



Entwicklung mikrooptischer Strukturen zur Umlenkung von Sonnenstrahlung  
für Anwendungsmöglichkeiten von der Raumbelichtung bis zur bifazialen Photovoltaik  
EWB-Stunde, 07.09.2023, Helmut F.O. Müller, Green Building R&D GmbH

# Entwicklung mikrooptischer Strukturen zur Umlenkung von Sonnenstrahlung für Anwendungsmöglichkeiten von der Raumbelichtung bis zur bifazialen Photovoltaik

**EWB-Stunde, 07.09.2023**

**Helmut F.O. Müller, Prof. Dr.- Ing.**  
Green Building R&D GmbH, Düsseldorf  
[www.greenbuilding-rd.com](http://www.greenbuilding-rd.com)



Entwicklung mikrooptischer Strukturen zur Umlenkung von Sonnenstrahlung  
für Anwendungsmöglichkeiten von der Raumbelichtung bis zur bifazialen Photovoltaik  
EWB-Stunde, 07.09.2023, Helmut F.O. Müller, Green Building R&D GmbH

**Helmut Müller, Prof. Dr.-Ing., Green Building R&D GmbH**

**1993 – 2009: Lehrstuhl Klimagerechte Architektur, TU Do**  
**seit 2008: Green Building Research & Development**



Gebaute Umwelt

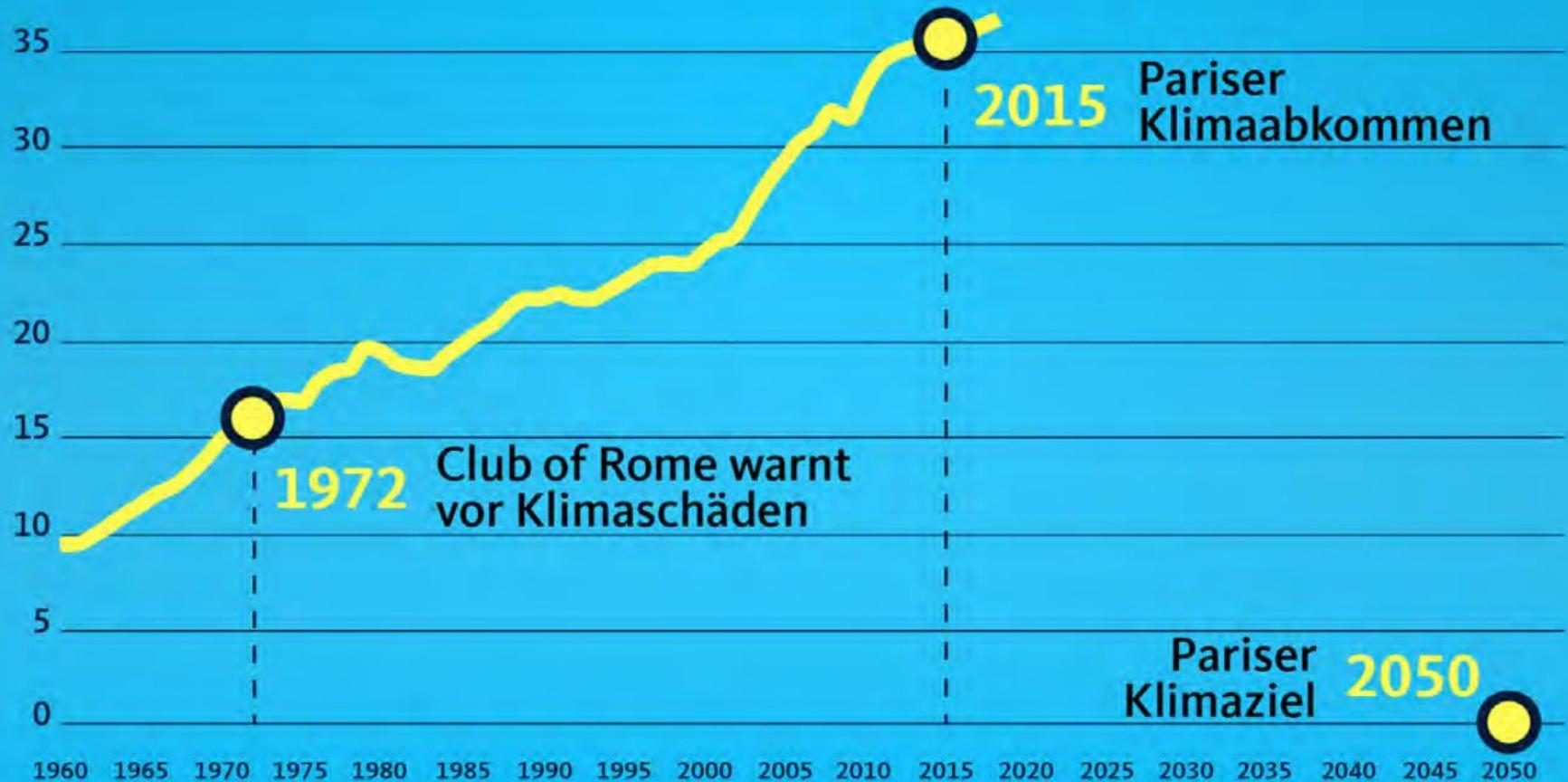


Klimaschutz

und

## CO<sub>2</sub>-Emissionen weltweit

CO<sub>2</sub>-Äquivalente  
in Gigatonnen





Entwicklung mikrooptischer Strukturen zur Umlenkung von Sonnenstrahlung für Anwendungsmöglichkeiten von der Raumbelichtung bis zur bifazialen Photovoltaik  
EWB-Stunde, 07.09.2023, Helmut F.O. Müller, Green Building R&D GmbH

## Green Building R&D, Forschung & Entwicklung



**TaLED** Energie- und kosteneffiziente, fassadenintegrierte Tageslicht- und LED-Beleuchtung mittels mikrooptischer Baukomponenten. BMWK, 2016-19



**TaHo** Folgeprojekt TaLED mit Demonstration in Gebäuden  
BMWK 2021-24



**I-Foam** Innovativer Schaumbeton  
nachhaltige Wärmedämmung  
BMWK 2019 - 23

## 1. Forschungsvorhaben TaLED, TaHo (Förderung BMWK) Optimierte Beleuchtung durch mikro-optische Systeme

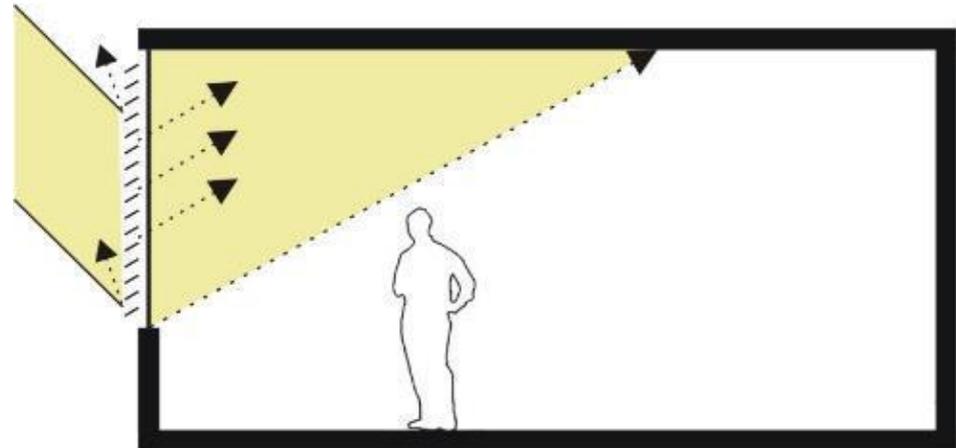
**Sonnen- und Blendschutz  
ohne Beeinträchtigung  
der natürlichen Beleuchtung**

**Sonnenlichtumlenkung  
in die Raumtiefe**

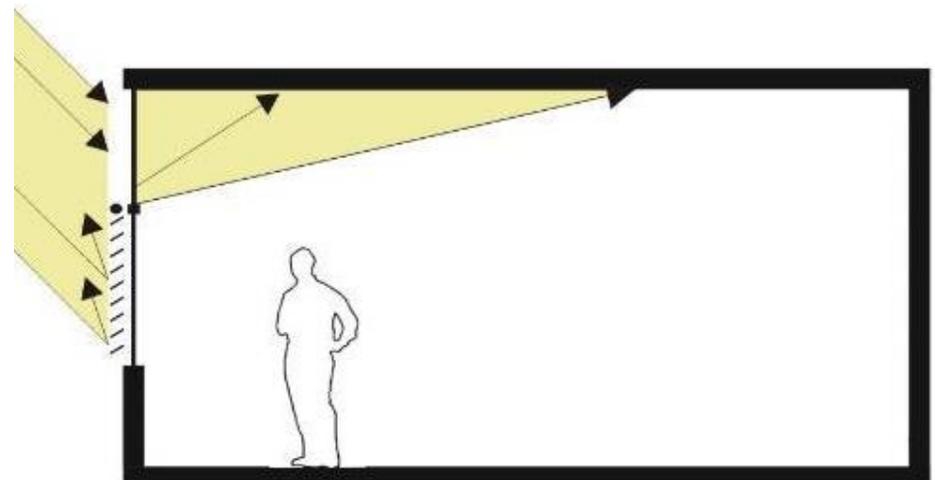


## Prinzipien der Sonnenlicht-Umlenkung: Tageslicht-Beleuchtung bei geschlossenem Sonnenschutz

**Jalousie mit  
partieller Umlenkung  
des Sonnenlichts  
in den Raum  
(Sonnen-Nachführung)**

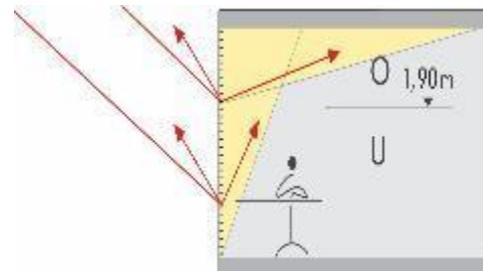
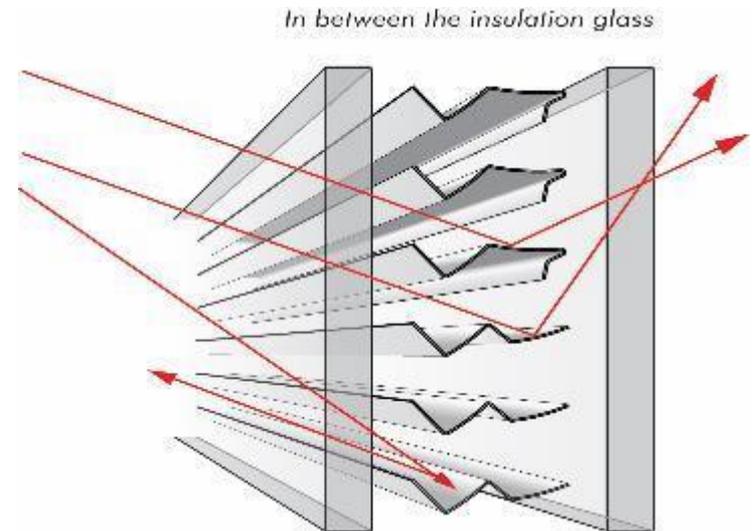


**Oberer Teil des Fensters  
mit Licht-Umlenkung  
in den Raum (starres System),  
unterer Teil mit Verschattung  
(außen oder innen )**



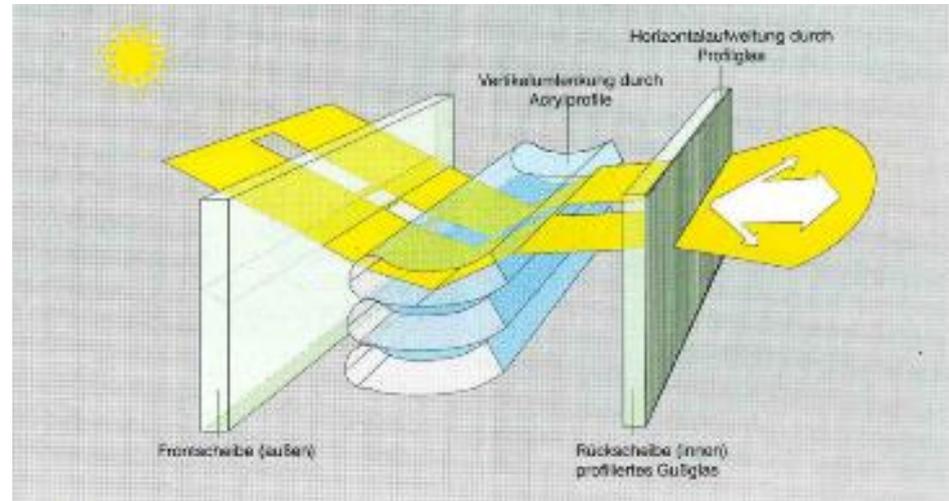
## Jalousien mit Retro-Reflexion und Tageslicht-Umlenkung

Innennliegend oder im Scheibenzwischenraum, Sonnennachführung (Koester)

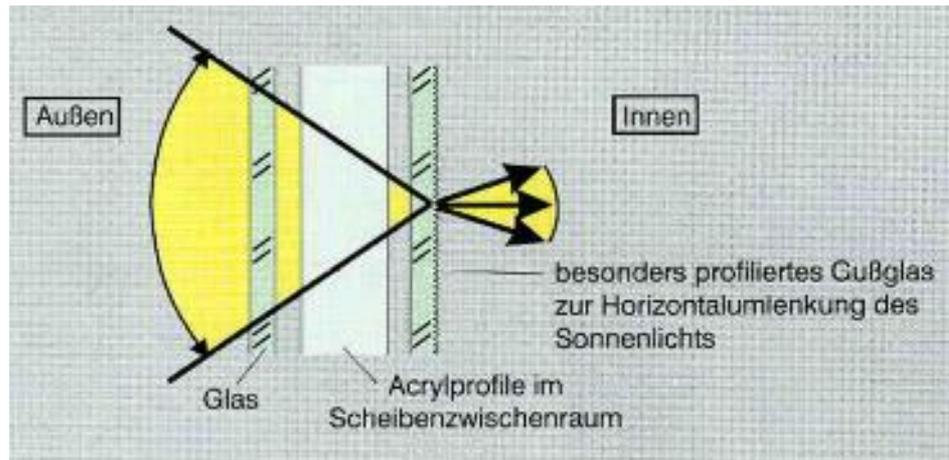


## Sonnenlichtlenkendes Glas ohne Nachführung: LUMITOP

Vertikale Lichtumlenkung durch Acrylprofile im SZR



Horizontale Lichtstreuung durch Gussglas raumseitig



## Anwendungsbeispiele für LUMITOP in Fensteroberlicht

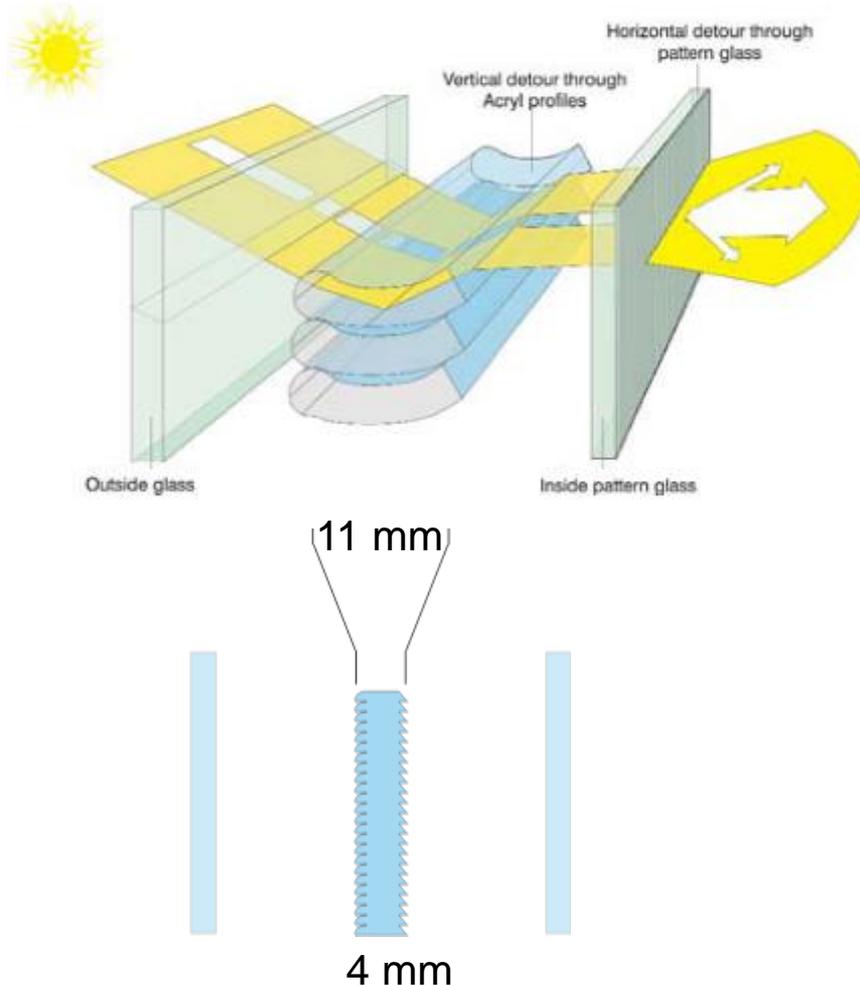


Spherion Bürogebäude, Düsseldorf  
Koch Architekten



Düsseldorfer  
Hypotheckenbank,

## Optimierung durch Mikrostruktur: FuE-Projekt TALED

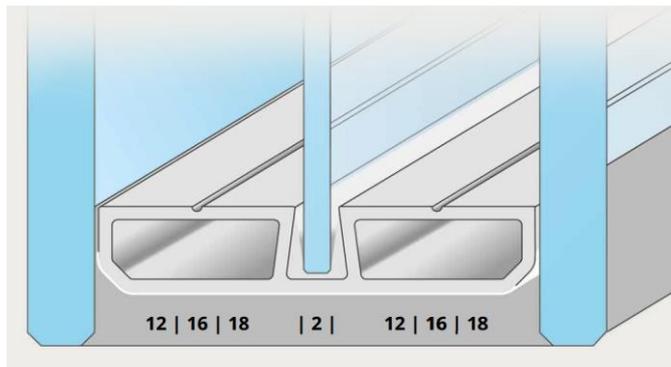
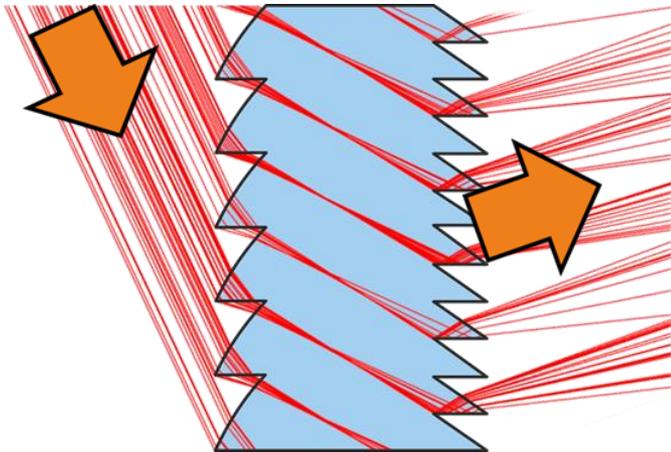


### Altes System „Lumitop“

### Vorteile des Systems mit Mikrostruktur

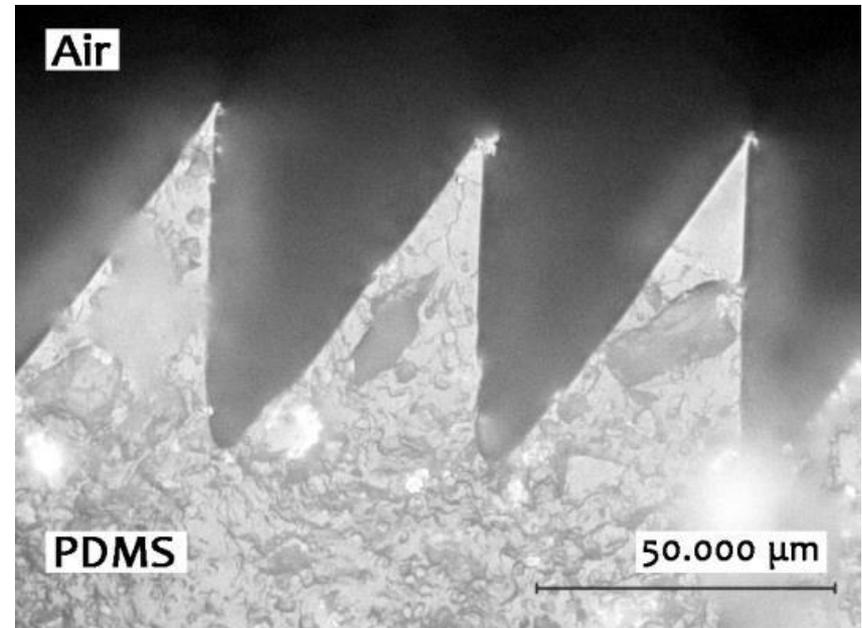
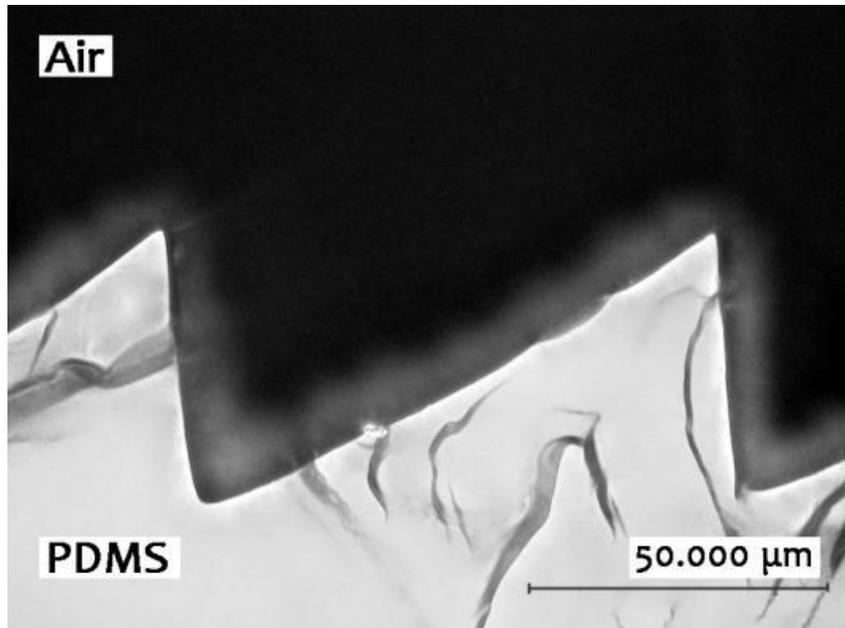
1. Dünnere Scheibe
2. Material- und Gewichtsreduktion um 7kg per m<sup>2</sup> (PMMA)
3. Durchgehende Scheibe,  $U < 1,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
4. Leichtere Montage
5. Kosteneffizienz

## Vertikale Sonnenlichtumlenkung durch Mikrostruktur in Dreischeiben-Isolierglas



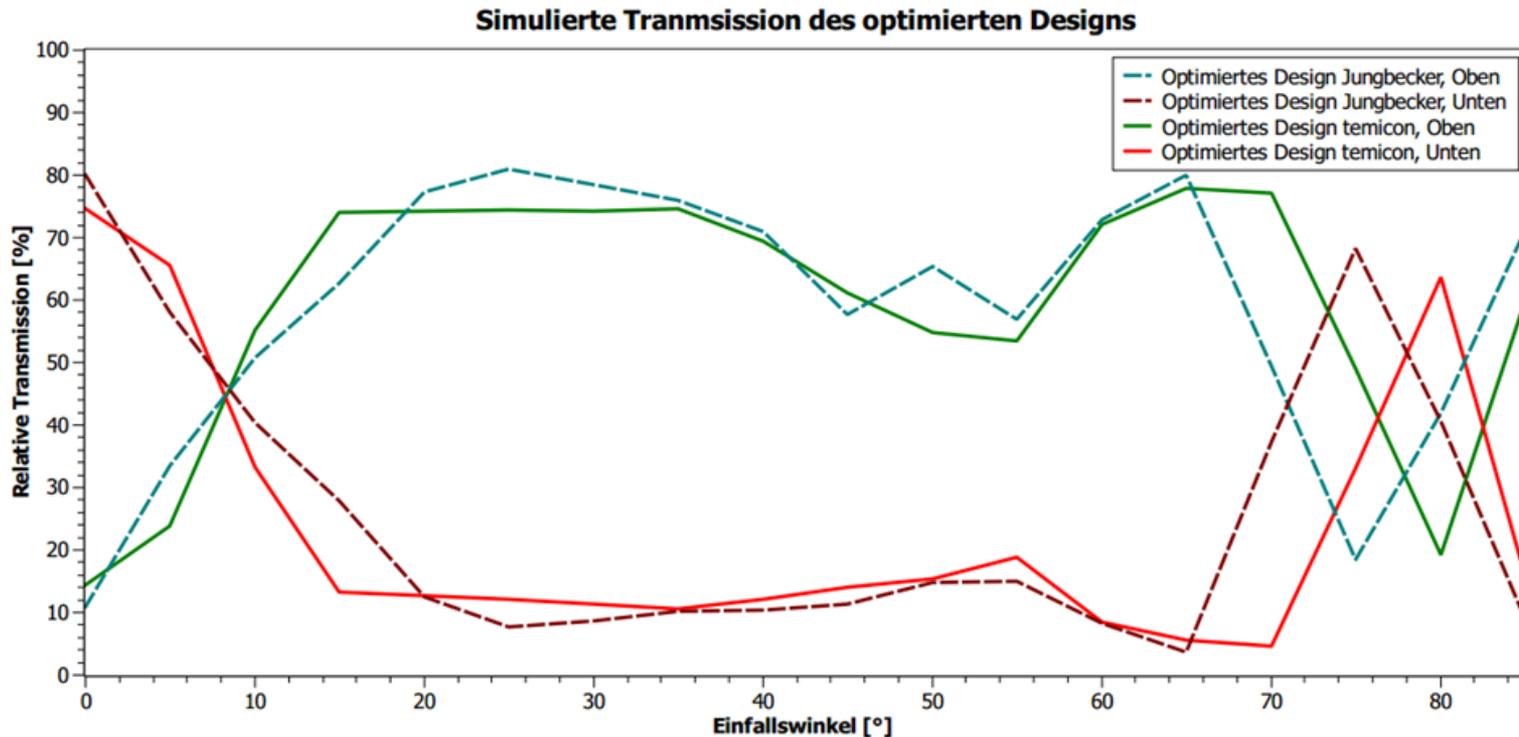
## Fertigungsverfahren für Mikrostrukturen:

- Heißprägen (ca. 500  $\mu\text{m}$ )
- UV-Prägen (ca. 50  $\mu\text{m}$ )



**Beispiele UV-geprägter Mikrostrukturen (Abguss temicon)**

## Umlenkung für vertikale Sonnenwinkel von $10^\circ$ - $70^\circ$ ohne Nachführung (Messungen, Berechnungen von RIF, Fraunhofer IBP)



Transmission nach oben \_\_\_\_\_ und unten \_\_\_\_\_  
über dem vertikalen Sonnen-Einfallswinkel



Entwicklung mikrooptischer Strukturen zur Umlenkung von Sonnenstrahlung für Anwendungsmöglichkeiten von der Raumbelichtung bis zur bifazialen Photovoltaik  
EWB-Stunde, 07.09.2023, Helmut F.O. Müller, Green Building R&D GmbH

## Verbund-Forschungsvorhaben: TaLED, 2016 – 2019

**Förderung:** Bundesministerium für Wirtschaft und Energie



**Koordination:** Fraunhofer Institut für Bauphysik

**Forschung:** TU Dortmund, A.-Gebiet Mikrostrukturtechnik



Green Building R&D GmbH

**Mikrostrukturen:** temicon GmbH



Karl Jungbecker GmbH & Co. KG



**Leuchten:** durlum GmbH



**Glas:** Saint-Gobain Sekurit Deutschland GmbH & Co.KG



**Fassaden:** ai3



**Architektur:** SSP AG



## TaHo, 2021 – 2024



**zusätzlich:**

**Glas** Okalux GmbH





Entwicklung mikrooptischer Strukturen zur Umlenkung von Sonnenstrahlung  
für Anwendungsmöglichkeiten von der Raumbelichtung bis zur bifazialen Photovoltaik  
EWB-Stunde, 07.09.2023, Helmut F.O. Müller, Green Building R&D GmbH

## Demonstration: KVWL Bürogebäude, Dortmund (2023)



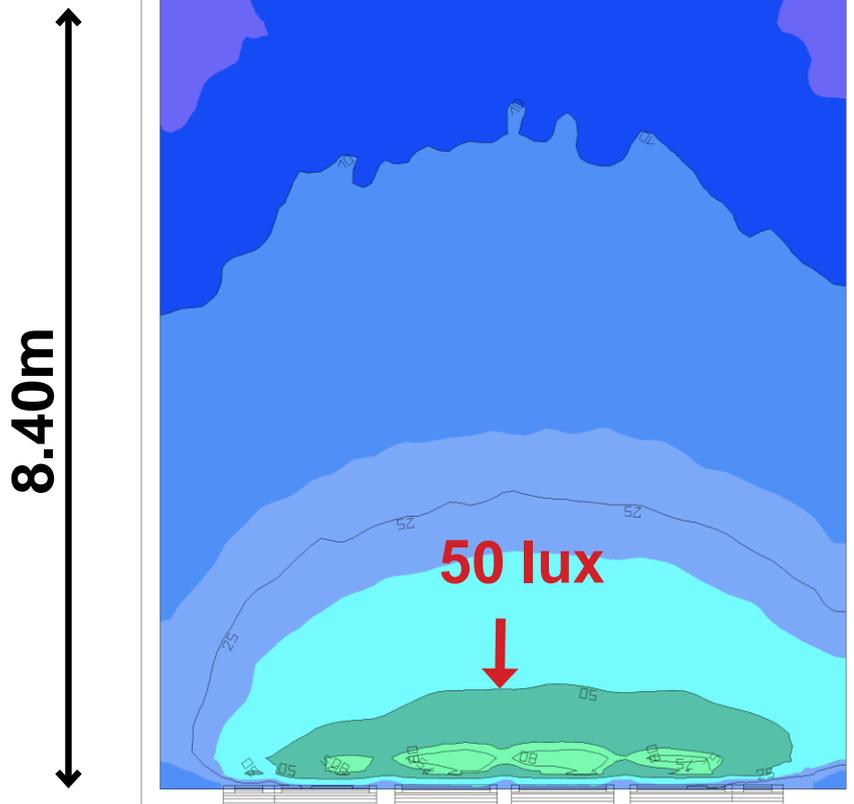
## Demonstration: Gesamtschule Krefeld - Oppum (2023)



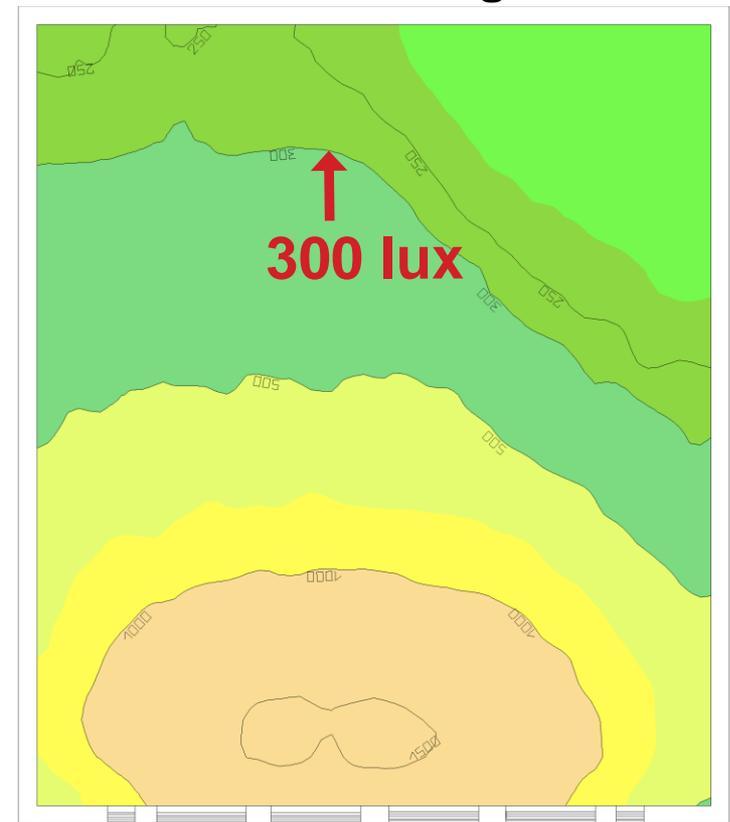
## Vergleich der Beleuchtungsstärken

Frankfurt am 21.03.2022 um 12.00 Uhr bei klarem Himmel ohne Kunstlicht.  
Mindestbeleuchtungsstärke auf Arbeitsebene: 300 - 500 Lux

### Standard, Sonnenschutz



### Lichtlenkung





## Vergleich des Energiverbrauchs der Beleuchtung

### Annahme Klassenzimmer:

Installierte Leistung LED-Beleuchtung:  $10 \text{ W/m}^2$

Betriebsstunden: 7- 18 Uhr = 11 h/d

5 Tage / Woche

52 Wochen / Jahr - 8 Wochen Ferien = 44 Wochen

**Max. Stromverbrauch ohne Tageslicht:  $24,2 \text{ kWh/m}^2\text{a}$**

### Mittlere relative Nutzbelichtung

### Stromverbrauch

Standard            44%

$0.56 \times 24,2 = 13,6 \text{ kWh/m}^2\text{a}$

Lichtlenkung      65%

$0.35 \times 24,2 = 8,5 \text{ kWh/m}^2\text{a}$

## Ca. 40% Stromeinsparung

Mehrkosten des lichtlenkenden Glases pro Raum: ca.  $100 \text{ €/m}^2 \times 5 \text{ m}^2 = 500 \text{ €}$

Stromkosteneinsparung:  $5,1 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a}) \times 0,5 \text{ €/kWh} \times 61,7 \text{ m}^2 = 157,4 \text{ €/a}$

**Amortisation: 3,2 Jahre**



Entwicklung mikrooptischer Strukturen zur Umlenkung von Sonnenstrahlung für Anwendungsmöglichkeiten von der Raumbelichtung bis zur bifazialen Photovoltaik  
EWB-Stunde, 07.09.2023, Helmut F.O. Müller, Green Building R&D GmbH

## Gesundheit, Wohlbefinden, visuelle Wahrnehmung

**Vitamin D – Bildung** durch Tageslicht (UV-B): 10 Min./d  
UV-durchlässiges Glas für besondere Gebäudebereiche

### **Kurzsichtigkeit (Myopie) bei Jugendlichen**

Zunehmende Kurzsichtigkeit weltweit aufgrund von wenig Tageslicht und viel Naharbeit. Augapfel wächst stärker als normal.



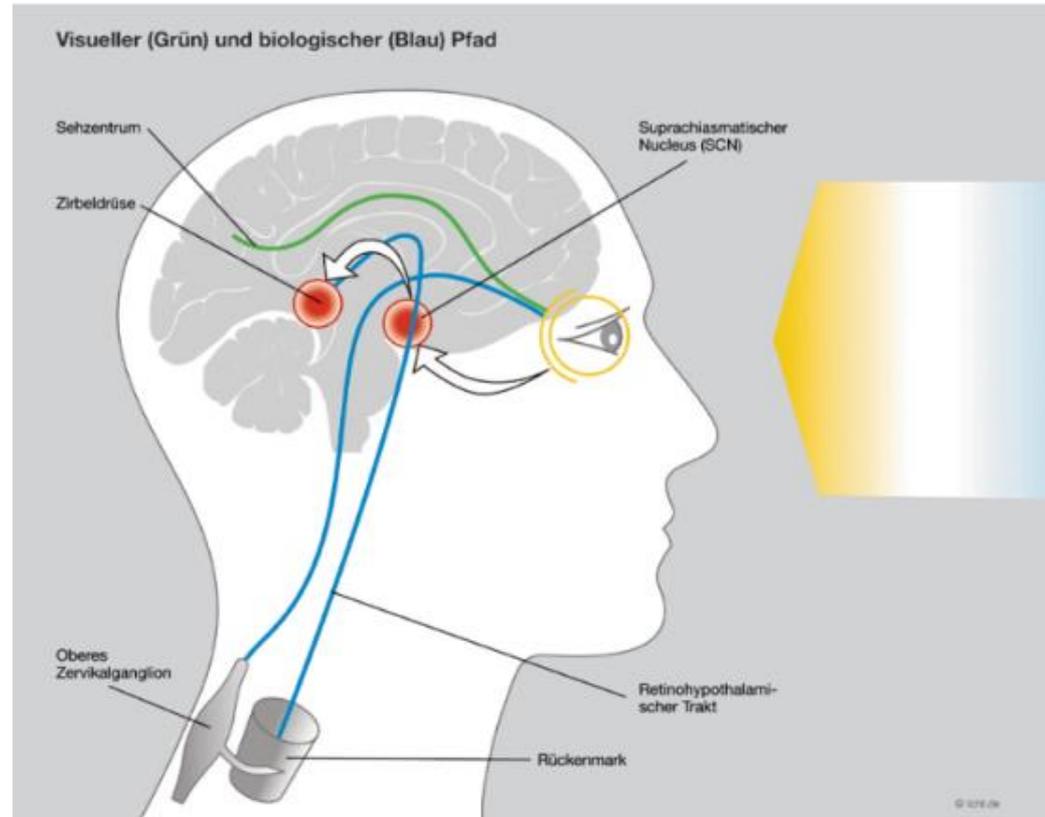
## Circadiane Wirkung des Tageslichts auf 24-stündigen Bio-Rhythmus

24-Stunden Rhythmus des Gehirns wird vom Tageslicht gesteuert:

Die „innere Uhr“ beeinflusst Herzfrequenz, Blutdruck, Körpertemperatur, Stimmung sowie Schlaf- und Wachphasen durch Hormonausschüttung:

- **Melatonin (Schlafhormon)**
- **Serotonin (Stresshormon)**

**Höhere Aufmerksamkeit und Leistungsfähigkeit durch gute Tageslichtbeleuchtung**



**visueller Pfad**  
**Biologischer Pfad**

## 2. Bifaziale Solarzellen

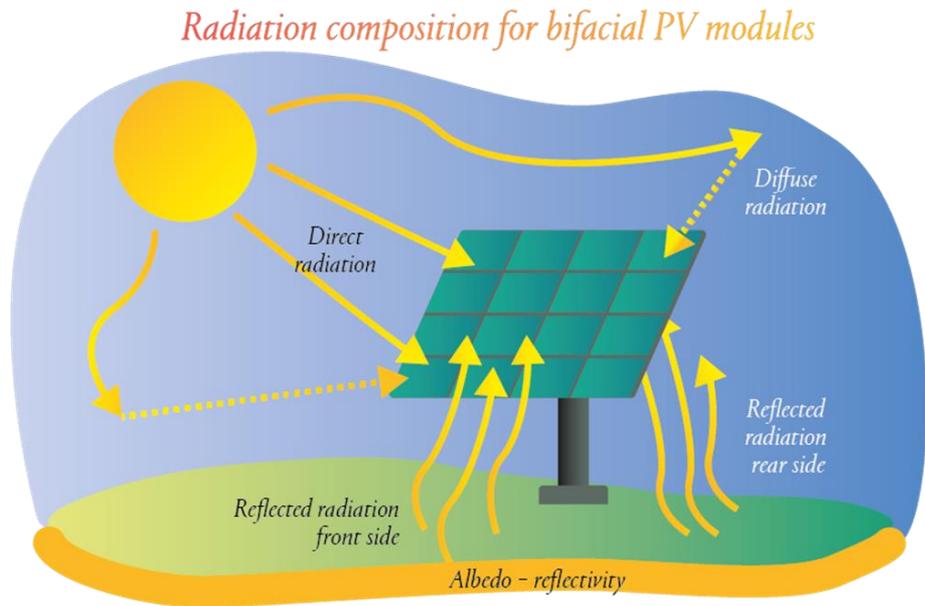
Rückseite transparent

Bifazialer Zugewinn max. 5% - 25%

Einfluss: Reflektionsgrad Untergrund



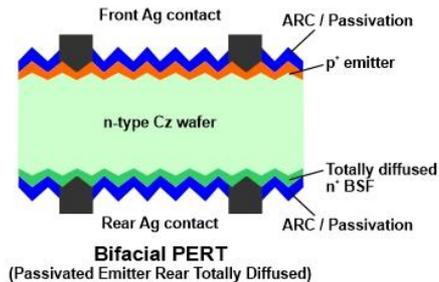
Bifaziale PV-Anlage



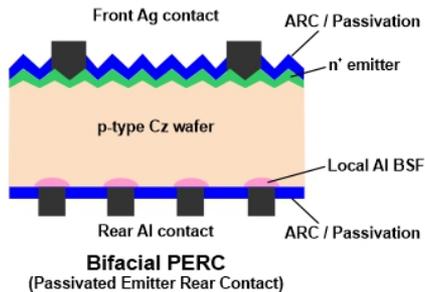
Strahlungseinflüsse auf bifaziale PV Module

## Optimierung monofacialer Solarzellen

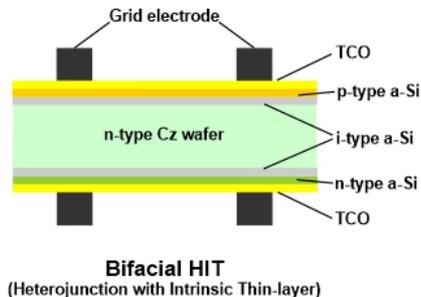
### Beispiele bifazialer Solarzellen



- Effizienz: 19.5–22% (Vorderseite), 17–19% (Rückseite)
- Bifazialität: 80–90%
- Stark kommerzialisiert (z.B. [Yingli](#), [Trina](#), [LG](#))

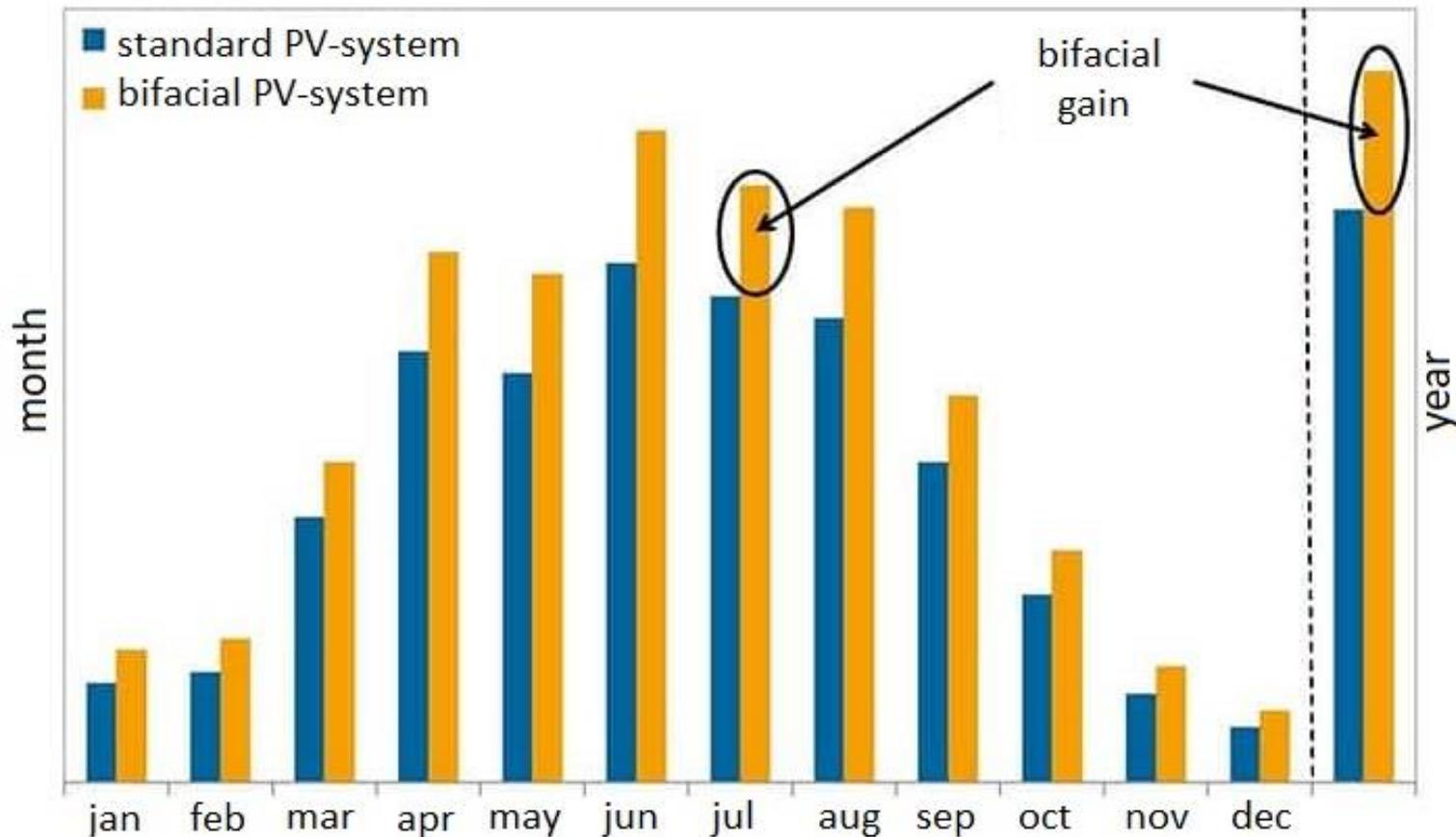


- Effizienz: 19.4–21.2% (Vorderseite), 16.7–18.1% (Rückseite)
- Bifazialität: 70–80%
- Stark kommerzialisiert (z.B. [JA Solar](#), [LONGi](#), [Trina](#))

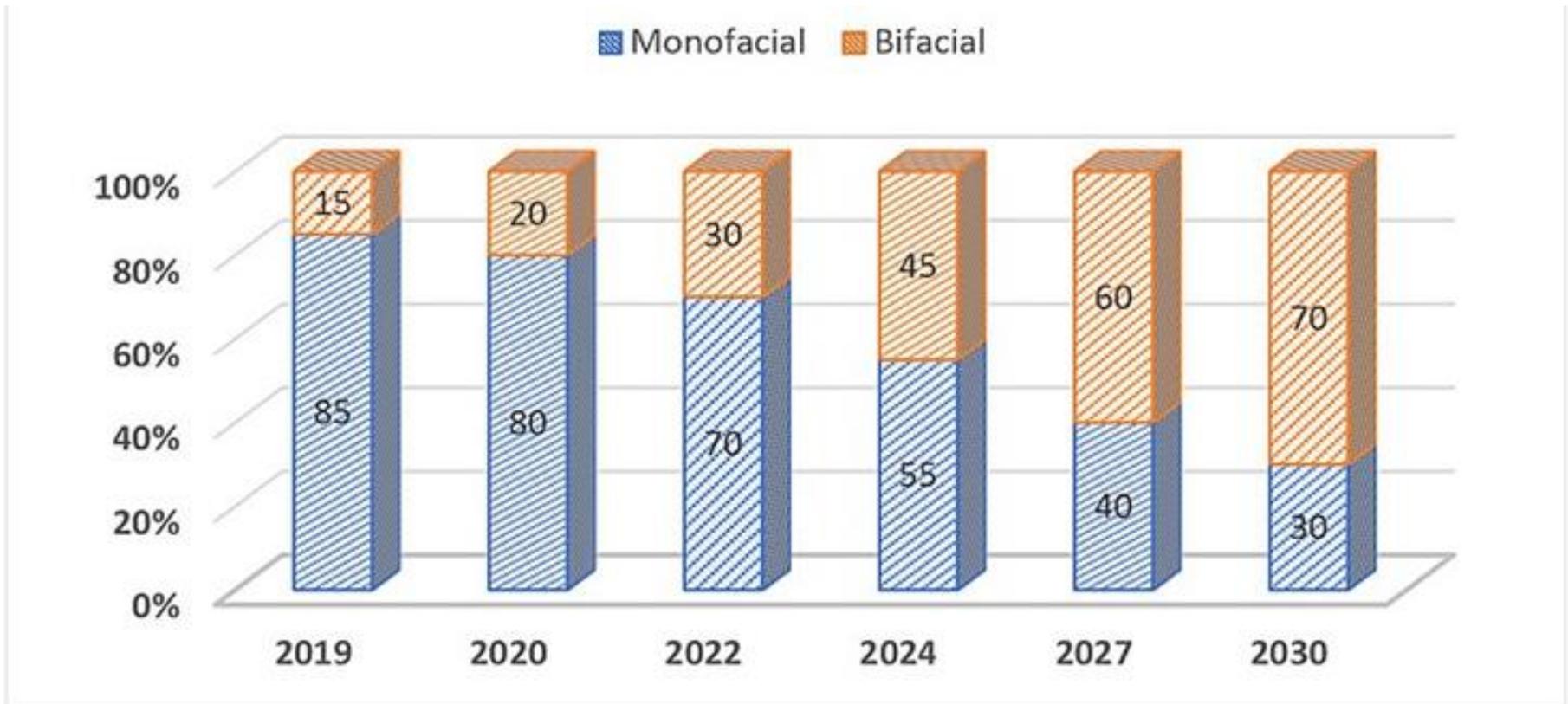


- Effizienz: 24.7%
- Bifazialität: 95–100%
- Stark kommerzialisiert (z.B. [Panasonic](#), [Hanergy](#), Meyer Burger)

## Spezifischer Ertrag im Vergleich (kWh/kWp)



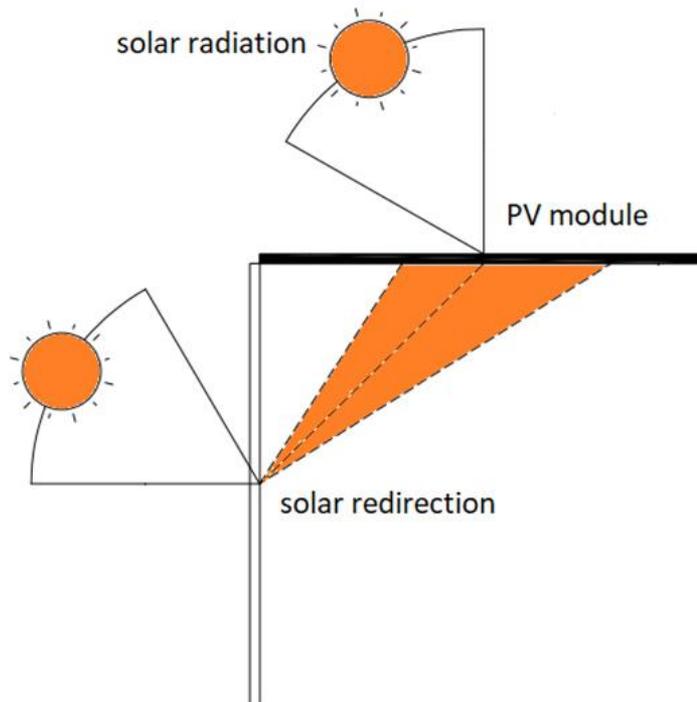
## Bifaziale und monofaziale Solarzellen auf dem Weltmarkt



## Optimierung bifazialer PV durch mikrooptische Solar-Umlenkung

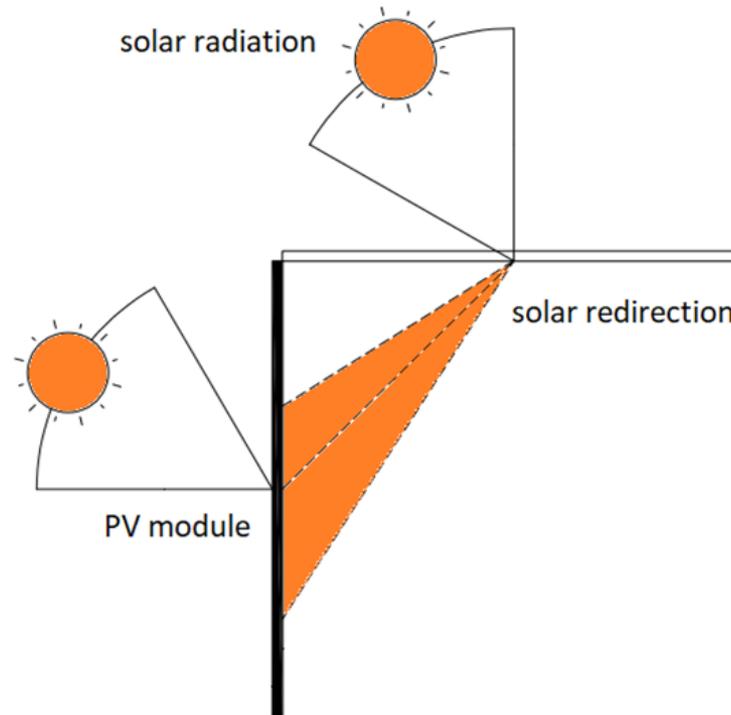
Verdoppelung des bifazialen Gewinns möglich

Konzeptlösung mit horizontalem PV-Modul, Südorientierung  
Anwendungsmöglichkeiten: Freiflächen, Agrivoltaik, Gebäude ...



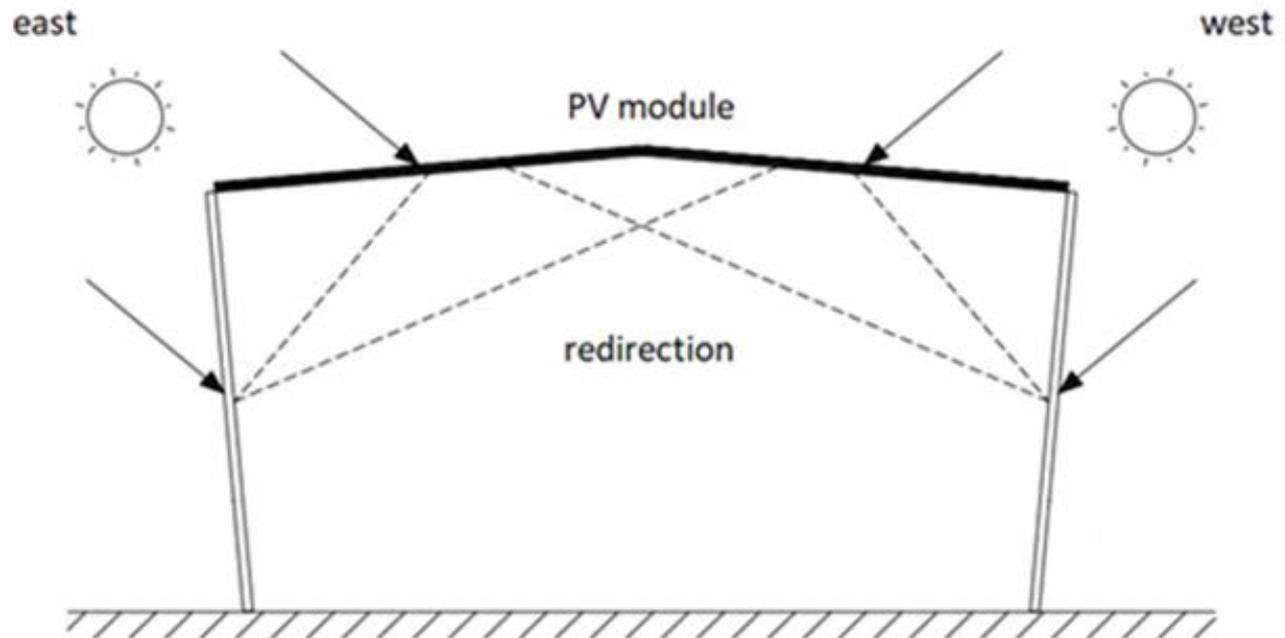
## Konzeptlösung mit vertikalem PV-Modul, Südorientierung

Anwendungsmöglichkeiten:  
Gebäude, Lärmschutzwände, Freiflächen ...



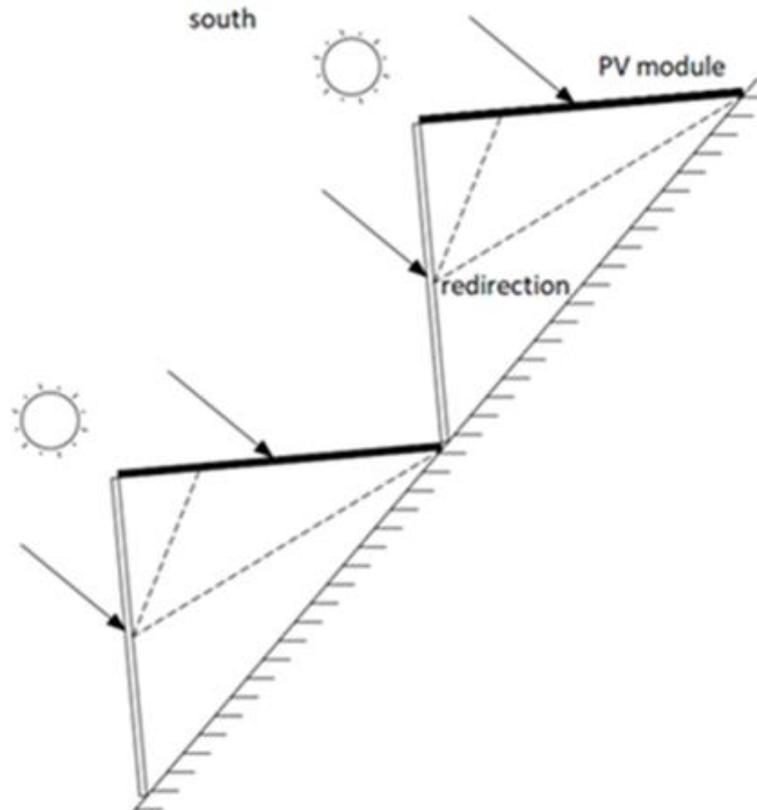
## Ost - West - Orientierung

### Gebäudeintegration oder Freiflächenanordnung



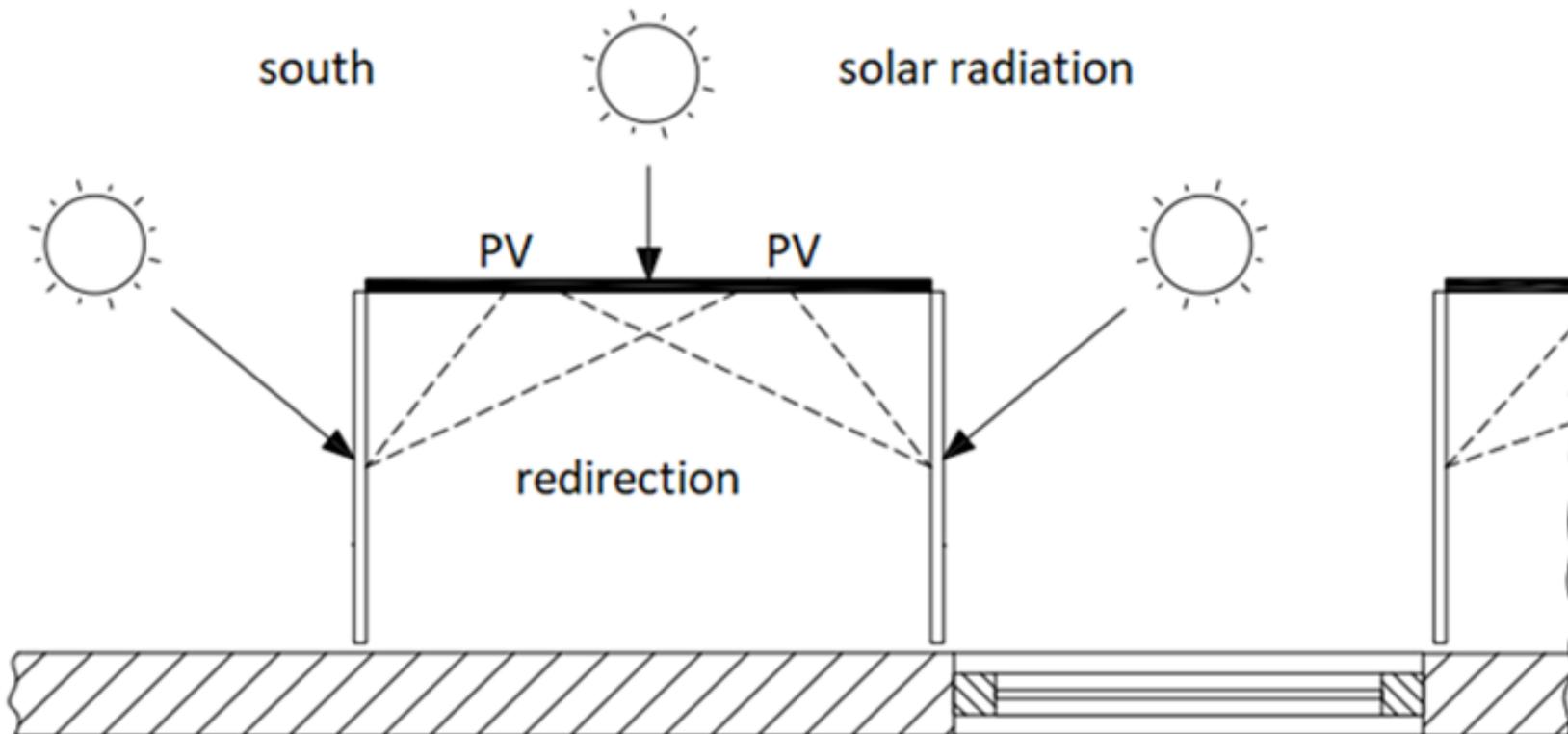
## Süd - Orientierung

### Anordnung auf geneigten Dächern oder Böschungen



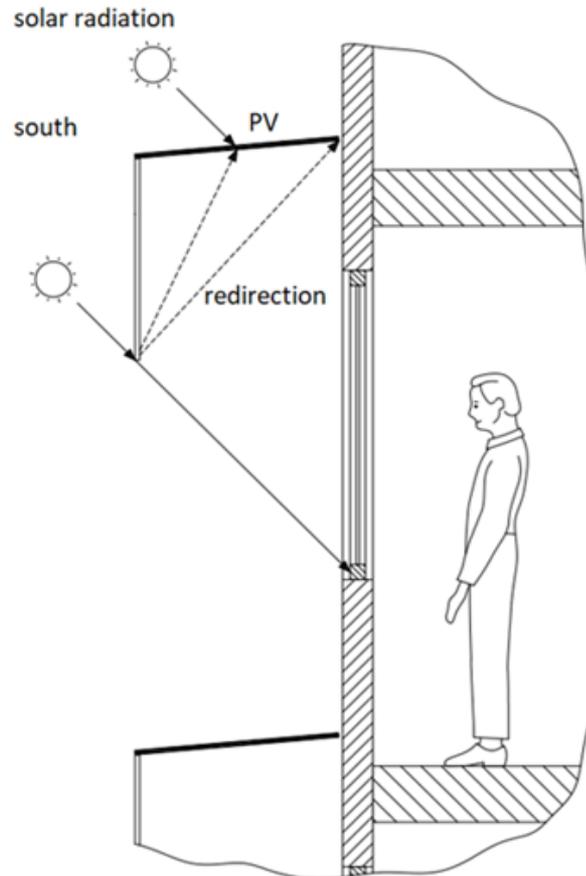
## Süd – Orientierung

### Fassadenintegration (Vertikalschnitt)



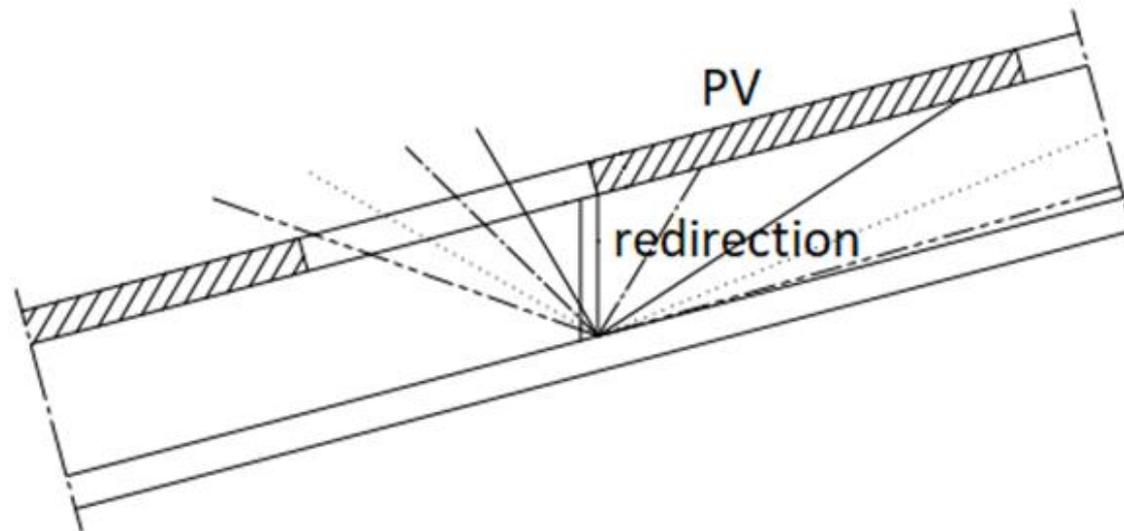
## Südorientierung

### Fassadenintegration mit Sonnenschutz



## Südorientierung

### Integration in Dachverglasung (Isolierglas)





Entwicklung mikrooptischer Strukturen zur Umlenkung von Sonnenstrahlung  
für Anwendungsmöglichkeiten von der Raumbelichtung bis zur bifazialen Photovoltaik  
EWB-Stunde, 07.09.2023, Helmut F.O. Müller, Green Building R&D GmbH

### **3. Schlussfolgerungen**

**Vielfältige Anwendungsmöglichkeiten mikrooptischer Systeme  
für Sonnenlichtumlenkung:**

- **Tageslichtbeleuchtung**
- **Bifaziale Photovoltaik**

**Voraussetzungen:**

- **Großflächiger Einsatz in Glas- oder Acrylscheiben**
- **Wirtschaftliche Fertigung**