



Praxistest blendfreie Photovoltaik-Module

Schlussbericht zum Pilotprojekt

Autoren: Christof Bucher, Lasse Halle, Matthias Burri
Datum, Version: 2. Februar 2026, V3.0
Förderung: AWEL, En-PP 23-24
Disclaimer: Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Situationsbeschreibung	3
3	Messresultate	7
4	Vergleich mit einem anderen Standort	10
5	Interpretation	10
6	Abgrenzung / Disclaimer	11
7	Referenzen, Literatur	11
8	Versionskontrolle	11

1 Einleitung

Eine PV-Anlage mit Standardmodulen auf dem Norddach eines Mehrfamilienhauses am nördlichen Zürichseeufer blendet die nördlichen Anwohnenden. Zu Testzwecken werden deshalb im Sommer 2024 vier Module mit Folien von PV-Print (2 Module) und Phytonics (2 Module) beklebt. In diesem Bericht werden die Blendeigenschaften der Module mit und ohne Folien miteinander verglichen. Eine PV-Anlage mit Deflect™-Modulen ist direkt neben der PV-Anlage mit Standardmodulen installiert. Die Blendwirkungen dieser Module wird ebenfalls analysiert. Eine erste Messung wurde im August 2024, wenige Monate nach der Installation durchgeführt. Eine Kontrollmessung erfolgte rund ein Jahr nach der Installation.

2 Situationsbeschreibung

Ort	Nördliches Zürichseeufer
Ausrichtung und Neigung	Nordost (32°), 19° geneigt (sonnendach.ch)
Einfallswinkel und Ausfallwinkel während der Blendung	Distanz von Beobachtungspunkt zum Dach ca. 20 m (map.geo.admin.ch). Beobachtungspunkt wahlweise ca. auf Höhe der blendenden Module und ca. 3m darüber (siehe Abbildung 5)
Datum und Uhrzeit der ersten Messung	10.08.2024, 13:00 – 15:45
Datum und Uhrzeit der Kontrollmessung	01.05.2025, 13:00 – 16:00
Wetter	In beiden Fällen: Clear Sky, blauer Himmel, einzelne Wolke
Leuchtdichtemessungen am Himmel	• Himmel Zenit: ~3'000 cd/m² • Himmel über Dach: ~8'650 cd/m² • Wolke: ~15'000 cd/m²

Tabelle 1: Basisinfos zur Messung



Abbildung 1: Situationsbeschreibung nach www.blendtool.ch

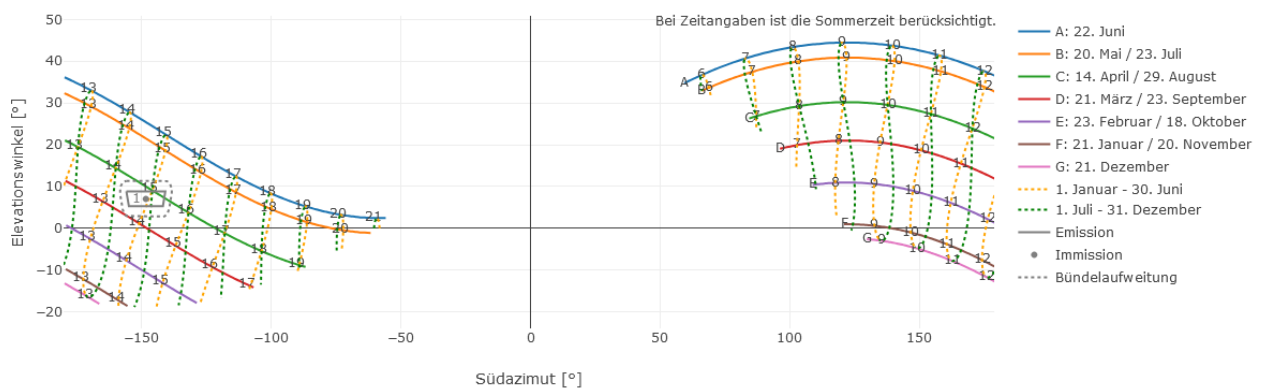


Abbildung 2: Reflexionsdiagramm aus www.blendtool.ch

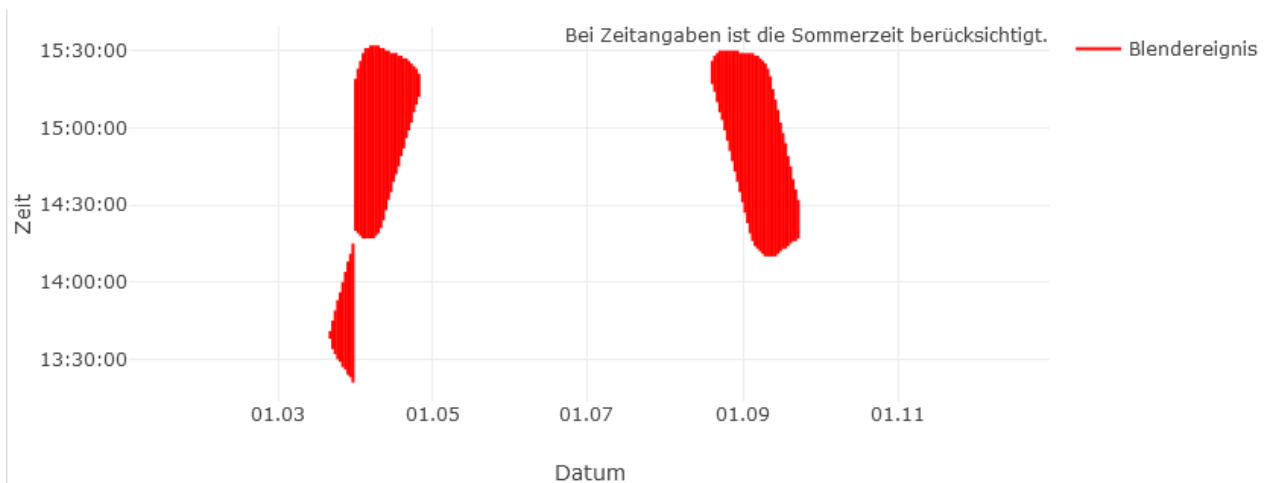


Abbildung 3: Auftretende Blendungen nach www.blendtool.ch

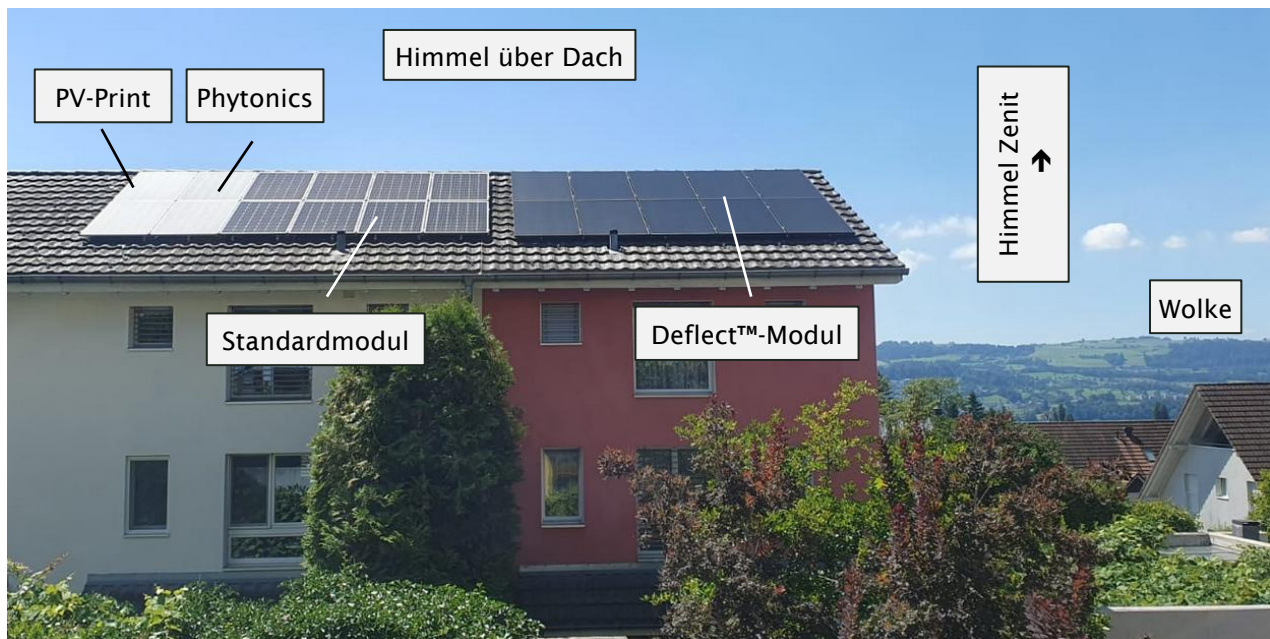


Abbildung 4: Situationsübersicht

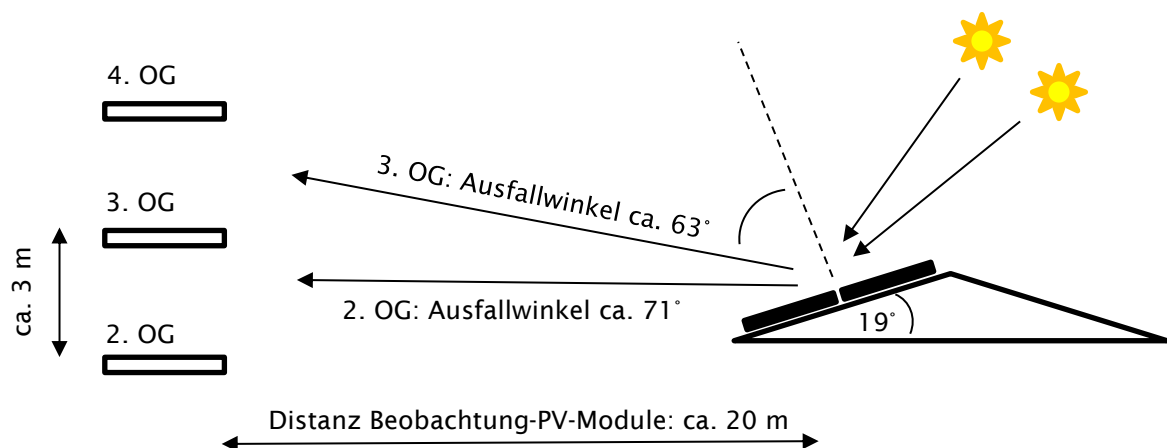


Abbildung 5: Beobachtungswinkel. Quelle Dachneigung: sonnendach.ch

Beschriftung in Abbildung 4	Erläuterung
PV-Print	Standardmodul beklebt mit Folie von PV-Print
Phytonics	Standardmodul beklebt mit Folie von Phytonics
Standardmodul	Handelsübliches PV-Modul mit reflexionsarmer Oberfläche
Deflect™-Modul	PV-Modul mit Deflect™-beschichteter Oberfläche zur Reduktion der Blendung. Aufgrund eingeschränkter Zugänglichkeit nur aus dem 2. OG vermessen.
Himmel über Dach	Blauer Himmel oberhalb der PV-Anlage
Wolke	Wolke im Horizontbereich
Himmel Zenit	Himmel senkrecht über dem Beobachtungspunkt

Tabelle 2: Erläuterung zu den Beschriftungen in Abbildung 4



Abbildung 6: Geometrischer Blendpunkt auf dem PV-Print-Modul (ca. 40'000 cd/m²) und auf dem Phytonics-Modul (ca. 16'000 cd/m²). Oben: Messung August 2024, Unten: Messung Mai 2025



Abbildung 7: Blendpunkt auf dem Standard-Solarmodul (ca. 5'000'000 cd/m²). Oben: Messung August 2024, Unten: Messung Mai 2025



Abbildung 8: Blendpunkt auf dem Deflect™-Modul (ca. 200'000 cd/m²). Aufgrund der eingeschränkten Zugänglichkeit (Zeit, Ort) konnte diese Messung nur von einem Beobachtungspunkt aus gemacht werden.

3 Messresultate

3.1 Messung Leuchtdichte

Abbildung 9 zeigt die Leuchtdichten der vier gemessenen PV-Module (Messungen vom August 2024 und Mai 2025 und Messung 2. OG und 3. OG kombiniert) gemischt für alle Beobachtungspunkte. Die Leuchtdichte der Standardmodule ohne Folie im Blendfleck ist im Bereich von 2'500'000 cd/m^2 bis 6'000'000 cd/m^2 und blendet damit deutlich. Die Deflect™-Module weisen eine Leuchtdichte im Bereich von 100'000 cd/m^2 bis 200'000 cd/m^2 auf und liegen damit ebenfalls oberhalb der von Swissolar vorgeschlagenen Blendgrenze (Abbildung 16). Die Folie von PV-Print liegt im Bereich von 30'000 bis 60'000 cd/m^2 . Phytonics zeigt deutlich verringerte Leuchtdichten von jeweils knapp unter 20'000 cd/m^2 .

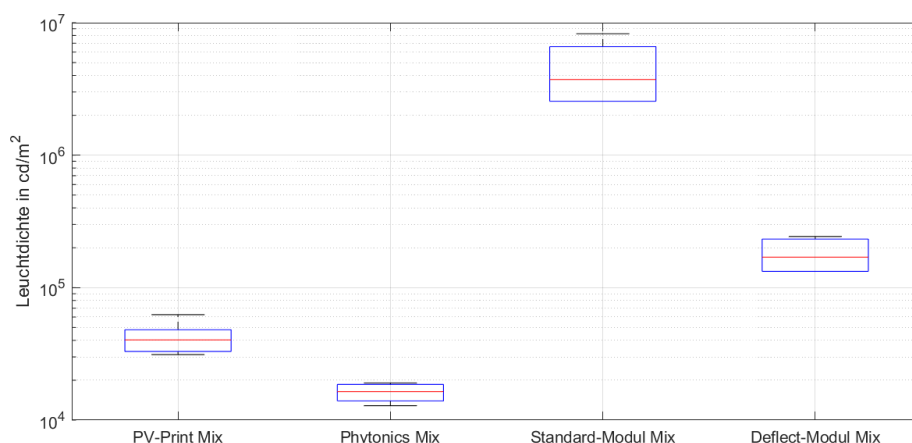


Abbildung 9: Messresultate aller Module aus beiden Beobachtungspunkten und beiden Messungen (2. OG und 3. OG, August 2024 und Mai 2025))

3.2 Vergleich Folien und Einfluss Einfallswinkel

Abbildung 10 zeigt die Messwerte der PV-Module mit Folien für die einzelnen Beobachtungspunkte. Dabei ist die Blendung des PV-Modules mit der Phytonics-Folie gut halb so hell wie die der PV-Print-Folie. Ebenfalls deutlich ist die starke Winkelabhängigkeit: Je flacher der Beobachtungspunkt zum PV-Modul steht (2. OG), desto heller erscheinen die Folien.

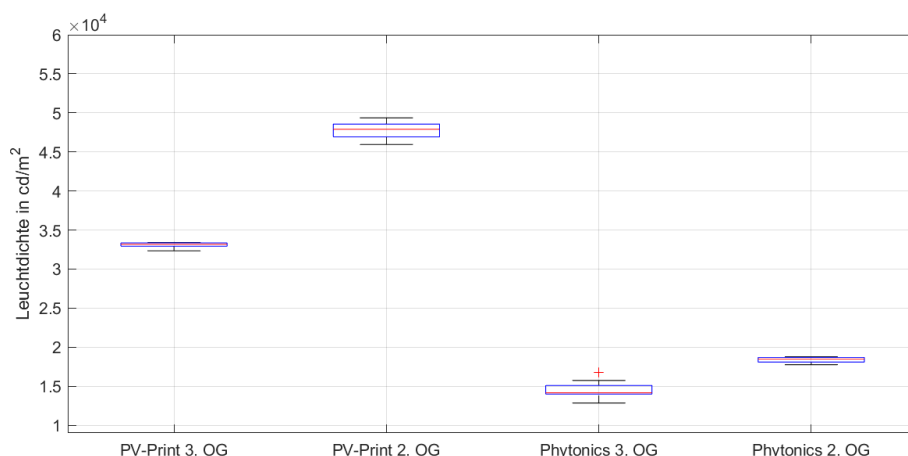


Abbildung 10: Messresultate der PV-Modulen mit Folien, einzeln je Beobachtungspunkt, Messung August 2024 (2. OG und 3. OG)

3.3 Veränderung Leuchtdichte August 2024 bis Mai 2025

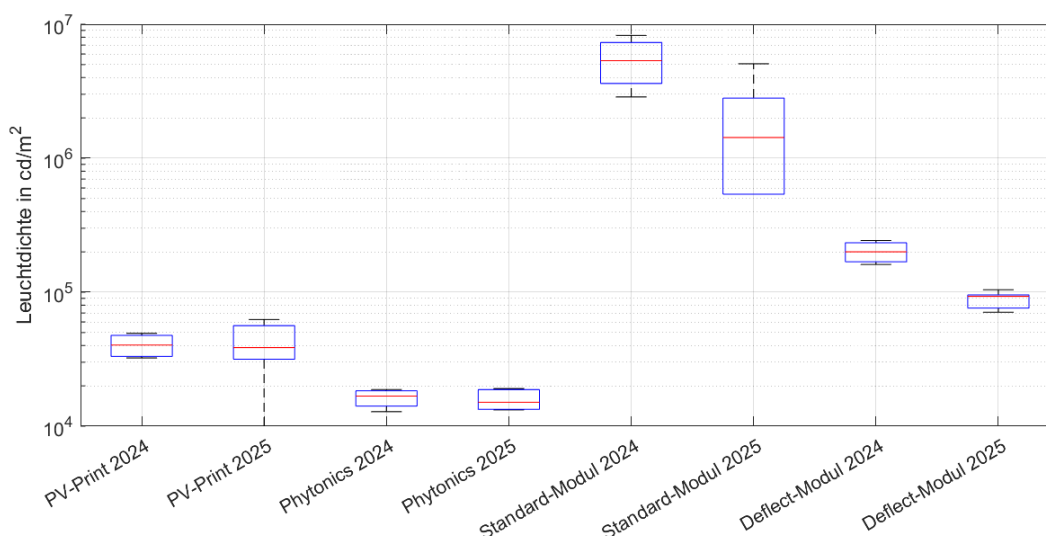


Abbildung 11: Messresultate 2024 und 2025 im Vergleich für alle Module aus beiden Beobachtungspunkten (2. OG und 3. OG).

Die Messungen wurden im Mai 2025 nochmals wiederholt. Die Messbedingungen waren nicht identisch wie bei den Initialmessungen. Der Himmel war etwas trüber, was zu einer Erhöhung der Diffusstrahlung und einer Reduktion der Direktstrahlung führt. Diffus reflektierende Module wie die mit den Folien versehenen Module zeigen deshalb kaum ein anderes Helligkeitsbild. Gerichteter reflektierende Module wie die Deflect™-Module und insbesondere die Standard-Module zeigen jedoch eine deutlich reduzierte Oberflächenhelligkeit (Abbildung 11). Basierend auf diesen Messungen sowie auf dem Augenschein des im PV-Labor installierten Referenzmoduls wird deshalb davon ausgegangen, dass sich das Blendverhalten der eingesetzten Module nicht wesentlich verändert.

3.4 Transmission

Zur Evaluierung der Modifikation der Transmission und der resultierenden potenziellen Energieausbeute aus dem Modul wurden Photovoltaikmodule im Labor vermessen. Im Rahmen des Experiments wurden zwei Minimodule mit Floatglas und ein handelsübliches Modul mit Standardsolarglas verwendet. Die Messung der Leistung der Module erfolgte jeweils unter Standard-Testbedingungen (P_{STC}). Es wurden Messungen vor und nach dem Bekleben mit der Folie durchgeführt. Zudem wurde eine Kontrollmessung mit einem Modul ohne Folie durchgeführt. Die Veränderung in der Kontrollmessung wurde von der Veränderung der Leistung mit und ohne Folie subtrahiert. Die Ergebnisse zeigen, dass die Transmission beim Bekleben eines Floatglases deutlich weniger abnimmt als beim Bekleben eines Standardsolarglases. Die vorliegende Untersuchung ergibt, dass die Leistung auf dem Floatglas um 1,2 % abnimmt, während sie auf dem Standardsolarglas um knapp 5 % abnimmt. Eine visuelle Inspektion des Standardsolarglases ergibt die Präsenz kleiner Lufteinschlüsse zwischen texturiertem Glas und Folie. Diese Hypothese wird als Erklärungsansatz für die beobachtete Diskrepanz in Bezug auf die Transmissionsreduktion herangezogen.

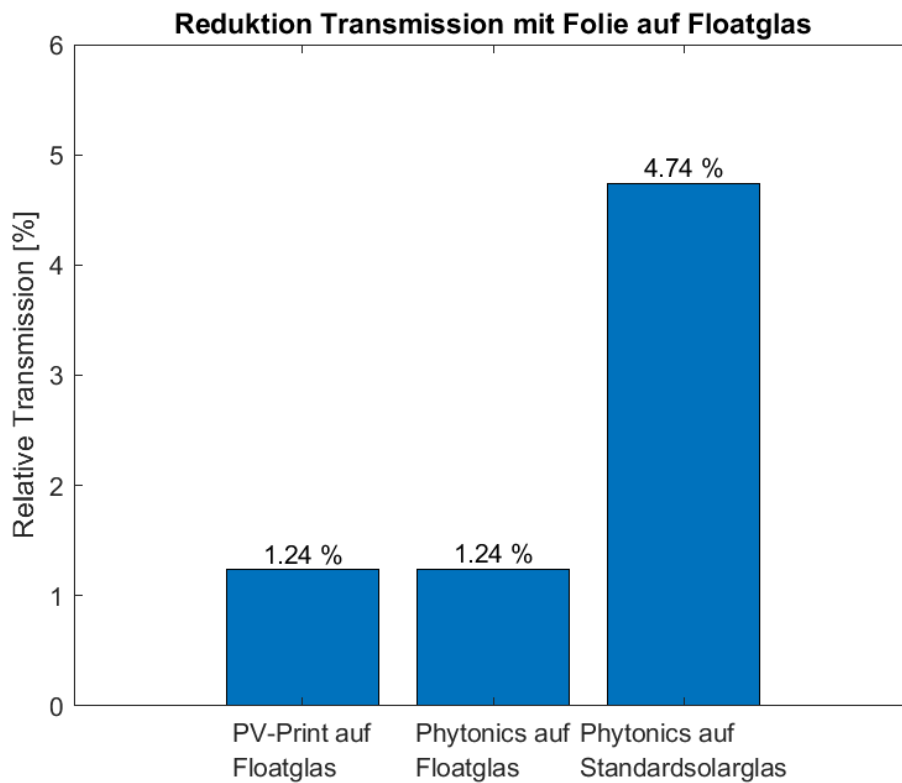


Abbildung 12: Veränderung Transmission mit Folie

3.5 Alterungsverhalten Folien

Auf dem Dach der Berner Fachhochschule wurden jeweils ein Standardmodul und ein Modul mit Phytonicsfolie montiert (Folie von Phytonics im Werk vormontiert). Die Module sind elektrisch nicht aktiv, jedoch realitätsgetreu der Witterung ausgesetzt. Bei beiden Modulen zeigen sich die typischen, unkritischen Schmutzränder am der unteren Tropfkante. Gerade im Frühling sammelt sich dort Blütenstaub und Staub. Abgesehen von der normalen Verschmutzung sind keine Veränderungen des Folienmoduls zu erkennen die auf eine Degradation oder Beschädigung der Folie hindeuten.



Abbildung 13: Detailbild Standardsolarglas nach 1 Jahr Outdoor-Alterung



Abbildung 14: Detailbild Glas mit Phytonics-Folie nach 1 Jahr Outdoor-Alterung

4 Vergleich mit einem anderen Standort

Am 10. Mai 2025 wurden an einem zweiten Standort eine Vergleichsmessung gemacht werden. Der Betrachtungswinkel des Beobachters auf die PV-Module beträgt rund 65°.

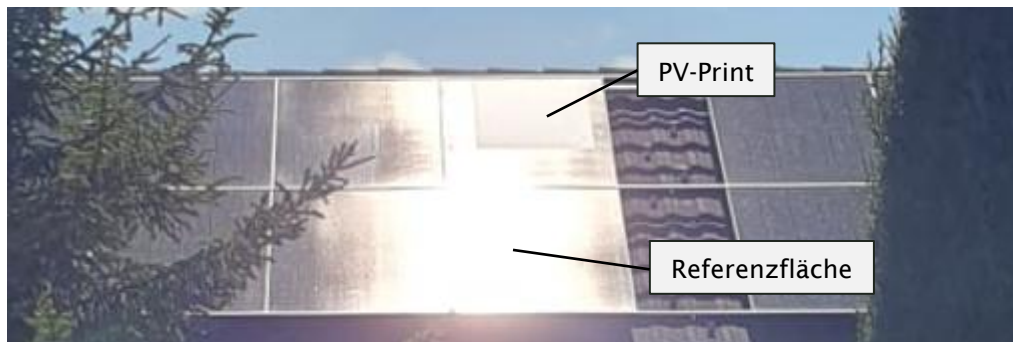


Abbildung 15: Kontrollmessung an einem zweiten Standort.

Die gemessene Leuchtdichte auf der Folie (Abbildung 15) beträgt rund 115'000 cd/m^2 , während die Referenzfläche mit rund 3'800'000 cd/m^2 vermessen wurde. Die Messresultate liegen damit zwar in derselben Grössenordnung, jedoch etwas oberhalb der in diesem Bericht im Detail untersuchten Pilotanlage und auch ausserhalb der in Abbildung 16 vorgestellten Grenzwerte.

5 Interpretation

Die Folie von Phytonics reduziert die Blendung in allen Betrachtungswinkel deutlich unterhalb der kritischen Schwelle. Die Folie von PV-Print liegt näher an den in [3] postulierten Grenzwerten. Abbildung 16 stellt die Messungen in den Kontext der heute diskutierten Richtwerte für blendende / nicht blendende Produkte. Zur Verallgemeinerung der Resultate ist das Kapitel «6 Abgrenzung / Disclaimer» zu beachten.

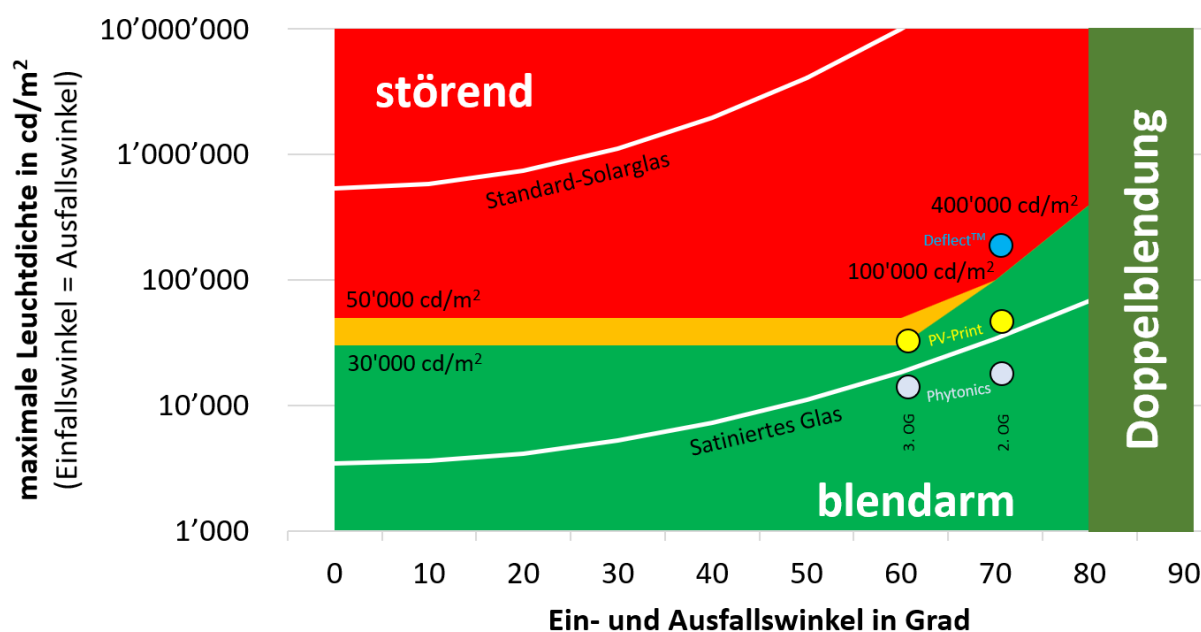


Abbildung 16: Vorschlag «blendarm» aus [3]. Der grüne Bereich markiert die Zone, innerhalb der ein Produkt als blendfrei gelten soll. Der rote Bereich markiert die Zone, bei der in einem Produkt eine störende Blendung geltend gemacht werden können soll. Hinweis: Die Richtwerte dieser Grafik (rote und grüne Flächen) basieren auf der Annahme von 100'000 lx auf dem PV-Modul für alle Flächen. In der Praxis ist bei flachem Lichteinfall die Belichtungsstärke geringer.

6 Abgrenzung / Disclaimer

Folgende Abgrenzungen und Vorbehalte werden gemacht:

- Outdoormessungen sind immer einer grösseren Unsicherheit / Streuung unterworfen. Es kann deshalb davon ausgegangen werden, dass sich die Messergebnisse bei einer Wiederholung zu einem anderen Zeitpunkt ändern. Die Autoren gehen von einer Variabilität von rund 30% bei ähnlichen Wetterbedingungen aus.
- Die Wahrnehmung einer Blendung wird auf einer logarithmischen Skala dargestellt. Eine Änderung von 30% ist deshalb von blosssem Auge kaum wahrnehmbar. Aus diesem Grund wird auch der in Abbildung 16 vorgeschlagene Grenzwert sowie die Einzeichnung der Blendung bewusst mit dicken Linien und damit einer entsprechenden Unschärfe gezeichnet.
- Mit der eingesetzten Folie gibt es noch keine Langzeiterfahrungen. So ist weder bekannt, wie stark die Folie selbst variiert, noch wie sie sich über längere Zeit verhalten wird. Auch der Einfluss der Qualität der Aufbringung auf die PV-Module auf die Leuchtdichte ist nicht bekannt. Bei all diesen Faktoren erwarten die Autoren jedoch keine starken Veränderungen.
- Die Oberflächen der Folien sind so strukturiert, dass das optische Gesetz «Einfallswinkel = Ausfallswinkel» nicht auf die Makro-Folienebene anwendbar ist. Das bedeutet, dass es möglich ist, dass die Folie aus einem anderen Beobachtungspunkt heller wirkt als auf den hier gezeigten Beobachtungspunkten.

7 Referenzen, Literatur

- [1] Christof Bucher, «Reflexionen an Photovoltaikanlagen, Ursachen und Lösungen», Bulletin 10/2021. <https://www.bulletin.ch/reflexionen-photovoltaikanlagen>
- [2] Christof Bucher et al., «Two-Dimensional Representation of the Bidirectional Reflectance Distribution Function of Photovoltaic Modules», EUPVSEC, 2023. <https://arbor.bfh.ch/handle/arbor/35524>
- [3] Peter Toggweiler et al., «Stand der Technik zu blendarmen Oberflächen bei PV-Modulen», Oktober 2024, <http://pubdb.bfe.admin.ch/de/publication/download/11996>
- [4] Swissolar, Leitfaden zum Melde- und Bewilligungsverfahren für Solaranlagen, Juni 2023. <https://www.swissolar.ch/de/news/detail/neuer-leitfaden-zum-melde-und-bewilligungsverfahren-fuer-solaranlagen-44693>
- [5] Christof Bucher, «Massnahmen gegen PV-Blendung», Bulletin 6/2025. <https://www.bulletin.ch/massnahmen-gegen-pv-blendung>

8 Versionskontrolle

Version	Datum	Beschreibung	Autor
3.0	2.2.2026	Dritte Version nach Rückmeldungen	Christof Bucher, Matthias Burri
2.0	18.7.2025	Zweite Version nach den Kontrollmessungen	Matthias Burri, Christof Bucher
1.0	19.9.2024	Erster interner Entwurf	Christof Bucher, Lasse Halle