für relevant erachtet. In Fahrtrichtung Nordosten liegen die relevanten Immissionswinkel für den Verkehr zwischen 29 - 89°, in Fahrtrichtung Südwesten zwischen 209 - 269°.

In Richtung Kirschallee treffen Reflexionen aus Richtung Westen mit Immissionswinkeln zwischen 64 - 88°.

Die Fahrbahn liegt in einer Entfernung von 28 m zu den Modulflächen. In Richtung der auftretenden Reflexionen in Ost-Richtung liegt die Fahrbahn jedoch wenigstens 45 m von der Modulfläche entfernt. Mit einer angenommenen maximalen Immissionshöhe von 3 m über der Fahrbahn (LKW-Fahrer) ergibt sich hieraus, dass Reflexionen nur bis zu einem Höhenwinkel von 2,7° relevant sind. Reflexionen mit größeren Höhenwinkeln gehen bei dieser (und größerer) Entfernung über die Verkehrsteilnehmer hinweg.

Dies schränkt den Bereich möglicher Reflexionen für die Verkehrsteilnehmer der Kirschallee auf die Immissionswinkel zwischen $66 - 88^\circ$ ein. Die Reflexionen liegen damit in Ost Fahrtrichtung im relevanten Sichtfeld der Verkehrsteilnehmer.

Die Reflexionssituationen für den Verkehr sind in Abbildung 13 dargestellt.

Obwohl die Blendimmissionen möglicherweise innerhalb des relevanten Sichtfeldes der Verkehrsteilnehmer liegen, wird das Risiko als gering eingeschätzt. Wie in Abbildung 13 dargestellt, handelt es sich bei der Straße um eine schmale Verkehrsfläche mit niedriger Verkehrsdichte, die nicht markiert ist. Zudem verläuft der Straßenabschnitt gerade, ohne Kurven, sodass eine gute Sicht auf den Gegenverkehr besteht und Hindernisse rechtzeitig erkannt werden. Entlang der Kirschallee befindet sich außerdem eine Hecke, die zusätzlich zur Abschattung beiträgt. Die zulässige Geschwindigkeit auf der Straße ist niedrig. Lediglich beim Einfahren auf die Landstraße 25 könnte ein Risiko bestehen (Abbildung 14). Für diesen Bereich wird eine Blendschutzmaßnahme vorgeschlagen, die in Kapitel 7 beschrieben wird.

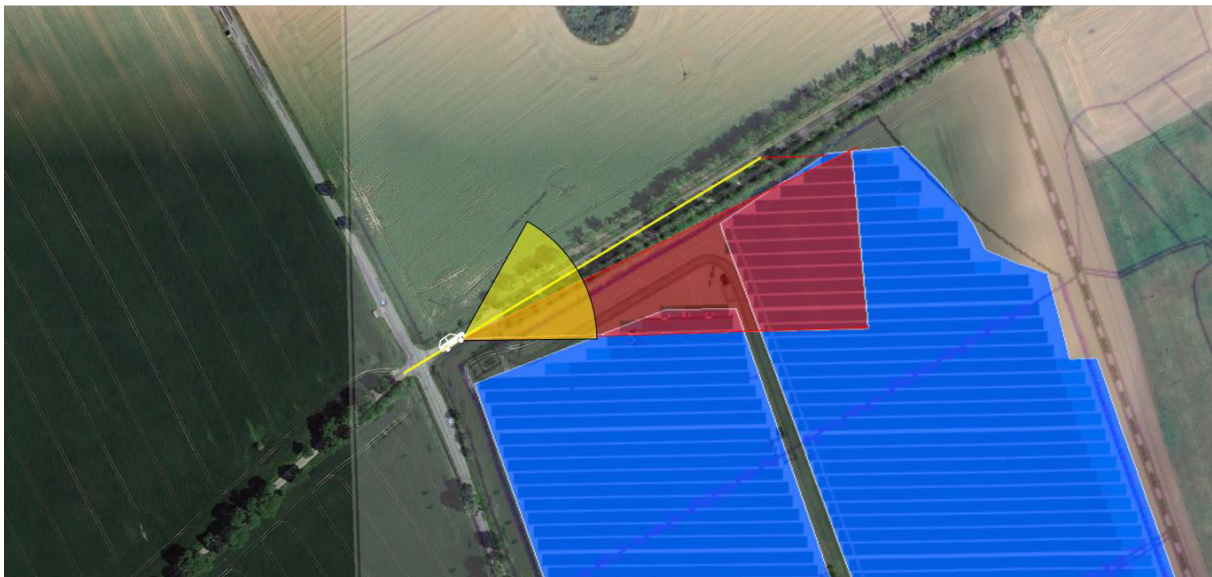


Abbildung 13: Relevanter Sichtwinkel der Verkehrsteilnehmer auf der Kirschallee in Gelb, Immissionswinkel möglicher Reflexionen von der Modulfläche in Rot (Quelle: Google Earth)



Abbildung 14: Kirschallee mit Hecke rechts im Bild, zwischen der Straße und dem geplanten Standort der PV-Anlage (Quelle: Google Earth)

Auf Wunsch des Auftraggebers wurde eine Analyse potenzieller Blendwirkungen für die Ortslagen Wittstock und Christianenhöf durchgeführt. Die möglichen Immissionsrichtungen in westlicher Richtung liegen zwischen 247° und 270° . Obwohl sich die Ortslage Christianenhöf grundsätzlich innerhalb dieses potenziellen Immissionsbereichs befindet, wird das Auftreten relevanter Blendwirkungen als unwahrscheinlich eingeschätzt, da die Entfernung zur geplanten PV-Anlage mehr als 1 km beträgt.

Die Ortslage Wittstock liegt nördlich der geplanten PV-Anlage und befindet sich außerhalb des Bereichs potenzieller Immissionen. Entsprechend sind dort keine Blendwirkungen zu erwarten.

7 Blendschutzmaßnahmen

Es werden nachfolgend Blendschutzmaßnahmen vorgeschlagen, mit welchen sich Reflexionen im relevanten Sichtbereich der Verkehrsteilnehmer vermeiden lassen. Es handelt sich lediglich um Vorschläge, auch andere Arten von Blendschutzmaßnahmen können zielführend sein.

Um Reflexionen auf den Verkehr an der Kreuzung zwischen der Kirschallee und der Landstraße 25 im Straßenabschnitt westlich der PV-Felder zu vermeiden, wird eine Sichtunterbrechung zur Straße mit einer Höhe von 1,5 m empfohlen, wobei der Bereich bis zur Unterkante der Module ausgelassen werden kann. Daher wird die Maßnahme nur in dem in Abbildung 15 markierten kleinen Bereich als Sichtunterbrechung mit einer Höhe von 1,5 m vorgeschlagen.

Für die Umsetzung bieten sich feinmaschige Netze an, welche an der bestehenden Umzäunung angebracht werden können. Auch das Anpflanzen eines Gehölzstreifens ist geeignet, da Reflexionen zur Straße nur im Sommerhalbjahr auftreten. Die empfohlene Sichtunterbrechung ist Abbildung 15 in Gelb dargestellt.

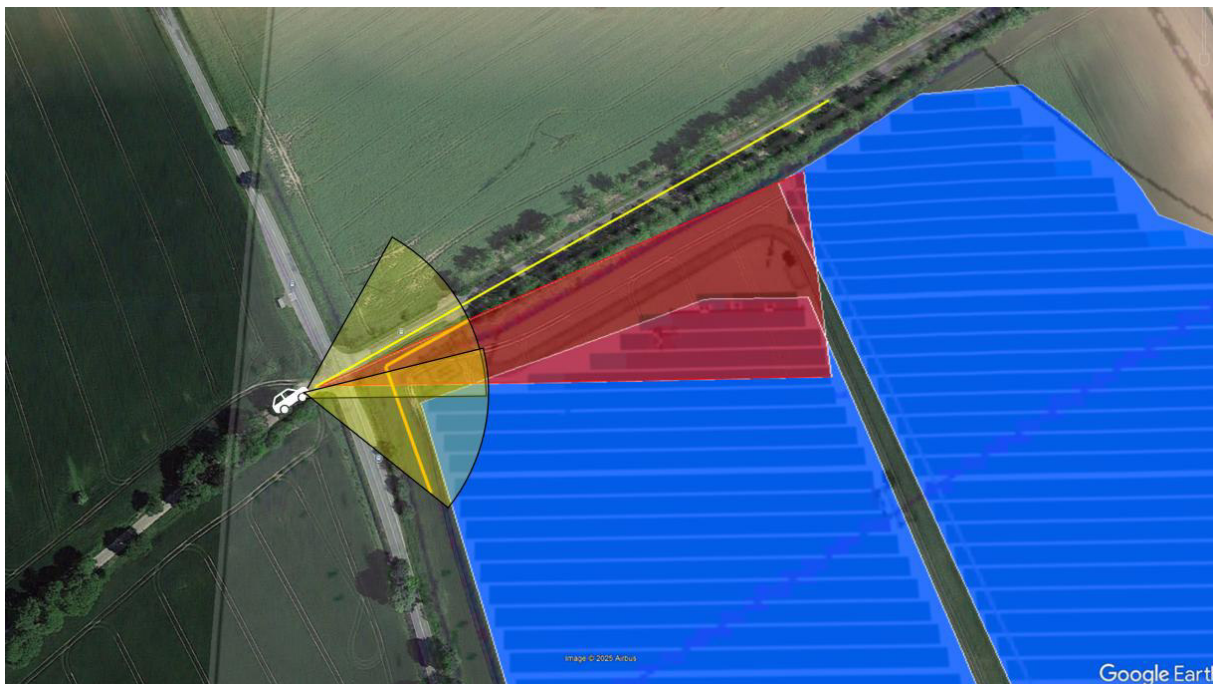


Abbildung 15: Streckenabschnitt auf der Kirschallee mit Reflexionen im relevanten Sichtfeld der Verkehrsteilnehmer in dunklem Gelb, auftretende Immissionswinkel in Rot, relevantes Sichtfeld in hellem Gelb, empfohlene Sichtunterbrechung in Orange (Quelle: Google Earth)

8 Zusammenfassung

Es wurde die potenzielle Blendung durch Reflexion der Sonne an PV-Modulen der geplanten PV-Anlage Wittstock für den Verkehr der anliegenden die Kirschallee an und die Landstraße 25 (L25) untersucht.

Für **die L25** zeigt die Analyse, dass aufgrund der Strahlengeometrie keine Reflexionen in das relevante Sichtbereich der Verkehrsteilnehmer auftreten können. Eine Gefährdung der Verkehrssicherheit durch Reflexionen an den Modulflächen wird somit ausgeschlossen.

Auf Wunsch des Auftraggebers wurde eine Bewertung potenzieller Blendwirkungen für die Ortslagen Wittstock und Christianenhöf durchgeführt. Die möglichen Immissionsrichtungen in westlicher Richtung liegen zwischen 247° und 270°. **Christianenhöf** befindet sich zwar innerhalb des potenziellen Immissionsbereichs, das Auftreten relevanter Blendwirkungen wird jedoch als unwahrscheinlich eingeschätzt, da die Entfernung zur PV-Anlage mehr als 1 km beträgt.

Wittstock liegt nördlich der PV-Anlage und befindet sich außerhalb des Bereichs potenzieller Immissionen. Entsprechend sind dort keine Blendwirkungen zu erwarten.

An der **Kirschallee** treten zwar potenzielle Reflexionen innerhalb des relevanten Sichtfeldes der Verkehrsteilnehmer auf. Das Risiko wird jedoch als gering eingestuft, da es sich um eine schmale, unmarkierte Straße mit niedriger Verkehrsdichte handelt. Der Straßenabschnitt verläuft zudem gerade und bietet eine gute Sicht auf den Gegenverkehr, sodass mögliche Hindernisse frühzeitig erkannt werden können. Entlang der Kirschallee befindet sich außerdem eine Hecke, die zusätzlich zur Abschattung beiträgt. Die zulässige Geschwindigkeit ist gering, was das Risiko weiter reduziert.

Lediglich beim Einfahren auf die Landstraße 25 kann eine potenzielle Beeinträchtigung auftreten. Um Reflexionen im **Kreuzungsbereich zwischen der Kirschallee und der L25** im westlich der PV-Felder liegenden Abschnitt zu vermeiden, wird daher eine **Sichtunterbrechung zur Straße mit einer Höhe von 1,5 m empfohlen**. Der Bereich bis zur Unterkante der Module kann dabei ausgespart werden.

9 Literaturverzeichnis

- [1] J. Trempler, *Optische Eigenschaften*, Carl Hanser Verlag, 2015.
- [2] J. Yellowhair und C. K. Ho, *Assessment of Photovoltaic Surface Texturing on Transmittance Effects and Glint/Glare Impacts*, Proceedings of the ASME 2015 9th International Conference on Energy Sustainability, 2015.
- [3] C. Bucher, <https://www.bulletin.ch/de/news-detail/reflexionen-an-photovoltaikanlagen.html>, 2021.
- [4] P. Warthmann, <https://www.gebaeudetechnik.ch/gebaeudehuelle/photovoltaikanlage/sandstrahl-atelier-loest-blendproblem>, 2021.
- [5] P. R. Boyce, *Human Factors in Lighting*, CRC Press, 2014.
- [6] 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.
- [7] Länderausschuss für Immissionsschutz, *Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immission von Windnergieranlagen (WEA-Schattenwurf-Hinweise)*, 2002.
- [8] OVE (Österreichischer Verband für Elektrotechnik), *Blendung durch Photovoltaikanlagen*, Wien, 2016.
- [9] European Union Aviation Safety Agency, *Certification Specifications and Guidance Material for Aerodrome Design (CS-ADR-DSN, Issue 6)*, 2022.
- [10] Federal Aviation Administration, *Interim Policy, FAA Review of Solar Energy System Projects on Federally Obligated Airports*, Federal Register, 2013.
- [11] C. Schierz, *Über die Blendbewertung von reflektierendem Sonnenlicht bei Solaranlagen*, TU Ilmenau, FG Lichttechnik, 2012.
- [12] ForgeSolar, <https://www.forgesolar.com/help/#assumptions>.

10 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Modulflächen der geplanten PVA in Blau und Umgebung (Quelle: Google Earth, Airbus)	3
Abbildung 2: Modulbelegungsplan (Quelle: Auftraggeber)	4
Abbildung 3: Zeichnung der Unterkonstruktion (Quelle: Auftraggeber)	5
Abbildung 4: Reflexion eines Lichtstrahls.....	6
Abbildung 5: (a) gerichtete Reflexion, (b) reale Reflexion, (c) ideale diffuse Reflexion [1]	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 [2]	7
Abbildung 8: links: Module mit satinierter Folie [3], rechts: nachträglich sandgestrahltes Modul [4]	8
Abbildung 9 Reflexionsgrad über Einfallswinkel für verschiedene Modultypen [2]	8
Abbildung 10: Wahrnehmungsbereiche von Objekthelligkeiten in Abhängigkeit der Helligkeitsadaption des Auges [5]	9
Abbildung 11: Reflexionsdiagramm der Modulfläche: 180° Süd-Ausrichtung, 15° Neigung, (UTC +1).....	11
Abbildung 12: Relevanter Sichtwinkel der Verkehrsteilnehmer auf der L24 in Gelb, Immissionswinkel möglicher Reflexionen von der Modulfläche in Rot (Quelle: Google Earth, Airbus)	12
Abbildung 13: Relevanter Sichtwinkel der Verkehrsteilnehmer auf der Kirschallee in Gelb, Immissionswinkel möglicher Reflexionen von der Modulfläche in Rot (Quelle: Google Earth)	13
Abbildung 14: Kirschallee mit Hecke rechts im Bild, zwischen der Straße und dem geplanten Standort der PV-Anlage (Quelle: Google Earth)	14
Abbildung 15: Streckenabschnitt auf der Kirschallee mit Reflexionen im relevanten Sichtfeld der Verkehrsteilnehmer in dunklem Gelb, auftretende Immissionswinkel in Rot, relevantes Sichtfeld in hellem Gelb, empfohlene Sichtunterbrechung in Orange (Quelle: Google Earth)	15

11 Gewährleistung

Unsere Fachgutachten werden nach bestem Wissen und Gewissen erstellt. Die Messungen, Bewertungen, Berechnungen und Simulationen werden entsprechend dem Stand der Wissenschaft und Technik und den anerkannten Regeln der Technik mit größtmöglicher Sorgfalt vorgenommen.

Die Fachgutachten erfolgen auf Basis der vom Auftraggeber übermittelten Informationen und Planungsunterlagen. Diese werden einer fachkritischen Wertung unterzogen. Die Informationen zu den technischen Parametern der einzelnen Komponenten werden soweit möglich mit Herstellerangaben abgeglichen. Dabei wird die Eignung der Komponenten anhand der entsprechenden Zertifikate oder anderer Nachweise geprüft. Der Gutachter unterstellt dabei, dass die für die Komponenten geltenden anerkannten Regeln der Technik eingehalten werden. Für Fehlangaben des Auftraggebers sowie modellbedingte Abweichungen hat der Gutachter nicht einzustehen. Die in den Fachgutachten verwendeten Messungen sind mit Messunsicherheiten behaftet. Die Bewertungen anhand von Berechnungen sind mit Unsicherheiten in der Modellierung verbunden. Somit können Abweichungen zwischen den gemessenen und berechneten Werten zu den tatsächlichen Werten nicht ausgeschlossen werden. Der Gutachter ist bestrebt, die Abweichungen gering zu halten.

Für einfache und grobe Fahrlässigkeit gilt eine Haftungsbegrenzung auf folgende Beträge:

1. Die Haftung für einfache Fahrlässigkeit ist auf einen Betrag von 100.000 € beschränkt.
2. Die Haftung für alle sonstigen Fälle der Fahrlässigkeit ist auf einen Betrag von 200.000 € begrenzt.
3. Die Haftung für Schäden aus der Verletzung des Lebens, des Körpers oder der Gesundheit wird durch die vereinbarten Haftungsbegrenzungen nicht berührt. Das gleiche gilt für die Haftung wegen Vorsatz.

12 Vorbehaltsklausel für die Veröffentlichung des Gutachtens

Der Auftraggeber ist nicht berechtigt, das Gutachten ohne die ausdrückliche schriftliche Zustimmung des Auftragnehmers an Dritte weiterzugeben oder zu veröffentlichen, mit Ausnahme der Weitergabe an dafür vorgesehene Behörden. Eine Veröffentlichung im Internet oder die Weitergabe an andere Dritte muss schriftlich angefragt werden. Es ist wichtig, dass alle Parteien die vertraglichen Vereinbarungen respektieren, um rechtliche Konflikte zu vermeiden.