

# **Architekturintegrierte Photovoltaik Forschung und Praxis**

Prof. Dr. Stephen Wittkopf, Architekt  
Co-Leiter Kompetenzzentrum Gebäudehülle

Energieapéro Graubünden  
Chur/Poschiavo, 30. August 2017

## **Architekturintegrierte Photovoltaik**

- Architektur-integrierte Photovoltaik
- Farbige PV Module – Forschung und Entwicklung
  - Prototypen, Produkte
- PV Fassade Swissness
  - Angewandte Forschung
  - Konstruktion
  - Monitoring

# Integration von Photovoltaik

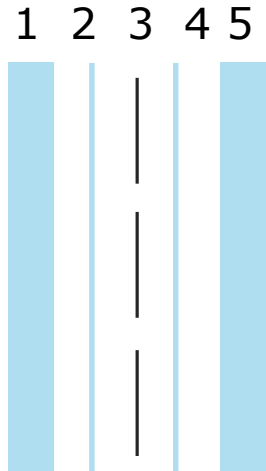
Gebäude



Architektur



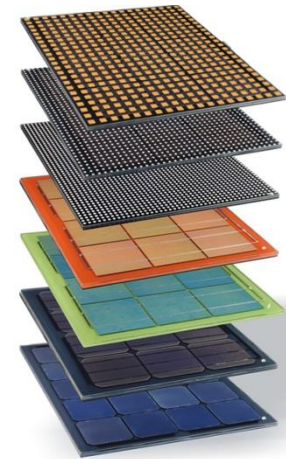
# Übersicht – Wie wird Farbigkeit in PV Modulen realisiert?



Prinzip Skizze

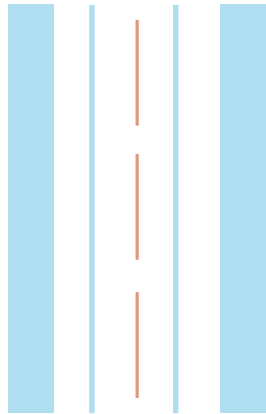
1. Glas
2. Schmelzfolie
3. Photovoltaik
4. Schmelzfolie
5. Glas

Schichtenaufbau



Produktbeispiele

## Farbige PV Zellen (transparent)



Prinzip Skizze

- Glas
- Folie
- **Grätzel Zelle**
- Folie
- Glas

Schichtenaufbau

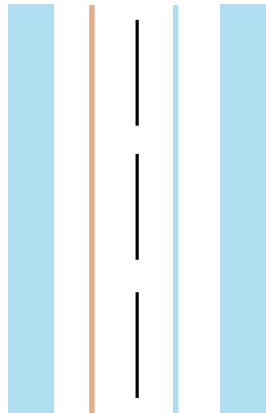


Prof. M. Grätzel @ EPFL



Swisstek Convention Center@EPFL

## Streu- und Reflexionsfilter



Prinzip Skizze

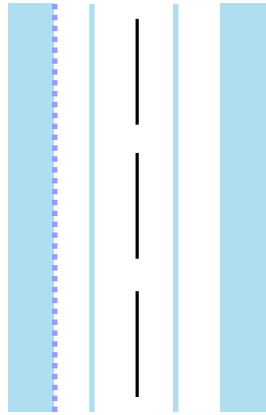
- Glas
- **Streu**filter
- Photovoltaik
- Schmelzfolie
- Glas

Schichtenaufbau



Prof C. Ballif @ CSEM, EPFL

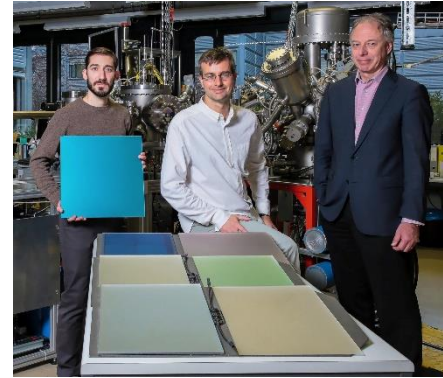
## Spektral selektive Beschichtung auf Glas



Prinzip Skizze

- **Beschichtung**
- Schmelzfolie
- Photovoltaik
- Schmelzfolie
- Glas

Schichtenaufbau

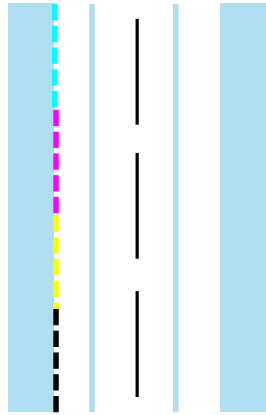


A. Schüler et al. @ EPFL



Kohlesilo Basel

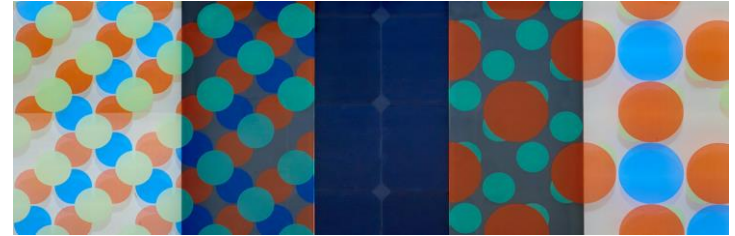
## Mehrfarbiger **Keramischer Digitaldruck** auf Glas



Prinzip Skizze

- **Glas Druck**
- Schmelzfolie
- Photovoltaik
- Schmelzfolie
- Glas

Schichtenaufbau



Mehrfarbige PV Module @ HSLU



PV Glasbox Energie Challenge @ Luzern



## PV Fassade „Swissness“



- Hintergrund, Motto, Alleinstellungsmerkmal
- Forschung
  - meta-c-print© Methode (Hochschule Luzern)
  - Monitoring (Feld- und Labormessungen)
  - Building Information Modelling (BIM)
- Produktionsschritte
- Webseite

## Motto und Alleinstellungsmerkmal

SCHÖN VIEL  
**STROM**  
*PRODUZIEREN*

WEG VOM TRISTEN  
**EINHEITSLOOK**

---

Photovoltaik (PV)-Module können nicht nur Strom produzieren, sie können auch gut aussehen.

Ob einfarbig, mit Mustern, Logos oder Text:  
Für PV-Fassaden und Dächer eröffnen sich völlig neue  
und individuelle Gestaltungsmöglichkeiten.

Die Kantonsfahnen sowie die Bundesfahne  
stehen hier für «Swissness» und unseren nationalen  
Beitrag zur Energiewende.

## **Forschung der Hochschule Luzern: Die meta-c-print© Methode**

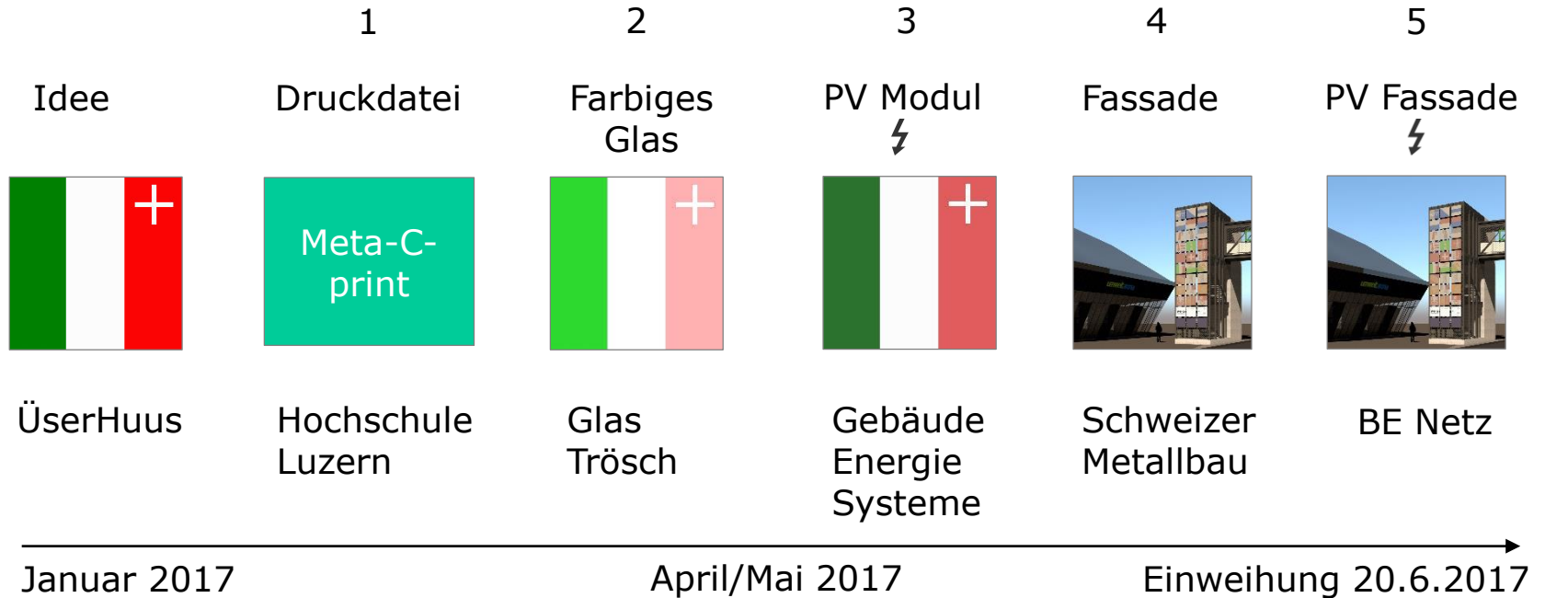
Herausforderungen:

1. Einfärbungen von PV Gläsern führt zu erheblichen und unkontrollierten Leistungsverlusten von bis zu 50%, die wirtschaftlich nicht mehr tragbar sind.
2. Verschiedene Farben ergeben unterschiedlich starke Verschattungen auf einer Modulfläche, was neben Leistungsverlusten auch zu thermischen Spannungen führen kann (Hot-Spots), die die PV-Module langfristig beschädigen können.
3. Module haben je Farbe und Muster unterschiedliche Leistungen (trotz gleicher Grösse), was die Verkabelung aufwendiger macht.

### **Lösung: meta-c-print© Methode**

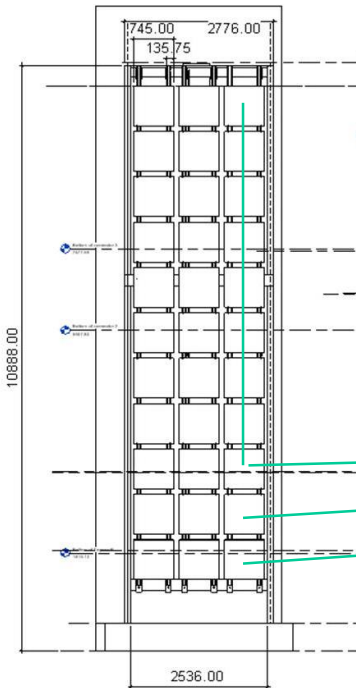
1. Leistungsverluste können gezielt reduziert werden, z.B. auf 20%.
2. Bei Motiven mit mehreren Farben sind Hot-Spots reduziert.
3. PV-Module können gezielt auf gleiche Leistung produziert werden.

## Produktionsschritte



Planung und Koordination: Hochschule Luzern

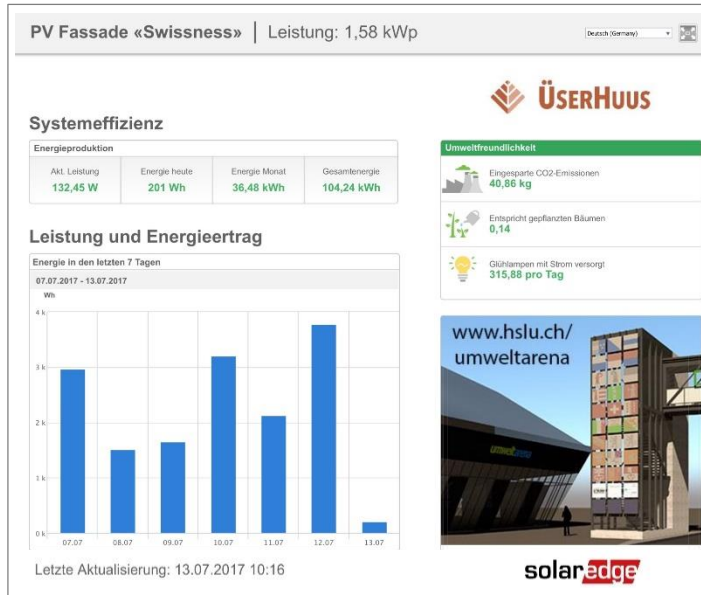
## Konstruktion



- 1.54 kWp installierte Leistung
  - 27 bedruckte multikristalline PV-Module mit je ca. 50 Wp\*
  - 3 unbedruckte multikristalline PV-Module mit je ca. 64 Wp
- SolarEdge Wechselrichter
  - 10 Poweroptimizer für jeweils 3 horizontal benachbarte PV-Module
  - Wechselrichter mit Webzugang (Öffentlich und Admin)
- 22.4 m<sup>2</sup> hinterlüftete Fassadenfläche (2.44 x 9.2m)
  - bestehend aus 33 quadratischen Platten (745x745x10.5mm) mit 100mm vertikalen und horizontalen Zwischenräumen
  - 27 bedruckte Glas-Glas PV-Module
  - 3 bedruckte Schrifftafeln aus laminiertem Sicherheitsglas
  - 3 unbedruckte Glas-Glas PV-Module als Referenz
- Unterkonstruktion
  - Konvortec System mit Haken, Tragprofilen und Konsolen
  - Massgefertigte Klemmen zur Befestigung an vorhandenen Stahlbau

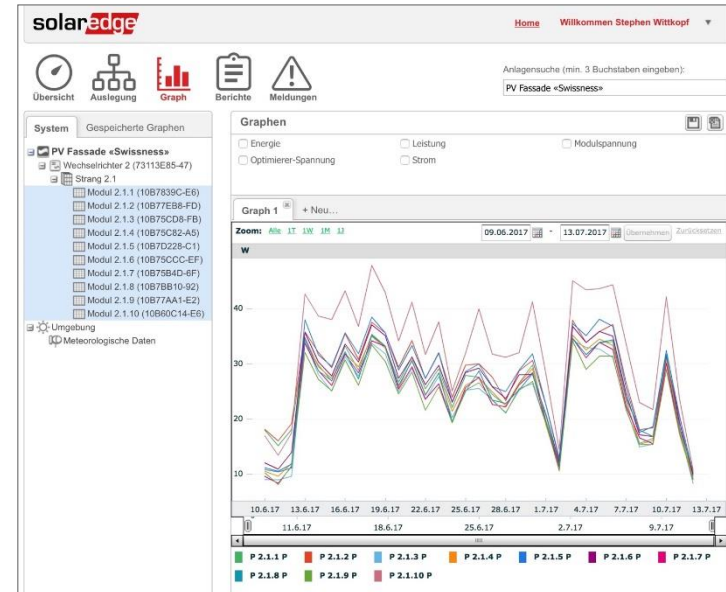
# Monitoring

## Öffentliche Anzeige\*



\*) via [www.hslu.ch/umweltarena](http://www.hslu.ch/umweltarena) und im Besucherbereich der Umweltarena

## Admin Zugang\*\*



\*\*\*) Detaillierte Auswertungen werden unter [www.hslu.ch/umweltarena](http://www.hslu.ch/umweltarena) veröffentlicht

# Monitoring: Detailinformationen im Admin Zugang

The image displays a SolarEdge monitoring interface. On the left, a photograph of a building facade with solar panels is shown. A list of groups is provided, with arrows pointing to specific modules in the main interface. The main interface shows a list of modules under 'System' and a detailed graph for 'Modul 2.1.10'. The graph shows power output (W) over time from June 10, 2017, to July 13, 2017.

Gruppen

- Alle
- AG-ZH-ZG
- LU-SO-TI
- BL-BS-FR
- JU-SG-GL
- SZ-CH-VS
- NE-VD-TG
- BE-AI-AR
- UR-GR-SH
- NW-GE-OW
- Referenz

| Modul ID | Produktion (kWh) |
|----------|------------------|
| 2.1      | 113,74           |
| 2.1.1    | 11,4             |
| 2.1.2    | 12,59            |
| 2.1.3    | 10,43            |
| 2.1.4    | 10,74            |
| 2.1.5    | 11,7             |
| 2.1.6    | 11,53            |
| 2.1.7    | 10,33            |
| 2.1.8    | 10,51            |
| 2.1.9    | 10,08            |
| 2.1.10   | 14,44            |

System: PV Fassade «Swissness»  
Inverter: Inverter 2 (73113E85-47)  
Strang 2.1

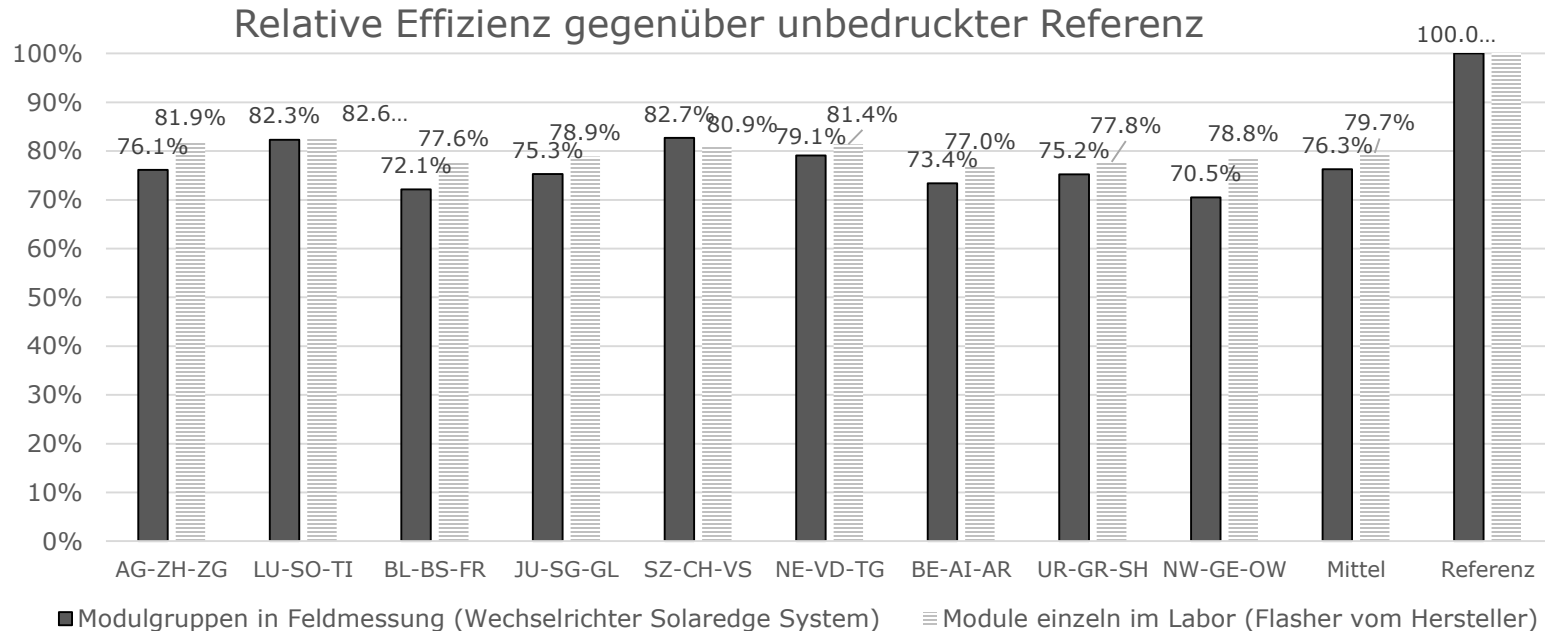
- Modul 2.1.1 (10B7839C-E6)
- Modul 2.1.2 (10B77EB8-FD)
- Modul 2.1.3 (10B75CD8-FB)
- Modul 2.1.4 (10B75C82-A5)
- Modul 2.1.5 (10B7D228-C1)
- Modul 2.1.6 (10B75CCC-EF)
- Modul 2.1.7 (10B75B4D-6F)
- Modul 2.1.8 (10B7BB10-92)
- Modul 2.1.9 (10B77AA1-E2)
- Modul 2.1.10 (10B60C14-E6)

Graphen: Energie, Leistung, Modulspannung, Optimierer-Spannung, Strom

Graph 1: Zoom: Alle 1T 1W 1M 1J. Zeitraum: 09.06.2017 - 13.07.2017

Legende: P 2.1.1 P, P 2.1.2 P, P 2.1.3 P, P 2.1.4 P, P 2.1.5 P, P 2.1.6 P, P 2.1.7 P, P 2.1.8 P, P 2.1.9 P, P 2.1.10 P

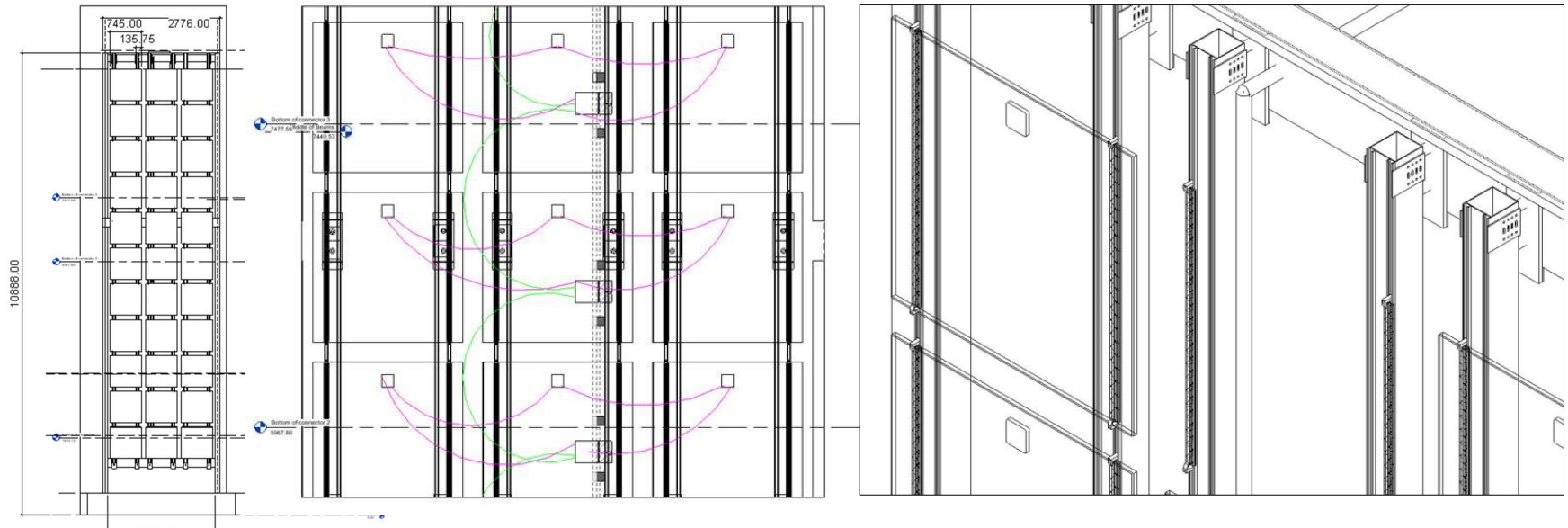
## Auswertung pro PV-Modulgruppen: Feld- und Labormessung



Wechselrichter Daten aus Admin Zugriff vom 17.6.- 11.7.2017 berücksichtigt



# Building Information Modelling BIM



BIM wird begleitend eingesetzt, um die Möglichkeiten bei Planung, Realisierung und Betrieb zu sondieren. Resultate stehen noch aus.

# Website: [www.hslu.ch/umweltarena](http://www.hslu.ch/umweltarena)

Umwelt Arena Photovoltaik-Fassade  
«Swissness» in der Umwelt Arena Schweiz

«Schön viel Strom produzieren» – Unter diesem Motto präsentieren die Hochschule Luzern – Technik & Architektur, die Üserhuus AG sowie die Umwelt Arena Schweiz die innovative Photovoltaik-Fassade «Swissness», die sich weit weg vom tristen Einheitslook bewegt.

### Kantonsfahnen produzieren Energie

In der Umwelt Arena Schweiz in Spreitenbach produzieren Solarpanel Energie, die mit den Fahnen sämtlicher Kantone bedruckt sind. Hier muss die an der Hochschule Luzern entwickelte Methode zum Bedrucken von Solarpanels unter Beweis stellen, dass sie etwa 80 Prozent der Leistung von herkömmlichen Photovoltaik-Fassaden erreichen kann.

Türliackerstrasse 4,  
8957 Spreitenbach  
> Auf Google Maps anzeigen

Prof. Dr. Stephen Wittkopf  
+41 41 349 36 25  
[stephen.wittkopf@hslu.ch](mailto:stephen.wittkopf@hslu.ch)

f Share | Tweet | Linked in | Xing | E-Mail

### Eröffnung am 20. Juni 2017

Die Eröffnung fand zusammen mit den Leitern der Umwelt Arena, der Üserhuus AG sowie zahlreichen Partnern und Gästen statt.

### Live Monitoring

Die elektrische Leistung der farbigen PV-Module kann online verfolgt werden.

### Wissens- und Technologie-Transfer

Flyer von unserem Technologie-Transfer  
Stephan Üserhuus AG  
FH Zentralschweiz

## Ausblick und Partner

Lucerne University of  
Applied Sciences and Arts

**HOCHSCHULE  
LUZERN**

Technik & Architektur  
FH Zentralschweiz



**Energiewende**  
Nationales Forschungsprogramm



**Building  
Excellence**

*«Die Hochschule Luzern und ÜserHuus AG leisten mit der PV Fassade «Swissness» einen innovativen Beitrag zur Energiewende.»*

Walter Schmid, Gründer Umweltarena Schweiz

*«Die Initiierung und Leitung von solchen Pilotprojekten ist ein wichtiger Teil unserer angewandten Forschung und Entwicklung.»*

Prof. Dr. Stephen Wittkopf, Leiter Forschungsprojekt HSLU

*«Zusammen mit der Hochschule Luzern werden wir auch internationale Pilotprojekte planen und umsetzen.»*

Jacqueline Schindler, Präsidentin Üserhuus AG

*«Die PV-Fassade «Swissness» ist ein gutes Beispiel für einen gelungenen Wissens- und Technologie-Transfer.»*

Prof. Dr. Hans-Rudolf Schalcher, Präsident der Leitungsgruppe NFP 70

*«Die Produktion von individuell gestaltbarem, farbigem Solarglas ist innovativ und wird zu einem zukünftigen Geschäftsbereich.»*

Adrian Tanner, Geschäftsführer Glas Trösch AG

*«Nicht nur das Aussehen, sondern auch die elektrische Leistung der PV Module wird demonstriert; das erzeugt Planungssicherheit.»*

Adrian Kottmann, Inhaber BE Netz AG