

# Blendung an Photovoltaik-Anlagen

19. Nationale Photovoltaik-Tagung, Juli 2021, Bern

Von Prof. Dr. Christof Bucher, Peter Wüthrich, Sirin Danaci, Berner Fachhochschule, PV-Labor

Reflexionen der Sonnenstrahlung an Glasoberflächen können zu störenden Blendwirkungen führen, wenn zwei Voraussetzungen gegeben sind: Die geometrischen Verhältnisse müssen eine Blendung ermöglichen und die Reflexion an der Glasoberfläche muss gerichtet, das heisst gebündelt sein. In diesem Poster wird gezeigt, wie neuartige Glasoberflächen die Bündelaufweitung erhöhen und damit eine Blendung wirkungsvoll reduzieren oder verhindern. Exemplarisch wird die Sanierung einer PV-Anlage zur Reduktion der Blendung beschrieben und ausgewertet. Aus dem Beobachtungswinkel eines Anwohners wird dabei die Leuchtdichte der PV-Module während des Blendereignisses um rund drei Grössenordnungen reduziert.

## Einleitung

Praktisch alle heute im Handel erhältlichen Photovoltaik-Module (PV-Module) sind nach dem Stand der Technik reflexionsarm ausgeführt und genügen damit grundsätzlich den Anforderungen der Raumplanungsverordnung (RPV Art. 32a) [1]. Die Praxis zeigt jedoch, dass gerade bei gut einsehbar Norddächern eine störende Blendung der Nachbarschaft nicht immer ausgeschlossen werden kann. Bei ungünstigen geometrischen Verhältnissen können auch an reflexionsarmen PV-Modulen Reflexionen mit Leuchtdichten oberhalb von  $1'000'000 \text{ cd/m}^2$  auftreten. Sie werden bei längerer Einwirkdauer auf einen Beobachter oft als störende Blendungen wahrgenommen.

## Leuchtdichte und Blendung

Die Leuchtdichte in  $\text{cd/m}^2$  ist das Mass der Helligkeit einer Oberfläche aus einer bestimmten Beobachtungsrichtung. Sie ist damit das relevante Mass zur Beurteilung einer möglichen Blendung [2]. Anders als oft angenommen führt die Reduktion der Reflexion (d. h. ein geringerer Anteil des einfallenden Lichts wird zurückgeworfen) meist nicht zu einer relevanten Reduktion der Leuchtdichte.

Die Leuchtdichte wird primär dann signifikant reduziert, wenn das reflektierte Licht stärker gestreut wird (Bündelaufweitung). Abbildung 1 zeigt die Leuchtdichten verschiedener Glasoberflächen. Typischerweise werden Leuchtdichten oberhalb von  $100'000 \text{ cd/m}^2$  als blendend wahrgenommen, während sich das menschliche Auge gut an Leuchtdichten unterhalb von ca.  $25'000 \text{ cd/m}^2$  (entspricht einer weissen Fassade bei direkter Sonneneinstrahlung) anpassen kann. Leuchtdichten unterhalb von  $25'000 \text{ cd/m}^2$  können bei Glasoberflächen praktisch nur dann erreicht werden,

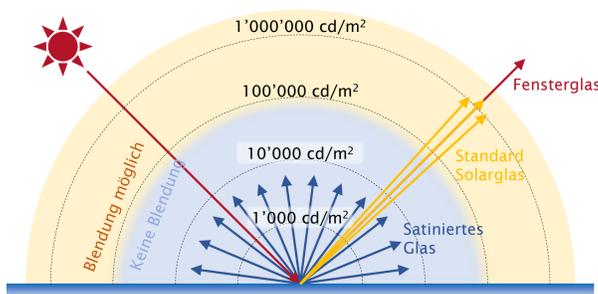


Abbildung 1: Leuchtdichte an verschiedenen Oberflächen



Abbildung 4: Dachfläche vor der Sanierung

wenn die Bündelaufweitung grösser als bei einem reflexionsarmen Standard-PV-Modul ist.

Die Leuchtdichte ist winkelabhängig. Je flacher die Sonneneinstrahlung auf eine Glasoberfläche trifft, desto höher ist bei allen für dieses Poster untersuchten Glastypen die Leuchtdichte (Abbildung 2). Bei sehr flachen Einstrahlungswinkeln (Winkel zwischen Flächennormale und Reflexionsstrahl  $>80^\circ$ ) wird diese jedoch nicht mehr als relevant betrachtet, da Sonnen- und Blendstrahl aus einer ähnlichen Richtung auf den Beobachtungspunkt treffen.

## Neue Glasoberflächen

Satinierte (chemisch geätzte) Glasoberflächen wirken optisch matt. Sie reflektieren zwar nicht weniger als Standard-Solargläser, verteilen die Reflexion aber nahezu homogen in der Hemisphäre. Gemäss den Messungen des PV-Labors der BFH bleibt damit die Leuchtdichte aus praktisch allen relevanten Beobachtungspunkten deutlich unterhalb einer möglichen kritischen Grenze (Abbildung 2). Insbesondere ist die Leuchtdichte jeweils tiefer als diejenige eines weissen Blattes Papier oder einer weissen Fassade.

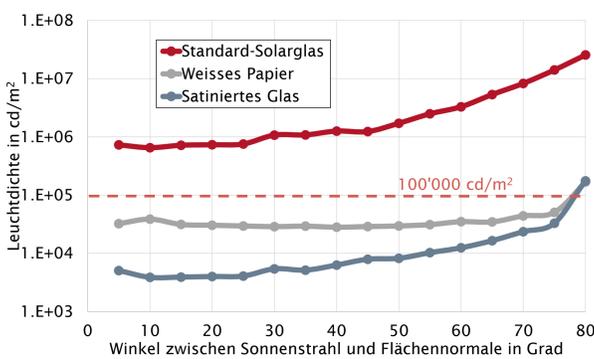


Abbildung 2: Winkelabhängigkeit der Leuchtdichten von Reflexionen an verschiedenen Oberflächen.

## Pilotprojekt: Blendsanierung

Das um  $45^\circ$  geneigte Norddach eines Einfamilienhauses im Kanton Zürich ist vom direkt nördlich angrenzenden und einige Meter höher gelegenen Nachbarn sehr gut einsehbar. Er macht jeweils in den Sommermonaten am Nachmittag eine Blendwirkung geltend. Dieser Befund wird von einem Reflexionsgutachten der Basler & Hofmann AG gestützt und mit bis zu 2.5 Stunden je Beobachtungspunkt quantifiziert.



Abbildung 5: Bemusterung 4 blendfreie PV-Module

Die Leuchtdichte der im Jahr 2016 verbauten PV-Module vom Typ MegaSlate der Firma 3S Solar Plus wird im Juni 2021 vom PV-Labor der BFH vor Ort an einem wolkenlosen Tag gemessen. In einem Testaufbau werden anschliessend vier der Module mit gleichformatigen Modulen mit satinierten Gläsern ersetzt (MegaSlate Satinato). Die gemessenen Leuchtdichten werden um rund Faktor 1000 reduziert und liegen damit deutlich unterhalb der einleitend genannten Grenze von  $25'000 \text{ cd/m}^2$  (Abbildung 3). Je nach Blickwinkel verändern die neuen PV-Module ihr Erscheinungsbild. Über das Langzeitverhalten liegen erst wenige Informationen vor.

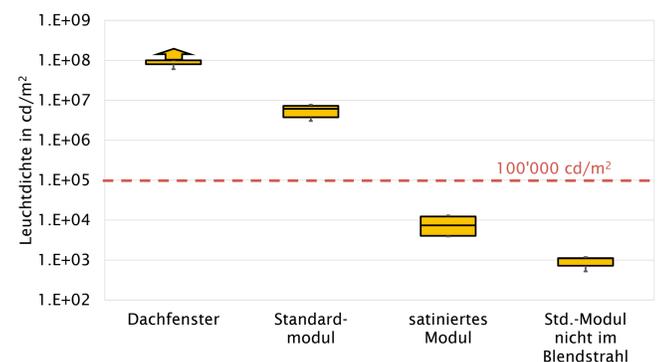


Abbildung 3: Leuchtdichten aus der Feldmessung des Pilotprojekts.

## Fazit und Ausblick

Satinierte Gläser können die Blendwirkung von PV-Modulen stark reduzieren oder verhindern. Über ihre Langzeitstabilität wie beispielsweise das Derating der Glasoberfläche ist erst wenig bekannt. Weitere Langzeituntersuchungen sind notwendig. Aufgrund der geringen Verfügbarkeit, der aufwändigeren Herstellung sowie der noch offenen technischen Fragen sollen satinierte Module heute nur in besonderen Ausnahmefällen eingesetzt werden.

## Referenzen

- [1] D. Stickelberger et al., Leitfaden zum Melde- und Bewilligungsverfahren für Solaranlagen, Swissolar, Februar 2021.
- [2] F. Ruesch et al., Methode zur Quantifizierung der Blendung durch Solaranlagen- Vergleich mit anderen Materialien der Gebäudehülle, SPF, 26. OTTI Symposium Thermische Solarenergie, 2016.



Abbildung 6: Dachfläche nach der Sanierung