

UMWELTnanoTECH

Projektverbund · Umweltverträgliche
Anwendungen der Nanotechnologie

**Projektverbund
Umweltverträgliche Anwendungen der
Nanotechnologie**

Abschlussveranstaltung 2016

Nanostrukturen für umweltfreundliche Hybrid- Solarzellen

Thomas Bein, Dina Fattakhova-Rohlfing

Ludwig Maximilians Universität München (LMU)

Department Chemie

finanziert durch
Bayerisches Staatsministerium für
Umwelt und Verbraucherschutz

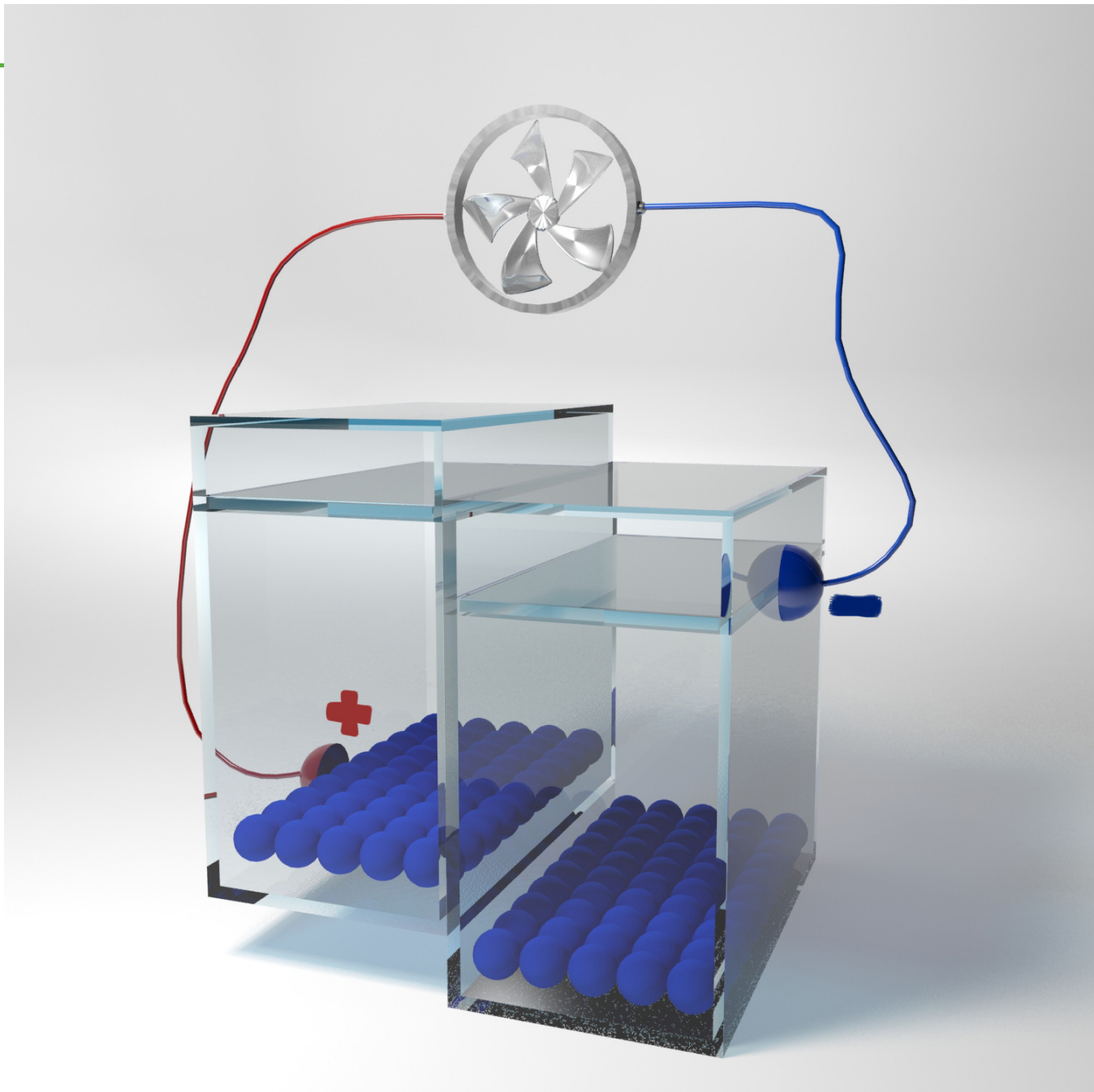


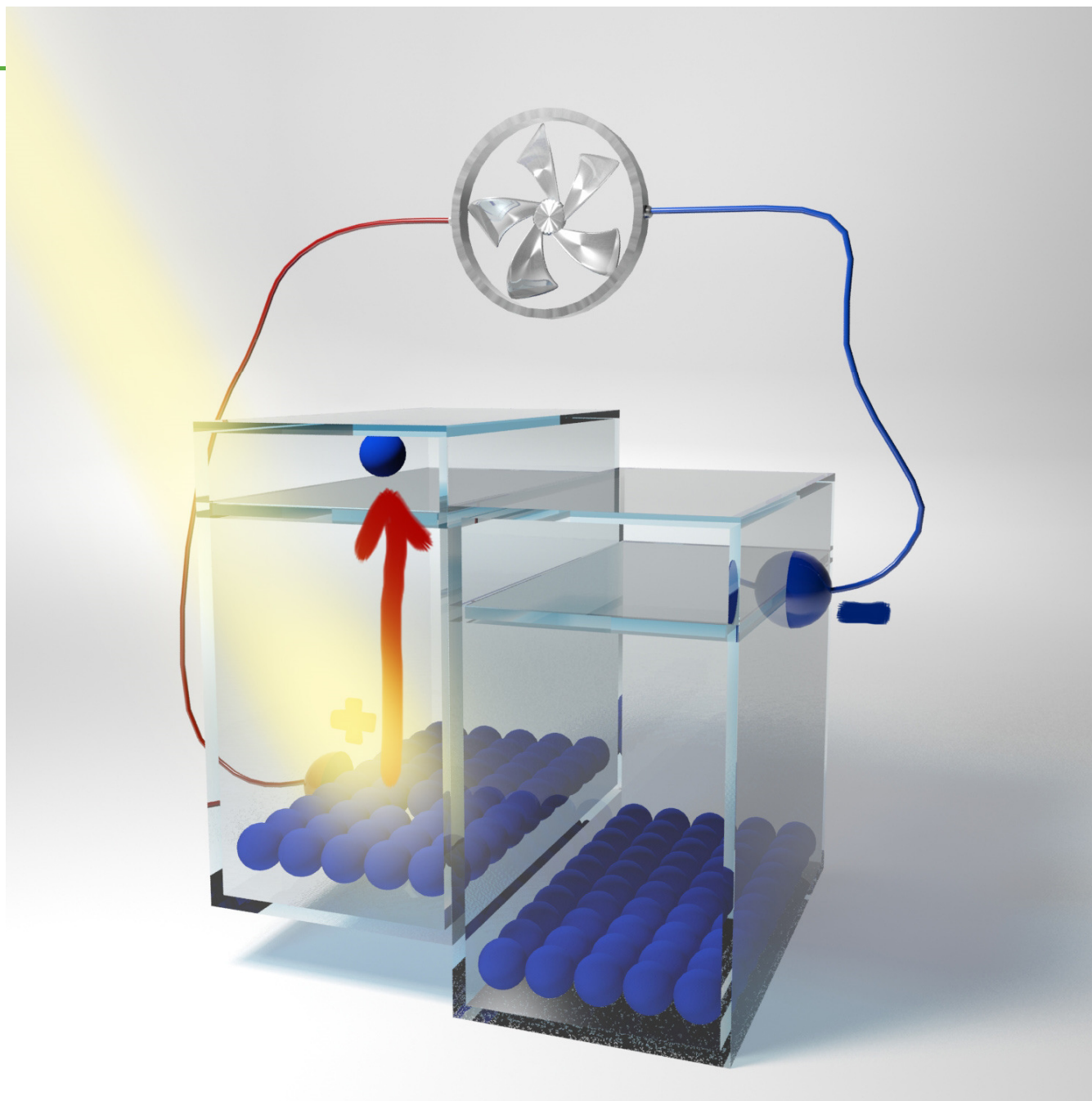
- **2000: 6 Milliarden Erdbewohner, verbrauchen 14 TW/Jahr**
- **Fossile Brennstoffe sind limitiert**
- **Sonnenenergie: 1 Stunde Sonnenschein deckt den Weltjahresenergieverbrauch**

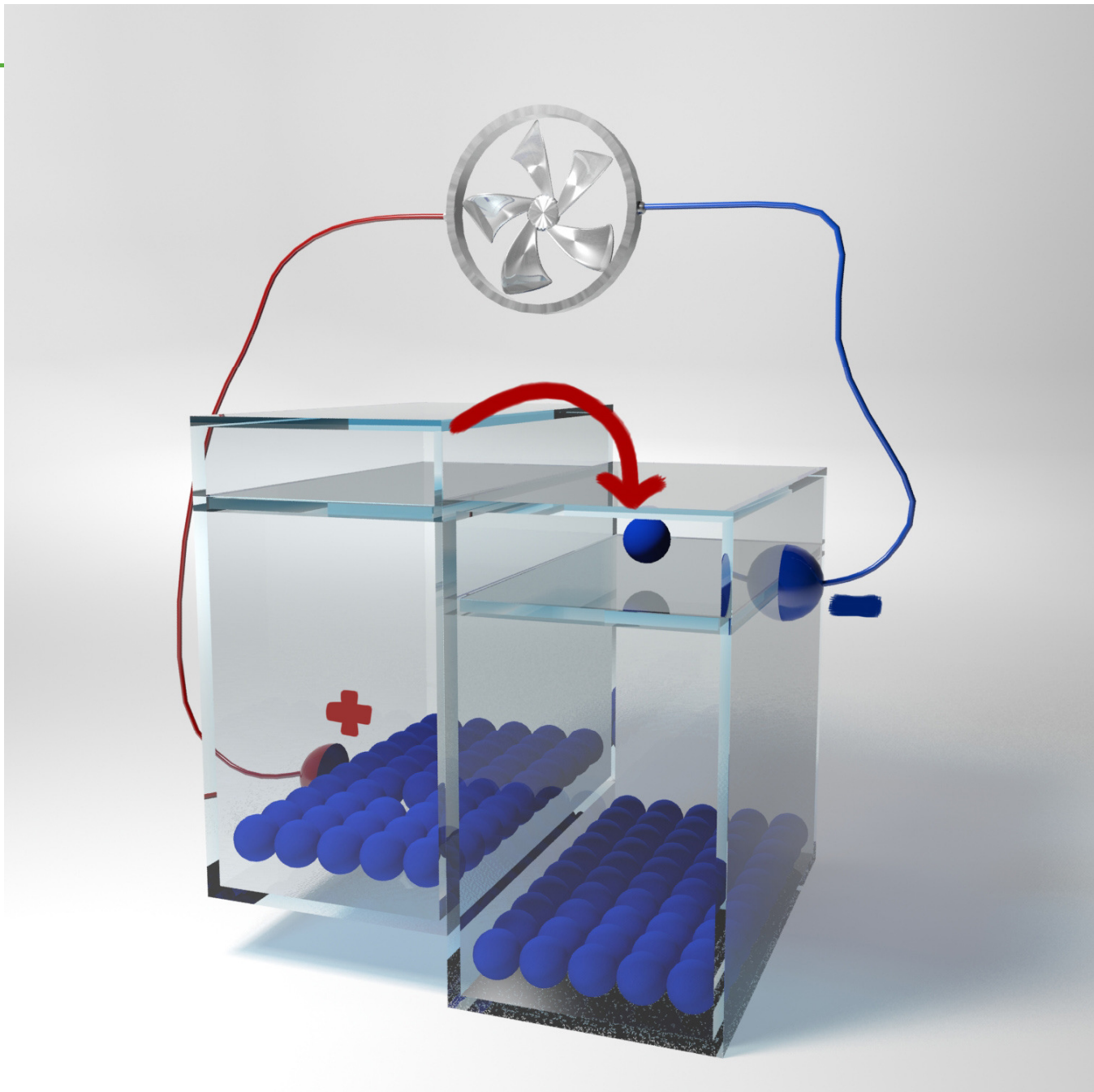
- **Aber: heute nur 0.1% des Weltjahresenergieverbrauchs gedeckt durch Solarenergie**

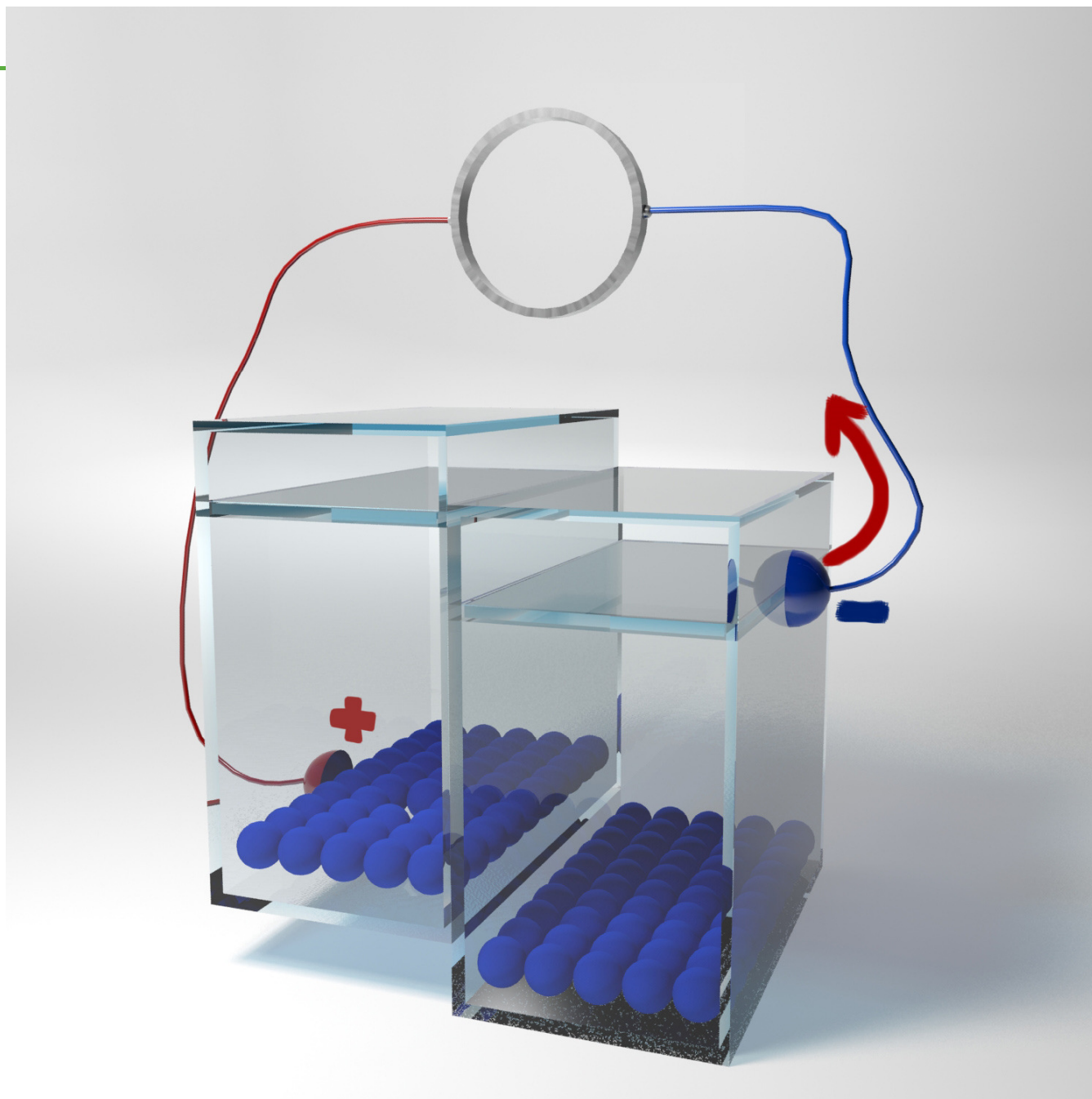
Herausforderungen:

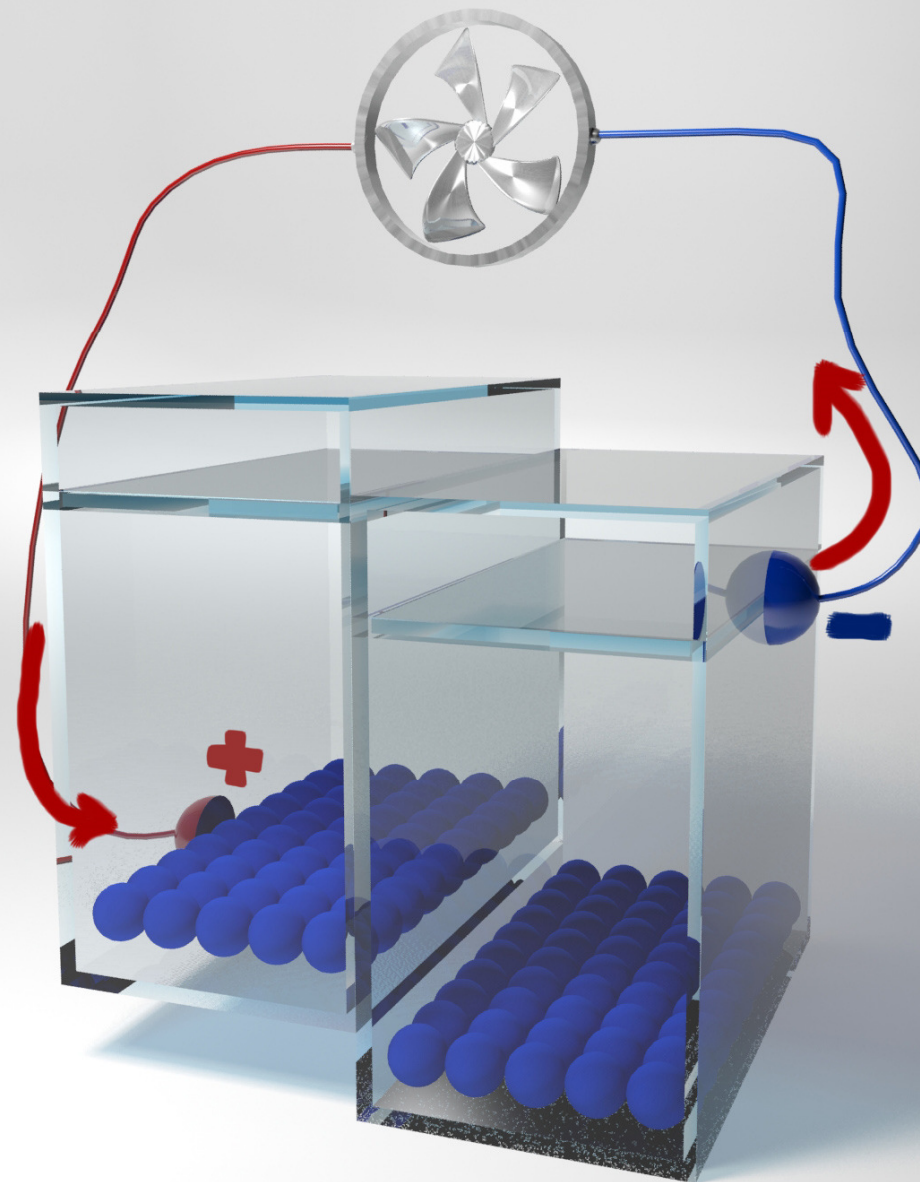
- **Globale Intensitätsverteilung des Sonnenlichts (1000 W/m² Maximum), schwankende Lichtverhältnisse über den Tagesverlauf**
- **Kosten**
- **Nachhaltigkeit**



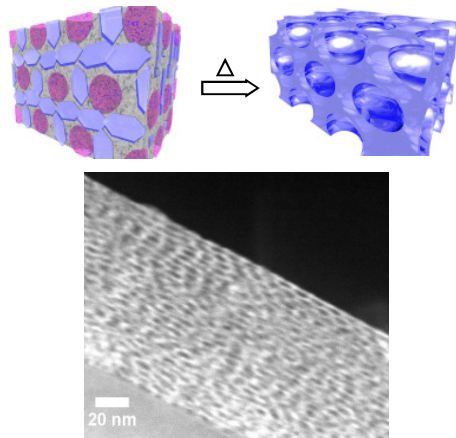




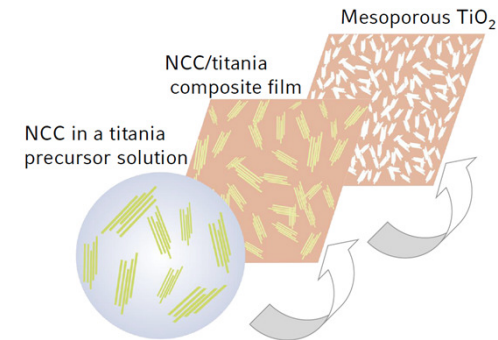




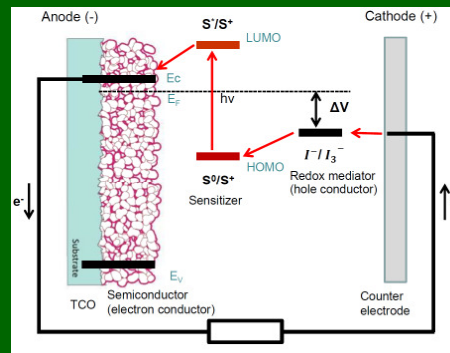
“Ziegel & Mörtel”



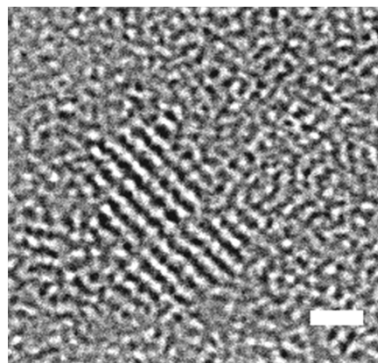
Biologische Template aus Zellulose



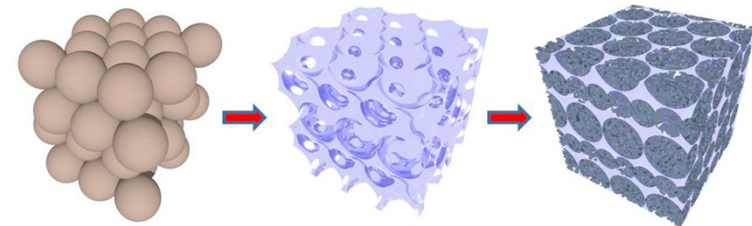
Hybridzellen



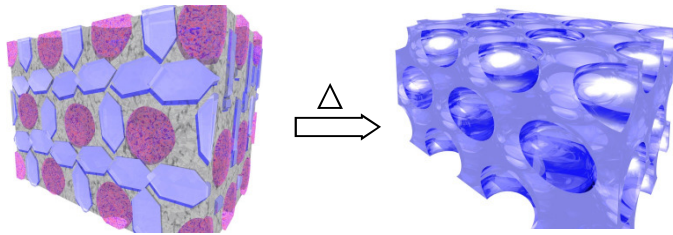
Ultrakleine Teilchen



Hierarchische Filme



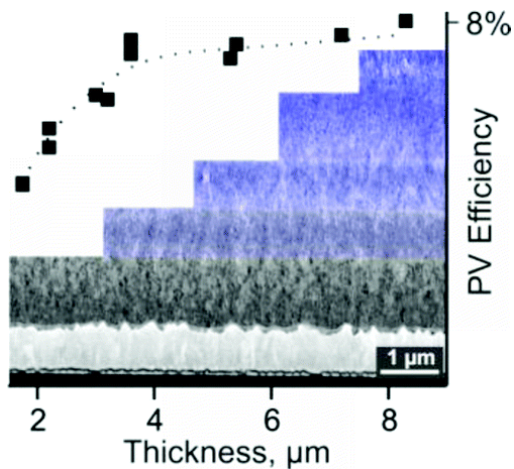
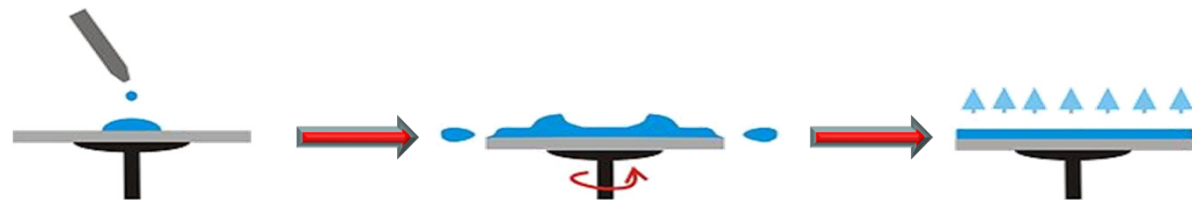
„Ziegel und Mörtel“ Ansatz



J. M. Szeifert et al., Chem. Mater. 2009, 21, 1260

- ✓ Kristalline Partikel als Keime
- ✓ Niedrige Prozesstemperaturen
- ✓ Zugängliche Nanostrukturen
- ✓ Kleine Poren

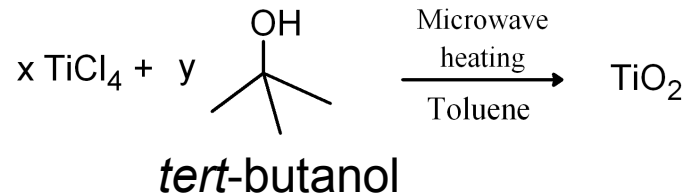
Schnelle und effektive Rotationsbeschichtung



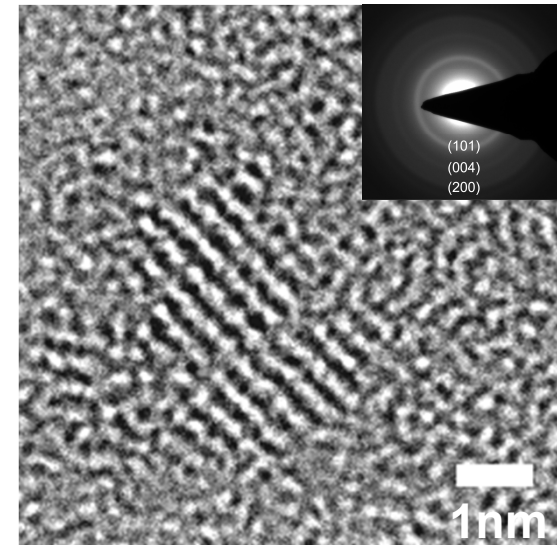
- ✓ Variable Filmdicke
- ✓ Erhöhte Lichtabsorption
- ✓ Hohe Oberfläche für Stromerzeugung

J. M. Szeifert et al., Chem. Mater., 2012, 24, 659

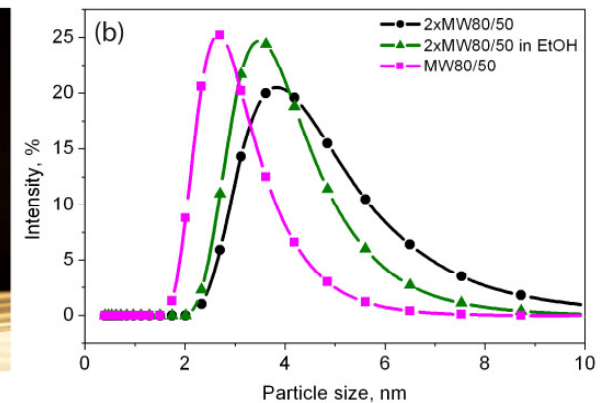
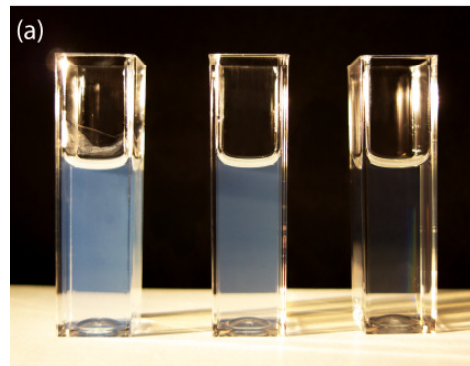
Neue Synthesemethode notwendig

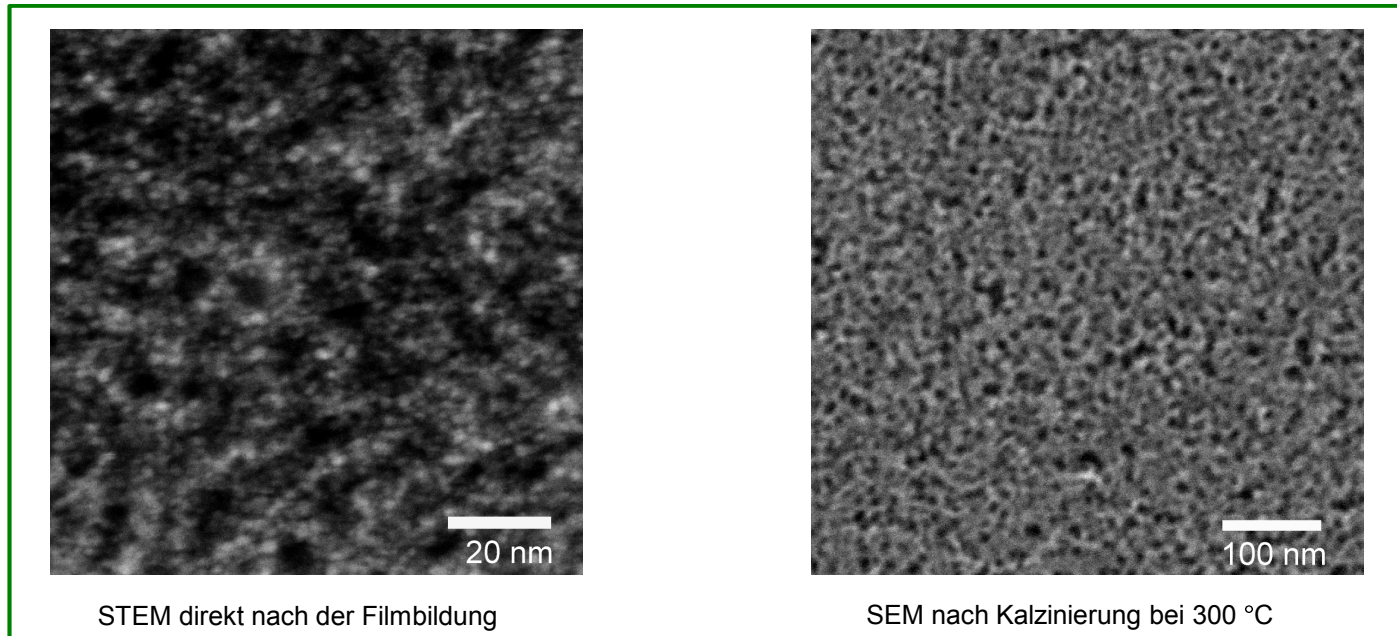


- Nicht agglomerierte Teilchen
- Hoch dispergierbar
- Ultraklein
- Kristallin

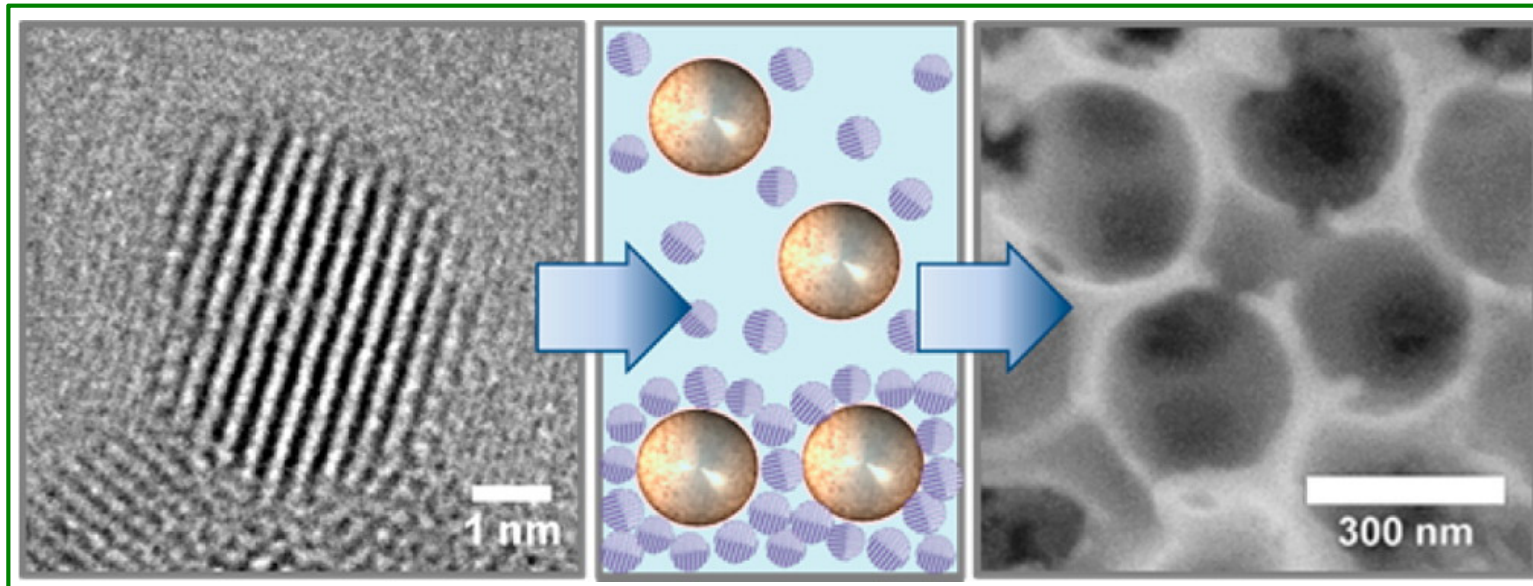


Verschiedene Dispersionen Dynamische Lichtstreuung

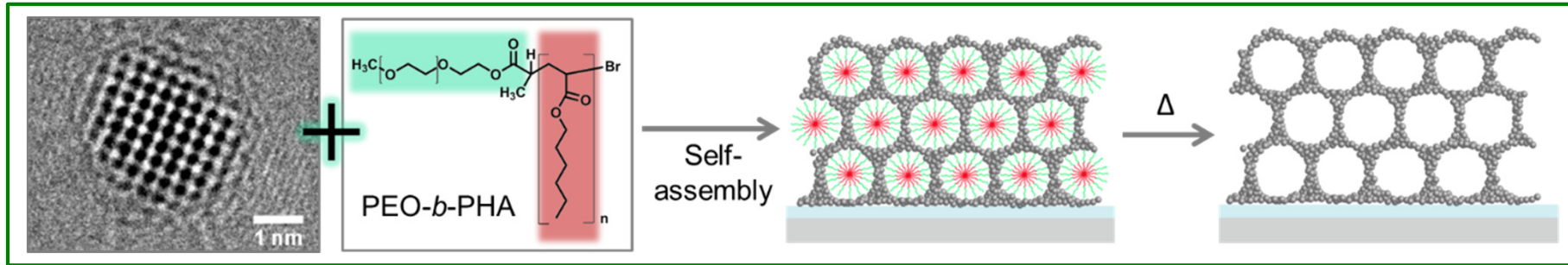




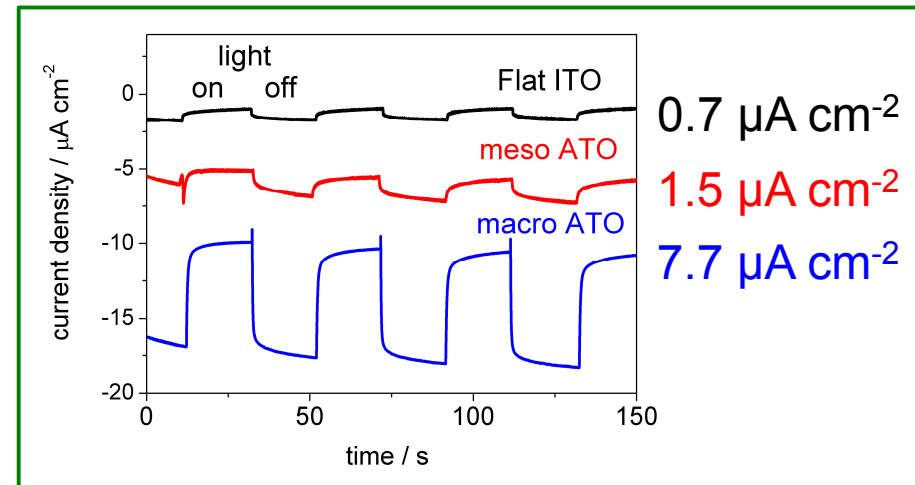
- Mesoporöse Beschichtungen
- Arbeitsaufwendige Zwischenschritte werden umgangen
- Dünne transparente mesoporöse Titandioxid Filme
- Mesoporöse Wände bestehen aus ultrakleinen Nanopartikeln
- Hohe Oberfläche



- Hochkristalline Antimon-dotierte Zinnoxid Nanopartikel
 - Herstellung von makroporösen Elektroden durch Templatierung mit Polymer Kugeln
 - Dicke der Schichten durch Prozessparameter beeinflussbar
- **Leitfähige transparente Strukturen mit großer Oberfläche für die Anwendung als Elektroden in hybriden Solarzellen**

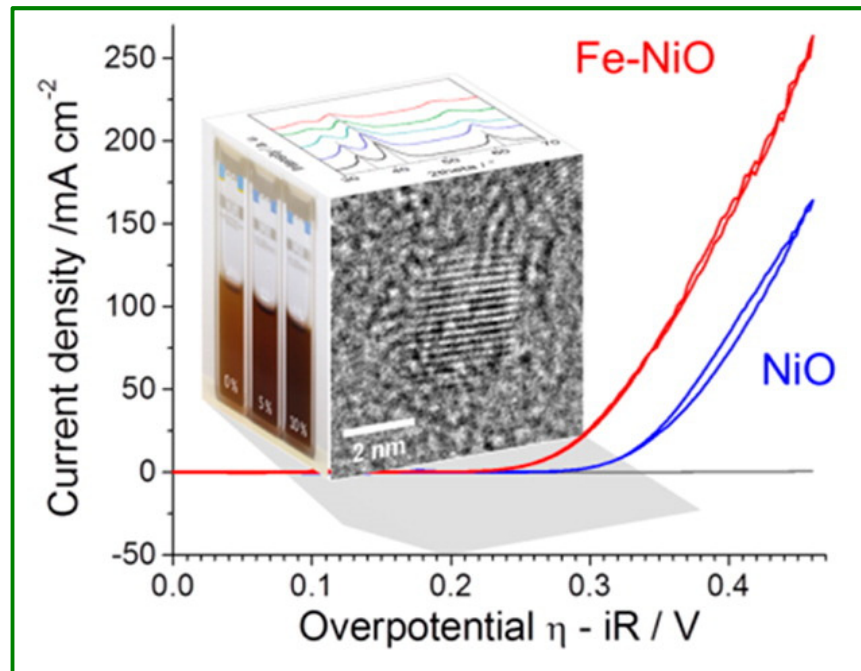


- Amphiphile Polymere als Templat für mesoporöse Netzwerke aus Antimon dotiertem Zinnoxid
- Nutzbar als Substrat für Photosystem I
- **Porengröße kann auf die Anwendung optimal abgestimmt werden**



➔ **11-fache Erhöhung des erzeugten Photostroms durch Strukturierung**

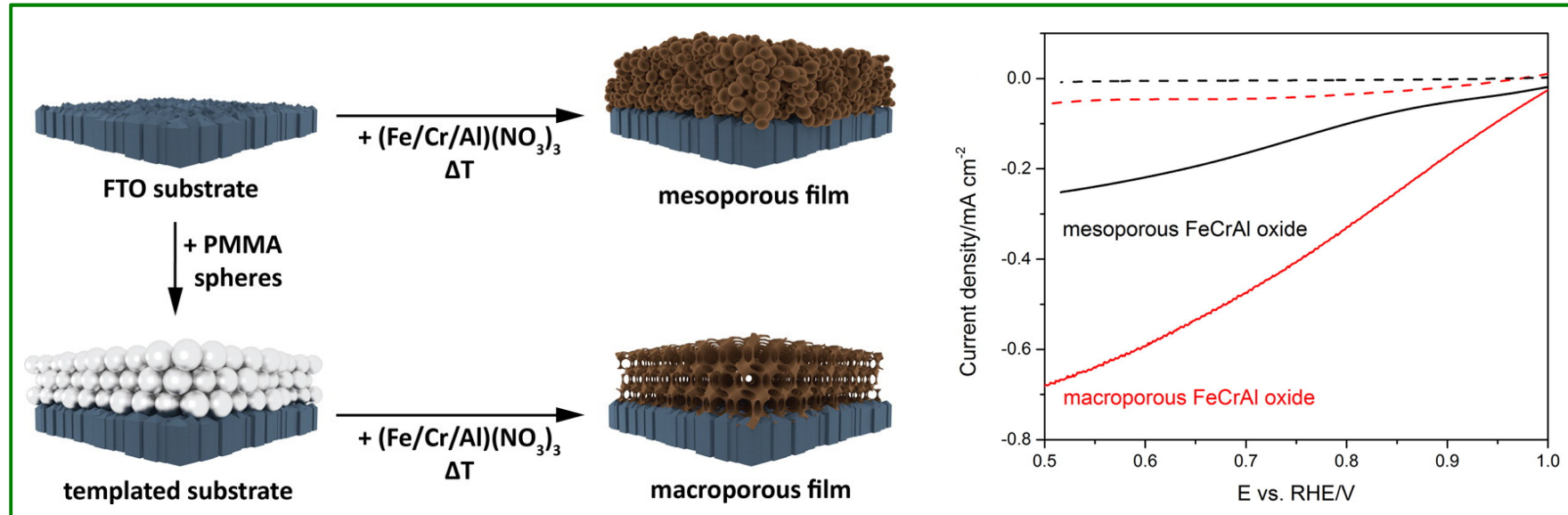
Nanostrukturen für Wasserspaltung I



- Nickeloxid Nanopartikel katalysieren die Spaltung von Wasser zu Sauerstoff 30 mal effizienter als vergleichbare makroskopische Materialien
- Die Effizienz kann durch Dotierung mit Eisenatomen noch einmal vervierfacht werden
- **Nanostrukturierung als Mittel zur Erhöhung des Wirkungsgrades**

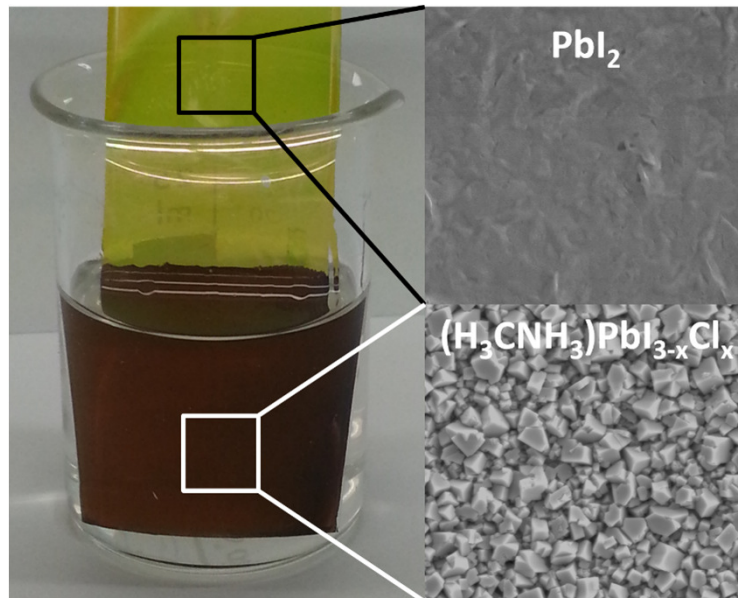
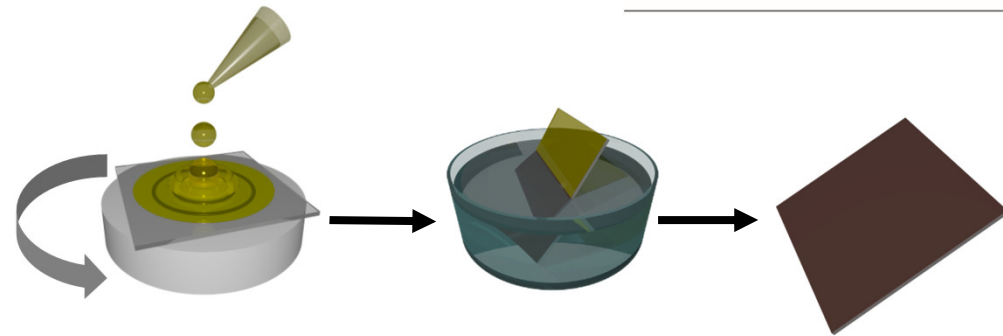
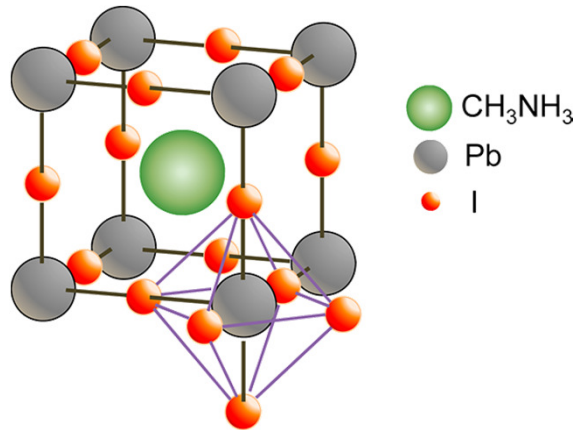
K. Fominykh et al., *ACS Nano* **2015**, 9, 5180-5188.

K. Fominykh et al., *Adv. Funct. Mater.*, **2014**, 24, 3123-3129.



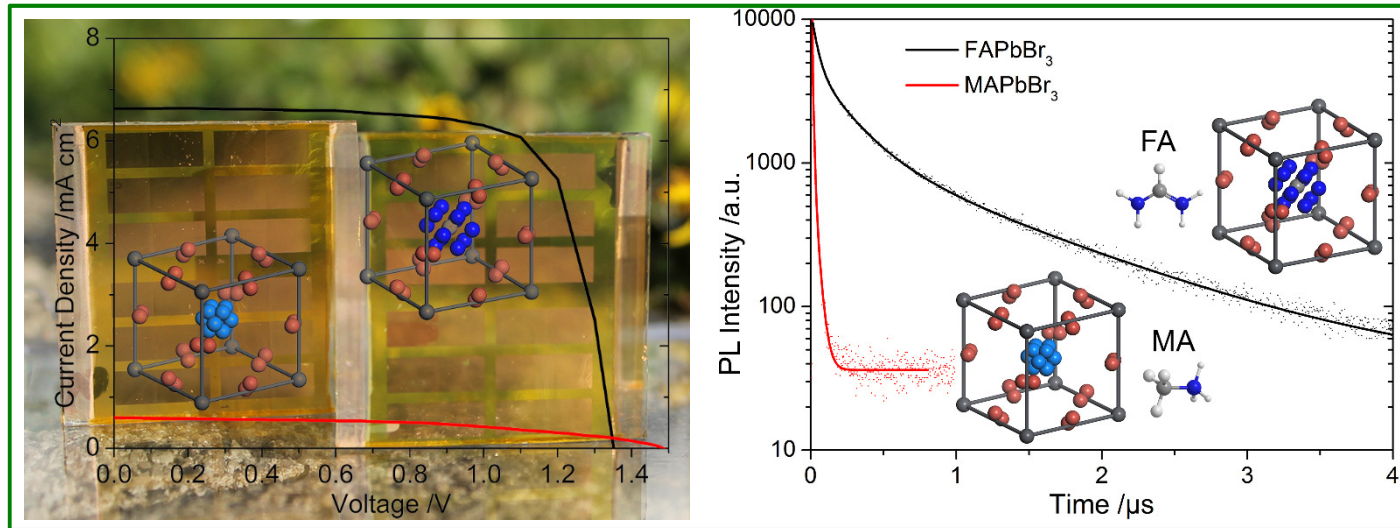
- Eisen-Chrom-Aluminium Oxid als neuartiger Katalysator für die Erzeugung von Wasserstoff
- Eine mesoporöse Anordnung von Fe/Cr/AlO_3 Nanopartikeln zeigt bereits einen respektablen Photostrom
- **Durch Strukturierung als makroporöse Elektrode kann die Stromdichte verdoppelt werden**

Hocheffiziente Perowskit Solarzellen

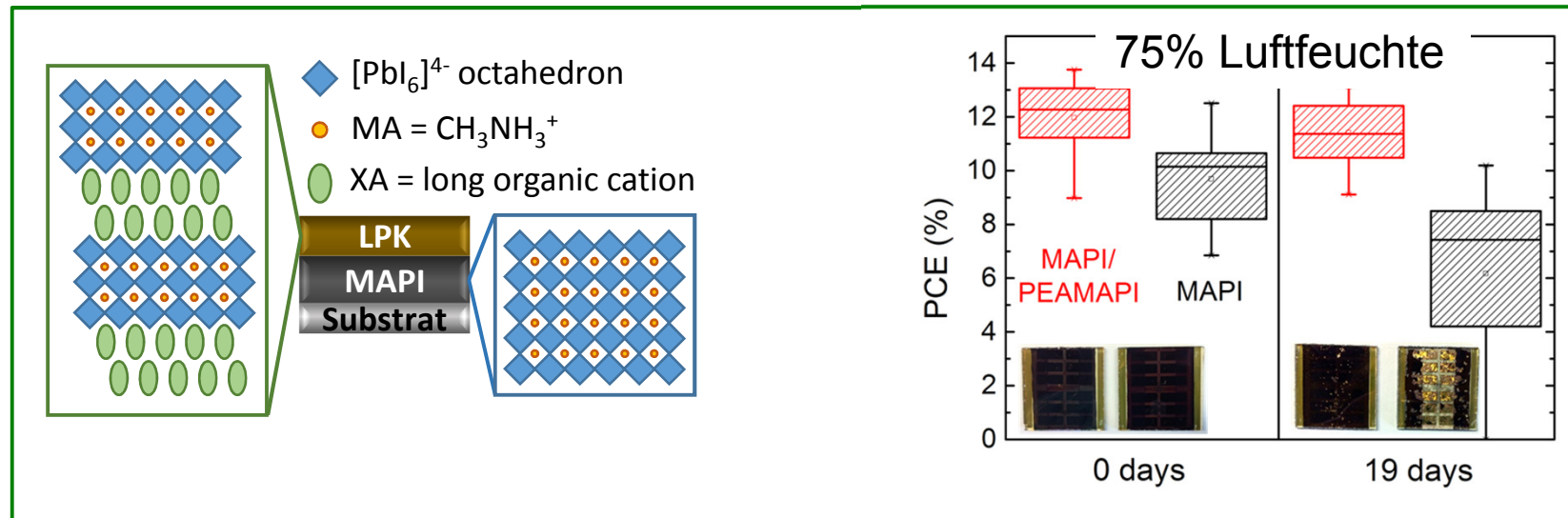


- Aufbringen einer Bleiiodid Schicht durch Rotationsbeschichtung
- Kristallisation der Perowskit Struktur durch Eintauchen in eine Lösung der organischen Bestandteile
- ➔ **Hocheffiziente Solarzellen (bis zu 15%)**
- ➔ **Keine langdauernde Wärmebehandlung nötig**

Neuartige Perowskite mit großer Bandlücke

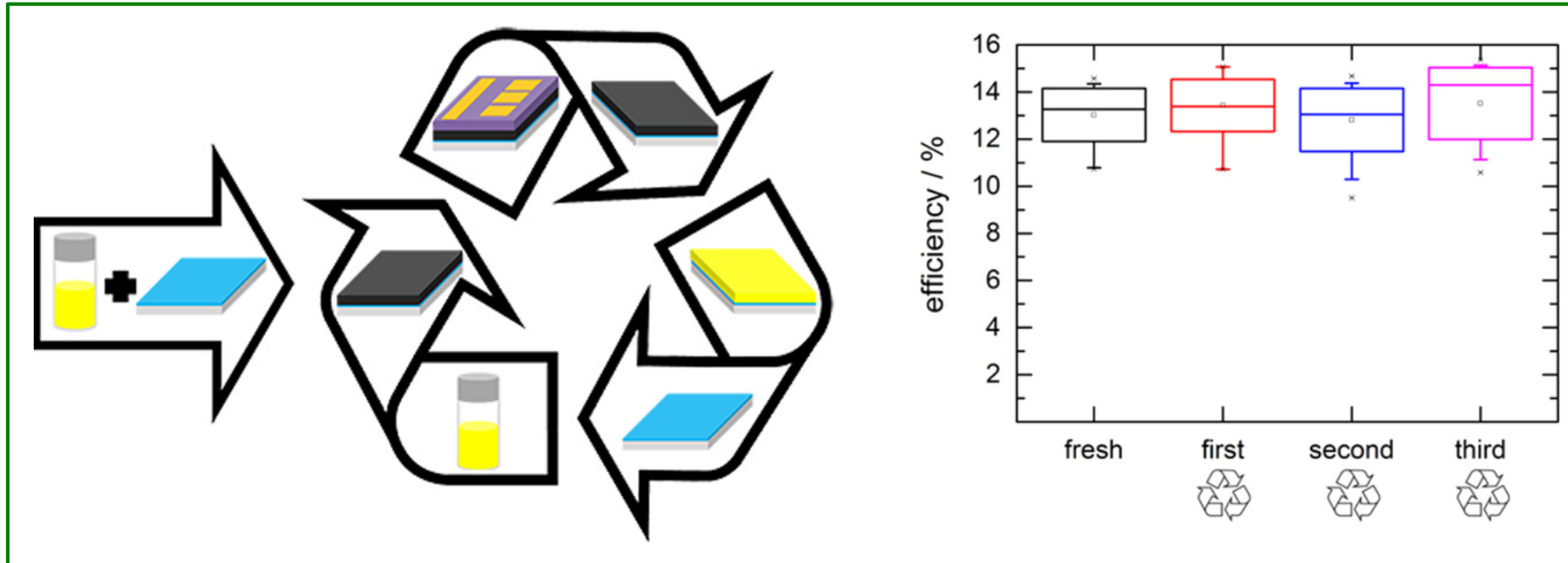


- Austausch von Iodid mit Bromid bedingt eine Aufweitung der Bandlücke
 - Der erhaltene Perowskit MAPbBr₃ kann nicht für effiziente planare Solarzellen genutzt werden
 - Austausch des organischen Kations mit Formamidinium erhöht die Lebensdauer der photoaktivierten Ladungsträger
- **Effiziente farbige Solarzellen (bis zu 7%) für die Anwendung in Tandems oder künstlerischen Installationen**



- Gezieltes Einbringen von langkettigen Molekülen nahe der Oberfläche erhöht die Stabilität gegenüber Luftfeuchte; nach 19 Tagen bei 75% Luftfeuchte noch voll funktionsfähig
- Zusätzlich: Erhöhung der Solarzelleffizienz
- **Längere mögliche Nutzungsdauer bei höherem Wirkungsgrad**

Recycling von Perowskit Solarzellen



- Schicht-für-Schicht Ablösen und Wiederverwenden von Perowskit Solarzellen
- Wirkungsgrad der Solarzellen aus recyceltem Material bleibt hoch
- **Nachhaltige Nutzung der Rohstoffe, um die Auswirkungen auf die Umwelt zu minimieren**

(1) „Influence of the orientation of methylammonium lead iodide perovskite crystals on solar cell performance“, Pablo Docampo, Fabian C. Hanusch, Nadja Giesbrecht, Philipp Angloher, Alesja Ivanova and Thomas Bein,

APL Materials **2014**, 2, 081508.

(2) „Efficient Planar Heterojunction Perovskite Solar Cells Based on Formamidinium Lead Bromide“, Fabian C. Hanusch, Erwin Wiesenmayer, Eric Mankel, Andreas Binek, Philipp Angloher, Christina Fraunhofer, Nadja Giesbrecht, Johann M. Feckl, Wolfram Jaegermann, Dirk Johrendt, Thomas Bein, and Pablo Docampo*, *Journal of Physical Chemistry Letters* **2014**, 5, 2791–2795.

(3) „Water-Dispersible Small Monodisperse Electrically Conducting Antimony Doped Tin Oxide Nanoparticles“, Kristina Peters, Patrick Zeller, Goran Stefanic, Volodymyr Skoromets, Hynek Němec, Petr Kužel, and Dina Fattakhova-Rohlfing
Chemistry of Materials **2015** 27 (3), 1090-1099.

(4) „Nanocellulose-Assisted Formation of Porous Hematite Nanostructures”, Alesja Ivanova, Ksenia Fominykh, Dina Fattakhova-Rohlfing, Patrick Zeller, Markus Döblinger and Thomas Bein, *Inorganic Chemistry* **2015**, 54, 1129-1135.

(5) "Stabilization of the Trigonal High-Temperature Phase of Formamidinium Lead Iodide"
A. Binek, F. C. Hanusch, P. Docampo and T. Bein, *The Journal of Physical Chemistry Letters*, **2015**, 1249-1253.

(6) "Ultrasmall Co_3O_4 Nanocrystals Strongly Enhance Solar Water Splitting on Mesoporous Hematite"
J. M. Feckl, H. K. Dunn, P. M. Zehetmaier, A. Müller, S. R. Pendlebury, P. Zeller, K. Fominykh, I. Kondofersky, M. Döblinger, J. R. Durrant, C. Scheu, L. Peter, D. Fattakhova-Rohlfing and T. Bein, *Advanced Materials Interfaces*, **2015**, 2, 1500358.

(7) "Iron-Doped Nickel Oxide Nanocrystals as Highly Efficient Electrocatalysts for Alkaline Water Splitting"

K. Fominykh, P. Chernev, I. Zaharieva, J. Sicklinger, G. Stefanic, M. Döblinger, A. Müller, A. Pokharel, S. Böcklein, C. Scheu, T. Bein and D. Fattakhova-Rohlfing, *ACS Nano*, **2015**, 9, 5180-8.

(8) "Control of Perovskite Crystal Growth by Methylammonium Lead Chloride Templating"

A. Binek, I. Grill, N. Huber, K. Peters, A. G. Hufnagel, M. Handloser, P. Docampo, A. Hartschuh and T. Bein, *Chemistry – An Asian Journal*, **2016**, 11, 1199-204.

(9) "Recycling perovskite solar cells to avoid lead waste"

A. Binek, M. L. Petrus, N. Huber, H. Bristow, Y. Hu, T. Bein and P. Docampo, *ACS Applied Materials & Interfaces*, **2016**, 8, 12881-6.

(10) "Zinc Ferrite Photoanode Nanomorphologies with Favorable Kinetics for Water-Splitting"

A. G. Hufnagel, K. Peters, A. Müller, C. Scheu, D. Fattakhova-Rohlfing and T. Bein, *Advanced Functional Materials*, **2016**, 26, 4435-4443.

Dina Fattakhova-Rohlfing
Johann Szeifert
Johann Feckl
Christina Peters
Ksenia Fominykh
Ilina Kondofersky
Steffen Schmidt
Markus Döblinger
Alesja Ivanova
Alexander Hufnagel
Peter Zehetmaier

Pablo Docampo
Fabian Hanusch
Andreas Binek
Yinghong Hu
Michiel Petrus
Nadja Giesbrecht

**Wir danken dem StMUV für die
Förderung dieses Projekts**

Zusätzliche Förderung: Deutsche Forschungsgemeinschaft und DAAD