

Gläserne Zukunft

Dr. Andreas Schüler

Labor für Solarenergie und Bauphysik

LESO-PB

Forschungsgruppe

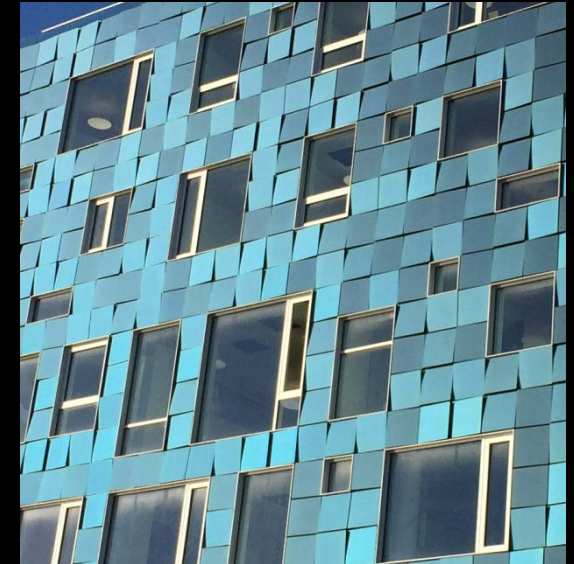
Nanotechnologien für Solarenergie

École Polytechnique Fédérale de Lausanne EPFL

COPENHAGEN INTERNATIONAL SCHOOL:

Die grösste PV Fassade der Welt

Fotos: Pilippe Vollichard



**6'600 m², 13'000 Module,
Leistung 720 kWp**

*„5-Solar powered buildings
that will forever change architecture“*

*M. D'Estries, Mother Nature Network,
www.mnn.com, September 14, 2016*

Entwicklung: LESO-PB, EPFL

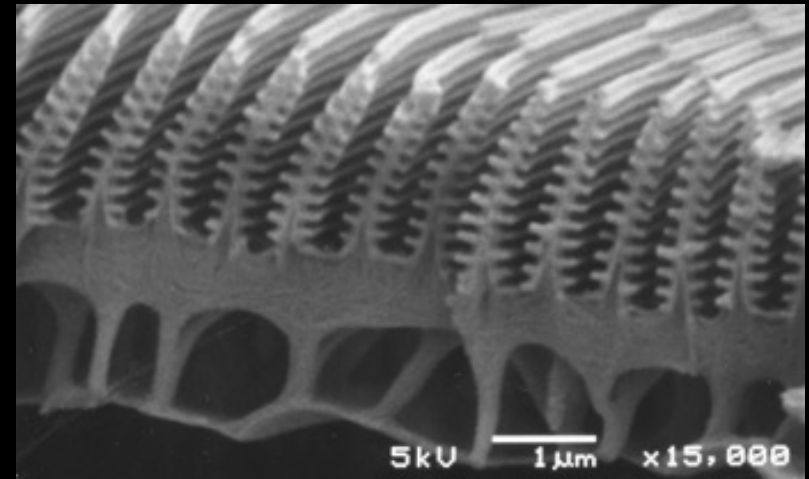
Industriepartner: SwissINSO, Emirates Insolaire, SolarLab, C.F Møller Architects

STRUKTURELLE FARBEN IN DER NATUR

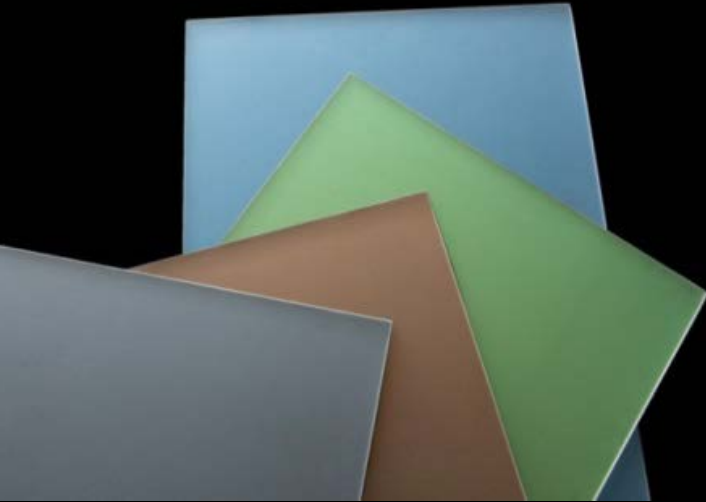
Blue Morpho Schmetterling (morpho menelaus)
Zentral- und Südamerika



Farben durch Interferenz:
Keine Pigmente, keine Absorptionsverluste



FARB-PALETTE KROMATIX



GRAU

Solare Transmission: 91 %
Relativer Energieverlust: 1 % for thermal
2 % for PV

BLAU

Solare Transmission: 89 %
Relativer Energieverlust: 3 % for thermal
4 % for PV

GRÜN

Solare Transmission: 89 %
Relativer Energieverlust: 3 % for thermal
5 % for PV

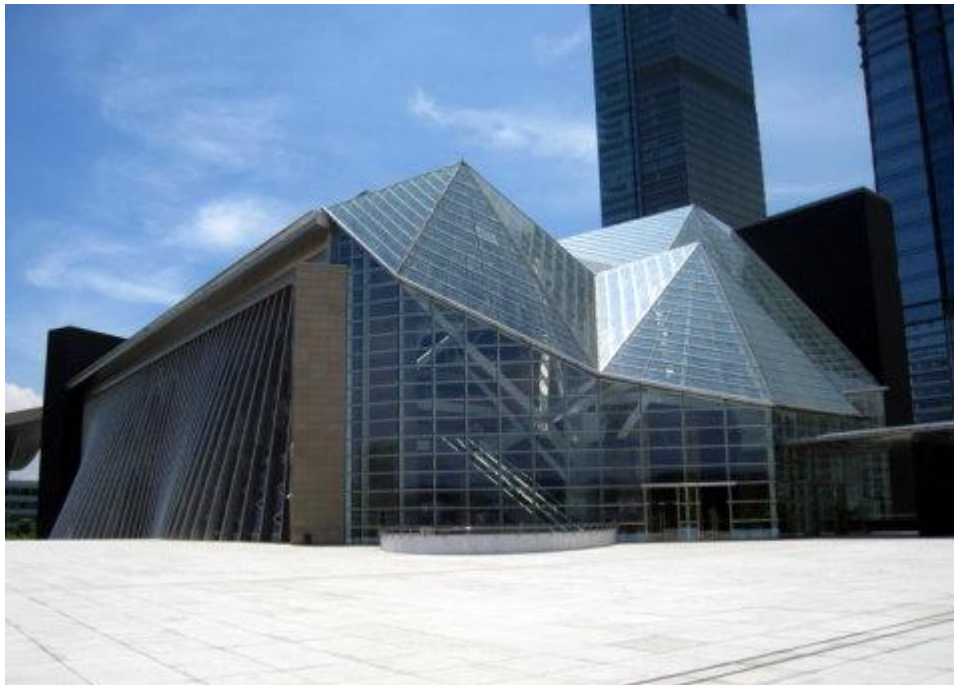
TERRACOTTA

Solare Transmission: 88 %
Relativer Energieverlust: 4 % for thermal
8 % for PV

Architekturglas

Solarenergieeintrag, Tageslichtnutzung und Sonnenschutz

Eine Bibliothek in Shenzhen (22° 32' 0" N / 114° 8' 0" E), China



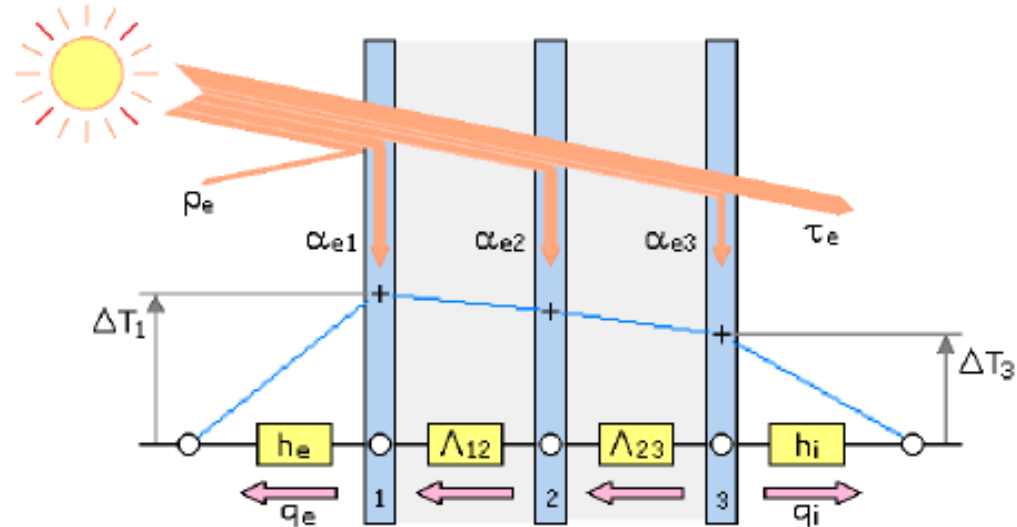
Von aussen



Von innen

Thermische und optische Kennzahlen

***Kenntnis des g-Werts
notwendig***



G. Reber et al., CISBAT 2013

Datenbanken für Architekturglas

Universität Basel / EPFL
<http://glassdbase.epfl.ch>

Lawrence Berkeley National Laboratories
<http://windows.lbl.gov/materials/IGDB>

Wärmedämmung: U-Wert

Solarenergie-Eintrag: g-Wert

$$g = \tau_e + q_i$$

Elektrochrome Fenster



Kimmel Center for the Performing Arts, Philadelphia
BLT Architects, SAGE

Elektrochrome Fenster



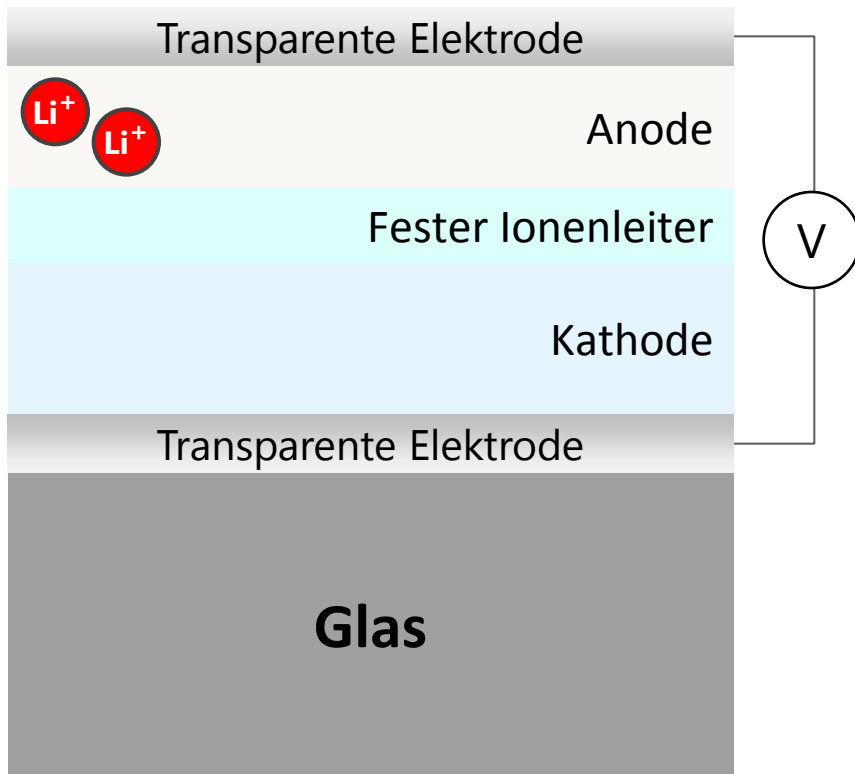
Erste Prototypen



Ausgasen des flüssigen Elektrolyten

Funktionsprinzip

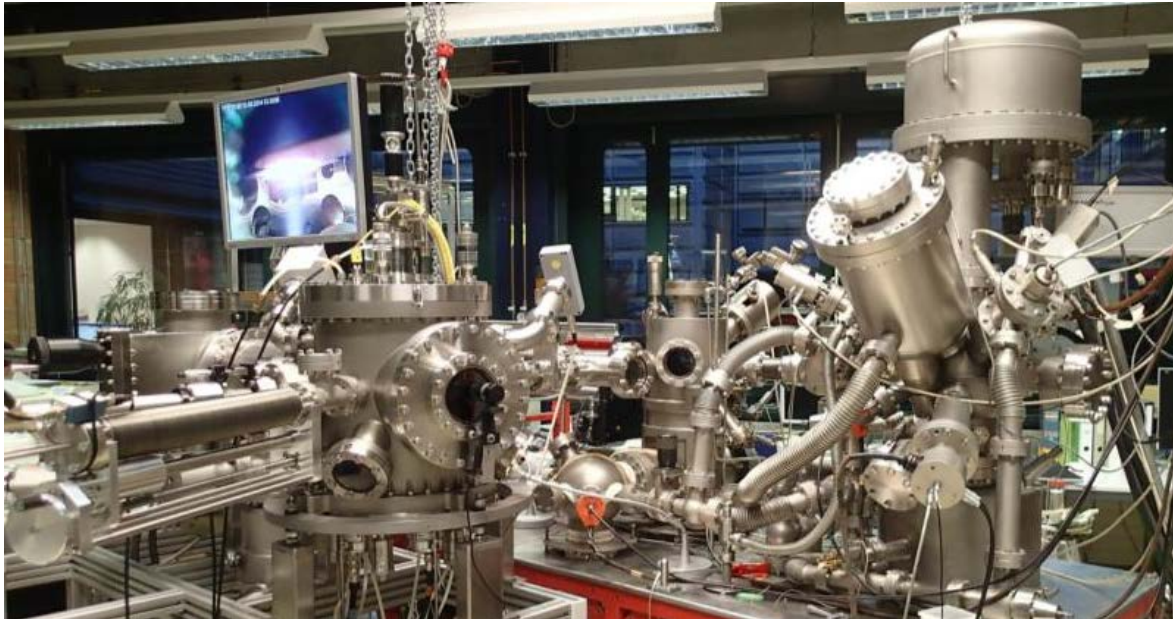
Technologie "All-solid-state"



- Transport von Lithiumionen
- Hohe Lebensdauer dank festem Ionenleiter

Beschichtungstechnik Materialentwicklung

Labor am LESO-PB (EPFL)



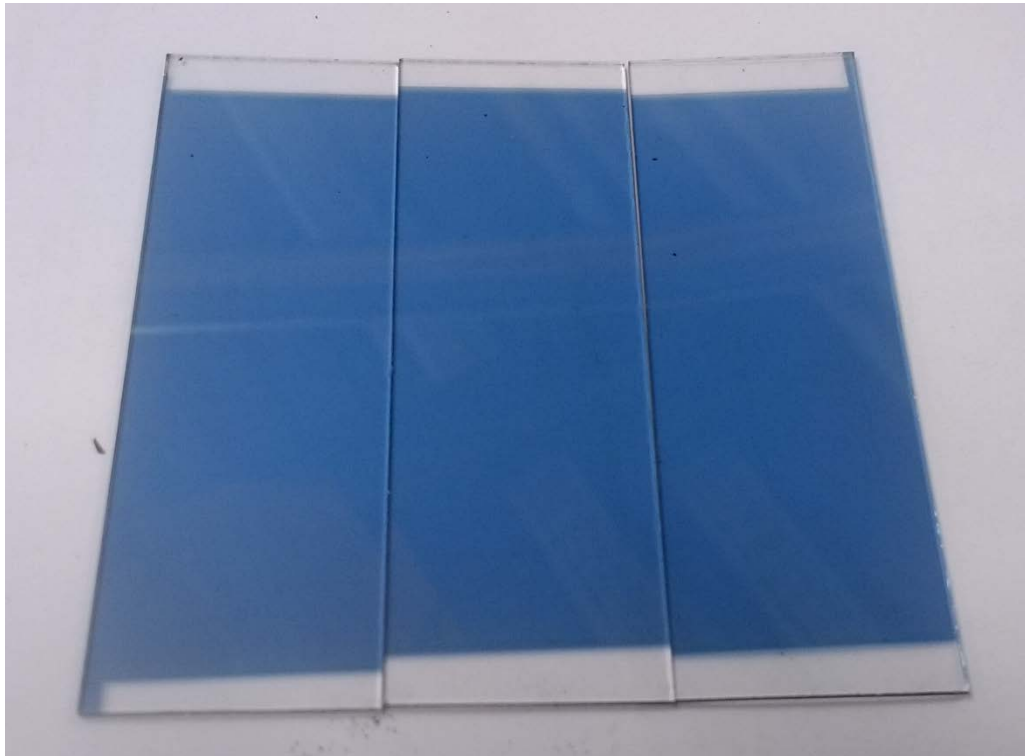
Forschungsgruppe A. Schüler

**Plasma während des
Beschichtungsprozesses**

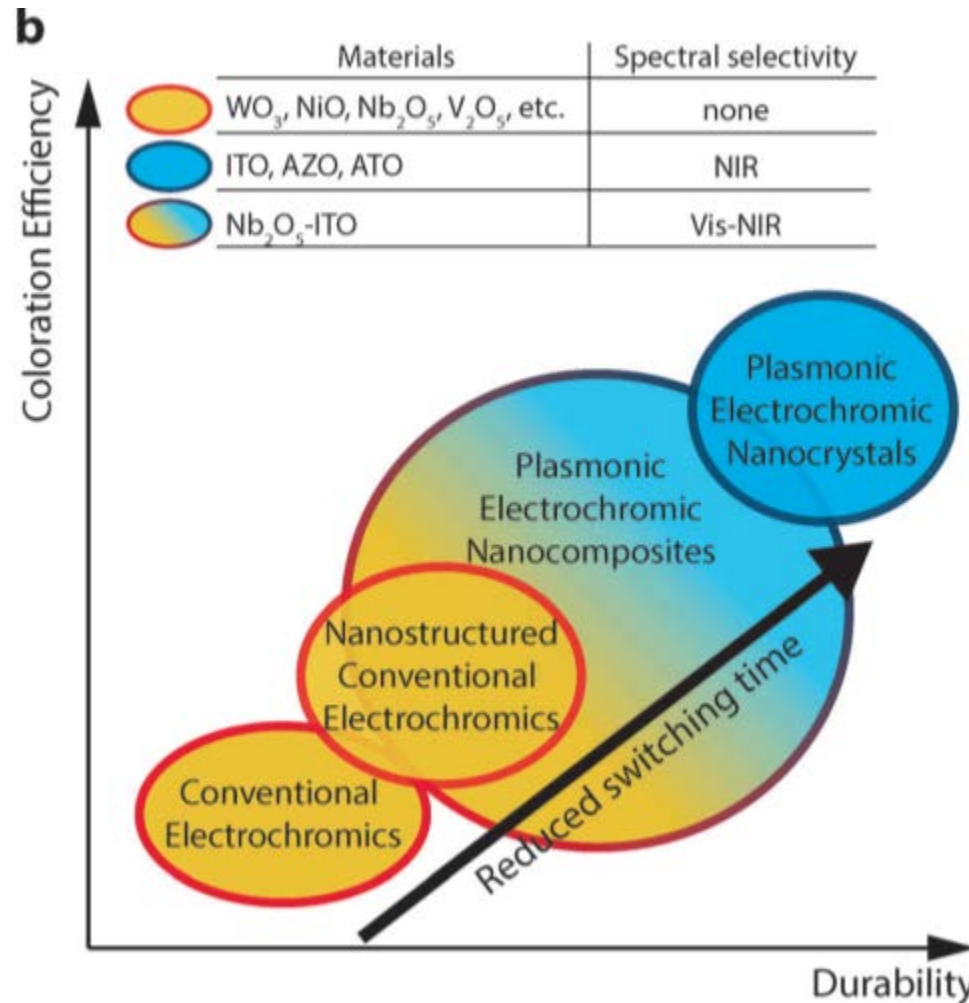


Einbringen von Lithiumionen

- Einfärbung von WO_3 im Vakuumprozess
- Homogen auf 75mm x 75 mm
- Keine flüssiger Elektrolyt nötig



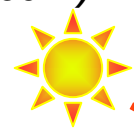
Elektrochrome Materialien für die Zukunft





Lichtumlenkung im Winter

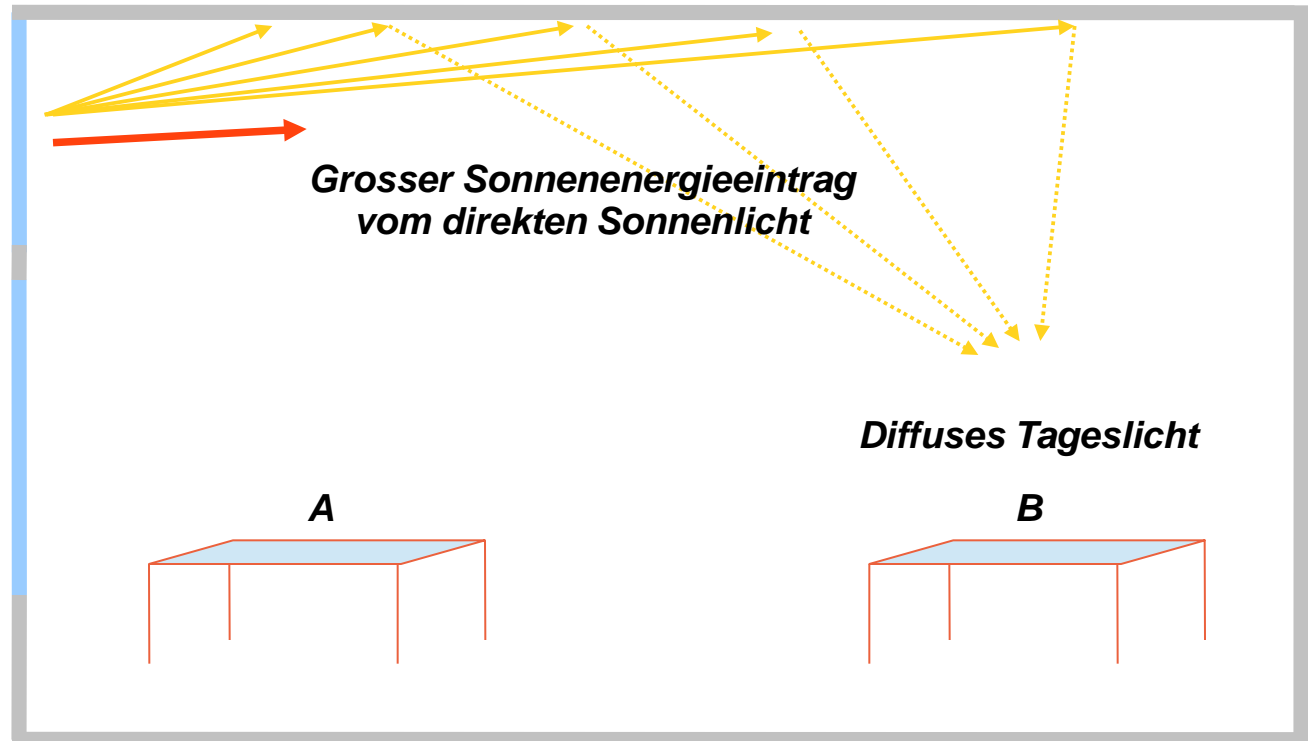
Wintersonne
(20-50°)



Diffuses Licht



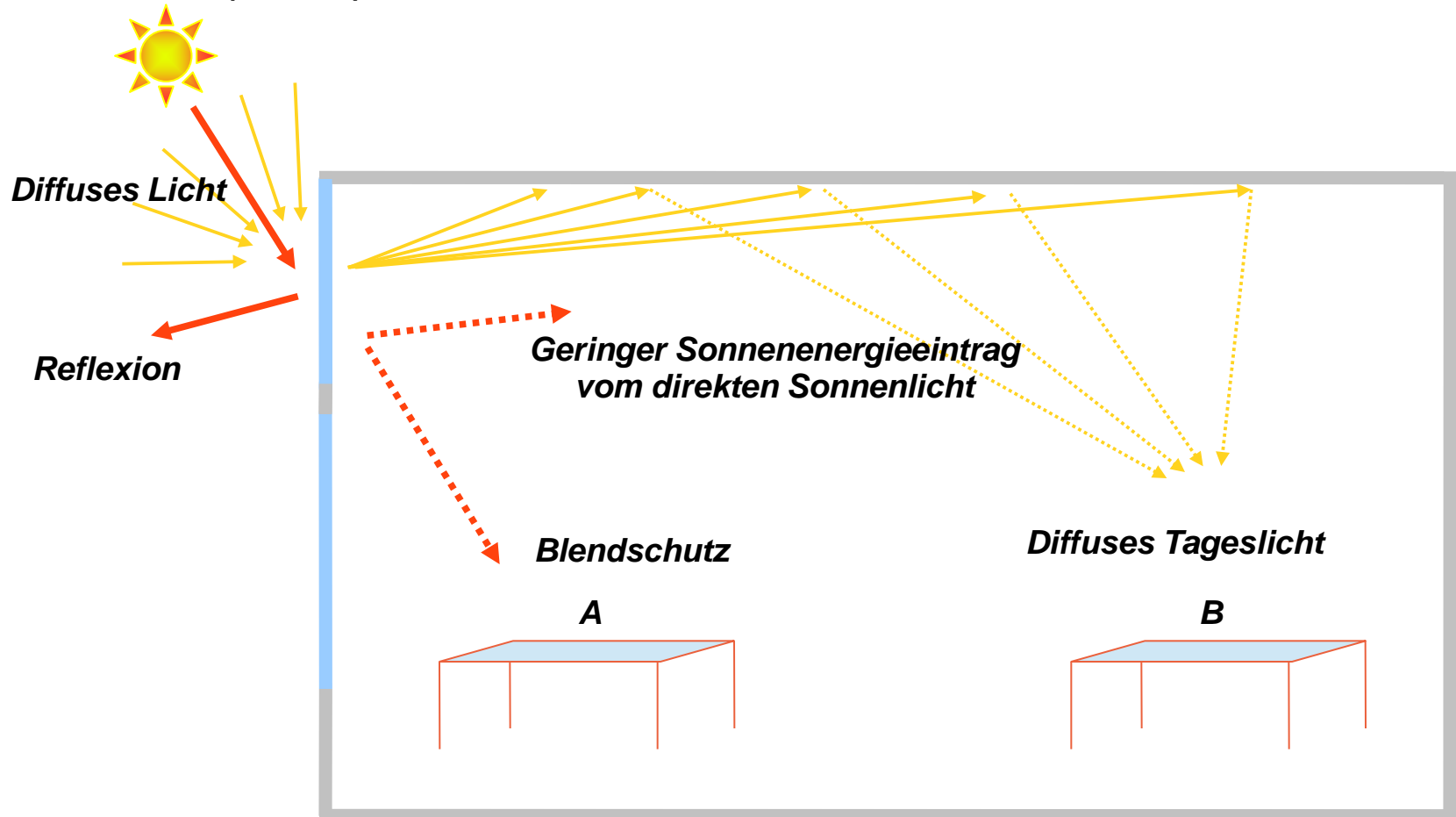
Geringe Reflexion





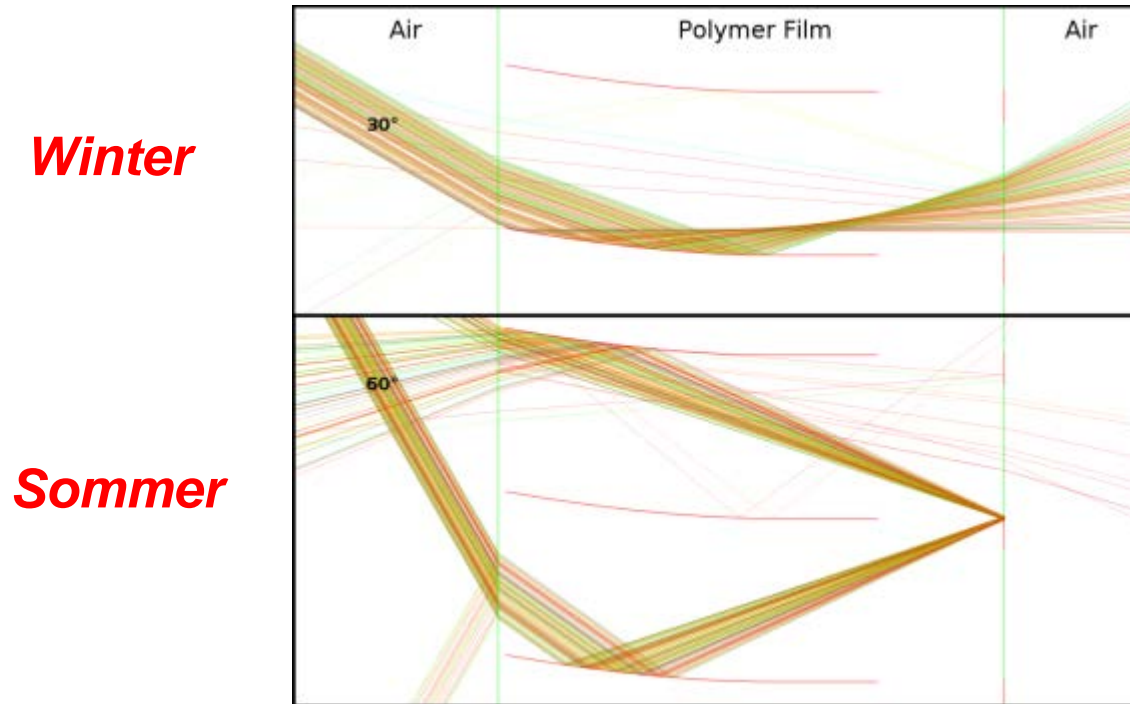
Lichtumlenkung im Sommer

Sommersonne (50-60°)



Saisonabhängiger g-Wert

Neue optische Mikrostrukturen



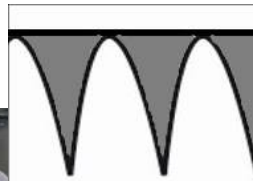
A. Kostro, A. Schüler, EPFL/LESO-PB
 Patentanmeldung
 Partner: BASF Schweiz

Prozessschritte im Labor

Lasergravur

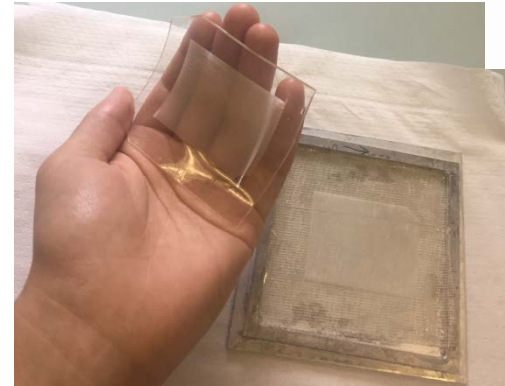


mit Gruppe Prof. P. Hoffmann, EMPA Thun

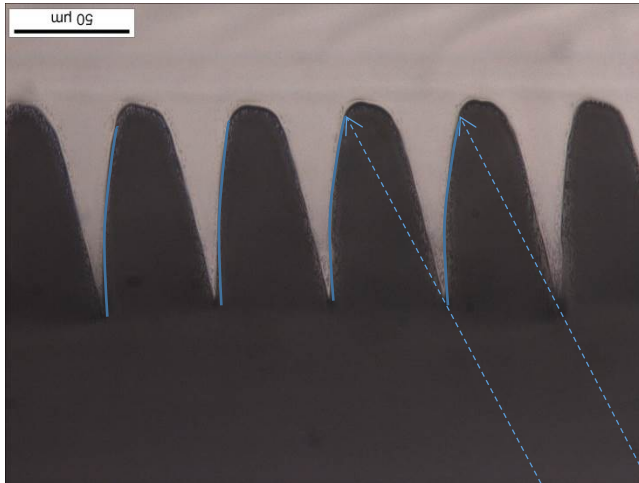


+

Nachbildung in PDMS

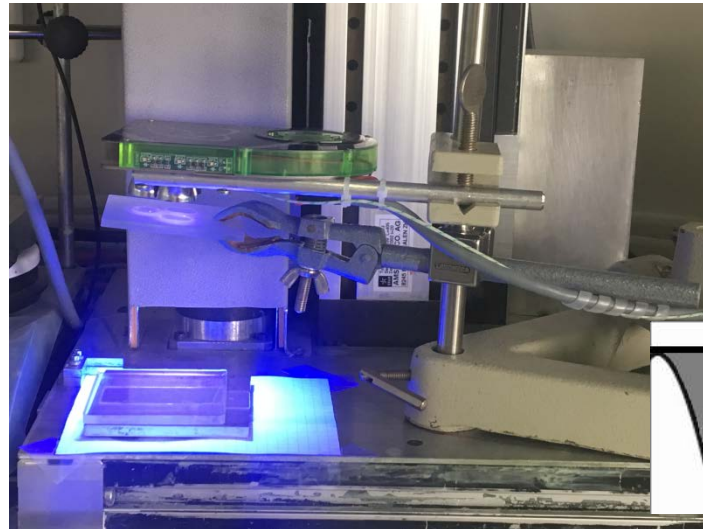


Verspiegelung der Flanken

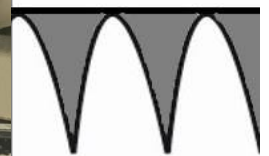


Aufdampfen

Aushärtung von HBP mit UV Licht



+

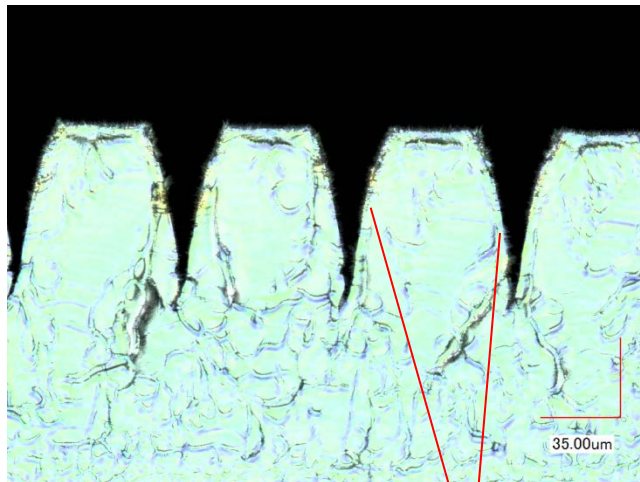


Lasergravur

Profil der optischen Maske

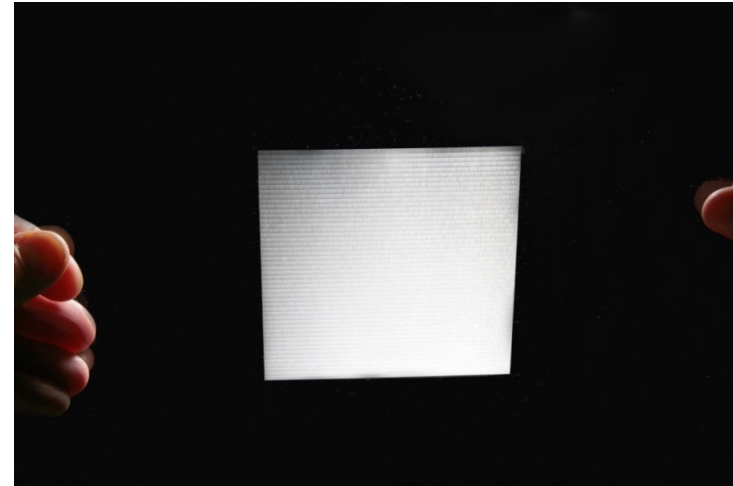


Profil der Mikrostrukturen



Die Flanken werden
verspiegelt

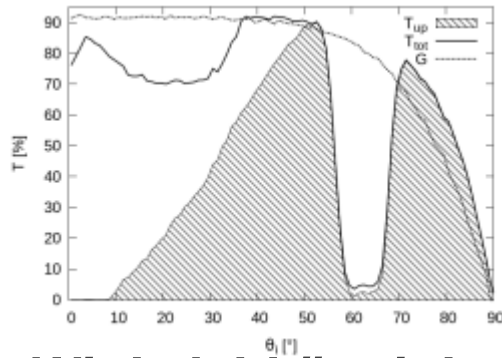
Master – Form 10 x 10 cm²



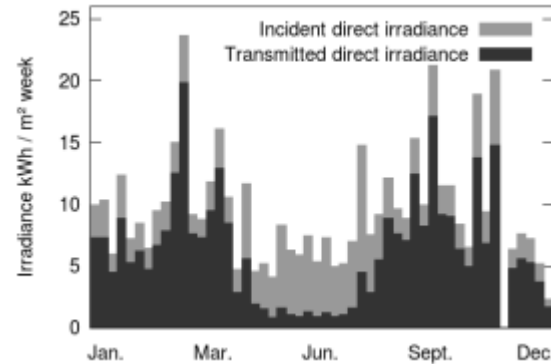
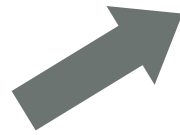
Jing Gong*, Georgios Violakis, Daniel Infante, Patrik Hoffmann, André Kostro, Andreas Schüler. SPIE Proceedings Volume 10520, Laser-based Micro- and Nanoprocessing XII; 105200Z (2018)

Mikrostrukturen für Tageslichtnutzung

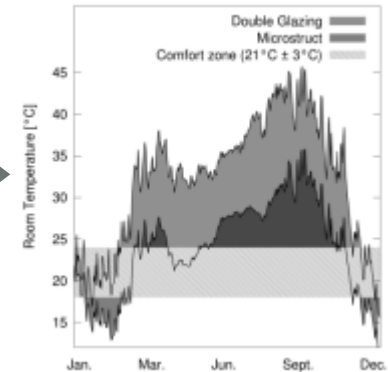
Computersimulationen



Winkelabhängigkeit



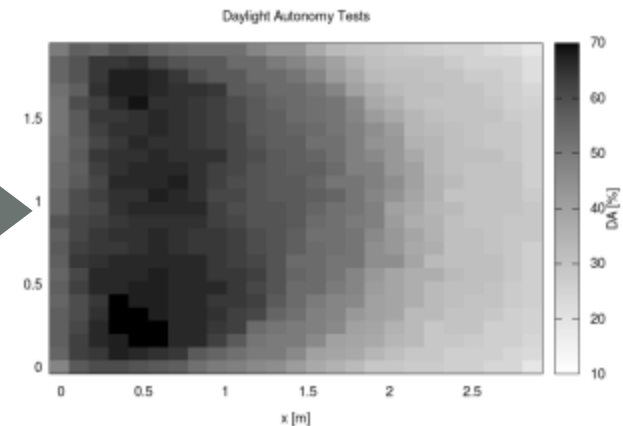
**Thermischer
Energieeintrag**



Temperaturverlauf



**Ray-Tracing
Simulationen**



Tageslicht-Metrik

Ausblick:



Neue Wärmeschutzfenster mit hoher Durchlässigkeit für die Wellen der Mobilkommunikation

Entwickelt für den Zug,
in der Zukunft auch im Gebäude?



RABe 525 NINA, BLS

Tests:

- » Swisscom
- » SUPSI

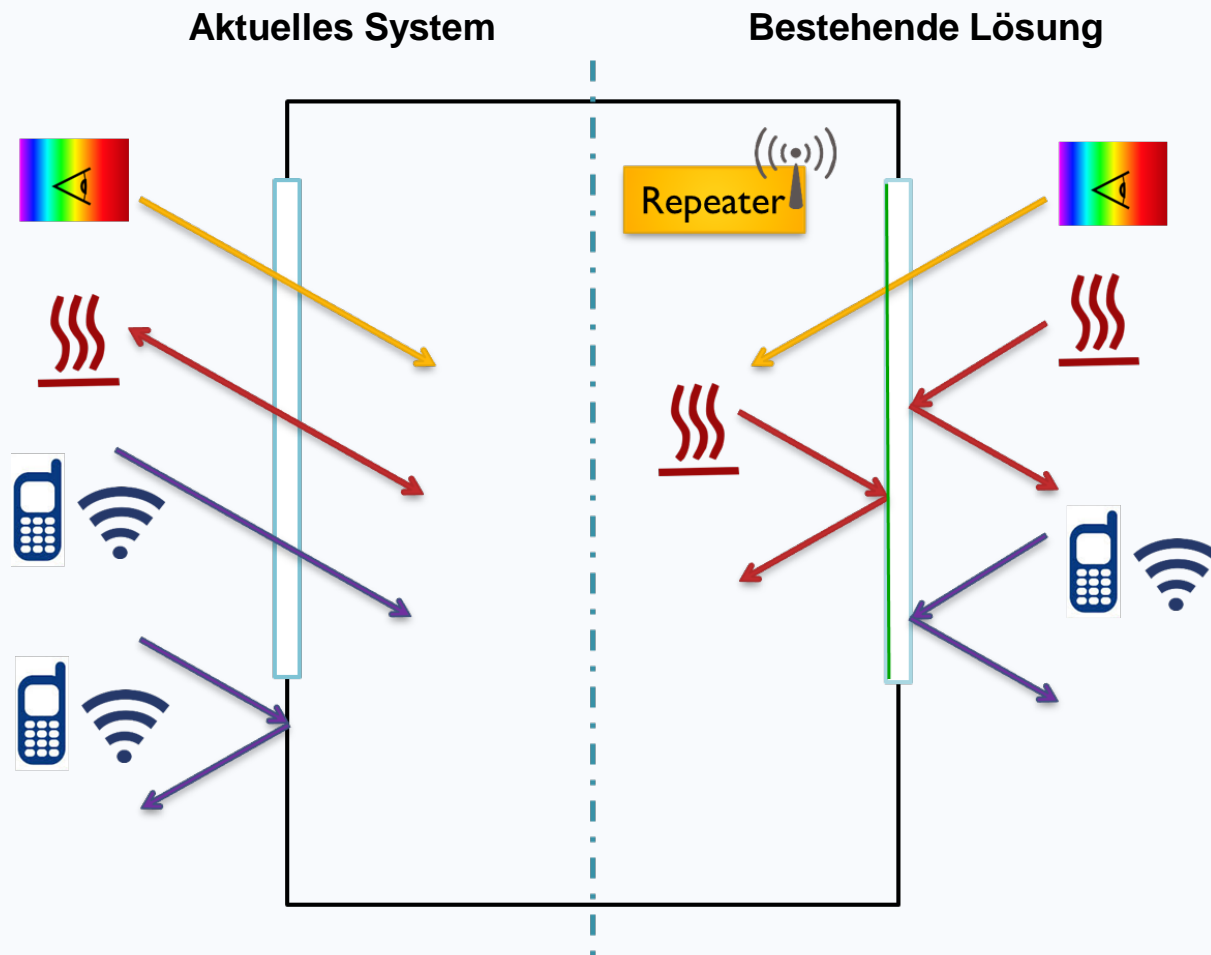
*O. Bouvard, M. Lanini, L. Burnier, R Witte, B. Cuttat, A. Salvadè, A. Schüler,
Appl. Phys. A (2017) 123:66*

*L. Burnier, M. Lanini, O. Bouvard, D. Scanferla, A. Varathan, C. Genoud,
A. Marguerit, B. Cuttat, N. Dury, R. Witte, A. Salvadè, A. Schüler,
IET Microw. Antennas Propag., 2017, Vol. 11 Iss. 10, pp. 1449-1455*

<http://actu.epfl.ch/news/train-windows-that-combine-mobile-reception-and-th/>

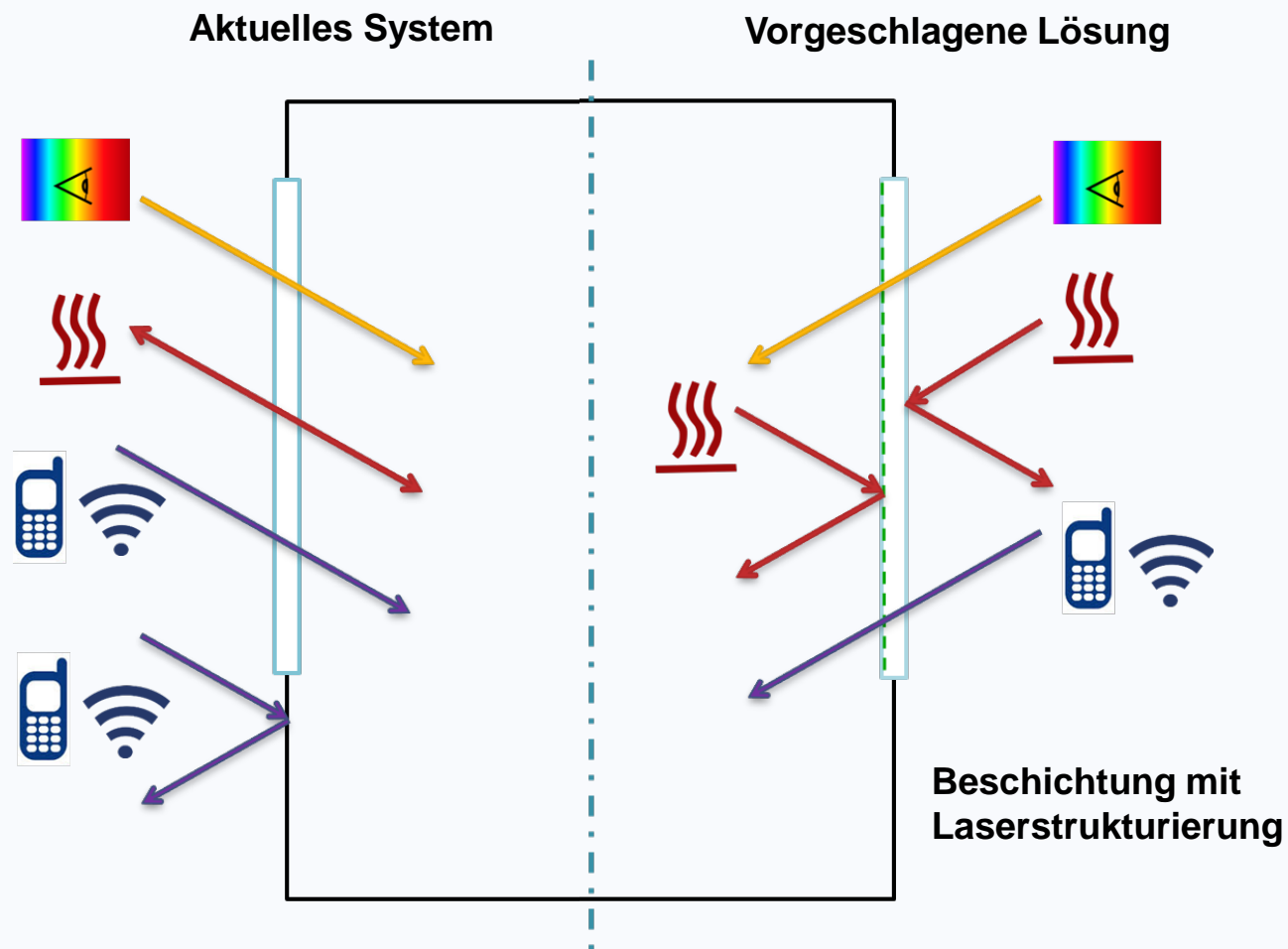
Zugfenster

Beschichtung mit tiefem Emmissionsvermögen oder nicht ?



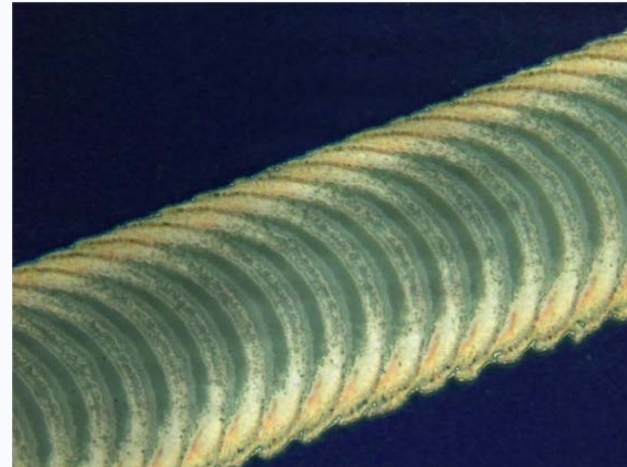
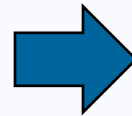
Zugfenster

Beschichtung mit tiefem Emmissionsvermögen oder nicht ?





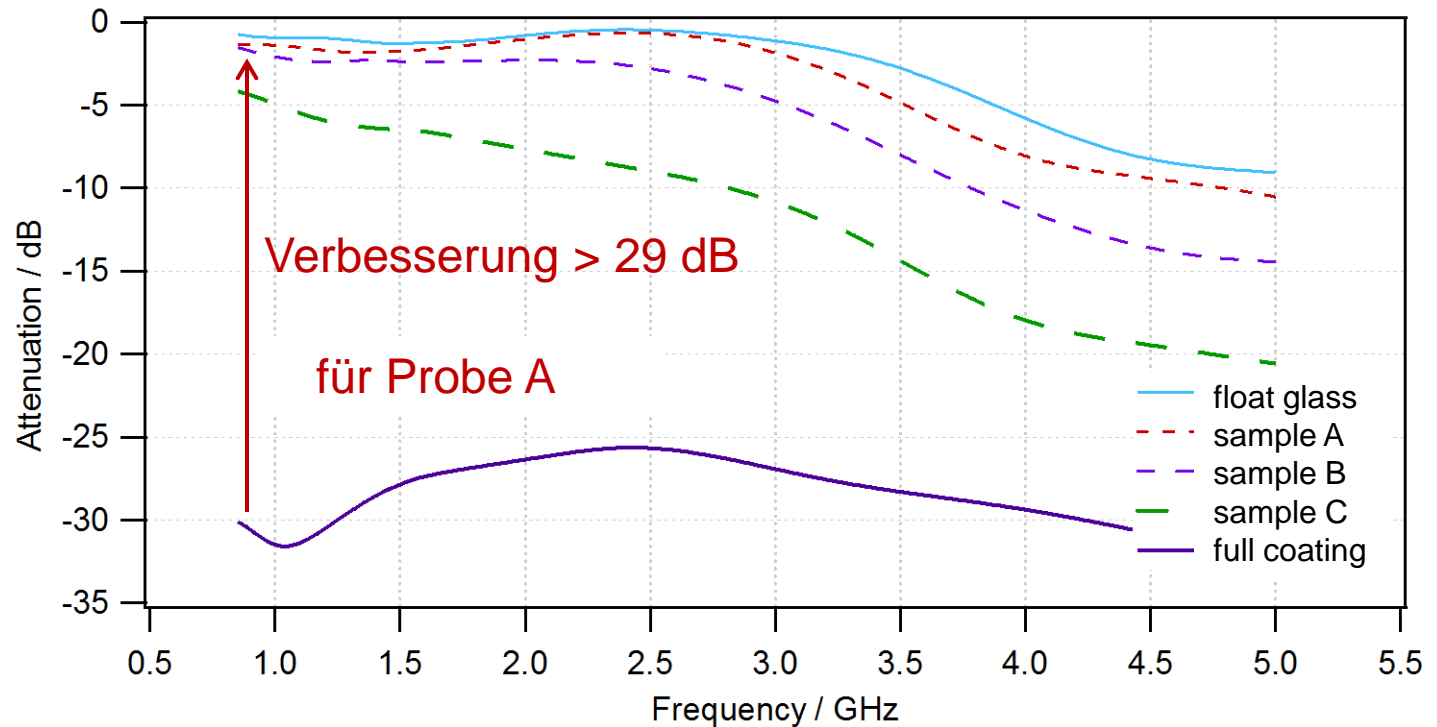
Modifikation der Beschichtung



Laserbehandlung

- Die Beschichtung wird durchlässig für Mikrowellen

Durchlässigkeit für Mikrowellen



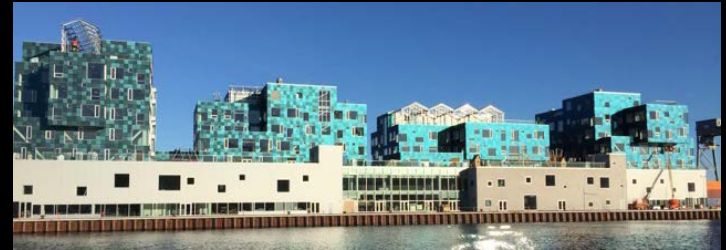
Probe B: Verbesserung 28.9 dB

Probe A: Verbesserung 29.3 dB

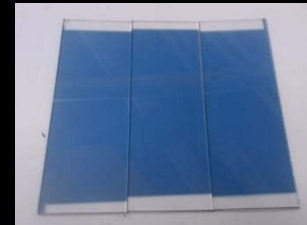
Zusammenfassung



- **Farbiges Solarglas**
für die architektonische
Integration von Photovoltaik und
thermischen Sonnenkollektoren



- **Beschichtung mit variabler Tönung**
für elektrochrome Fenster



- **Mikrospiegel**
für die Optimierung des Tageslichts, den
visuellen Komfort und die Solarenergieeinträge
je nach Jahreszeit



- **Neue Wärmeschutzfenster mit
Durchlässigkeit für Mikrowellen**
für die Mobilkommunikation



Danksagung



Solar Energy Laboratory LESO @ EPFL

Anna Krammer, Luc Burnier, Jeremy Charmillot, Jing Gong, Antoine Delaunay, Martin Joly, Antonio Paone, André Kostro, Mathieu Perrenoud, Samson Taylor, Virginie Le Caër, Nicolas Jolissaint, Mario Geiger, Alexandre Dievert, Marina Gonzalez, Djamel Mansour, Pierre Loesch, Laurent Deschamps, Paul Becquelin, Maria-Cristina Munari-Probst, Christian Roecker, Prof. Jean-Louis Scartezzini

Collaborations on campus EPFL

Yves Leterrier, Rémy Teuscher (LTC), Philippe Flückiger, Cyrille Hibert (CMI), Prof. Thomas Keller

SUPSI TTHF

Matteo Lanini, Prof. Andrea Salvadè

University of Basel

Andreas Tonin, Prof. Peter Oelhafen

HSLU Horw

Franz Sidler, Nadège Vetterli, Lars Oliver Grobe, Marek Krehel, Prof. Gerhard Zweifel, Prof. Sabine Sulzer Worlitschek, Prof. Stephen Wittkopf, Prof. Urs-Peter Menti

EMPA Thun

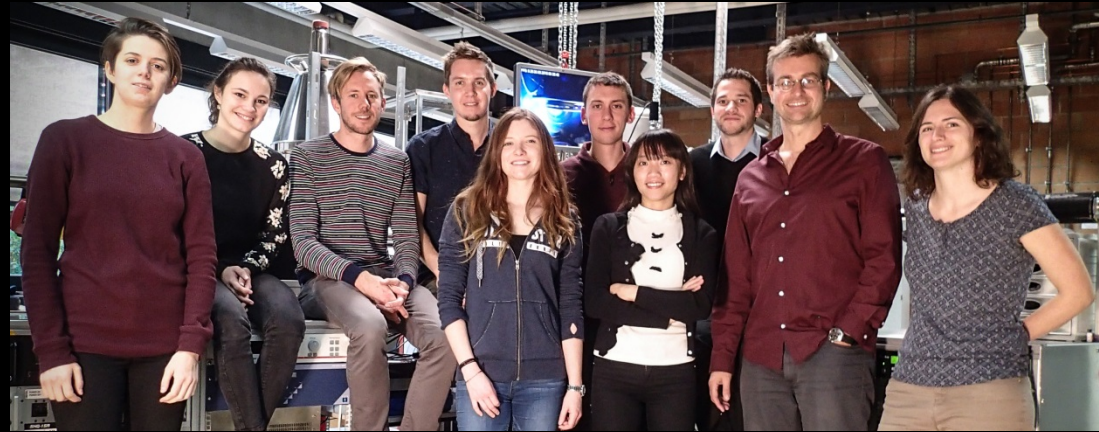
Georgios Violakis, Daniel Infante, Prof. Patrik Hoffmann

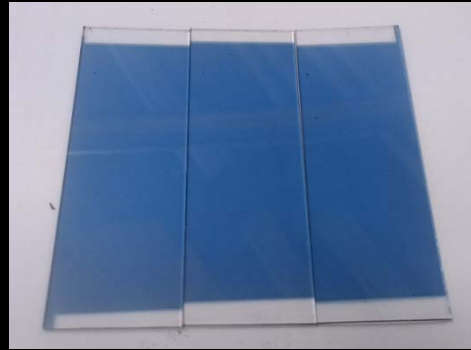
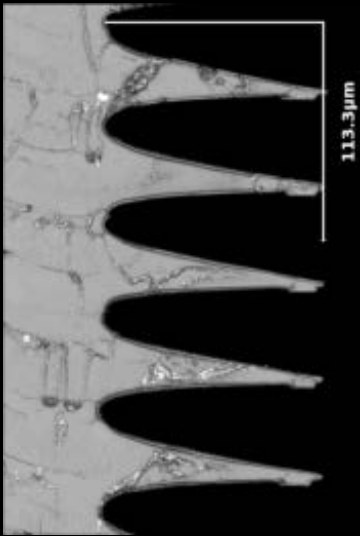
Financial support

*Swiss Federal Energy Office SFOE
Commission for Technology and Innovation CTI Switzerland
SCCER FEED&D
Swiss National Science Foundation SNF*

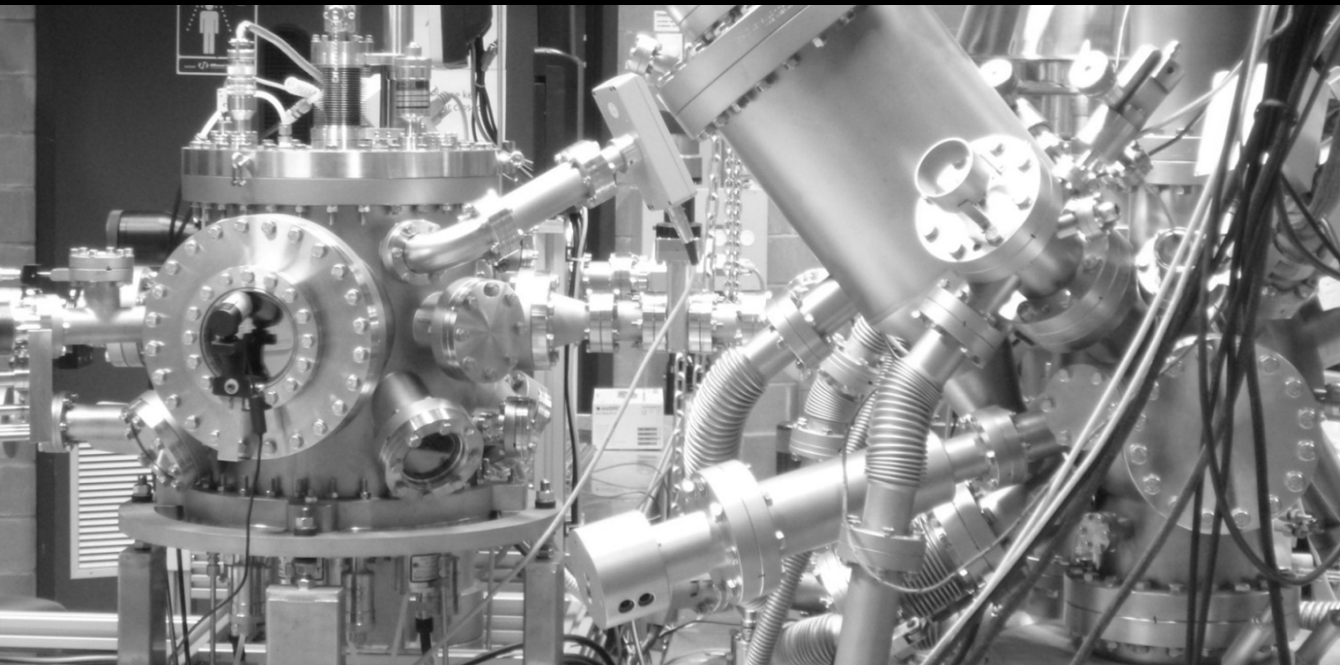
Industrial partners:

Emirates Insole, SwissInso, Schweizer, BASF Switzerland, Solar Control SA, Glas Trösch, e-control, Plansee, AGC-Verres Industriels Moutier, Class4Laser, Swisscom, Bern-Lötschberg-Simplon Bahn BLS, ...





Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



ÉCOLE POLYTECHNIQUE
FÉDÉRALE DE LAUSANNE