

## Informationsbrief zu Lichtimmissionen

### 2 Lichtimmissionen durch Sonnenlichtreflexionen

Die Sonne als Hauptenergiewandler für die Erde findet im Zuge des Ausbaus der erneuerbaren Energien in immer mehr modernen Technologien Nutzung. Diese Technologien sind entscheidend, um in Zukunft unabhängig von klimaschädigenden oder problematischen Technologien zur Energieerzeugung zu werden.

Jedoch sind auch bei der Nutzung von Sonne und Wind einige Aspekte zu beachten, um eventuell mögliche negative Auswirkungen auszuschließen.

Eine Störwirkung kann durch Blendung durch Sonnenlichtreflexionen entstehen.

#### Blendung durch Sonnenreflexionen an spiegelnden Oberflächen

Licht gehört zu den Emissionen bzw. Immissionen im Sinne des Bundesimmissionsschutzgesetzes. Sofern Immissionen „nach Art, Ausmaß oder Dauer geeignet sind, Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit oder die Nachbarschaft herbeizuführen“, so gelten sie im Sinne dieses Gesetzes als schädliche Umwelteinwirkungen.

Dies betrifft neben anderen Immissionsarten auch die Lichtimmissionen.

Laut Bundesimmissionsschutzgesetz sind sowohl bei genehmigungsbedürftigen als auch bei nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen mit Ausnahme der Anlagen des öffentlichen Straßenverkehrs geeignete Maßnahmen nach Stand der Technik zu treffen, um Lichtimmissionen zu vermeiden bzw. auf ein Mindestmaß zu reduzieren. Dies trifft insbesondere auf Kunstlicht zu.

Technische oder bauliche Anlagen, die das Sonnenlicht reflektieren, sind nach Baurecht zu behandeln und so auszuführen, dass durch die Sonnenlichtreflexionen keine Störungen bei Anwohnern oder auf Verkehrswegen erzeugt werden.

Der Mensch hat sich im Laufe der Evolution zwar an die Sonne als Licht- und Blendquelle angepasst, jedoch sind zusätzliche Störungen durch Blendung durch Sonnenreflexionen an reflektierenden Flächen zu vermeiden.

Die Sonnenscheibe hat bei klarem oder leicht bewölktem Wetter und bei hohen Sonnenständen mit ca. 1,0 ... 1,6 Mrd. cd/m<sup>2</sup> eine sehr hohe Leuchtdichte. Bei tieferen Sonnenständen können dies immer noch mehrere Mio cd/m<sup>2</sup> sein.

Der direkte Blick in eine solche Blendquelle hoher Leuchtdichte führt zu Blendwirkungen, ggf. auch zur Absolutblendung, also einer u. U. auch nachwirkenden Störung der Sehfähigkeit.

Die Grenze der Absolutblendung liegt beim Menschen je nach individueller Physiologie und Umgebungshelligkeit bei ca. 100.000 cd/m<sup>2</sup>. Bei diesen hohen Leuchtdichten werden Rezeptoren im Auge überlastet und im Augeninneren erfolgt eine Aufhellung (Schleierleuchtdichte), was das Sehvermögen teilweise oder auch ganz beeinträchtigen kann. In der Regel ist diese Störung temporär. Wir kennen diesen Effekt z.B. aus Situationen, in denen nach dem Blick in die Sonne oder in eine helle Leuchte virtuell helle oder farbige Punkte im Blickfeld auftauchen und das Sehen behindern.

Bei sehr stark gebündelten Lichtquellen mit extrem hohen Leuchtdichten wie z.B. bei Lasern oder Kurzbogenlampen können die Rezeptoren durch den Abbildungsapparat des Auges u.U. auch dauerhaft zerstört werden.

Bei Blendung durch Blendquellen mit hohem Kontrast und Leuchtdichten unterhalb der Schwelle zur Absolutblendung, die als störend wahrgenommen wird, spricht man von psychologischer Blendung oder Relativblendung.

Blendwirkungen durch Sonnenreflexionen an spiegelnden Oberflächen begegnen uns bei Sonnenschein häufig. Jeder kennt solche Situationen, wenn sich die Sonne in ungünstigen Winkeln an gekippten Fenstern, glänzenden Jalousien, Autos usw. spiegelt.



In natürlichen Situationen wie z.B. bei der Reflexion auf Wasserflächen wird dies oft als angenehm oder schön empfunden. Anders ist dies bei Reflexionen an Bauwerksteilen oder Anlagen, die jedoch häufig nur kleine Flächen betreffen. Solche kleinflächigen Reflexionen treten durch die Bahn der Sonne und die kleine Reflexionsfläche in der Regel nur kurzzeitig, in einem engen Blickwinkelkorridor und bei fixen Flächen oft nur an wenigen Tagen im Jahr auf, werden jedoch teilweise bereits als lästig empfunden.

Bei größeren reflektierenden Flächen steigt die Häufigkeit der möglichen Reflexionen und deren Verweildauer im Blickfeld eines Betrachters entsprechend stark an und führt damit ggf. auch in großer Entfernung zu stärkeren Belastungen betroffener Beobachter.

Besonders zu beachten ist dieser Aspekt z.B. bei Fassaden aus glänzenden Materialien wie Glas, Aluminium oder glänzend lackierten bzw. polierten Flächen, bei Photovoltaikmodulen oder bei Dachflächen mit glasierten Dachziegeln.



(Beispielfotos – Blendwirkungen werden in der Realität üblicherweise störender wahrgenommen als dies auf Fotografien dargestellt werden kann)

Durch die Reflexion der Sonnenscheibe können auch auf vermeintlich reflexionsarmen Materialien wie z.B. den Oberflächen kristalliner Photovoltaikmodule mit Antireflexionsschicht Leuchtdichten auftreten, die die Schwelle der Absolutblendung des menschlichen Auges um ein Vielfaches überschreiten.

Auftreten, Häufigkeit, Intensität und Verweildauer des Blendreflexes hängen von verschiedenen Einflußgrößen ab wie z.B.:

- der geometrischen Anordnung der Reflexionsfläche
- dem geografischen Standort der Reflexionsfläche
- den Reflexions- und Streueigenschaften der Oberfläche (partieller Reflexionsgrad, Reflexionsindikator, Verschmutzung...)
- den möglichen Einblickswinkeln des Beobachters auf die Fläche
- usw.

Die Bewertung des direkt oder gestreut reflektierten Sonnenlichtes erfolgt über entsprechende Winkelberechnungen unter Berücksichtigung der Anordnung und Ausrichtung der reflektierenden Fläche, deren Reflexionseigenschaften, den von der Jahres- und Tageszeit abhängigen möglichen Sonnenständen sowie der geografischen Lage der festgelegten zu betrachtenden möglichen Immissionsorte.

Für die korrekte Berechnung des bei der Reflexion von der Oberfläche gestreuten Lichtes werden Angaben zum Reflexionsverhalten des Materials - insbesondere der integrale und partielle Reflexionsgrad und die Reflexionsindikatrix - benötigt.

Die Reflexion erfolgt an keinem real existierenden Material rein spiegelnd nach dem Prinzip Einfallswinkel=Ausfallswinkel.

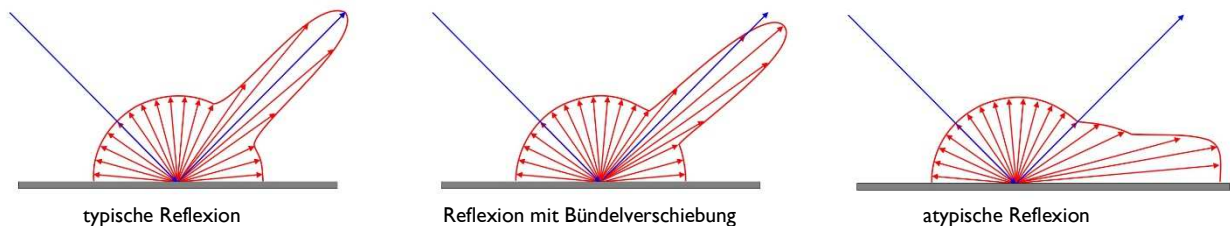
Bei realen Materialien findet eine gemischte Reflexion statt, bei der nur ein Teil des eingestrahnten Lichtes in Hauptreflexionsrichtung reflektiert wird. Durch Strukturen der Oberfläche, Verschmutzungen usw. wird ein weiterer Teil in einem von der Oberfläche abhängigen Winkelkorridor gestreut reflektiert. Diese Bündelaufweitung ist für die Bewertung der Blendung eine wichtige Größe.

Bei Oberflächen mit größeren Strukturen oder Auflagerungen findet darüber hinaus oft eine atypische Reflexion statt, bei der die Reflexion in einem oder mehreren Maxima erfolgt.

An solchen Oberflächen ist in der Regel auch eine Bündelverschiebung festzustellen, durch die der Hauptreflex teilweise stark abweichend der Regel Einfallswinkel=Ausfallswinkel reflektiert wird. Dies kann die Situation bzgl. der Blendwirkung u. U. völlig ändern.

Ein bei vorwiegend gerichtet reflektierenden Oberflächen meist sehr kleiner Teil des Lichtes wird diffus in alle anderen Richtungen reflektiert.

Prinzipiskizzen (nicht maßstabsgetreu):



Diese Daten unterscheiden sich zwischen den verschiedenen Materialien auch bei subjektiv ähnlich wirkenden Oberflächen teilweise sehr deutlich. Bei Messungen der Reflexionsdaten verschiedener Photovoltaikmodule wurden unerwartet große Unterschiede sowohl im Reflexionsgrad als auch in der Bündelaufweitung festgestellt.

Die Reflexionsdaten der Oberflächen müssen ggf. durch eine Messung für die relevanten Bereiche ermittelt werden.

Die Reflexionseigenschaften einer Oberfläche sind abhängig vom Einfallswinkel des Lichtes.

Bei flachen Einstrahlwinkeln steigt der Reflexionsgrad stark an und die Streuung nimmt zu.



Geometrische Formen durch blickwinkelabhängige Maxima bei atypischer Reflexion an einem Photovoltaikmodul mit mikrostrukturierter Oberfläche

Die jeweils ermittelten, durch die Sonnenlichtreflexion in Richtung der Immissionsorte verursachten Leuchtdichten werden mit der Leuchtdichte der Umgebung relativiert und mit Erfahrungswerten der Absolutblendung und der Relativblendung bei auf Tageslicht adaptiertem Auge abgeglichen.

Eine zusätzliche Belastung des Beobachters durch Reflexblendung der Sonnenscheibe an einer solchen Oberflächen ist dann gegeben, wenn der Blendreflex in Richtung des Beobachters mit einer entsprechend hohen Leuchtdichte, einem entsprechend hohen Kontrast zum Hintergrund und mit einer Winkeldifferenz zwischen Blendreflex und Sonnenscheibe größer  $10^\circ$  zu sehen ist.

Bei kleineren Winkeldifferenzen werden Blendreflex und Sonnenscheibe meist gleichzeitig auf der Netzhaut des Beobachters abgebildet. In dieser Situation wird die Blendung durch die Reflexion von der unvermeidbaren und in der Regel deutlich stärkeren Direktreflexion der Sonne überlagert und stellt somit in vielen Situationen keine zusätzliche Belastung dar.

In den meisten Fällen treten Störwirkungen durch Blendung durch Sonnenreflexionen vorrangig im Bereich von wenigen 100 m Entfernung zur Reflexionsfläche, nur bei freien Sichtachsen zum Blendreflex und bei klarem oder leicht bewölktem Himmel auf.

In größeren Entfernungen kann die Leuchtdichte in Richtung des Betrachters zwar immer noch sehr hoch sein, jedoch wird die Verweildauer des Blendreflexes im Beobachterblickfeld durch den kleiner werdenden Blickwinkelkorridor deutlich kürzer und die ins Auge eintretende Lichtmenge ist durch die Entfernung stark reduziert.

Bei Anlagen großer räumlicher Ausdehnung oder in kritischen Situationen sollten jedoch auch die möglichen Immissionsorte in größerer Entfernung mit berücksichtigt werden.

In Abhängigkeit der Schutzwürdigkeit wird bei typischen Immissionsorten wie Anwohnern oder Arbeitsstätten in der Regel eine zeitliche Begrenzung der Blendung auf die astronomisch maximal mögliche Einwirkzeit der Blendreflexionen von 30 Stunden pro Jahr festgelegt, wobei eine tägliche Einwirkzeit von maximal 30 Minuten nicht überschritten werden darf.

An sicherheitsrelevanten Immissionsorten wie Autobahnen und Straßen, Start- und Landebahnen von Flughäfen, Bahngleisen usw. muß in der Regel jegliche Beeinträchtigung des Verkehrs durch Blendung vermieden werden.

In juristischen Auseinandersetzungen wurden teilweise auch von diesen Vorgaben abweichende Entscheidungen getroffen.

## Blendung durch Sonnenreflexionen an Photovoltaikmodulen

Durch die Änderung der Fördermöglichkeiten in Deutschland hat sich der Einsatz von Photovoltaikmodulen in den letzten Jahren stark in kritische Bereiche auf brachliegenden Flächen in der Nähe von Autobahnen, Flughäfen, Bahngleisen usw. verlagert.

In diesen Bereichen ist der Aspekt der Blendung durch Sonnenreflexionen sicherheitsrelevant und damit besonders zu berücksichtigen.

Darüber hinaus werden solche Anlagen vielfach auf Dachflächen montiert, die durch ihre Ausrichtung oder Neigung sowie die oft nahe und hoch liegenden Immissionsorte in der Nachbarschaft häufig ebenfalls problematisch sind.

Vor allem bei Anlagen, die genehmigungsfrei und ohne vorherige Prüfung der möglichen Blendung realisiert werden, kann dies zu Beschwerden und juristischen Auseinandersetzungen führen.



(Beispielfotos – Blendwirkungen werden in der Realität üblicherweise störender wahrgenommen als dies auf Fotografien dargestellt werden kann)

Insofern ist das Thema Blendung durch Sonnenreflexionen an Photovoltaikmodulen eine aktuell häufig anzutreffende Fragestellung.

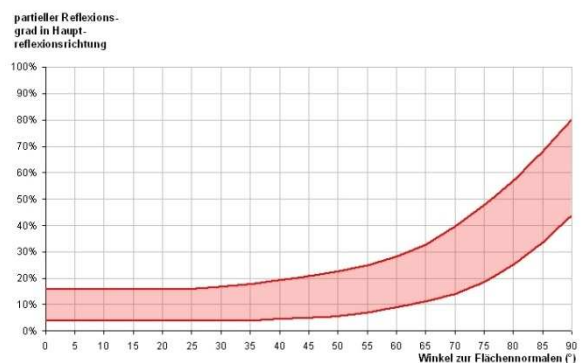
Wie bereits erwähnt unterscheiden sich die am Markt erhältlichen Photovoltaikmodule deutlich hinsichtlich ihrer Reflexionseigenschaften.

Die integralen Reflexionsgrade der Oberflächen liegen bei den in unseren Messungen untersuchten Modultypen bei steilen Einstrahlwinkeln im Bereich zwischen ca. 5...16%. Die Aufteilung in die jeweiligen partiellen Reflexionsgrade erfolgt nach der jeweiligen Reflexionsindikatrix.

Bei flachen Einstrahlwinkeln steigt der Reflexionsgrad bei Totalreflexion theoretisch bis 100% an.

Meßtechnisch wurden in unseren Untersuchungen bei flachen Einstrahlwinkeln relevante Reflexionsgrade bis ca. 80% ermittelt.

Dieser Anstieg des Reflexionsgrades bei flachen Einstrahlwinkel ist in der Praxis für jeden auch dann gut wahrnehmbar, wenn keine direkte Reflexion der Sonnenscheibe erfolgt: bei sehr flachen Blickwinkeln ändern die Photovoltaikmodule scheinbar ihre Farbe und erscheinen meist silbrig-bläulich. Dies wird dadurch verursacht, dass durch den erhöhten Reflexionsgrad eine meist unscharfe Abbildung des Himmels erfolgt.

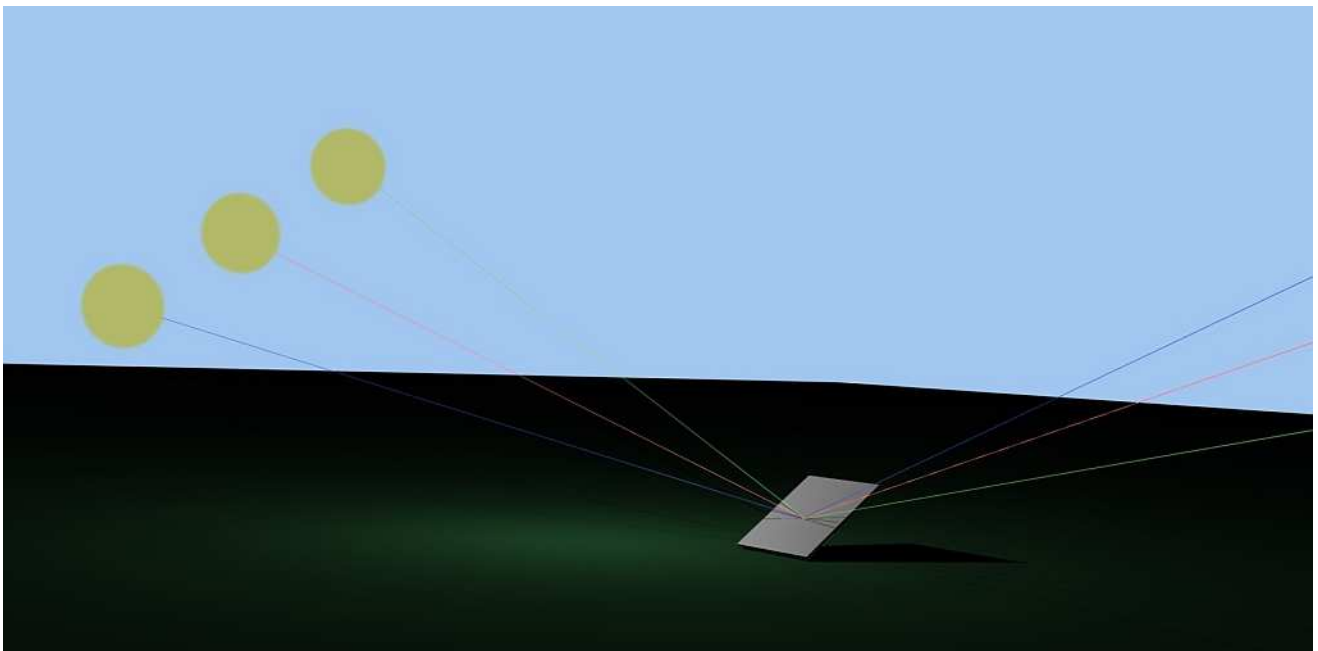


Gleichzeitig ist die Bündelaufweitung der Reflexion durch die Streuung neben den Eigenschaften der Oberfläche ebenfalls abhängig vom Einstrahlwinkel. Je nach Modultype und Technologie betrug die Bündelaufweitung bei den vermessenen Modulen bei steilen Einstrahlwinkeln ca. 1...7° Halbwinkel. Bei flachen Einstrahlwinkeln wurde bei einigen Modulen eine Bündelaufweitung von mehr als 20° ermittelt, bei der immer noch nennenswerte partielle Reflexionsgrade erreicht werden.

Diese Ergebnisse beziehen sich auf Messungen, die im Rahmen diverser Untersuchungen zu diesem Thema von uns durchgeführt wurden. Sie geben lediglich Tendenzen und keinen vollständigen Marktüberblick wieder.

Eine stärkere Bündelaufweitung bewirkt eine optische Vergrößerung des Blendreflexes, eine längere Verweildauer im Blickfeld und einen größeren möglichen Einblickwinkelkorridor des Beobachters bei entsprechend stark reduzierter, jedoch teilweise noch deutlich über der Grenze zur Absolutblendung liegender Intensität der Reflexion.

Gleiche Einstrahlwinkel auf die Moduloberfläche können bei verschiedenen Azimut- und Elevationswinkeln der Sonne und somit auch zu unterschiedlichen Jahres- und Tageszeiten und bei unterschiedlichen Leuchtdichten der Sonnenscheibe auftreten.



Flache Einstrahlwinkel mit höherem Reflexionsgrad und stärkerer Bündelaufweitung treten häufig bei tieferen Sonnenständen auf, so dass teilweise gerade diese Konstellationen trotz der geringeren Leuchtdichte der Sonnenscheibe zu Problemen führen können.

Diese komplexen veränderlichen Parameter müssen für die Bewertung der Blendung an den einzelnen Immissionsorten in der entsprechenden geometrischen Situation und unter den spezifischen Randbedingungen Berücksichtigung finden.

Im Ergebnis der Untersuchungen werden die kritischen Sonnenstände und die entsprechenden Jahres- und Tageszeiten für den geographischen Standort ermittelt, bei denen Reflexionsblendung in Richtung des Beobachters auftritt.

Bei Freiflächenanlagen mit einer Süd-Ausrichtung sind erfahrungsgemäß meist Immissionsorte in den Winkelbereichen Süd-West bis West und Ost bis Süd-Ost von Blendwirkungen durch Sonnenlichtreflexionen an den Moduloberflächen betroffen. Teilweise können auch höher gelegene Immissionsorte mit südlicherer oder nördlicherer Ausrichtung kritisch sein.

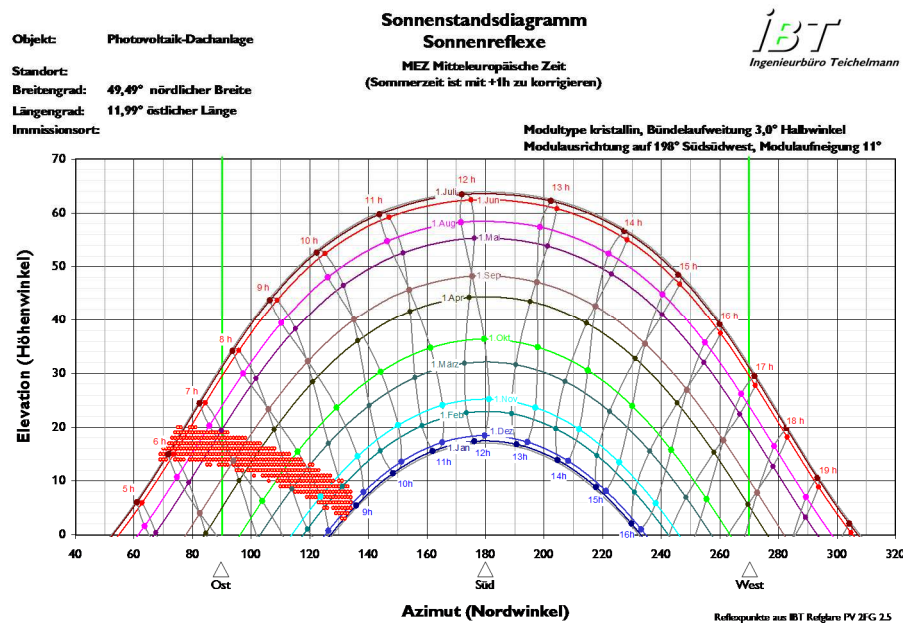
Sofern in diesen Richtungen mögliche Immissionsorte liegen ist eine Untersuchung der möglichen Blendwirkungen zu empfehlen.

Bei Photovoltaik-Dachanlagen können durch die oft ungünstige Drehung und Neigung der Module sowie die teilweise nahe und hoch gelegenen möglichen Immissionsorte u. U. sehr problematische Konstellationen vorliegen, die auch von Fachleuten ohne eine rechnerische Bewertung nur schwer einzuschätzen sind.

Eine Besonderheit solcher Dachanlagen in Deutschland ist es, dass für diese teilweise keine Baugenehmigung erforderlich ist und eine Überprüfung meist nicht gefordert wird. Dies kann dazu führen, dass problematische Blendwirkungen erst nach der Realisierung der Anlage erkannt werden und möglicherweise Nachbarschaftsstreit oder sogar juristische Auseinandersetzungen verursachen.

Hier ist eine Untersuchung der Blendwirkung im Zweifelsfall dringend zu empfehlen.

In diesem Beispiel einer kleineren Dachanlage mit polykristallinen, relativ schwach streuenden PV-Modulen und einem in etwa 35 m Entfernung befindlichem Immissionsort können unter Berücksichtigung dieser Kriterien am betrachteten Immissionsort ganzjährig Reflexionen entstehen, die durch geeignete Maßnahmen vermieden werden müssen.



Eventuell auftretende Blendung durch Sonnenreflexion kann durch geeignete Maßnahmen vermieden oder gemindert werden:

- Vermeiden der Sichtachsen durch Schutzwände, Bepflanzung, Sichtschutzbleche usw.
- Optimierung der Ausrichtung und Neigung der Module bzgl. der Reflexionen
- ggf. Vermeiden der kritischen Einstrahlwinkel durch Schatterbleche (nur bei sehr flachen Einstrahlwinkeln sinnvoll)
- Auswahl einer Modultype mit optimalem Reflexionsverhalten (je nach Situation kann eine stärker streuend oder eine stärker gerichtet, eine typisch oder eine atypisch reflektierende Oberfläche sinnvoll sein)

Bei Bewertung und Berücksichtigung der möglichen Blendung bereits in der Planungsphase kann in der Regel ein guter Kompromiss zwischen Vermeidung der Blendung und gutem Ertrag der Module gefunden werden.

Bei entsprechender Planung kann die auftretende Blendung nach unserer Erfahrung in nahezu allen Fällen auf ein akzeptables Maß reduziert werden.

## Fazit

Blendung durch Sonnenreflexionen ist ein Aspekt, der beim Verarbeiten reflektierender Materialien im Außenbereich Berücksichtigung finden sollte.

Eine Regelung zur Begrenzung dieser Blendwirkungen ist erforderlich und sinnvoll, um die Rechte der Mitmenschen zu respektieren und die Störungen durch diese Effekte auf ein Minimum zu begrenzen.

Hiervon sind z.B. Fassaden- oder Dachflächen aus reflektierenden Materialien wie Glas, glänzenden Metallen oder glänzend lackierten bzw. polierten Flächen sowie Photovoltaikanlagen betroffen.

Insbesondere die mögliche Blendung an Photovoltaikmodulen ist in Deutschland durch verschiedene Faktoren vielfach zu untersuchen.

Die Blendwirkungen durch Reflexion an Photovoltaikanlagen treten bei Freiflächenanlagen mit Südausrichtung meist nur bei tieferen Sonnenständen auf.

Bei Dachanlagen sind mögliche Blendwirkungen nur schwer vorauszusagen.

Sowohl bei Freiflächenanlagen mit möglichen Immissionsorten im östlichen bis süd-östlichen und westlichen bis süd-westlichen Bereich als auch bei Dachanlagen mit nahe gelegenen Immissionsorten mit freier Sichtachse zu den Modulen ist eine Bewertung der möglicherweise auftretenden Blendwirkungen durch Sonnenlichtreflexionen zu empfehlen.

Bei Bewertung und Optimierung eines Bauwerks oder einer Photovoltaikanlage hinsichtlich der Blendung bereits in der Planungsphase kann in der Regel eine gute technische Lösung gefunden werden.

Insbesondere bei Photovoltaikanlagen ist eine Optimierung zwischen Minimierung der Blendung und gutem Ertrag bereits in der Planung oft ohne oder mit sehr geringem Mehraufwand realisierbar.

Das Überprüfen, Optimieren und Umrüsten von bereits realisierten Anlagen ist dagegen meist mit hohem Aufwand und starken Einschränkungen verbunden.

Bitte berücksichtigen Sie diese Punkte bei Ihren Projekten.

Die Überprüfung der Blendung durch Sonnenlichtreflexionen ist ein komplexer Vorgang und sollte fachmännisch und neutral gemäß dem Stand der Technik erfolgen.

Fürth, den 30.10.2013

**IBT**

Ingenieurbüro Teichelmann

Ingenieur- und Sachverständigenbüro  
für Licht- und Beleuchtungstechnik



Jens Teichelmann  
Dipl.-Ing. Lichttechnik

**IBT** Ingenieurbüro Teichelmann  
Jens Teichelmann  
Dipl.-Ing.  
Kronacher Str.19 - D-90765 Fürth  
Tel.: +49 (0) 911-7903-288 - Fax: +49 (0) 911-7903-289  
Mobile: +49 (0) 177-1980807  
IBT@IB-Teichelmann.de - www.IB-Teichelmann.de

## Urheberschutz:

Alle Rechte vorbehalten. Diese Angaben sind nur in kompletter Form zur allgemeinen Information und zur Klarstellung des beschriebenen Sachverhaltes zu verwenden.

Eine Vervielfältigung, Veröffentlichung, Weitergabe oder Verwertung des Materials durch Dritte ist nur mit schriftlicher Genehmigung des Urhebers gestattet.



**Beispiele für Blendung durch Sonnenlichtreflexionen:**



Entfernung zum Reflex ca. 60 m



Entfernung zum Reflex ca. 115 m



Entfernung zum Reflex ca. 270 m

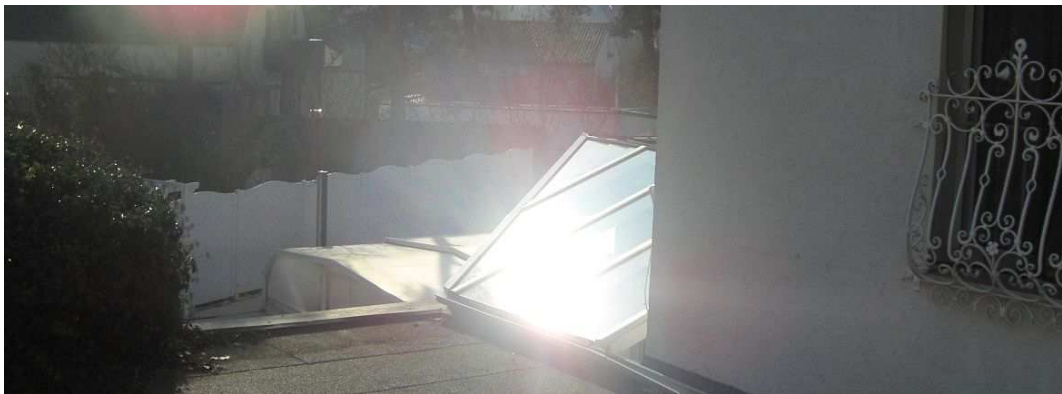


Entfernung zum Reflex ca. 600 m



Sonnenreflex auf einem Gewächshaus





Blendreflexionen an glänzenden Dachflächen (glasierte oder engobierte Ziegel, Glas- oder Blechdächer...)



Sonnenlichtreflexionen an Fassaden aus Glas oder glänzenden Materialien



Sonnenreflex in ca. 20 m Entfernung



Sonnenreflex in ca. 38 m Entfernung









Sonnenlichtreflexionen auf einer Sonnenkollektoranlage



Blendwirkungen auf einer Terrasse und im Garten



Blick aus einem Schlafzimmer



Blick aus einem Wohnzimmer



Blick aus der Tiefe eines Wohnraumes



Blendreflexion im Straßenverkehr



Blendreflex auf einem Lärmschutzwall an der Autobahn



Blendreflexion in Blickrichtung des Fahrers auf der Autobahn



Reflex auf einem polykristallinen PV-Modul im Nahbereich



Reflex auf dem gleichen polykristallinen PV-Modul in ca. 50 m Entfernung,  
scheinbare Vergrößerung des Reflexes durch Bündelaufweitung

Worst case: Blendung auf der Autobahn:



als Notbehelf mit Gewebe abgedeckte PV-Module einer PV-Anlage neben der Autobahn A14  
(mit blauem Gewebe abgedeckte Module im Hintergrund, Module ohne Abdeckung im Vordergrund)



wegen Blendwirkung abgedeckte Module einer PV-Anlage an der Autobahn A14