

PV-BLENDGUTACHTEN

ZUM STANDORT UHLENLOCH



Projektname	Uhlenloch
Projekt Nr.	SMO2025-0725_01
Auftraggeber	Georg-August-Universität Göttingen
Dokumententyp	PDF-Dokument
Version	1.1
Datum	30.03.2026
Durchgeführt von	[REDACTED]
Überprüft von	[REDACTED]

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	1
1. Vorbemerkung	4
2. Zusammenfassung	5
3. Aufgabenstellung	5
4. Hintergrund und Problemstellung	6
4.1 Blendwirkung von PV-Anlagen	6
4.2 Physikalische Zusammenhänge	7
4.2.1 Oberflächenbeschaffenheit	7
4.2.2 Modulanordnung	8
4.2.3 Umgebungslicht	8
4.2.4 Reflexion an den Modulen	8
4.2.5 Streuung des Lichts an den Modulen	9
4.2.6 Lichtintensität der Reflexion und Einwirkbereich	9
4.3 Rechtliche Vorgaben und Vorgehensweise	9
4.3.1 Rechtliche Vorgaben	9
4.3.2 Einwirkbereich und Differenzwinkel zur Blendung durch PV Anlagen	10
4.3.3 Richtwerte	10
4.3.4 Vorgehensweise	13
5. Datengrundlage und Standort	13
5.1 Datengrundlagen	14
5.1.1 PV-Anlage	14
5.1.2 PV-Module	16
5.1.3 Kartengrundlage	16
5.1.4 Höhendaten	16
5.1.5 Sonnenstandsverlauf	18
5.1.6 Einwirkbereich der Blendung durch PV-Anlagen	18
5.1.7 Standortbesichtigung	18
5.2 Übersichtskarte	19
5.3 Immissionsorte und -wege	20
5.3.1 Maßgebliche Immissionsorte	20
5.3.2 Straßenwege	20
6. Simulation und Ergebnisse	21

6.1	Ergebnisse „astronomische maximal mögliche Blendung“	22
6.1.1	Gebäude	22
6.1.2	Stichstraße „Deppoldshäuser Straße“	22
7.	Bewertung	23
8.	Anhang	23
8.1	Richtlinien, Vorschriften und Stand der Technik	23
8.2	Methodik	24
8.2.1	Berechnungsmethode Blendung	24
8.2.2	Softwaretool	25
8.2.3	Beurteilungsgrundlagen	25
8.2.4	Maßnahmen zur Verminderung von Blendwirkungen	27
8.3	LITERATUR QUELLEN HINWEISE	27
8.4	Detaillierte Berichte zu den Ergebnissen	29

1. Vorbemerkung

Die vorliegende Analyse wurde der smartOPS GmbH von der Georg-August-Universität Göttingen in Auftrag gegeben und gemäß dem Stand von Wissenschaft und Technik nach bestem Wissen und Gewissen unparteiisch erstellt.

Die smartOPS GmbH baut auf einer langjährigen Expertise in der Erstellung von Studien und Gutachten für erneuerbare Energieprojekte unter Mitwirkung von Fachleuten aus den Ingenieurwissenschaften, Meteorologie, Geografie und Ökonomie.

Die Ergebnisse dieses Gutachtens beziehen sich auf die in diesem Dokument benannten Voraussetzungen sowie Eingangsdaten und wurden u.a. mit Hilfe der Software windPRO Modul Solar PV von EMD International A/S erstellt. Abweichungen zu den getroffenen Annahmen und Randbedingungen führen zu anderen Ergebnissen, für die smartOPS naturgemäß keine Gewährleistung übernehmen kann.

Die Ergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die vom Auftraggeber vorgegebenen Planungsgrundlage und etwaige seitens öffentlicher Behörden erworbene Daten.

Die Daten zur Erstellung der Berichte verbleiben bei der smartOPS GmbH. Die Daten und Ergebnisse werden selbstverständlich vertraulich behandelt. Eine anonymisierte Auswertung zu statistischen und wissenschaftlichen Zwecken bleibt unbenommen.

Ein Interessenskonflikt mit dem Auftraggeber, den Investoren, anderen Planern oder einer Beteiligung Dritter am Standort für das Gutachten und die Bewertung bestehen nicht. Die Unabhängigkeit ist gewährleistet.

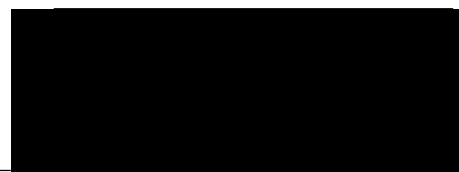
Für die Ergebnisse des Gutachtens werden seitens des Gutachters keine Garantien übernommen. Sie basieren auf den Berechnungen sowie den vom Auftraggeber und dem Anlagenplaner gestellten Standort- und Anlagendaten.

Die Vervielfältigung, Veröffentlichung sowie Weitergabe des Berichtes an Dritte, neben den Genehmigungsbehörden und finanzierenden Partnern, ist nur in vollständiger, ungekürzter Form zulässig und bedarf einer schriftlichen Zustimmung der smartOPS GmbH

Kassel, den 14.09.2025



Bearbeiter : 



Prüfung & Freigabe durch: 

2. Zusammenfassung

Es gibt am Standort Uhlenloch in Bezug auf Blendungen **keine** maßgeblich betroffenen Immissionsorte an den Nachbarsiedlungen um die PV-Anlage entsprechend den LAI Hinweisen. Daher besteht auf **schutzwürdige Gebäude** keine Blendwirkung durch die geplante PV Freiflächen Anlage.

Im Bereich der Stichstraße nach Deppoldshausen bestehen für Fahrzeuglenker keine kritische Blendung.

Das Projekt ist somit unkritisch in Bezug auf die Blendwirkungen der PV-Anlage zu bewerten und es sind keine Maßnahmen zum Schutz vor relevanter Blendung zu treffen.

3. Aufgabenstellung

Die Umsetzung der Energiewende und die Bestrebungen für mehr Klimaschutz resultieren in Erfordernissen und Maßnahmen, die als gesellschaftlicher Konsens und somit als öffentliche Belange gesetzlich festgeschrieben sind. U.a. sind diese im „Gesetz zur Stärkung der klimagerechten Entwicklung in den Städten und Gemeinden“ (2011) und im „Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz – EEG“ (zuletzt 2023) festgeschrieben. Andererseits soll der Ausbau der erneuerbaren Energien auch die bestehenden Regelungen für den Immissionsschutz berücksichtigen. Dies gilt auch für Lichtimmissionen durch Freiflächen Photovoltaik-Anlagen.

Grundlage für die Berechnung und Beurteilung von Lichtimmissionen ist die sog. Lichtleitlinie [5], die 1993 durch die Bund/Länder - Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) verfasst und 2012 um einen Abschnitt zu PV Anlagen (Anlage 2) erweitert wurde. Nach Meinung von Experten enthält die Lichtleitlinie z.T. Defizite bzw. Unklarheiten und ist als Instrument für die sachgerechte Beurteilung von Reflexionen durch PV Anlagen nur bedingt anwendbar. Aktuell liegt allerdings kein besseres Regelwerk vor, so dass die rechnerisch ermittelten Simulationsergebnisse sowie die fachgutachterliche Meinung im Genehmigungsprozess zu beachten und entsprechend abzuwägen ist.

Der Auftraggeber plant die Errichtung einer Freiflächen Photovoltaikanlage („FF-PVA“) mit einer Modulleistung von ca. 2,4 MW_p am Standort Uhlenloch (Landkreis Göttingen im Bundesland Niedersachsen) sowie deren anschließenden Betrieb zur Erzeugung elektrischer Energie.

Im Rahmen des Vorhabens ist es daher erforderlich, die Auswirkungen der geplanten FF-PVA auf die unmittelbare Umgebung zu untersuchen.

Zu diesem Zweck ist ein detailliertes Blendgutachten von einem unabhängigen Sachverständigen angefragt, die bei der zuständigen Baubehörde im Landkreis Göttingen eingereicht werden soll. Die vorliegende Untersuchung soll klären ob bzw. in wie weit von der PV-Anlage „Uhlenloch“ eine Blendwirkung für schutzbedürftige Zonen im Sinne der Lichtleitlinie ausgehen könnte. etwaige Anwohner oder/und Erwerbstätige in den angrenzenden Gebäuden.

Die zur Anwendung kommenden Berechnungs- und Beurteilungsgrundsätze resultieren im Wesentlichen aus den Empfehlungen in Anhang 2 der Lichtleitlinie in der aktuellen Fassung vom 08.10.2012 bzw. 03.11.2015 (Anlage 2). Die Berechnung der Blendwirkung erfolgt auf Basis von vorliegenden Planungsunterlagen der PV-Anlage.

Einzelne Aspekte der Lichtleitlinie werden an entsprechender Stelle wiedergegeben, eine weiterführende Beschreibung von theoretischen Hintergründen u.a. zu Berechnungsformeln kann im Rahmen dieses Dokumentes nicht erfolgen. Entsprechende Quellen- und Literaturhinweise sind gegeben.

4. Hintergrund und Problemstellung

Blendung durch Reflexion an Photovoltaikmodulen ist ein wichtiger Aspekt, der bei der Planung und Installation von Solaranlagen berücksichtigt werden muss. Blendung tritt auf, wenn das von der Sonne reflektierte Licht direkt in die Augen des Betrachters gelangt und unangenehme oder sogar gefährliche visuelle Effekte verursacht. Diese Blendung kann nicht nur für Personen, die sich in der Nähe der Anlage befinden, störend sein, sondern auch für Autofahrer und Anwohner.

4.1 Blendwirkung von PV-Anlagen

Baugenehmigungspflichtige Freiflächen-Photovoltaikanlagen („FF PVA“) werden meist auf z. T. mehreren Hektar großen Flächen (ein Hektar entspricht ca. 1.000 kW_p installierter PVA-Leistung) errichtet. Sie bestehen im Regelfall aus zahlreichen, einzelnen Photovoltaikmodulen. Trotz Antireflexionsgläser auf der Moduloberfläche wird Sonnenlicht von der glatten Oberfläche der Module nicht vollständig absorbiert, sondern auch zu einem geringen Anteil reflektiert. Je nach Anordnung und Einfallswinkel der Sonnenstrahlen können in der Nachbarschaft teilweise Einwirkungen mit hoher Leuchtdichte auftreten, die mit >105 cd/m² eine Absolutblendung bei den Betroffenen auslösen können. Diese Form der physiologischen Blendung kann im Extremfall zu einer erheblichen Seheinschränkung im gesamten Blickfeld führen. Reflexionen von Photovoltaikanlagen stellen daher Immissionen im Sinne des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (§ 3 Abs. 2 BImSchG) dar.

Wenn diese Immissionen über einen längeren Zeitraum an der schützenswerten Nachbarschaft oder/und Verkehrsinfrastrukturachsen wie beispielsweise Bundesautobahnen und Schienenwege auftreten, werden Abhilfemaßnahmen i.d.R. für erforderlich gehalten.

Wirkungsuntersuchungen oder Beurteilungsvorschriften zu diesen Immissionen sind bisher nicht vorhanden. Die Absolutblendung in ihrer Auswirkung auf die Nachbarschaft kann, wie der periodische Schattenwurf von Windenergieanlagen betrachtet werden. Schwellenwerte für eine zulässige Einwirkdauer werden entsprechend [7] festgesetzt. Die Empfehlungen gelten für großflächige genehmigungspflichtige Photovoltaikanlagen im Rahmen von Baugenehmigungsverfahren. Die Baugenehmigungspflichtigkeit von Photovoltaikanlagen richtet sich nach dem jeweiligen Landesbauordnungsrecht. Von kleineren Photovoltaikanlagen wie sie häufig auf Ein- und Mehrfamilienhäusern, kleinen oder mittleren Gewerbeimmobilien oder landwirtschaftlichen Gebäuden installiert sind, werden diese Schwellenwerte in aller Regel nicht erreicht. Soweit von Photovoltaikanlagen, die keiner baurechtlichen Genehmigungspflicht unterliegen, im Ausnahmefall ebenfalls Lichtimmissionen ausgehen, die als schädliche Umwelteinwirkungen nach § 3 Abs. 1 BImSchG zu qualifizieren sind, gelten in diesem Fall die Bestimmungen dieser Hinweise entsprechend.

Der genannte Wertungsmaßstab kann allenfalls ein erster Anhaltspunkt für die Beurteilung von Blendungen sein. Im Einzelfall muss dann aber begründet werden, warum eine Übertragbarkeit gegeben, bzw. aufgrund welcher Überlegungen eine ggf. abweichende Bewertung erfolgt ist.

4.2 Physikalische Zusammenhänge

Speziell für die PV-Nutzung werden bei den Solarmodulen sog. Solarglas verwendet. Dieses zeichnet sich durch eine spezielle Antireflexbeschichtungen aus und kann die solare Transmission, d.h. den Anteil der durch das Glas dringenden Solarstrahlung, auf über 95 % steigern und damit die Reflexion der Glasoberfläche unter 5 % minimieren. Generell gibt es mehrere physikalische Faktoren, die die Blendung durch Reflexion an Photovoltaikmodulen beeinflussen:

4.2.1 Oberflächenbeschaffenheit

Die Oberfläche der Photovoltaikmodule spielt eine entscheidende Rolle bei der Reflexion von Licht. Eine glatte Oberfläche reflektiert Licht eher direkt in eine bestimmte Richtung, was die Blendung verstärken kann. Hingegen steuern strukturierte oder texturierte Oberflächen das Licht maßgeblich und die Blendung wird entsprechend reduziert. In den Berechnungen in der Software wird die Streuung entsprechend berücksichtigt.

4.2.2 Modulanordnung

Die Art und Weise, wie die Module angeordnet sind, beeinflusst auch die Blendung. Wenn Module in einem flachen Winkel angebracht sind, besteht ein höheres Risiko für Blendung, da das reflektierte Licht eher in horizontaler Richtung streut und somit mehr Personen und Fahrzeuge erreicht. Anordnung und Winkel werden in der Berechnung berücksichtigt.

4.2.3 Umgebungslicht

Die Intensität des Umgebungslichts spielt ebenfalls eine Rolle. Nur bei starkem Sonnenlicht besteht die Möglichkeit einer relevanten Blendung durch Reflexion. Bei diffusen Lichtverhältnissen ist eine Blendung ausgeschlossen. In den Berechnungen wird zunächst von dem „Worst Case“-Szenario oder Fall ausgegangen, dass die Sonne permanent von Sonnenaufgang bis Sonnenuntergang scheint und die FF-PVA nicht durch Wolkenbildung beeinträchtigt wird.

4.2.4 Reflexion an den Modulen

Die Reflexion an den Modulen erfolgt über das Reflektieren des Sonnenlichts an der Oberfläche. Bei einfachem glattem Glas ähnlich wie bei einem Spiegel entspricht der Reflexionswinkel dem Einfallswinkel. Jedoch werden bei Solarmodulen Antireflexbeschichtungen und eine strukturierte Oberfläche verwendet, wodurch die direkte Reflexion zum einen erheblich reduziert und andererseits das Licht in mehrere Richtungen gestreut wird, siehe Abbildung 1.

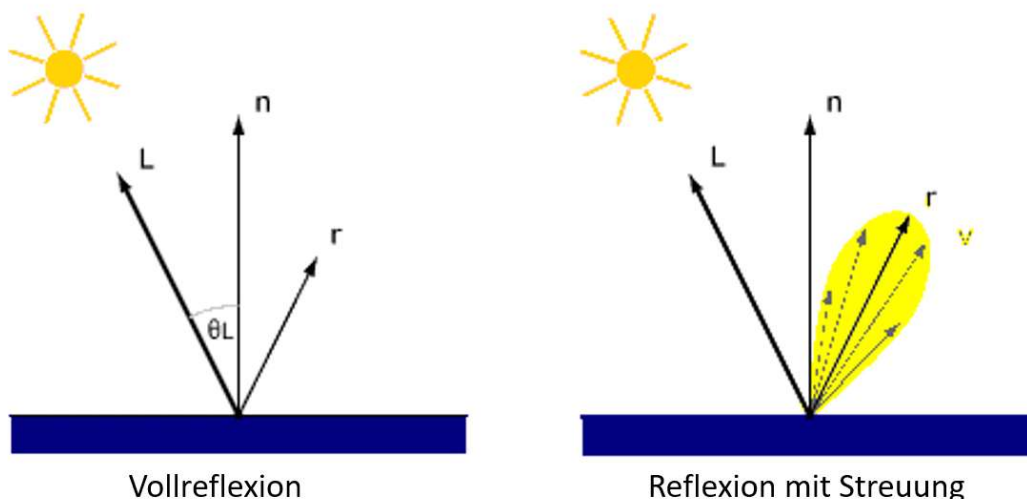


Abbildung 1: Reflexionsarten an Glasoberflächen

4.2.5 Streuung des Lichts an den Modulen

Wie beschrieben werden die Module Glas mit rauer Oberfläche abgedeckt. Diese texturierten Oberflächen weisen mikroskopische Strukturen auf, die dazu dienen, das einfallende Licht zu streuen und zu kontrollieren. Durch die mikroskopischen Unebenheiten auf der Oberfläche wird das einfallende Licht gestreut, anstatt dass es direkt reflektiert wird. Dies erhöht den Anteil des Lichts, das in die Solarzelle eindringt und dort absorbiert wird, was die Effizienz der Energieumwandlung verbessert und die Intensität der reflektierten Strahlung erheblich reduziert.

Weiterhin sorgen die texturierten Oberflächen, dass sie Licht über ein breites Spektrum streuen, einschließlich sichtbaren Lichts sowie Infrarot- und Ultraviolettstrahlung. Dies ermöglicht eine effizientere Nutzung des verfügbaren Lichtspektrums und erhöht die Energieausbeute und somit den Wirkungsgrad der Photovoltaikmodule.

4.2.6 Lichtintensität der Reflexion und Einwirkbereich

Die Sonne erreicht Leuchtdichten von bis zu $1,5 \cdot 10^9 \text{ cd/m}^2$. Selbst bei niedrigen Sonnenständen über dem Horizont treten noch Leuchtdichten um ca. $0,3 \cdot 10^9 \text{ cd/m}^2$ auf. Bei etwa 100.000 cd/m^2 tritt eine Absolutblendung ein. Das bedeutet, dass ein Photovoltaikmodul dann zu einer Absolutblendung führt, wenn auch nur ein Bruchteil des einfallenden Sonnenlichts (weniger als 1 %) zu einem Immissionsort (Wohngebäude oder Verkehrsinfrastruktur) hin reflektiert wird. Jedoch die Effekte durch der Strahlungsstärke je nach Sonnenstand, das Antireflexionsglas der Module, die Streuung auf den Modulen und der Lufttrübung wird die Strahlung maßgeblich abgeschwächt sowie variiert die Lichtintensität der Reflexion sehr stark. Daher tritt nach den Richtlinien [7] eine relevante Blendung im Sinne des Immissionsschutzes in Bezug auf Gebäude nur in einem Einwirkbereich in der Entfernung von weniger als 100 Metern auf. In Bezug auf lenkende Tätigkeiten von Fahrzeugen ist ggf. jedoch ein erweiterter Einwirkbereich zu betrachten.

4.3 Rechtliche Vorgaben und Vorgehensweise

4.3.1 Rechtliche Vorgaben

Licht gehört gemäß §3 Abs. 2 BImSchG zu den Immissionen und gem. §3 Abs. 3 BImSchG zu den Emissionen i. S. des Gesetzes [1]. Lichtimmissionen gehören nach dem BIm-SchG 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 Nachbarschaft herbeizuführen.

Der Gesetzgeber hat bisher keine Regelungen zur Bestimmung der immissionsschutzrechtlichen Erheblichkeitsgrenzen für Lichtimmissionen erlassen und auch nicht in Aussicht gestellt. Die LAI Hinweise [5] beinhalten Vorgaben zur einheitlichen Messung und Beurteilung von Lichtimmissionen für den Vollzug des BimSchG.

Die im Immissionsschutz zu beurteilenden Lichteinwirkungen bewegen sich im Bereich der Belästigung. Die Belästigung entsteht durch die ständige und ungewollte Ablenkung der Blickrichtung zur Lichtquelle hin, die bei einem großen Unterschied der Leuchtdichte der Lichtquelle zur Umgebungsleuchtdichte die ständige Adaptation des Auges auslöst. Gesundheitliche Schäden am Auge können dabei ausgeschlossen werden.

Aufgabe des Immissionsschutzes ist es vornehmlich, erhebliche Belästigungen durch psychologische Blendung von starken industriellen, gewerblichen und im Bereich von Sport- und Freizeitanlagen angeordneten Lichtquellen in der schützenswerten Nachbarschaft zu vermeiden.

4.3.2 Einwirkbereich und Differenzwinkel zur Blendung durch PV Anlagen

Wie in 4.2.6 beschrieben besteht ein relevanter Einwirkbereich, in dem eine Blendung durch die Module möglich ist. Nach den LAI Hinweisen sind relevante Blendungen nur in einer Entfernung von 100 m.

Weiterhin wird bei direkter Blendung durch die Sonne eine zusätzliche Blendung durch Reflexionen innerhalb eines Sichtwinkels von 10° als zusätzliche Beeinträchtigung ausgeschlossen. Nach Vorgaben des LAI kommt es erst zu einer maßgeblichen zusätzlichen Blendung ab einem Differenzwinkel zwischen direkter und reflektierter Blendung von 10° . Dieser Zusammenhang wird bei der Berechnung entsprechend berücksichtigt.

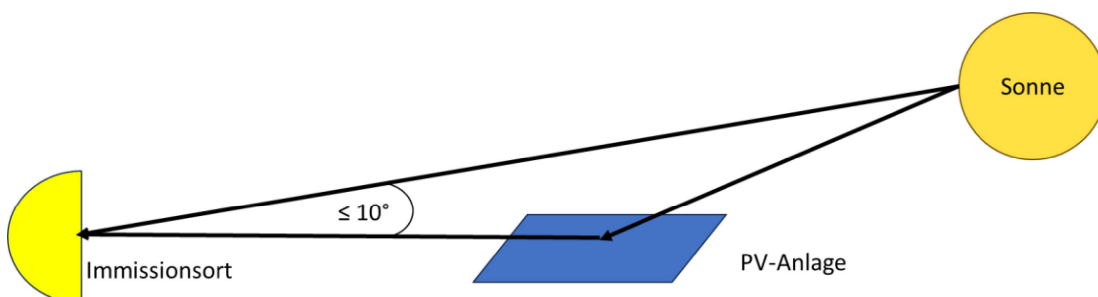


Abbildung 2: Grenzwinkel Blendung bei direkter und indirekter Blendung bei PV Anlagen

4.3.3 Richtwerte

Für Reflexionen durch PV Anlagen ist in der LAI Lichtleitlinie ein Immissionsrichtwert von maximal 30 Minuten pro Tag und maximal 30 Stunden pro Jahr angegeben. Diese Werte wurden nicht durch wissenschaftliche Untersuchungen mit entsprechenden Probanden in Bezug auf Reflexionen durch PV Anlagen ermittelt, sondern

stammen aus einer Untersuchung zur Beeinträchtigung durch periodischen Schattenwurf und Lichtreflexe ("Disco-Effekt") von Windenergieanlagen (WEA).

In diesem Bereich hat der Gesetzgeber bisher keine rechtsverbindlichen Richtwerte für die Belästigung durch Lichtblitze und bewegten, periodischen Schattenwurf durch Rotorblätter einer WEA erlassen oder in Aussicht gestellt. Die Übertragung der Ergebnisse aus Untersuchungen zum Schattenwurf von WEA-Rotoren auf unbewegliche Installationen wie PV-Anlagen ist unter Experten umstritten.

Richtwerte für die maximale Blendwirkung von Verkehrsinfrastruktur wie Straßen, Bahnlinien oder Einflugschneisen existieren derzeit nicht, weder bezüglich ihrer Intensität noch ihrer Dauer. Stattdessen sollte eine intensive dauerhafte Absolutblendung vermieden werden, da eine starke Blendung das Sehvermögen das Lenken von Fahrzeugen erheblich einschränken kann. Es ist jedoch zu beachten, dass Blendungen im Alltag aufgrund verschiedener Ereignisse immer auftreten können, zum Beispiel durch eine tiefstehende Sonne, Glasfassaden von Gebäuden, große Parkplätze, Gewässer oder regennasse Fahrbahnen. Da dieser Effekt dadurch nicht ungewöhnlich ist, kann ein Kraftfahrzeugführer bei kurzzeitiger Einwirkung mit dieser Blendeinwirkung umgehen.

Bei der Untersuchung der Verkehrsinfrastruktur ist insbesondere die physiologische Blendung von Bedeutung, die die Sehleistung beeinträchtigen oder vollständig blockieren kann. Der psychologische Effekt spielt eine geringere Rolle, da die Blendungssituation nur vorübergehend auftritt und für einen sehr kurzen Zeitraum bestehen bleibt.

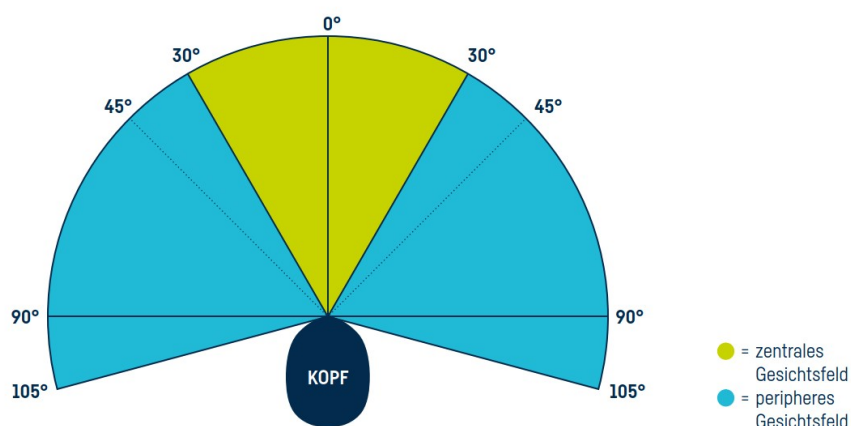


Abbildung 3: Gesichtsfeld des Menschen (Quelle: Gute Fachliche Praxis von Visualisierungen, Fachagentur Windenergie an Land u.A.)

Es wird angenommen, dass eine physiologische Blendung auftritt, wenn die Blendquelle (Reflexionsquelle) sich innerhalb des inneren Sichtfelds befindet. Das normale menschliche innere Sichtfeld (Fovea) des menschlichen Auges, in dem das Auge am leistungsfähigsten mit 100% Sehschärfe wahrnehmen kann, besitzt nur etwa 1°. Beim Lenken eines Fahrzeugs mit nach vorne gerichtetem Blick konzentriert sich der

Mensch üblicherweise auf einen Bereich mit einem vertikalen Aufblick von 30° , einen vertikalem Abblick von 40° sowie seitliche Sichtbereiche nach rechts und links von 30° , siehe Abbildung 3. Für das Lenken von Fahrzeugen bedeutet dies, dass eine relevante physiologische Blendung nur innerhalb eines Winkels von $\pm 30^\circ$ bezogen auf die Fahrtrichtung stattfindet.

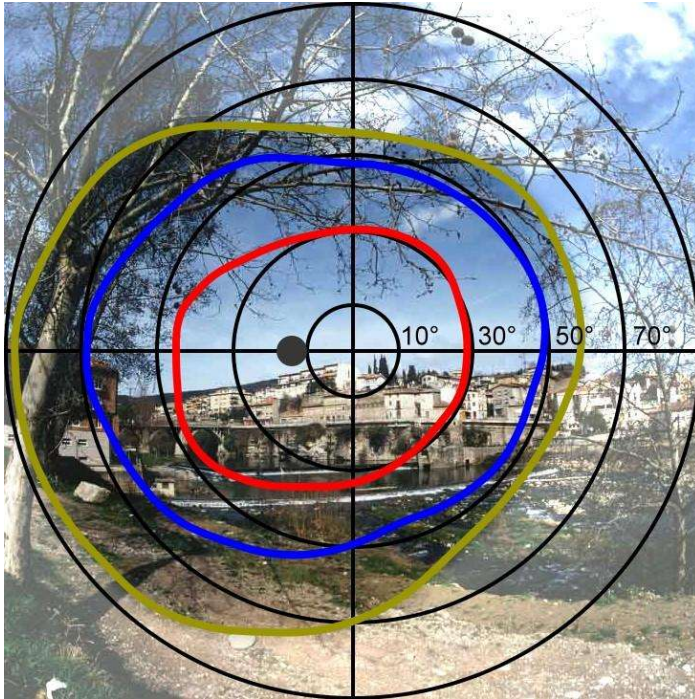


Abbildung 4: Sichtfeldbereiche des linken menschlichen Auges (Quelle: Ralf Roletschek / Roletschek.at). Volle Sehschärfe findet nur in der Mitte des Blickfeldes von ca. 1° statt.

Es ist weiterhin zu beachten, dass auf Verkehrsstraßen die Blendung bei zügiger Fortbewegung auftritt, z.B. bei einer Geschwindigkeit von ca. 80 bzw. 120 km/h wird eine Strecke von 22 bzw. 33 m je Sekunde zurückgelegt. Je nach geometrischen Bedingungen tritt eine Blendung nur kurz oder auch länger auf. Je nach Dauer beeinträchtigt die Blendung den Fahrzeuglenker. Erst bei längerer Blendungsdauer ist damit zu rechnen, dass der Fahrer sich an Situation anpasst oder Maßnahmen ergreift, wie z.B. ein bewusstes Fokussieren eines anderen Bereichs im Sichtfeld oder die Verwendung der Sonnenblende oder einer Sonnenbrille.

In normalen Reflexionssituationen bei Photovoltaikfeldern, in denen die Sonne in ähnlicher Richtung steht, tritt üblicherweise parallel eine Blendung durch die direkte Sonne oder durch die helle Umgebung bereits auf, wodurch eine Reflexionsblendung nicht unerwartet ist.

Im Gegensatz zum normalen stetigen geradlinigen Lenken eines Fahrzeugs ist in Verkehrsbereichen mit hohen Konzentrationsanforderungen z. B. Einmündungen oder Auffahrten, die Beeinträchtigung durch Blendung besonders genau zu prüfen. In diesen Bereichen wird der Fahrzeugführer seine Blickrichtung zu verändern und auch in

der Lage sein, den Randbereich der Fahrbahn zu beobachten, was zu einer Abweichung von der eigentlichen Blickrichtung führt.

Bei kurzzeitigen Blendungen muss auch geprüft werden, ob sich in diesem Bereich Verkehrszeichen oder Signalanlagen befinden, die durch eine kurzzeitige Ablenkung des Blicks übersehen werden können. Eine Blendung oder Reflexion auf den Fahrer eines Kraftfahrzeugs führt außerdem zu einer Herabsetzung der Aufmerksamkeit, wenn die reflektierte Lichteinwirkung zu einer Reaktion führt, wie das Abwenden des Blicks oder das Einleiten von Gegenmaßnahmen.

4.3.4 Vorgehensweise

Für das Genehmigungsverfahren einer Freiflächen-Photovoltaikanlage ist zu prüfen, ob die Fahrzeuglenker an den umliegenden Straßen von dem auf der Moduloberfläche der PVA reflektierten Sonnenlicht maßgeblich geblendet werden könnten. Außerdem wird die Blendwirkung auf die umliegende Nachbarschaft und Wohnbebauung (insofern vorhanden) untersucht.

Folgende Bearbeitungsschritte dienen der Vorbereitung und Durchführung der Simulation mit einem speziell für die Aufgabenstellung entwickelten Softwarewerkzeug:

- a. Nachbildung der Topographie (digitales Geländemodell) und der wesentlichen Verschattungsobjekte des Geländes (u.a. zur Bewertung des Geländeprofiles)
- b. Modellierung des PVA-Layouts mit den geometrischen Dimensionen
- c. Messpunkte für PKW in beiden Fahrtrichtungen der angrenzenden Straßen
- d. Simulation der jährlichen Einstrahlung (Zeitreihe, ein Kalenderjahr)
- e. Reflexionsberechnung für die konkrete PVA bzw. Anlagenteile mit Modultischen, Ausrichtung und Neigung sowie Modultyp auf die Bundesfernstraßen
- f. Ermittlung von Abschattungen und Verdeckungen
- g. Berücksichtigung von Einwirkbereich und minimaler Einstrahlwinkel nach LAI-Hinweisen 2012 (2015)
- h. Bewertung der Ergebnisse und Empfehlungen
- i. Darstellung der Ergebnisse in Tabellen, Grafiken, Fotos und Karten

5. Datengrundlage und Standort

Die Georg-August-Universität Göttingen plant eine PV-Freiflächenanlage am Standort Uhlenloch.

5.1 Datengrundlagen

Für das Gutachten wurden verschiedene Anlagendaten, Kartengrundlagen und GIS-Informationen verwendet, die vom Auftraggeber vorgelegt wurden.

5.1.1 PV-Anlage

Vom Auftraggeber wurden uns zu der PV-Freifläche verschiedenen Planungsdaten zur Verfügung gestellt. Den Unterlagen gehen die geplante Anordnung, Ausrichtung, Neigung und Konstruktion der Modultische hervor. Die Nachfolgende Tabelle beschreibt die Anordnung zu der Fläche:

Tabelle 1: Daten zur PV-Anlage

Fläche	Anordnung	Leistung [kWp]	Modulanzahl	Neigung
PV-Fläche Standard	Aufgeständerte PV-Anlage: Modulunterkante 1,0 m, m Reihenabstand 5,00 m	Ca. 2.400	ca. 3770	17°



Abbildung 5: Aufstellungsplan zu der PV-Fläche gemäß Anlagenplanung



Abbildung 6: Nachbildung der PV-Flächen gemäß dem Bauantrag

5.1.2 PV-Module

Am Standort sind PV Module entsprechen der nachfolgenden Tabelle vorgesehen.

Tabelle 2: Angaben zum Modul

Beschreibung	Kennwerte	Einheit
Typ	Standardmodul	
Modultyp	Monokristalines Halbzellen-Modul	
Beschreibung	Bi-faziale monokristaline Halbzellen mit schwarzer Oberfläche	
Leistung je Modul	ca. 630	Wp
Maße je Modul	2.382 x 1.134 (Tracker 1.903 x 1.134)	mm
Glaseigenschaften Oberfläche	Antireflexionsglas mit rauer Oberfläche und hohem Transmissionsgrad	
Divergenz (Streuung der Reflexion)	Annahme 6,8°, antireflex-Beschichtung mit leichter Textur	

5.1.3 Kartengrundlage

Als Grundlage wurden folgende georeferenzierten Karten verwendet:

- Hintergrundkarte: Open Street Map
- Luftbild (DOP) vom Landesamt für Geoinformation und Landesvermessung Niedersachsen (LGLN)
- Planungsentwurf zu der PV-Anlage
- Digitale GIS-Daten zu den PV-Anlagen

5.1.4 Höhendaten

Höhendaten sind eine wichtige Grundlage für eine präzise Berechnung der Blendungen. Als Grundlage wurde im Bereich der PV-Flächen die Höhendaten in 1m-Höhenauflösung von dem Landesamt für Geoinformation und Landesvermessung Niedersachsen (LGLN) in 1m-Raster verwendet.

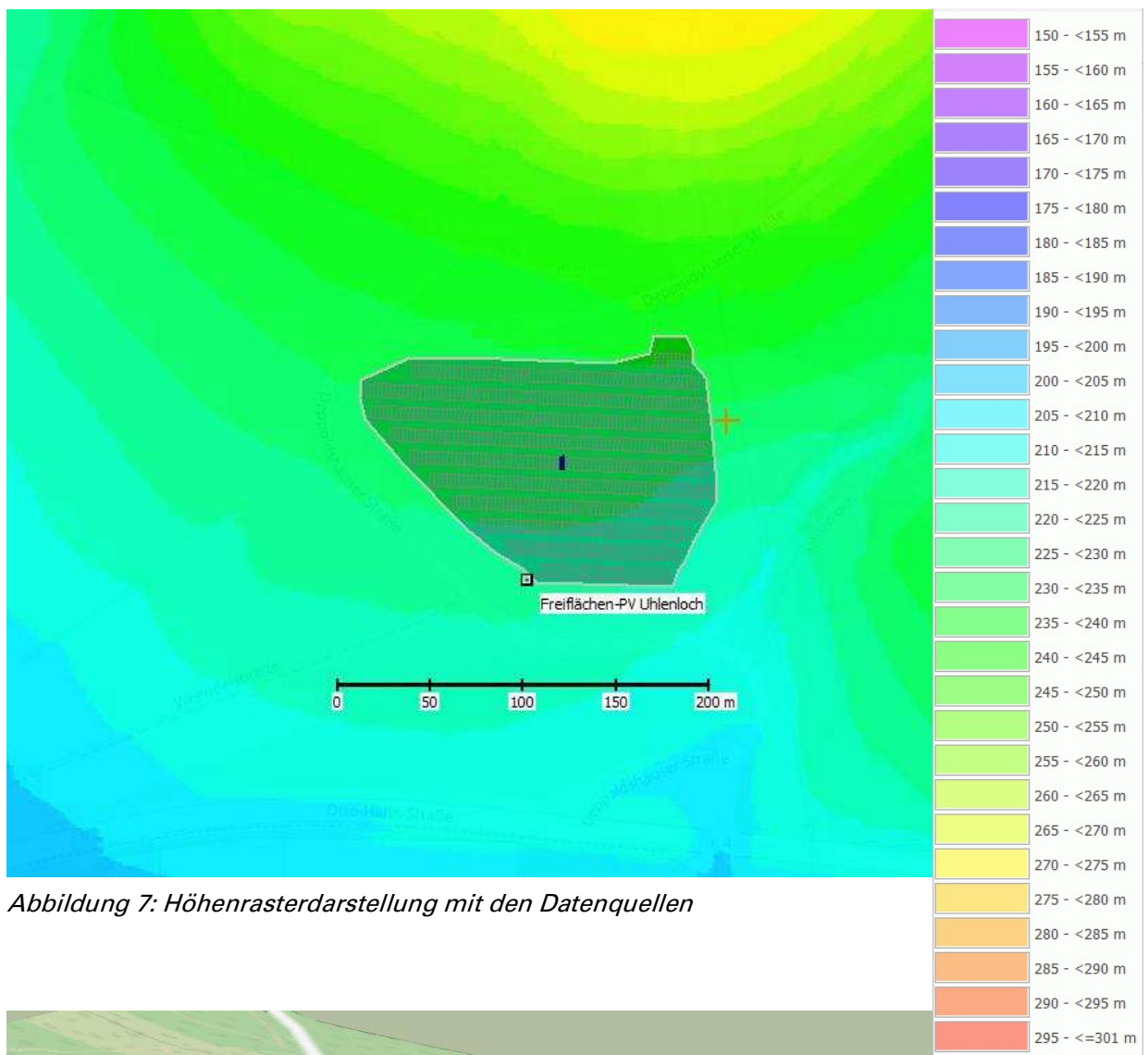


Abbildung 7: Höhenrasterdarstellung mit den Datenquellen



Abbildung 8: 3D Modell PV-Anlage

5.1.5 Sonnenstandsverlauf

In der Blendberechnung wird der Sonnenstand am Standort berücksichtigt.

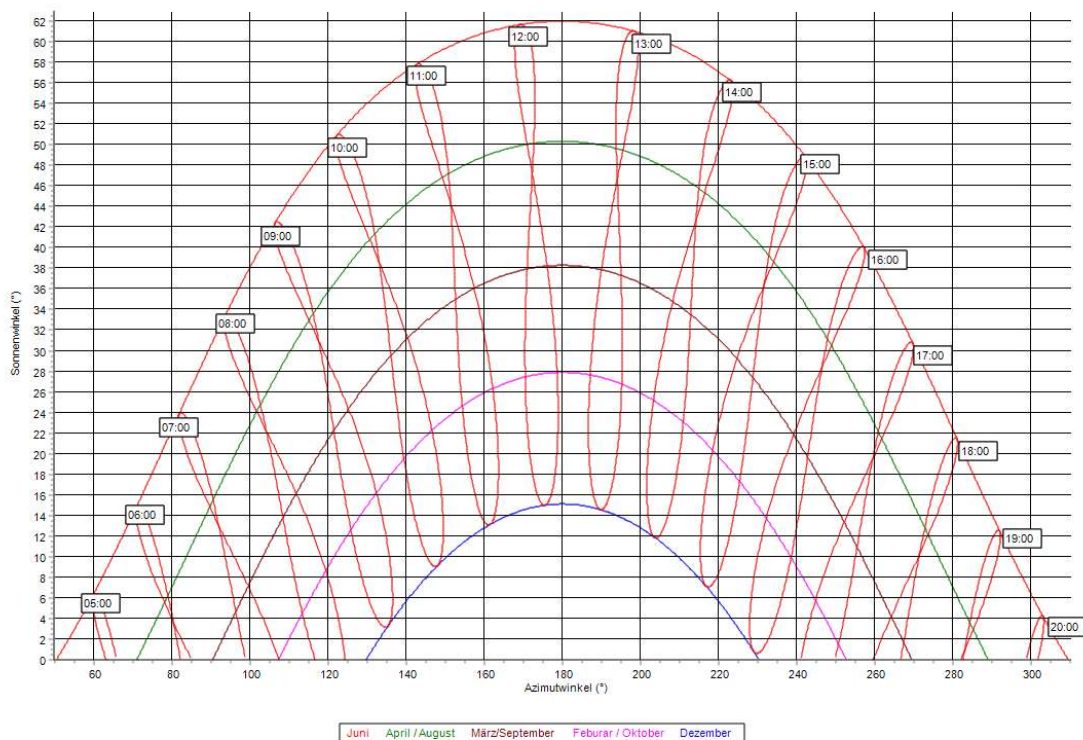


Abbildung 9: Sonnenstandsverlauf am Standort Uhlenloch

5.1.6 Einwirkungsbereich der Blendung durch PV-Anlagen

Nach den Richtlinien und bisherigen Erfahrungen bestehen bei PV-Freiflächenanlagen mit den typischen Solarmodulen eine relevante Reflexion mit Lichtstärken von über 10^5 cd/m^2 in einer unmittelbaren Entfernung von 100 m. In Bereichen mit geforderter erhöhter Aufmerksamkeit wie bei Fernstraßen sind jedoch die Reflexionen auch aus einer größeren Entfernung zu betrachten und zu bewerten. Am Standort für die Autobahn und dem Schienenverkehr wird konservativ mit einem Einwirkungsbereich von 300 m gerechnet. In Abbildung 11 sind die Einwirkungsbereiche der PV-Flächen für 100 m (hellrote Fläche) und 300 m (blaue Linie) gekennzeichnet.

5.1.7 Standortbesichtigung

Um einen genauen Eindruck vom Standort und der möglichen durch Blendung betroffenen Gebäude und Bereiche zu identifizieren, wurde eine Standortbesichtigung am **02.09.2025** durchgeführt. Dabei wurde der Standort begangen und verschiedene Fotos aufgenommen. Die Zuordnung der Fotoaufnahmen sind der Karte in Abbildung 10 zu entnehmen.

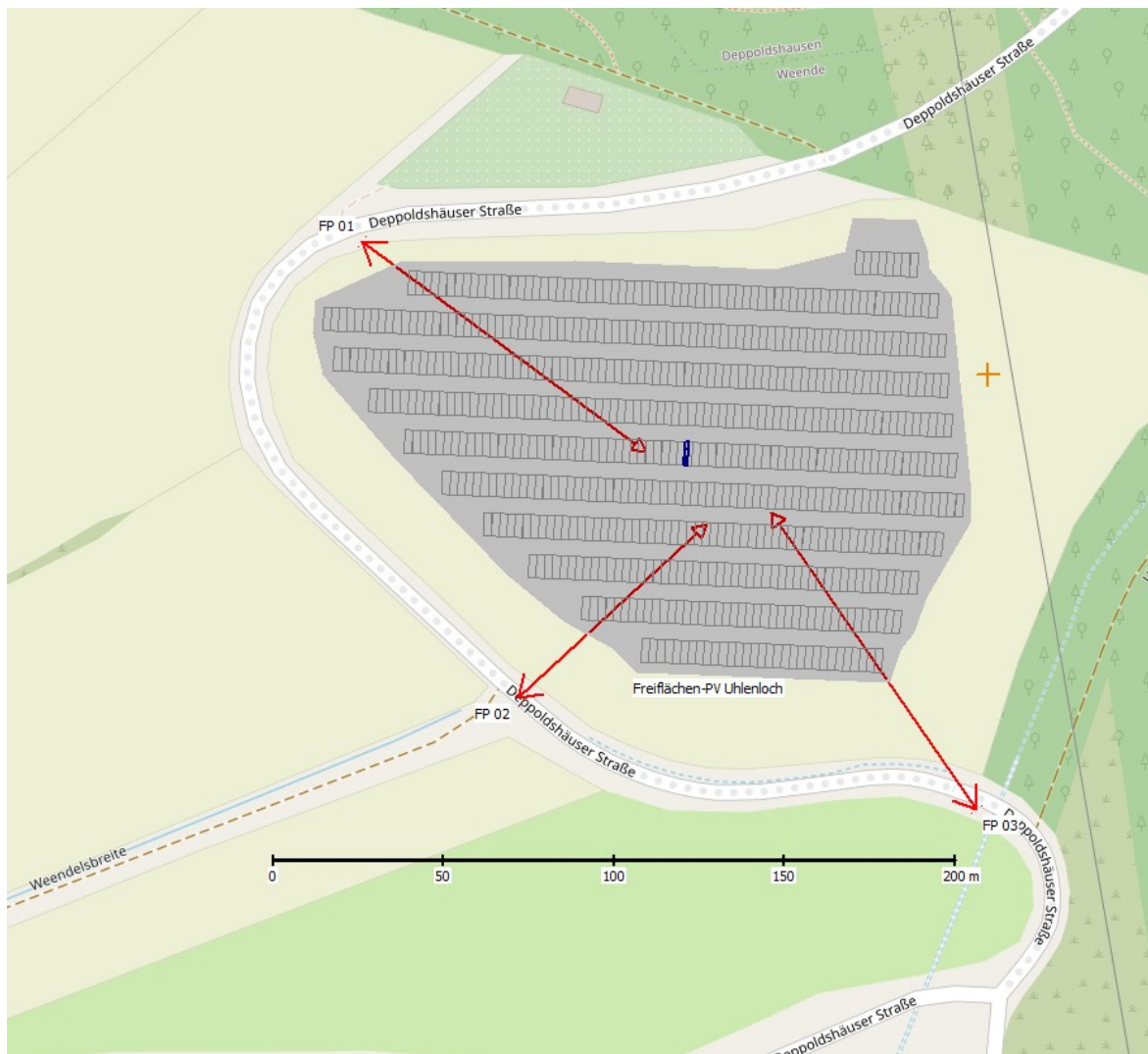


Abbildung 10: Karte mit den Punkten zu den Fotoaufnahmen (roter Pfeile)

5.2 Übersichtskarte

Die nachfolgende Karte zeigt die Solar-PV-Fläche am Standort und die Einwirkbereiche von 100m um die PV Fläche. Wie der Karte zu entnehmen ist, liegen keine Immissionsrelevanten Gebäude im Einwirkbereich der PV Flächen. Die Stichstraße zwischen Ortsteil Uhlenloch und Göttingen verläuft zwischen den PV-Flächen innerhalb der Einwirkbereiche.

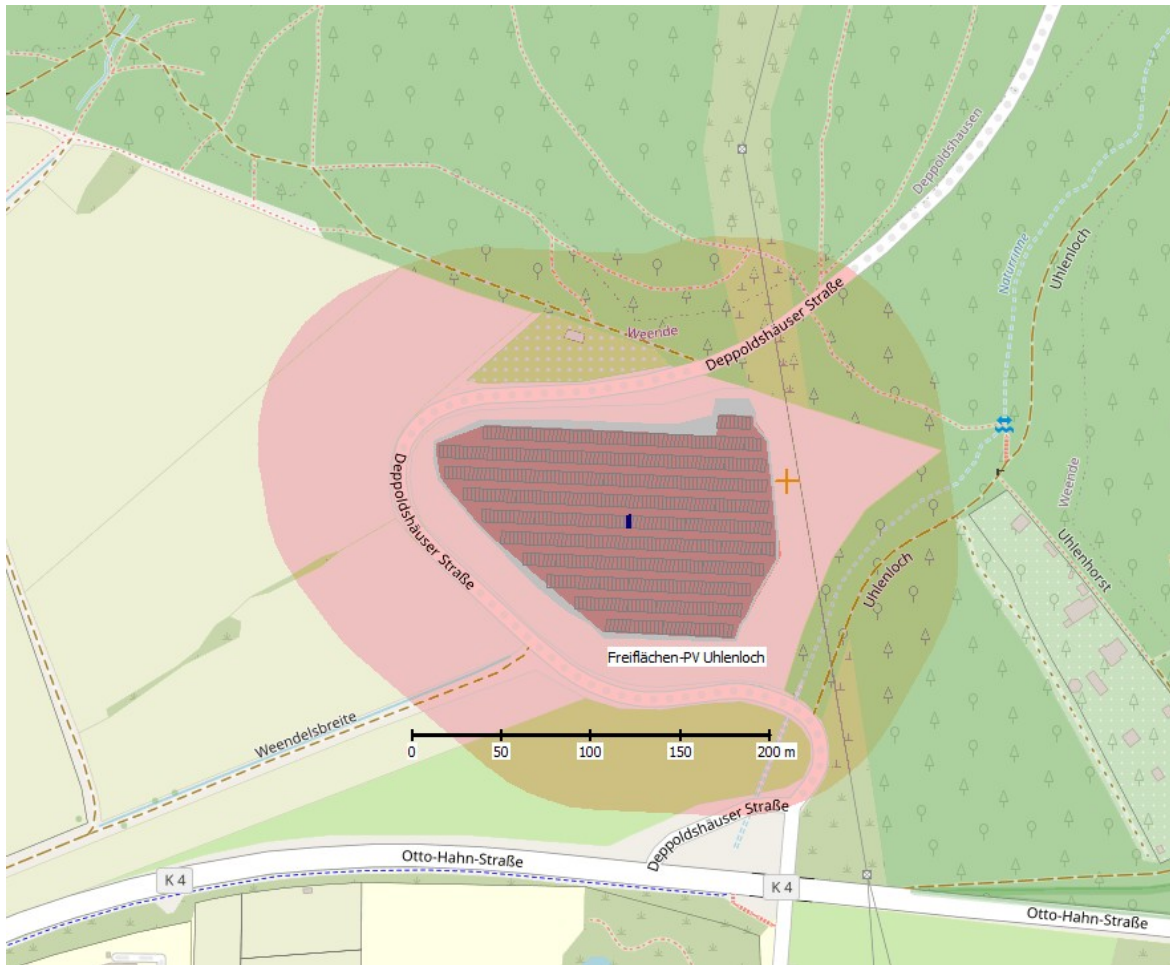


Abbildung 11: Übersichtskarte zu den PV Freiflächenanlage und Abstandsbereiche 100 m (hellrote Bereiche)

5.3 Immissionsorte und -wege

5.3.1 Maßgebliche Immissionsorte

Wie der Karte in Abbildung 11 entnommen werden kann, befinden sich im unmittelbaren relevanten Umfeld von 100 m nur im Norden ein Gebäude, das als maßgeblichen Immissionsort gemäß den LAI Hinweisen einzuordnen ist. Bei dem Gebäude handelt es sich um eine Hütte in einem Art Schrebergarten.

5.3.2 Straßenwege

In dem Einwirkungsbereich von 100 m zu der PV-Anlage mit einer möglichen relevanten - Beeinflussung durch eine Blendung liegt die Stichstraße „Deppoldshäuser Straße“ zum Ortsteil Deppoldshausen. Da es sich hier um eine wenig frequentierte Straße mit keinen maßgeblichen Kreuzungen im Einwirkungsbereich handelt, ist eine detaillierte Betrachtung in Bezug auf die Blendung nicht notwendig.

6. Simulation und Ergebnisse

Zur Bewertung der Blendwirkung auf der Verbindungsstraße wurde eine Simulation zu der Blendung der PV-Flächen exemplarisch für PKWs durchgeführt, siehe Abbildung 12. In einer Vorsimulation ergab sich, in beide Fahrtrichtungen keine Blendung auftreten kann. Eine Blendung kommt dadurch nicht zu Stande, da die Reflexion durch die räumliche Anordnung der Module und der Blickwinkel mit 60° Gesichtsfeld des Fahrzeuglenkers nicht zusammenfällt.



Abbildung 12: Karte mit den Blendpunkten entlang der Straße

Ein mögliche Blendung ist physikalisch nur gegeben, wenn bei niedrigen Sonnenständen morgens (westlich) bzw. abends (östlich) von der Seite die PV-Anlage aus östlicher oder westlicher direkt betrachtet wird.

6.1 Ergebnisse „astronomische maximal mögliche Blendung“

Zur Bewertung der möglichen Blendung wird gemäß den Richtlinien eine Simulation unter der Annahme für die „astronomische maximal mögliche Blendung“ durchgeführt, bei der die Sonne jeden Tag von Sonnenaufgang bis Sonnenuntergang scheint.

6.1.1 Gebäude

Es bestehen im Einwirkungsbereich der PV Flächen ein Gebäude nördlich der PV Fläche das als maßgeblichem Immissionsort betrachtet werden muss.

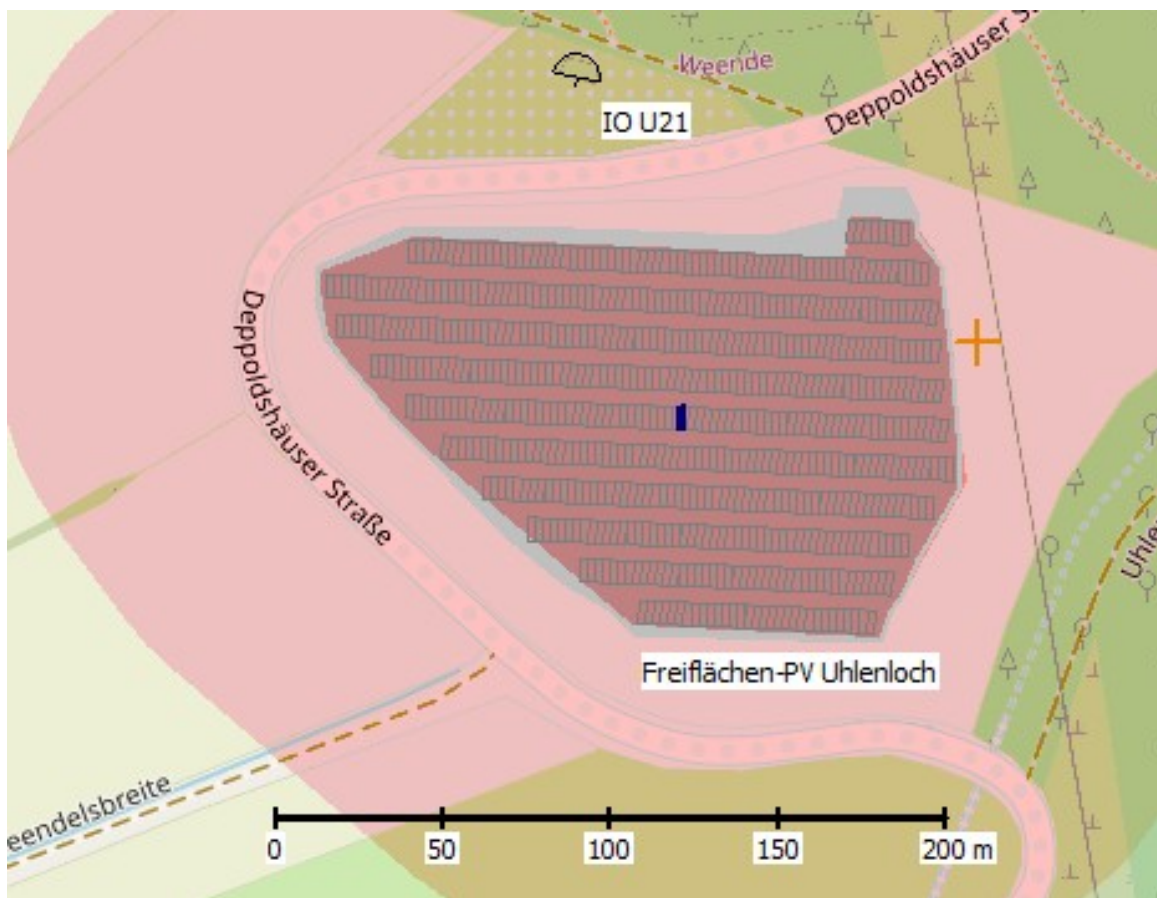


Abbildung 13: Gebäude nördlich der PV-Fläche

Wie die Richtlinien und auch die Simulation darlegen ist nördlich der PV-Fläche durch den Sonnenstandsverlauf und der Neigung der Module nach Süden keine Blendung möglich. Daher besteht zu den Gebäuden keine maßgebliche Blendung.

6.1.2 Stichstraße „Deppoldshäuser Straße“

Bei Führen eines Fahrzeugs auf der Stichstraße zwischen Göttingen und dem Ortsteil Deppoldshausen kommt es zu keiner maßgeblichen Blendung durch die PV Anlage.

7. Bewertung

Es gibt am Standort Uhlenloch **keine** maßgeblichen Immissionsorte an Nachbarsiedlungen entsprechend den LAI Hinweisen. Zwar steht im Norden ein kleines Gebäude in dem Einwirkungsbereich der PV-Anlage, jedoch durch die nördliche Lage kann aus den geometrischen Bedingungen mit südlicher Neigung der PV-Anlage und dem Sonnenstandsverlauf keine Blendung dort auftreten. Daher besteht auf **schutzwürdige Gebäude keine Blendwirkung** durch die geplante PV-Freiflächen-Anlage.

Im Bereich der Stichstraße zwischen Göttingen und dem Ortsteil kommt es durch die geometrischen Bedingungen von Modulausrichtung, Sonnenstandsverlauf und Blickrichtung der Fahrer*innen für die Fahrzeuglenker*innen zu **keiner Blendwirkungen**.

Das Projekt ist somit unkritisch in Bezug auf die Blendwirkungen der PV-Anlage zu bewerten und es sind keine Maßnahmen zum Schutz vor relevanter Blendung zu treffen.

8. Anhang

8.1 Richtlinien, Vorschriften und Stand der Technik

Licht gehört zu den Emissionen und Immissionen im Sinne des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) [1].

Durch die Verabschiedung einer "Richtlinie zur Messung und Beurteilung von Lichtimmissionen" (Licht-Richtlinie) im Mai 1993 hat der **Länderausschuss für Immissionsschutz (LAI)** erstmals den zuständigen Immissionsschutzbehörden ein System zur Beurteilung der Wirkungen von Lichtimmissionen auf den Menschen zur Konkretisierung des Begriffs "schädliche Umwelteinwirkung" im Sinne des BImSchG zur Verfügung gestellt.

Die aktuelle Überarbeitung der Richtlinie durch die Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (mit Stand vom **08.10.2012** und der relevanten **Anlage 2** mit Stand vom **03.11.2015**) mit ergänzenden Erläuterungen zur Ermittlung und Bewertung der Raumaufhellung und Blendung baut in ihren wesentlichen Inhalten auf der aktuellen Veröffentlichung des Arbeitskreises "Lichtimmissionen" der Deutschen Lichttechnischen Gesellschaft (LiTG) e.V., Berlin, "Empfehlungen für die Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen künstlicher Lichtquellen 12.3" vom Juni 2011, auf [4].

Im **Anhang 2** dieser Hinweise werden Empfehlungen zur **Ermittlung, Beurteilung und Minderung der Blendwirkung von Photovoltaikanlagen** gegeben, die für die Erstellung von Blendgutachten maßgebend sind.

8.2 Methodik

8.2.1 Berechnungsmethode Blendung

Die GLARE-Berechnung wird für bestimmte Reflektoren (PV-Objekte, 3D-Objekte) und Rezeptoren durchgeführt. Sie basiert auf einem 3D-Modell der Sonnen-, Reflektor- und Rezeptorpositionen. Die Sonnenpositionen, für die eine Blendung an einem Rezeptor („Immissionsort“) beobachtet werden kann, werden wie folgt ermittelt:

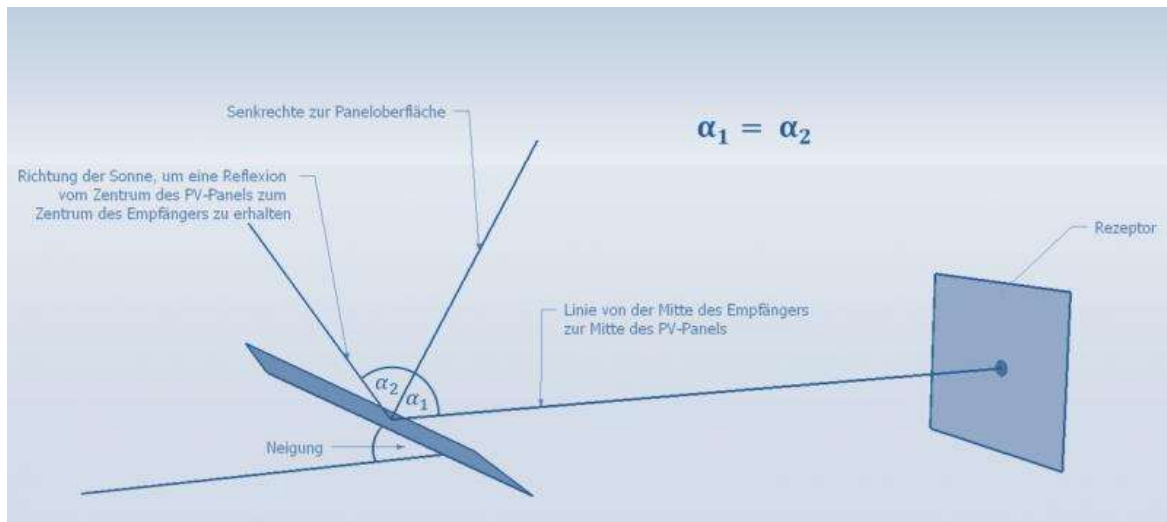


Abbildung 14: Geometrie der Berechnung

- Annahme eines Strahls vom Rezeptor zu jeder der Ecken eines PV-Modules,
- Reflektieren des Strahls mit dem gleichen Winkel von der Normalen zur PV-Fläche, also Einfallswinkel gleich Ausfallswinkel
- Ermittlung der Sonnenposition, bei der diese Reflexion stattfindet (unmögliche Sonnenpositionen werden hier verworfen),
- Umrechnung der ermittelten Sonnenpositionen in eine Zeitreihe der Blendung.
- Worst Case Betrachtung, die Sonne scheint jeden Tag von Sonnenaufgang bis Sonnenuntergang ohne Sichtverschattung durch Hindernisse oder das Relief.

Die Intensitätsberechnung basiert auf den ermittelten Einfallswinkeln, bei denen Blendung beobachtet wird. Anhand dieser Informationen wird je nach dem angegebenen Reflexionsvermögen der Oberfläche (Divergenz) die Reflexionsintensität berechnet.

Die Intensitätsberechnung ist in einigen Ländern als Teil der Blendungsbewertung vorgeschrieben. In der Schweiz sehen die Vorschriften vor, dass Blendung nur dann als Störung betrachtet wird, wenn die Strahlungsdichte der Reflexion mehr als 30 W/m² und die Helligkeit (Luminanz) der Reflexion mehr als 50.000 cd/m² beträgt. In Frankreich muss für Piloten eine Helligkeit von über 20.000 cd/m² in einem Sichtfeld von +/-30° unterschritten werden. Eine Leuchtdichte über 10.000 cd/m² ist in einem

Sichtfeld von $\pm 1^\circ$ verboten. Die Reflexionsstärke im GLARE-Modul wird als Stundenwert in W/m^2 berechnet.

8.2.2 Softwaretool

GLARE ist ein windPRO-Modul, das die Auswirkungen der Blendung von PV-Modulen und 3D-Objekten auf die Umgebung berechnet und dokumentiert. Die Blendungsrechnung liefert Informationen über Zeit, Länge und Intensität der Reflexionen von PV-Modulen und 3D-Objekten, die an einem bestimmten Rezeptor („Immissionsort“) sichtbar sind.



Abbildung 15 Schematischer Modell Aufbau von reflektierter Strahlung am Rezeptor

Blendung (engl. "Glare") ist eine unerwünschte Reflexion der Sonnenstrahlen auf einer statischen oder sich langsam bewegenden reflektierenden Oberfläche.

Blendungsberechnungen sind häufig erforderlich, wenn neue PV-Anlagen geplant werden. Je nach den Vorschriften des jeweiligen Landes oder den örtlichen Anforderungen können Grenzwerte für die maximale Dauer der Blendung benachbarter Gebäude, Straßen usw. existieren.

Mit dem Modul GLARE in windPRO kann der Anwender die zu erwartende Blenddauer abschätzen und analysieren, wie verschiedene Konfigurationen von PV-Anlagen oder anderen reflektierenden Objekten nahe gelegene Standorte beeinflussen.

8.2.3 Beurteilungsgrundlagen

Zur Ermittlung der Immissionen (Blendzeiträume) wird von idealisierten Annahmen ausgegangen:

- Die Sonne ist punktförmig.

- Das Modul ist ideal verspiegelt, d. h. es kann das Reflexionsgesetz „Einfallswinkel gleich Ausfallswinkel“ angewendet werden.
- Die Sonne scheint von Aufgang bis Untergang, d. h. die Berechnung liefert die astronomisch maximal möglichen Immissionszeiträume.

Die relevanten Photovoltaikmodule und Immissionsorte werden in einem gemeinsamen Koordinatensystem modelliert. Davon ausgehend wird mit dem zuvor beschriebenen Verfahren ermittelt, zu welchen Zeiten eine Blendung (astronomisch) möglich ist.

Bei streifendem Einfall der Sonne auf ein Photovoltaikmodul dominiert der direkte Blick in die Sonne die Blendwirkung. Erst ab einem Differenzwinkel von ca. 10° kommt es zu einer zusätzlichen Blendung durch das Modul. In den Immissionszeiten werden deshalb nur solche Konstellationen berücksichtigt werden, in denen sich die Blickrichtungen zur Sonne und auf das Modul um mindestens 10° unterscheiden [5].

Ob es an einem Immissionsort im Jahresverlauf überhaupt zur Blendung kommt, hängt von der Lage des Immissionsorts relativ zur Photovoltaikanlage ab. Dadurch lassen sich viele Immissionsorte ohne genauere Prüfung schon im Vorfeld ausklammern:

- (1) **Immissionsorte**, die sich **weiter als ca. 100 m** von einer PVA entfernt befinden erfahren erfahrungsgemäß **nur kurzzeitige Blendwirkungen**. Lediglich bei ausgedehnten Photovoltaikparks könnten auch weiter entfernte Immissionsorte noch relevant sein.
- (2) **Immissionsorte**, die vornehmlich **nördlich von einer PVA** gelegen sind, sind meist ebenfalls **unproblematisch**. Eine genauere Betrachtung ist im Wesentlichen nur dann erforderlich, wenn der Immissionsort vergleichsweise hoch liegt (z. B. bei Hochhäusern) und/oder die Photovoltaikmodule besonders flach angeordnet sind.
- (3) **Immissionsorte**, die vorwiegend **südlich von einer PVA** gelegen sind, brauchen **nur bei Photovoltaik-Fassaden** (senkrecht angeordnete Photovoltaikmodule) berücksichtigt zu werden.
- (4) Hinsichtlich einer möglichen Blendung **kritisch sind Immissionsorte**, die **vorwiegend westlich oder östlich einer Photovoltaikanlage** liegen und nicht weiter als ca. 100 m von dieser entfernt sind. Hier kann es im Jahresverlauf zu ausgedehnten Immissionszeiträumen kommen, die als erhebliche Belästigung der Nachbarschaft aufgefasst werden können.

In Anlehnung an [7] kann eine erhebliche Belästigung im Sinne des BImSchG durch die maximal mögliche astronomische Blenddauer unter Berücksichtigung aller umliegenden Photovoltaikanlagen und Module vorliegen, wenn diese mindestens 30 Minuten am Tag oder 30 Stunden pro Kalenderjahr beträgt. Wird danach im Einzelfall

eine erhebliche Belästigung durch die Blendung festgestellt, werden nachfolgende Minderungsmaßnahmen vorgeschlagen.

8.2.4 Maßnahmen zur Verminderung von Blendwirkungen

- Unterbindung der Sicht auf das Photovoltaikmodul in Form von Wällen oder blickdichtem Bewuchs in Höhe der Moduloberkante
- Optimierung von Modulaufstellung bzw. Modulausrichtung oder Modulneigung
- Einsatz von Modulen mit geringem Reflexionsgrad

Bei der Maßnahmenplanung gibt es kein allgemein gültiges Vorgehen. Art und Umfang geeigneter Maßnahmen hängen immer von der konkreten Standortsituation vor Ort ab. In jedem Fall ist eine sorgsame Planung im Vorfeld sinnvoll, da Maßnahmen im Nachhinein - beispielsweise die Veränderung des Neigungswinkels oder die Installation einer Abschirmung - kostenaufwändig sind.

8.3 LITERATUR | QUELLEN HINWEISE

[1] BImSchG – Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz - BImSchG) vom); Neugefasst durch Bek. v. 17.5.2013; Zuletzt geändert durch Art. 3 G v. 26.7.2016

[2] BauNVO – Baunutzungsverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 23. Januar 1990 (BGBl. I S. 133), zuletzt geändert durch Artikel 3 des Gesetzes vom 22. April 1993 (BGBl. I S. 466)

[3] DIN 5032, Teil 7 – Lichtmessung; Klasseneinteilung von Beleuchtungsstärke- und Leuchtdichtemessgeräten, Dezember 1985, Beuth Verlag GmbH, Berlin

[4] Messung und Beurteilung von Lichtimmissionen künstlicher Lichtquellen, LiTG-Publ. Nr. 12, 3. überarbeitete Auflage (2011), Herausgeber: Deutsche Lichttechnische Gesellschaft e. V. Berlin, ISBN 978-3-927787-35-3

[5] LAI – Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen (u.a. Anlage 2 mit Empfehlungen zur Ermittlung, Beurteilung und Minderung der Blendwirkung von Photovoltaikanlagen), verabschiedet im September 2012 der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) mit ergänzenden Anlagen 1 & 2 und letztem Stand vom November 2015.

[6] Blendung – Theoretischer Hintergrund; Informationen des Instituts für Arbeitsschutz der DGUV; Mai 2010; IFA Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen

Unfallversicherung (https://www.dguv.de/medien/ifa/de/fac/strahl/pdf/blendung_theorie.pdf)

[7] LAI – Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen (WEA-Schattenwurf, Hinweise), verabschiedet auf der 103. Sitzung, Mai 2002 LAI - Länderausschuss für Immissionsschutz

[8] Empfehlungen der Strahlenschutzkommission: Blendung durch natürliche und neue künstliche Lichtquellen und ihre Gefahren; verabschiedet in der 205. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 16./17. Februar 2006

[9] Software windPRO von EMD International A/S (www.emd.dk); Beschreibung unter https://help.emd.dk/mediawiki/index.php/Handbuch_GLARE

[10] Gesichtsfeld des menschlichen Auges, <https://www.biologie-seite.de/Biologie/Gesichtsfeld>

8.4 Detaillierte Berichte zu den Ergebnissen

- Hauptergebnis, mit allen Blendpunkten
 - Gebäude am Standort Uhlenloch
 - Zur Verbindungsstraße Deppoldshäuser Straße