

# Sonne tanken - Molekulare und nanostrukturierte Ansätze zur Energieumwandlung und -speicherung

Chemistry of Thin Film Materials - FAU

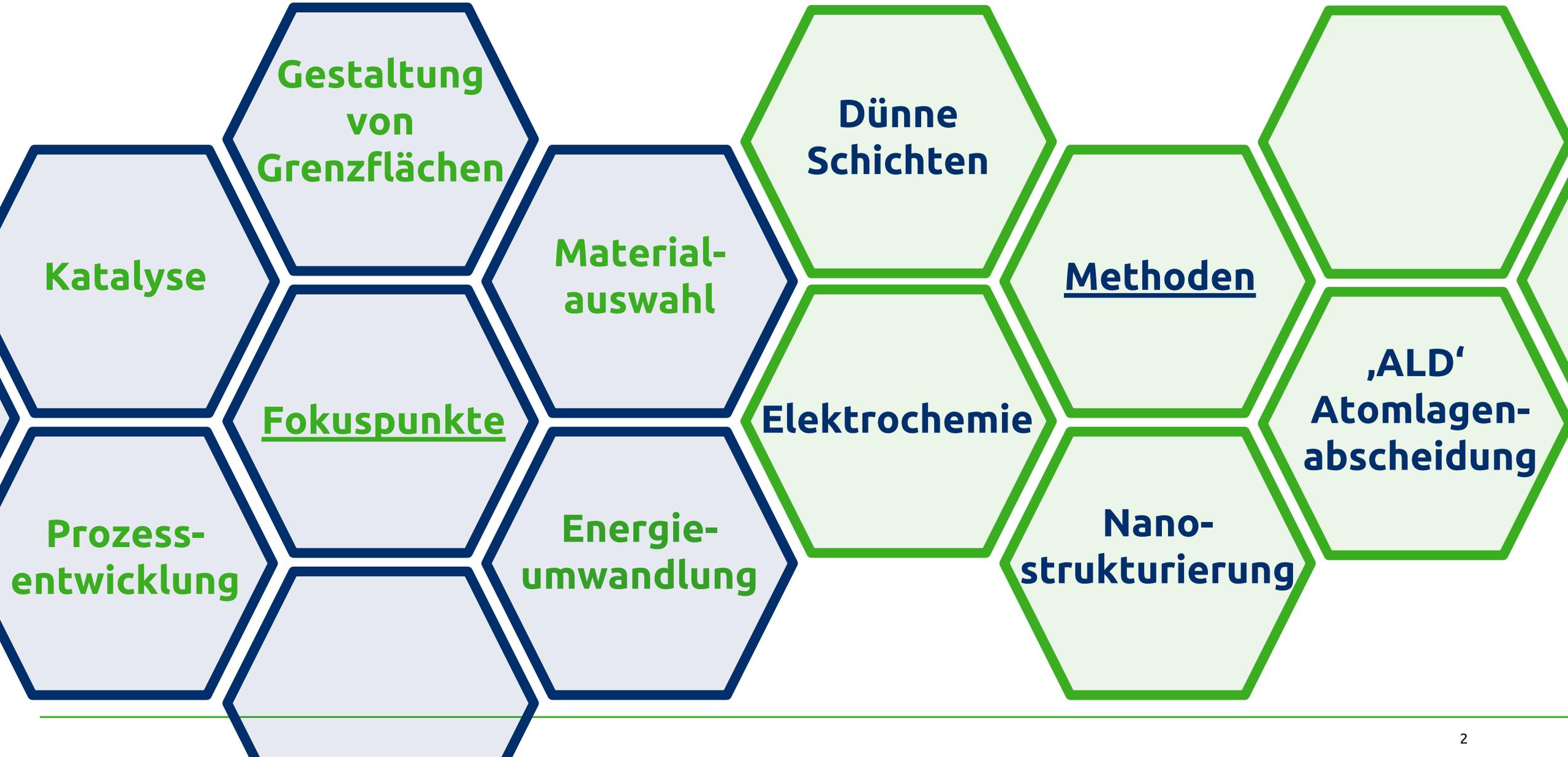
Michael Bosch, Julien Bachmann

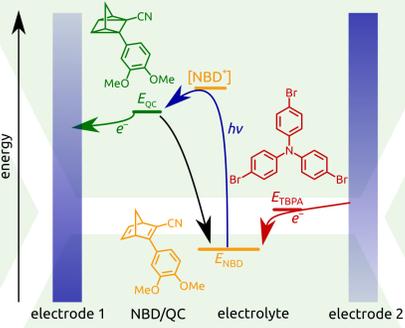
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU)

Chemistry of Thin Film Materials

IZNF, 91058 Erlangen, Germany

michael.bosch@fau.de, julien.bachmann@fau.de

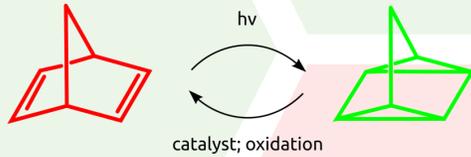




norbornadiene (NBD)

Valenz-  
isomere

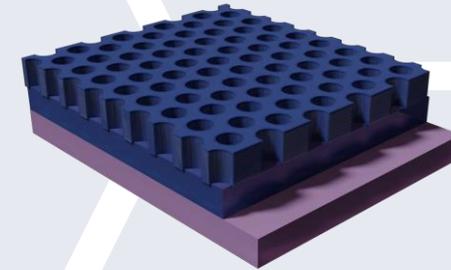
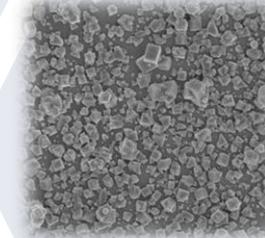
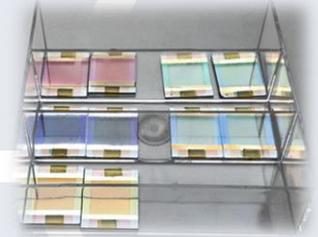
quadricyclane (QC)



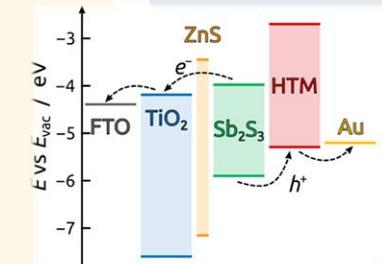
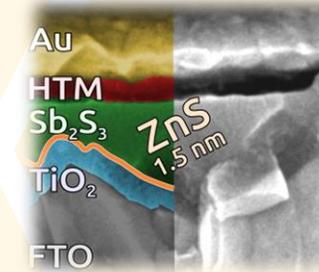
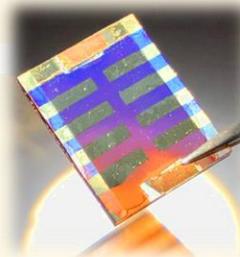
Sonne  
tanken

Energie-  
speicherung

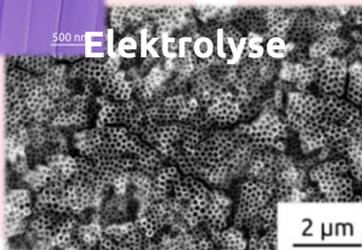
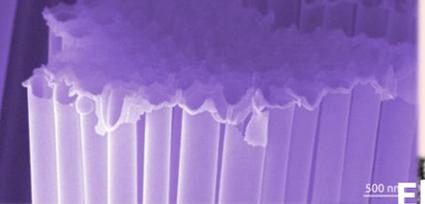
Perowskit  
Solarzellen



Extrem  
dünne  
Absorber

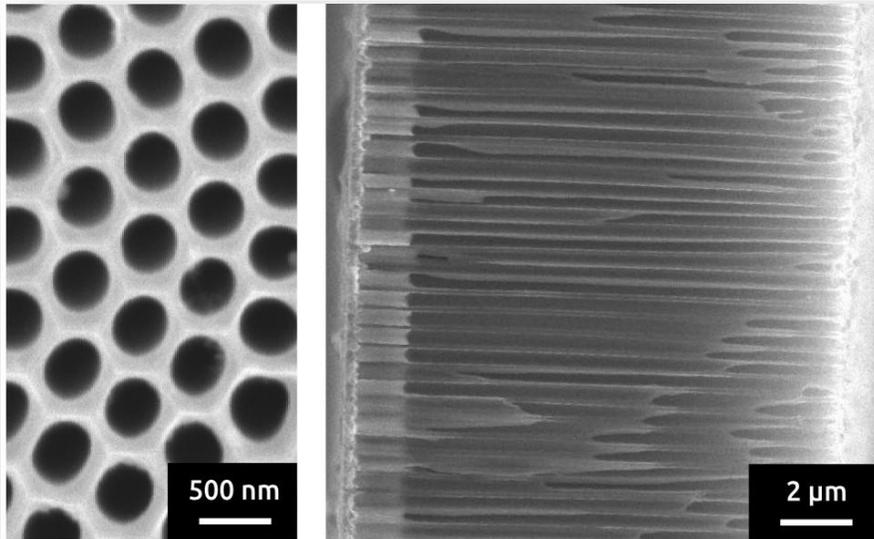


Anoden / Li-Ionen Batt.

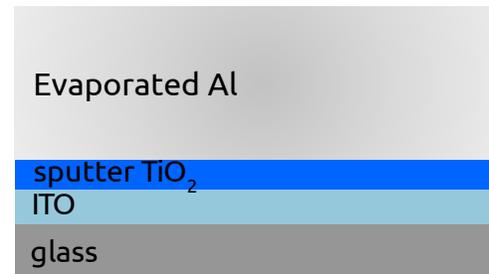


500 nm  
Elektrolyse

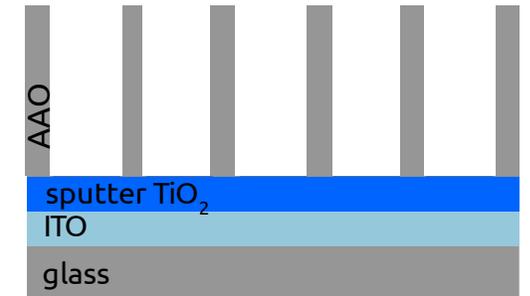
- Anodisches Alumina als nanoporöses Templat für vielseitige Anwendungen
- Direkt aus Aluminiumfolie oder aufgedampftem Aluminium auf TCO (transparentes leitfähiges Oxid)



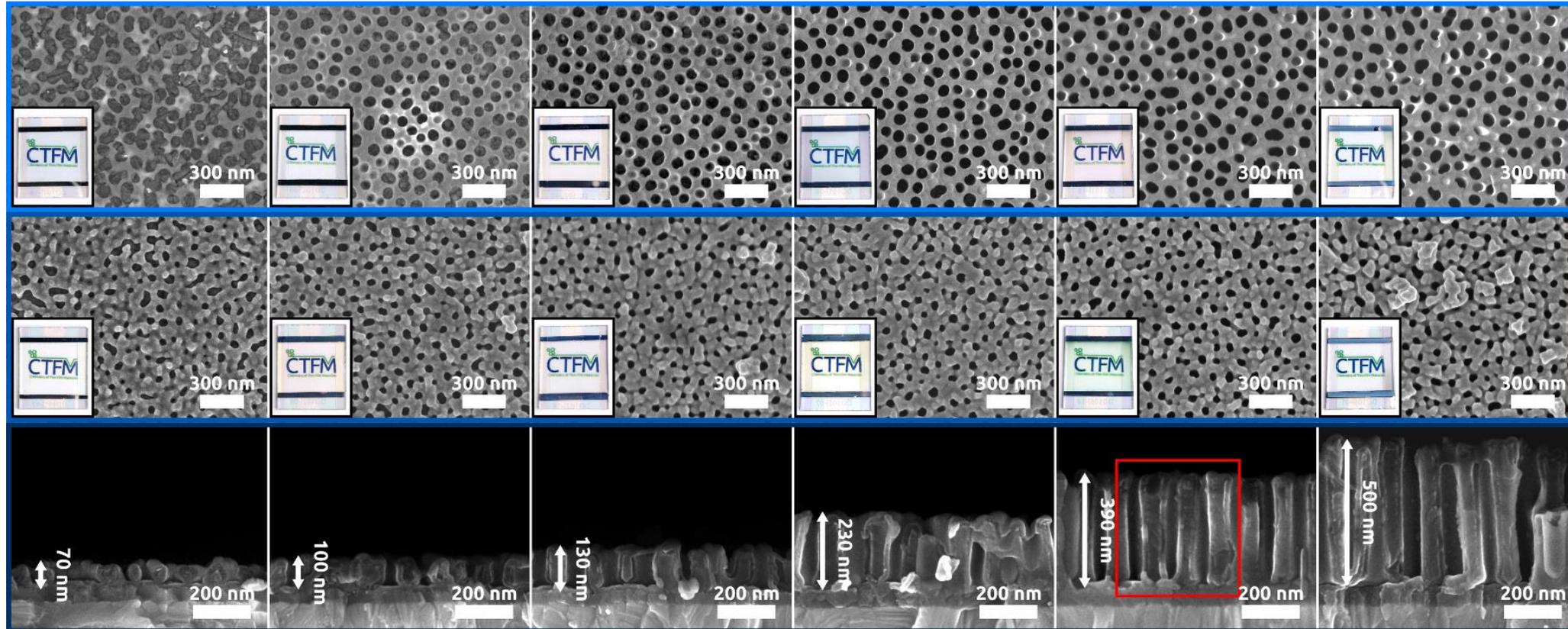
Dirk Döhler



Anodisation @ 60 V  
in Oxalsäure (0 °C)

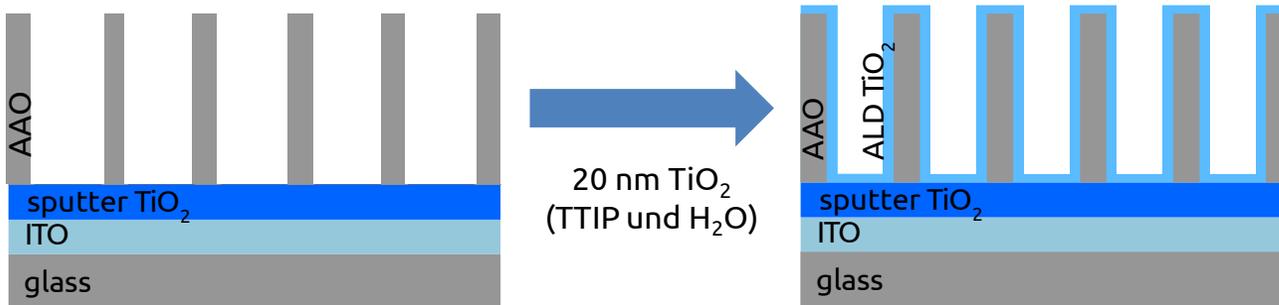


- Einstellung der Länge und des Porendurchmessers ermöglicht eine große Vielfalt an Strukturen mit unterschiedlichen Aspektverhältnissen



PORENLÄNGE

- AAO nicht leitfähiges Template, welches als Gerüst für weitere Schritte fungiert
- **Atomlagenabscheidung** als zentrale Methode um Nanostrukturen konformal zu beschichten
- Große Bandbreite an verfügbaren Materialien

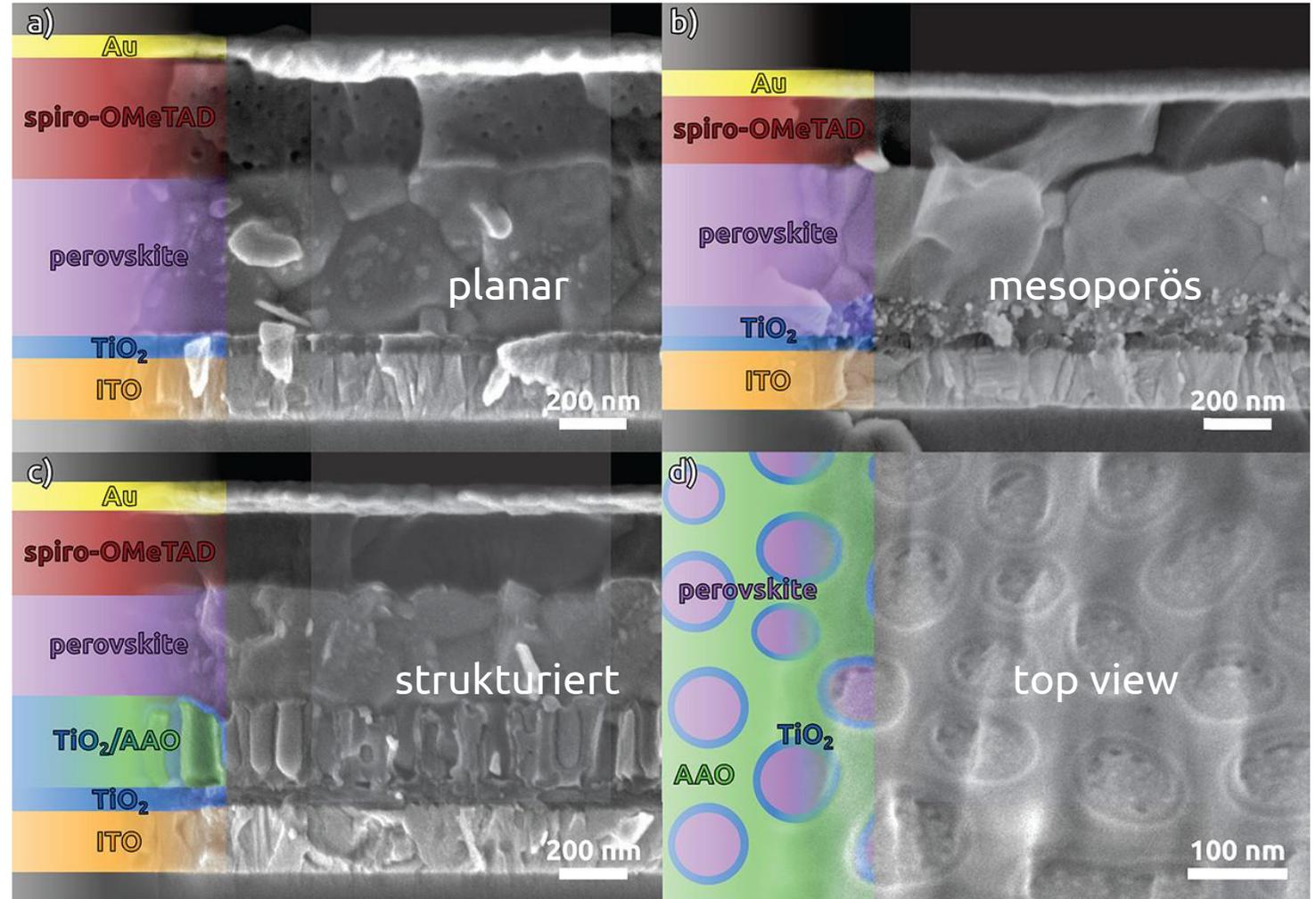
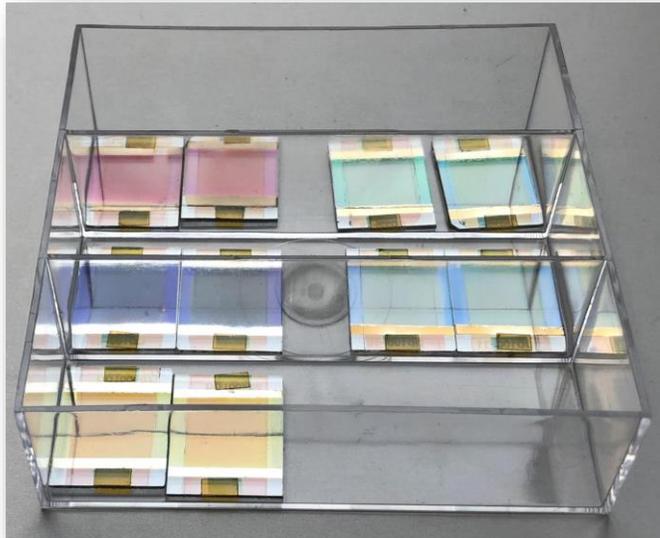


## ALD

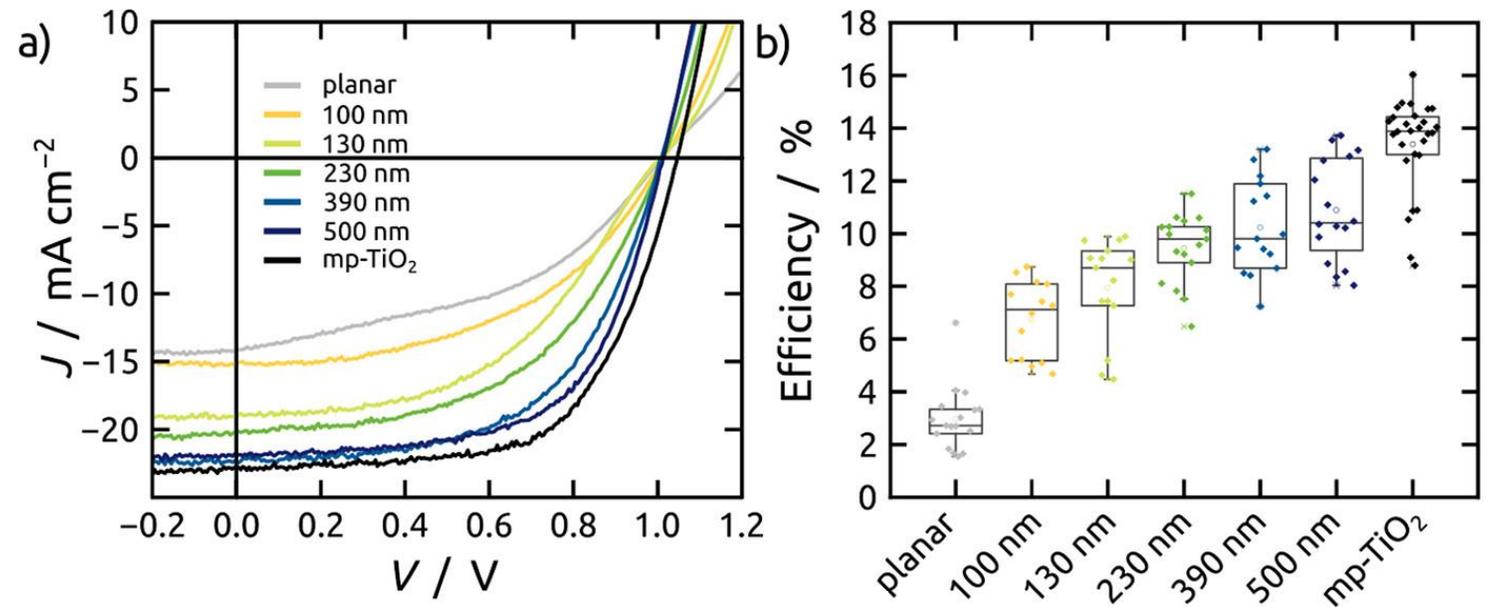
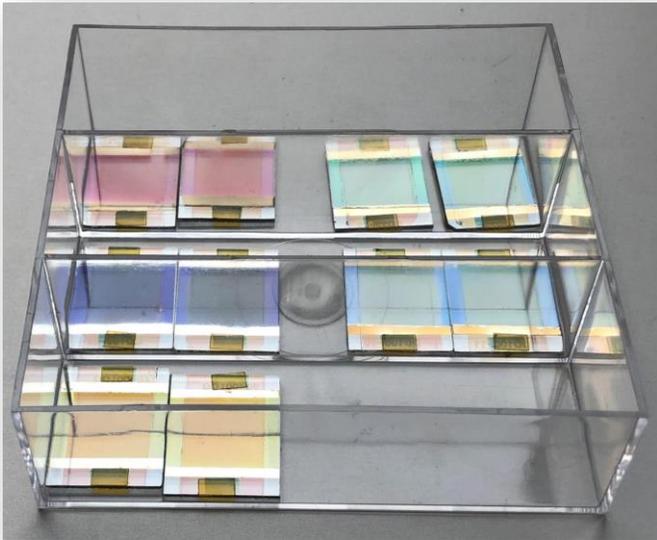
Zyklische Einbringung von 2 unterschiedliche Präkursoren in eine beheizte Vakuumkammer

- homogen
- konformal
- selbstlimitierende Oberflächenreaktion
- lineares Wachstum

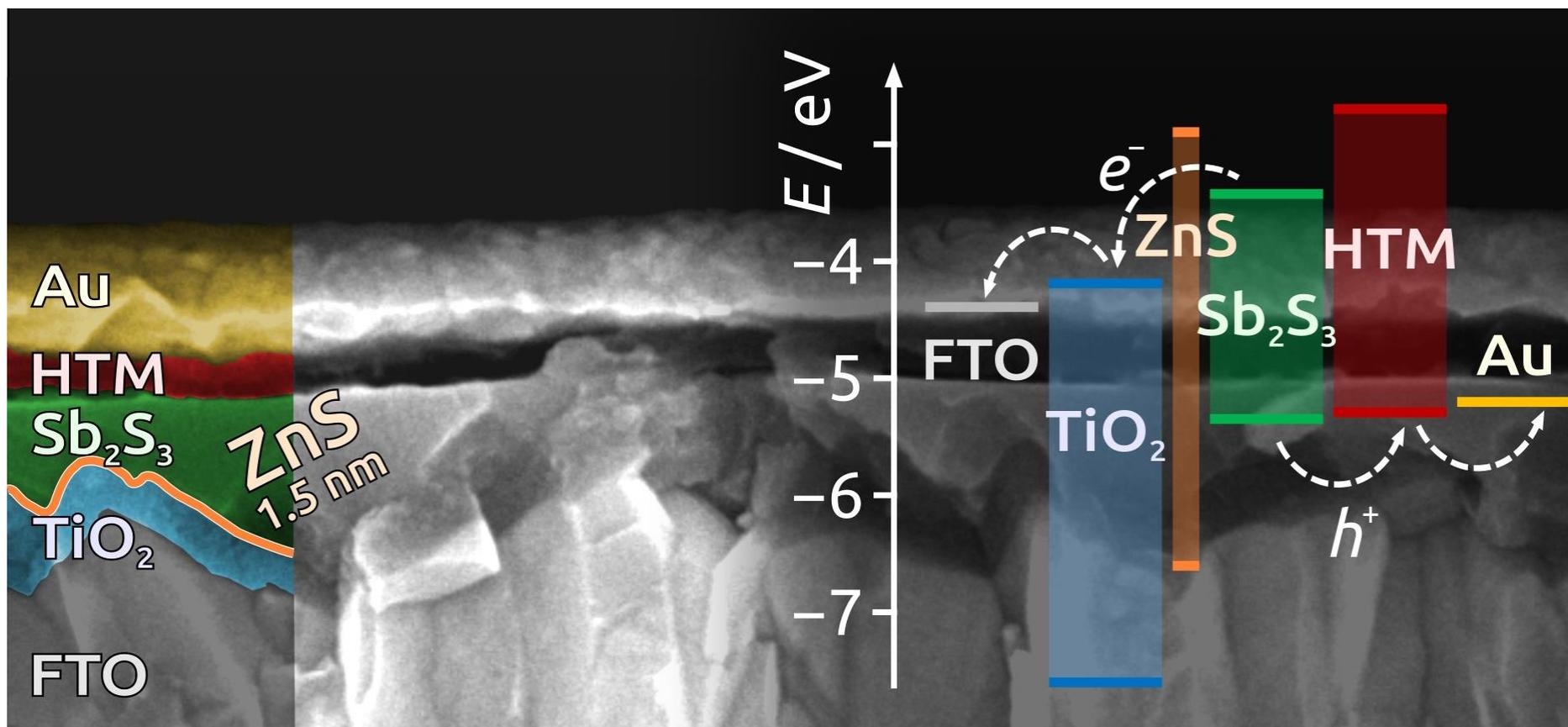
Gleicher Aufbau der planaren, strukturierten und mesoporösen Solarzellen



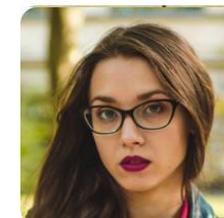
- Lichtabsorption ist in allen Zellen ähnlich, wobei die **Stromdichte** von der Größe der Grenzfläche abhängt
- Keine Frage des Materials, sondern der Oberflächenstrukturierung



Trennung von Lichtabsorption und Ladungstransport erlaubt Verwendung von mehr Materialien



Pascal Büttner

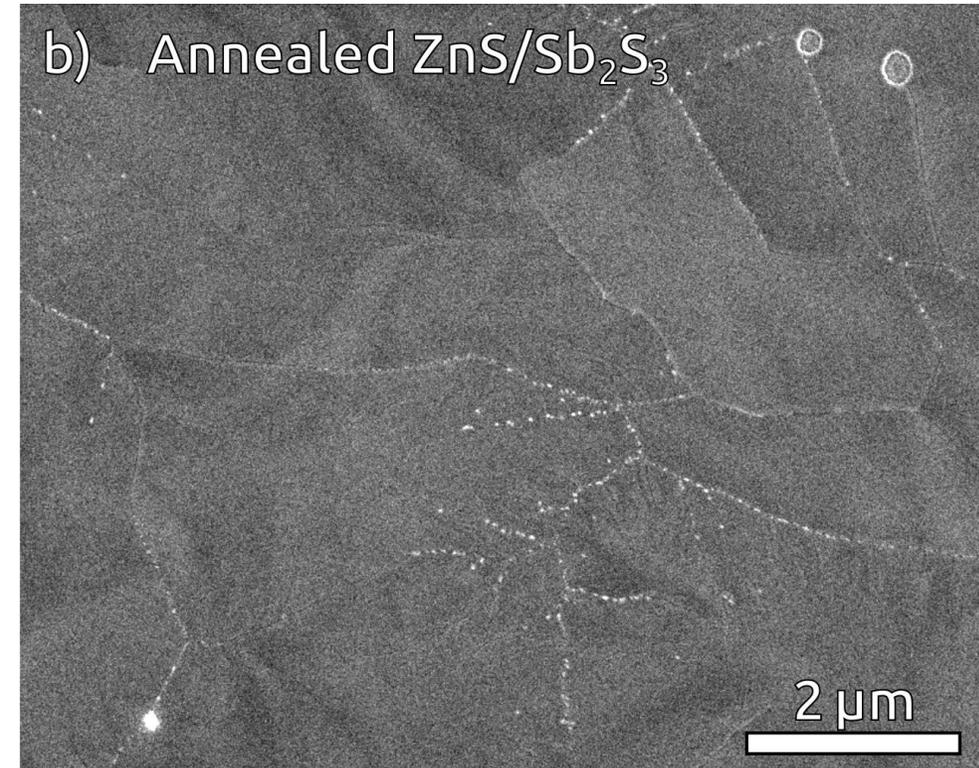
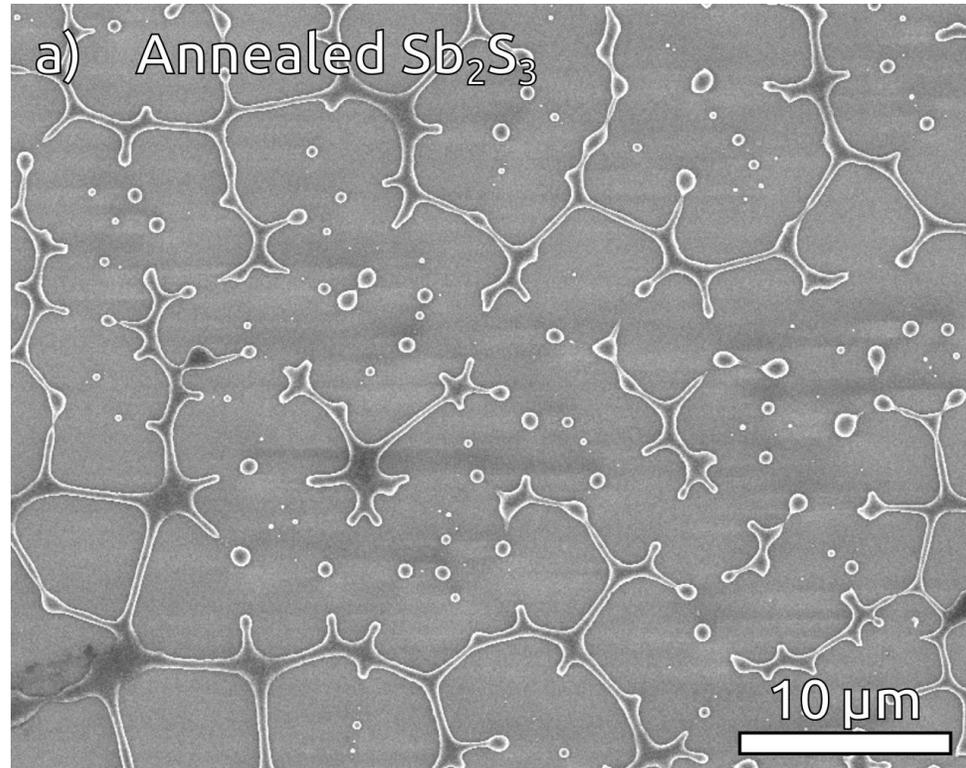


Sofia Korenko



Ignacio Minguez

- Reines ALD- $\text{Sb}_2\text{S}_3$  besitzt wenig Adhäsion auf Oxiden und entnetzt bei Erhitzung
- **1 nm ZnS** verhindert die Entnetzung und erlaubt die Bildung großer Kristallite

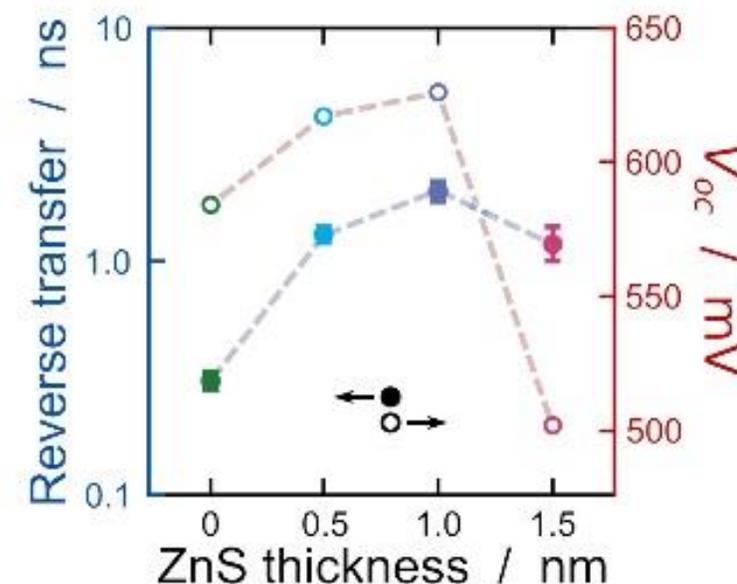
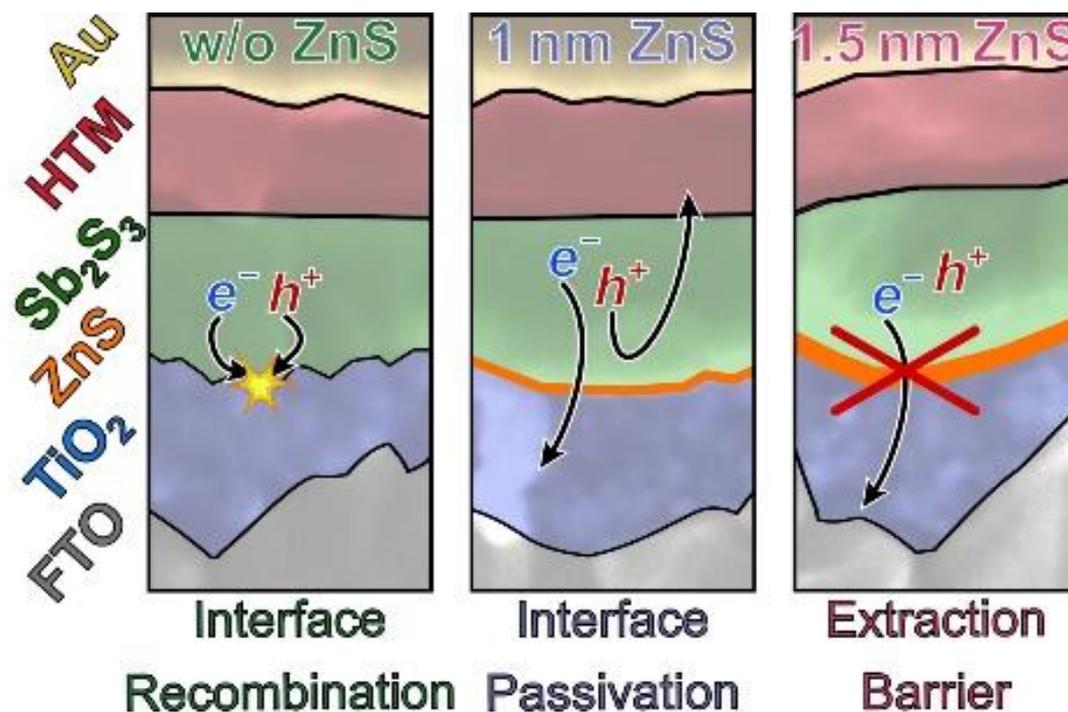


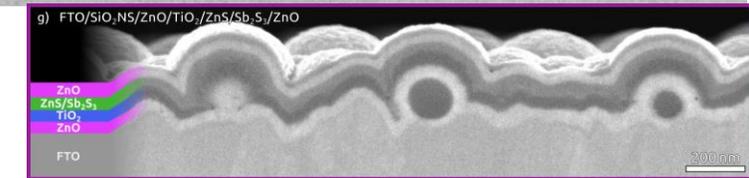
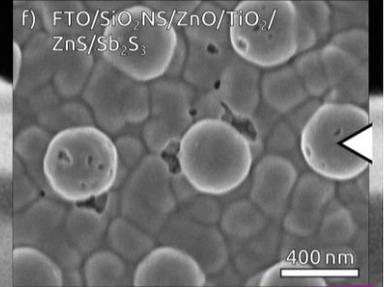
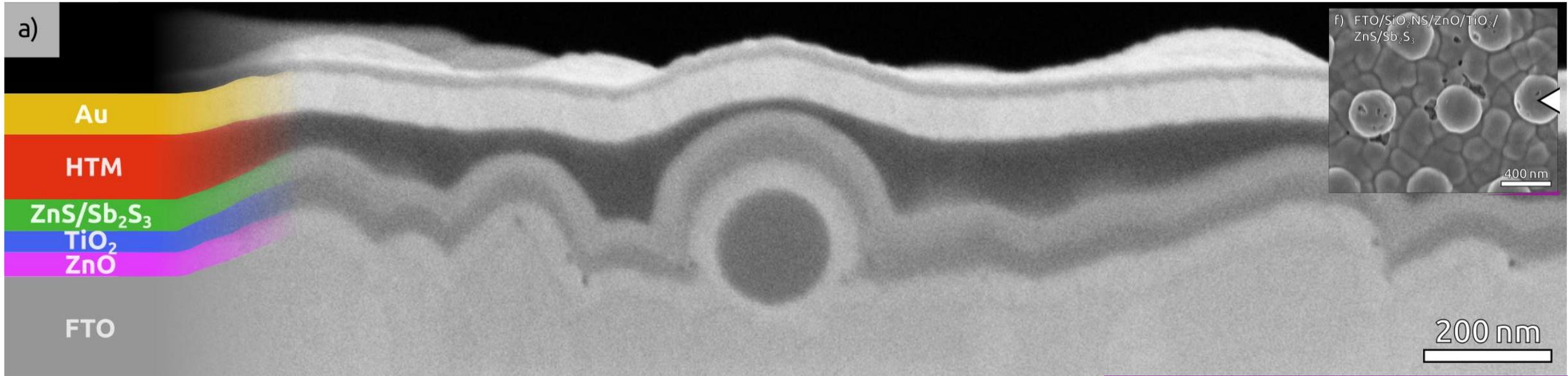
- ZnS passiviert Defekte an der Grenzfläche und fungiert als Tunnelbarriere: **Optimum bei 10 ALD Zyklen oder ~1.0 nm ZnS**
- Qualität der Solarzellen spiegelt sich in der extrem schnellen Dynamik der Ladungsträger wieder (Transiente Absorptionsspektroskopie / TAS)

mit E. R. Young,  
Lehigh University



Pascal Büttner

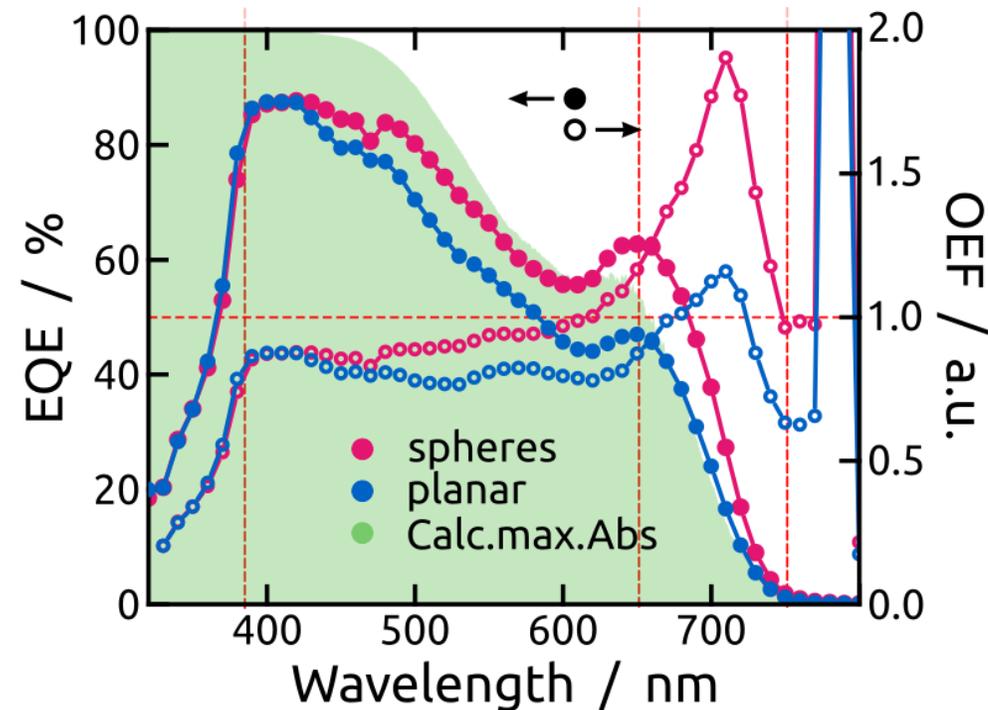
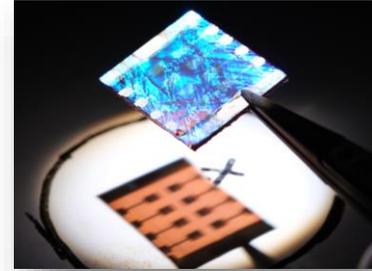




- Nanosphere lithography (NSL) für geordnete Strukturen auf einem Substrat
- Core-shell spheres (N. Vogel / FAU) für nicht dicht gepackte Monolagen
- Gleicher Aufbau der Solarzelle
- Lichtstreuung verursacht schillerende Farben, je nach Lichteinfall



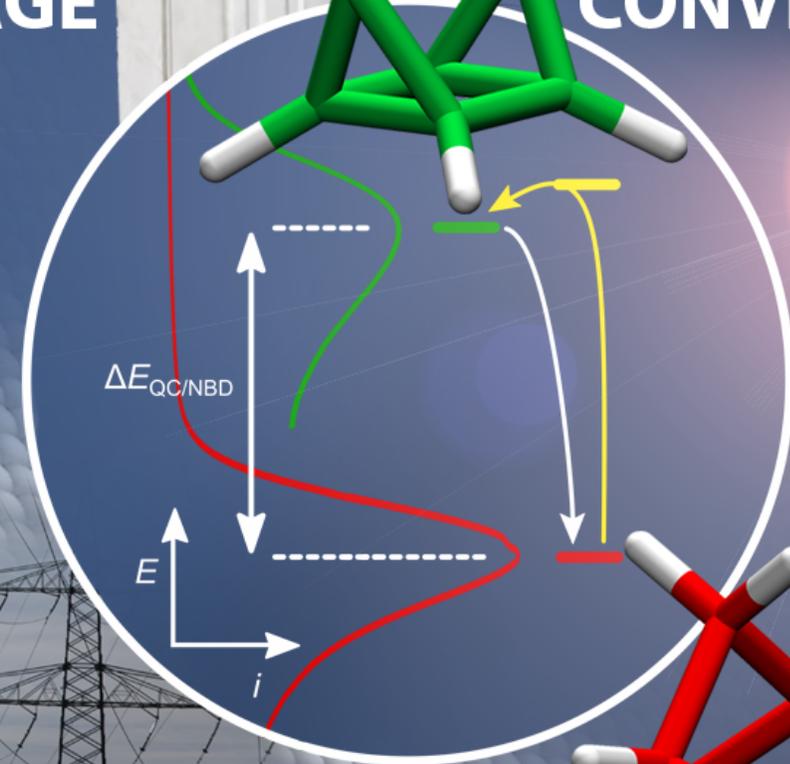
- Photonik erlaubt eine Erhöhung der Absorption ohne Absorberschichtdicke zu vergrößern (Absorption im langwelligen Bereich fast verzweifacht)
- **$\text{Sb}_2\text{S}_3$  Schichtdicke beträgt hier nur 30 nm!**



# Kombination aus Lichtumwandlung und Speicherung

STORAGE

CONVERSION

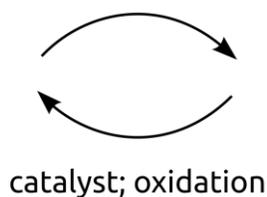


RELEASE

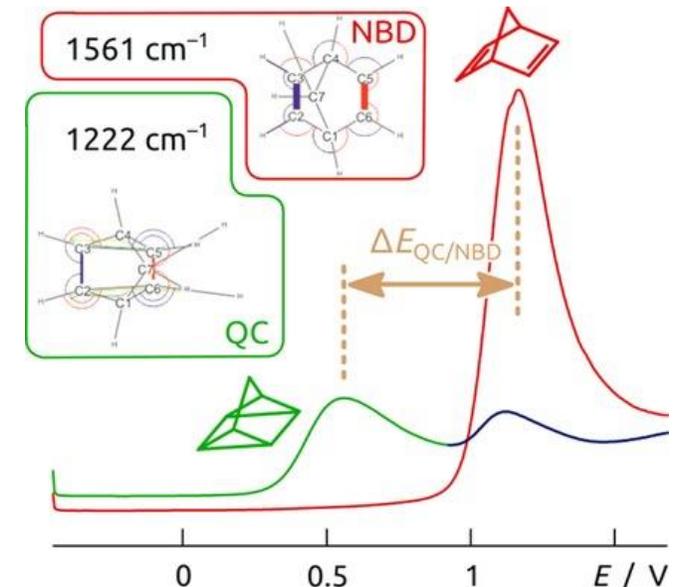
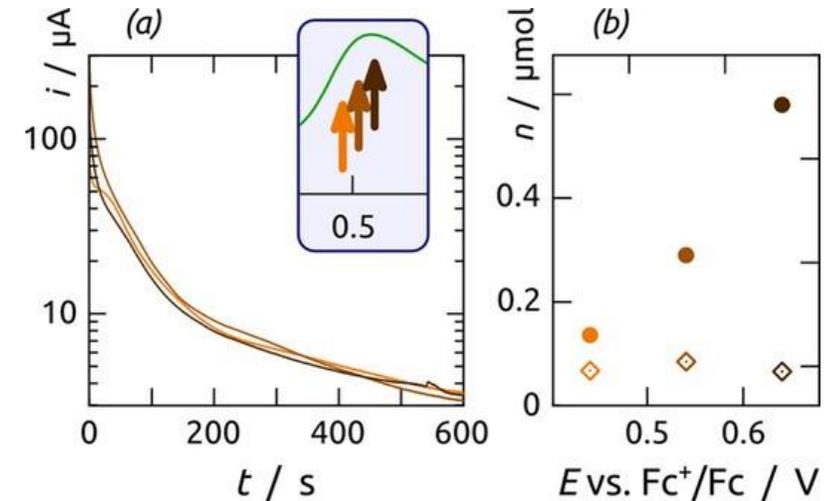
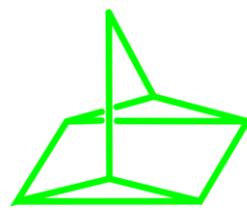
Elektrochemische Kontrolle über das energiespeichernde Valenzisomerpaar NBD/QC:

- Speichert Solarenergie und gibt Wärmeenergie bei der Rückumwandlung ab
- Umwandlung abhängig vom Potential
- Größtenteils reversibles System (Spektroskopische Überwachung/Libuda FAU)

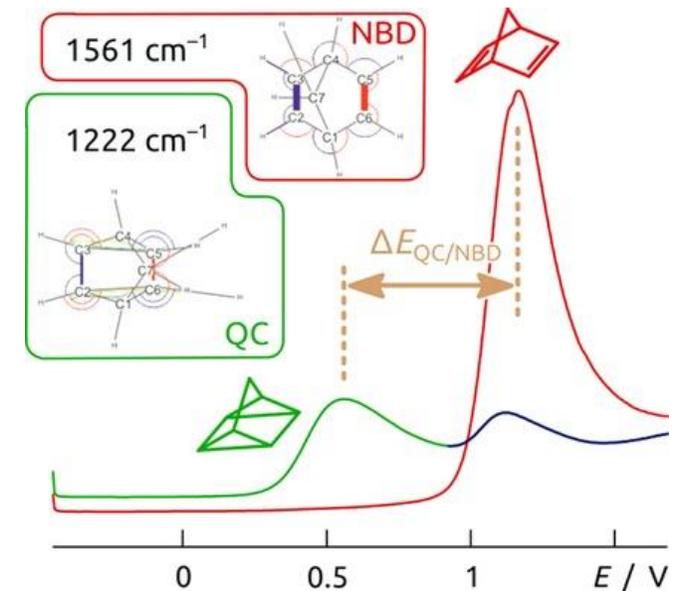
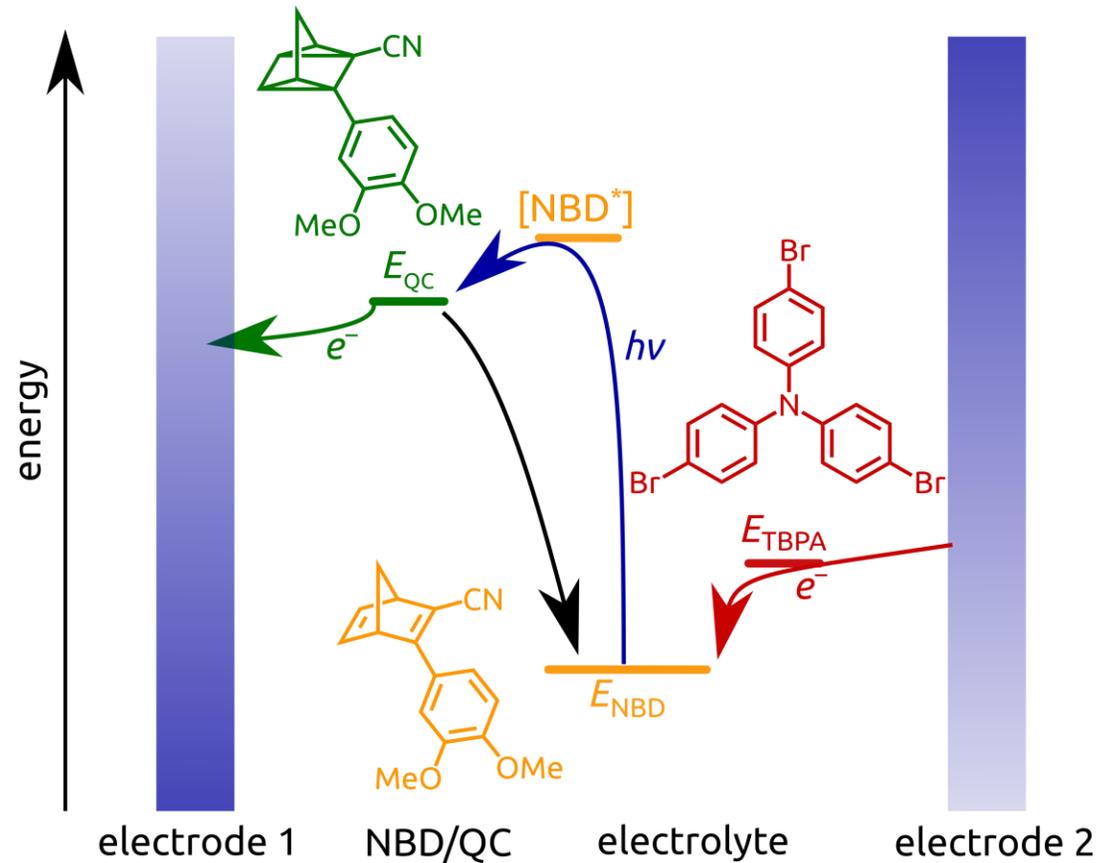
norbornadiene (NBD)

 $h\nu$ 

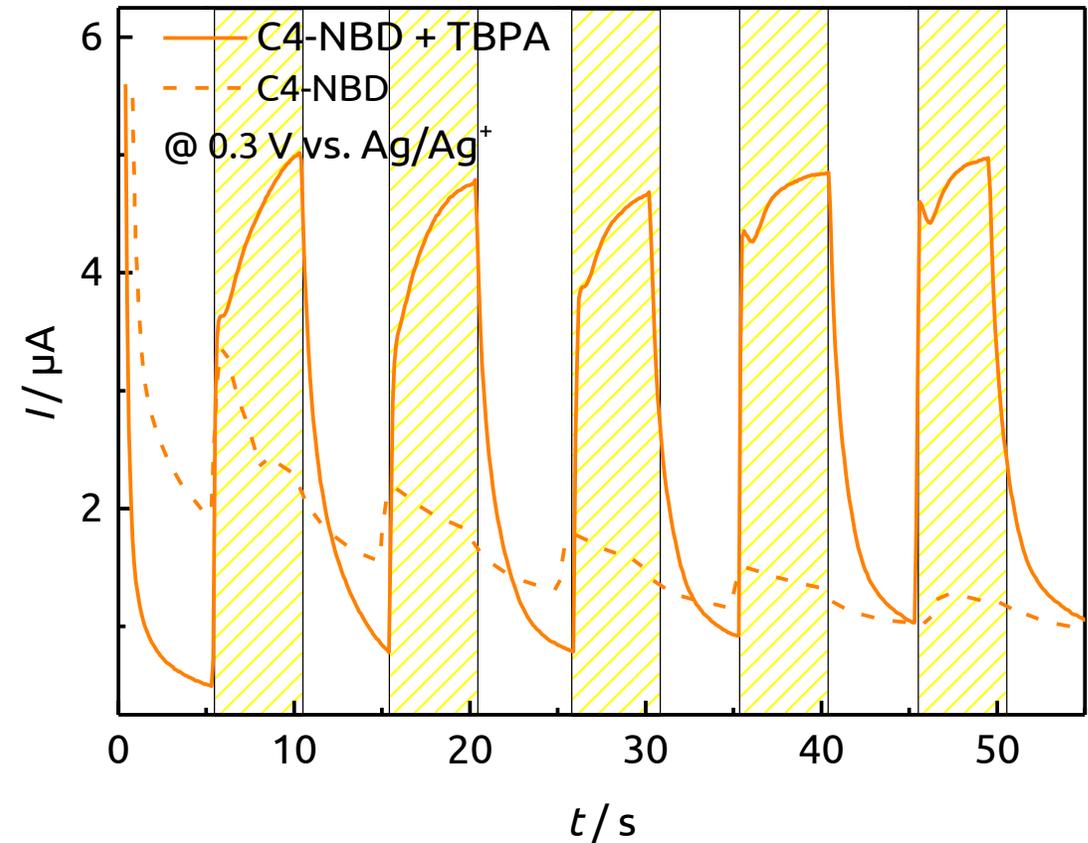
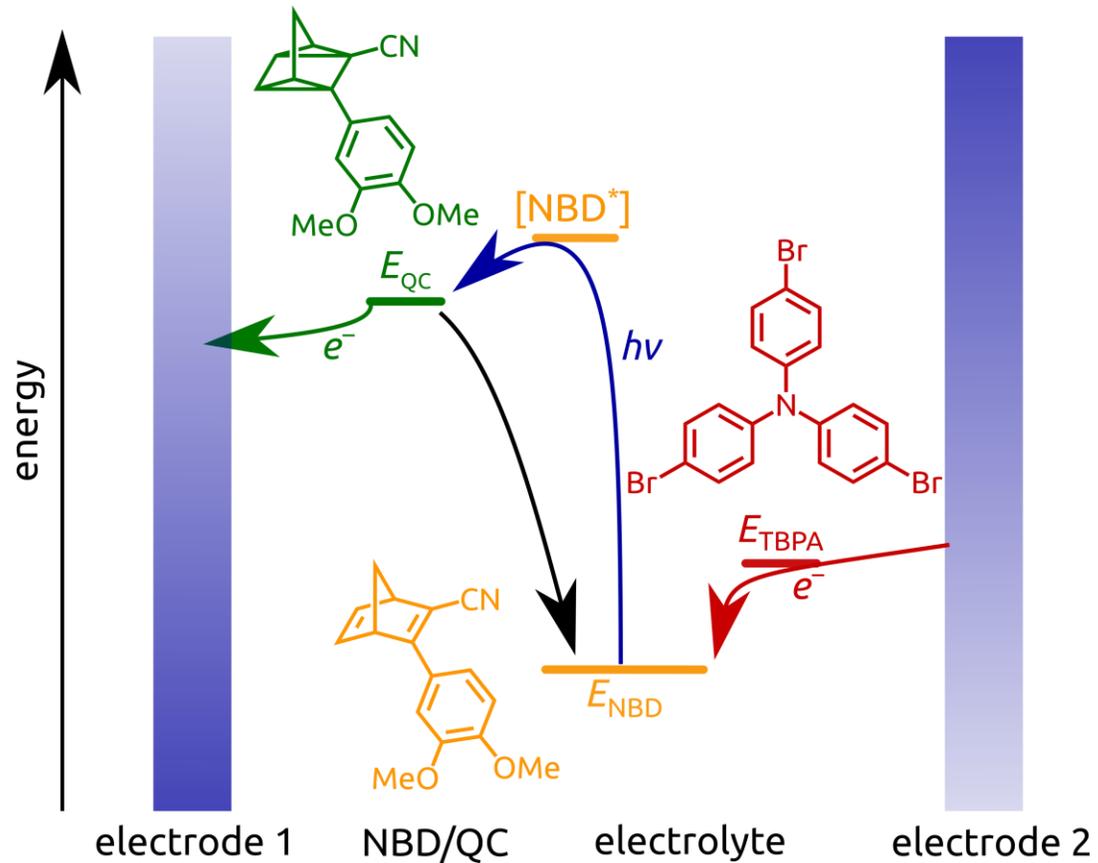
quadricyclane (QC)



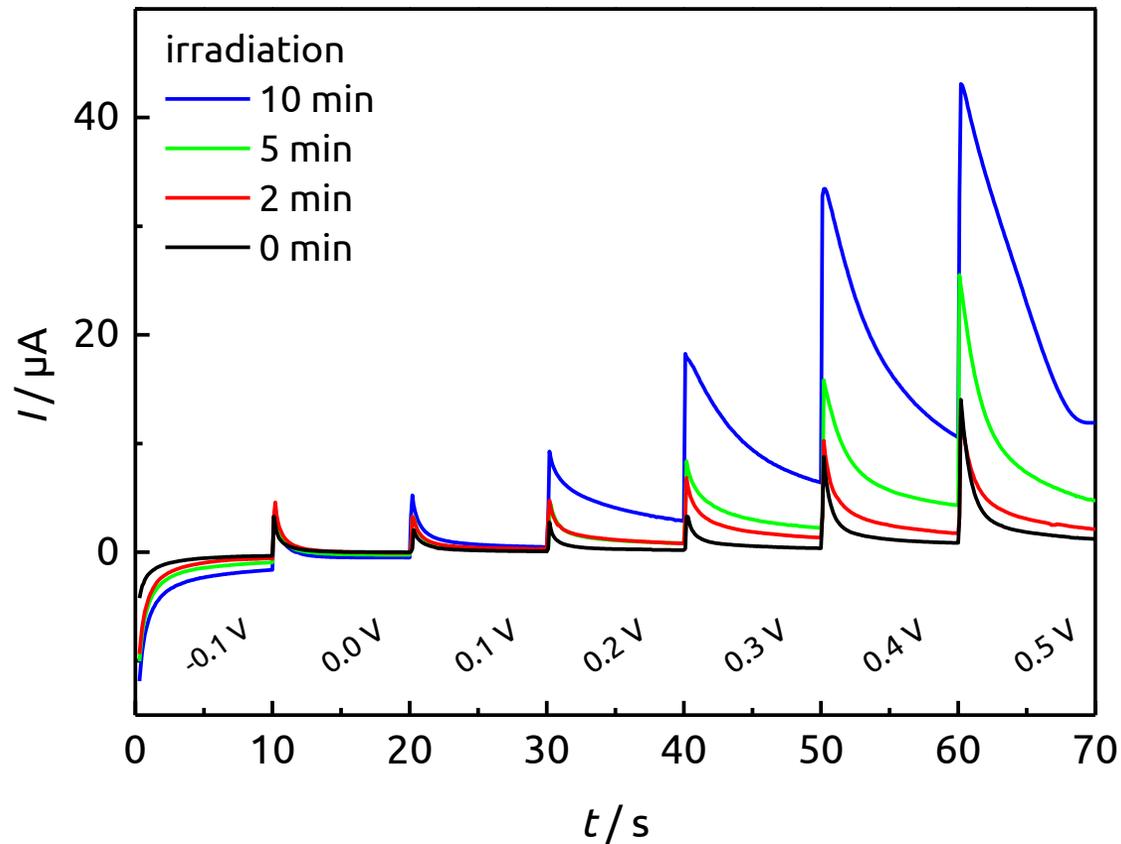
Inspiziert von einer Farbstoffsolarzelle, aber mit metastabilem Speicherzustand:



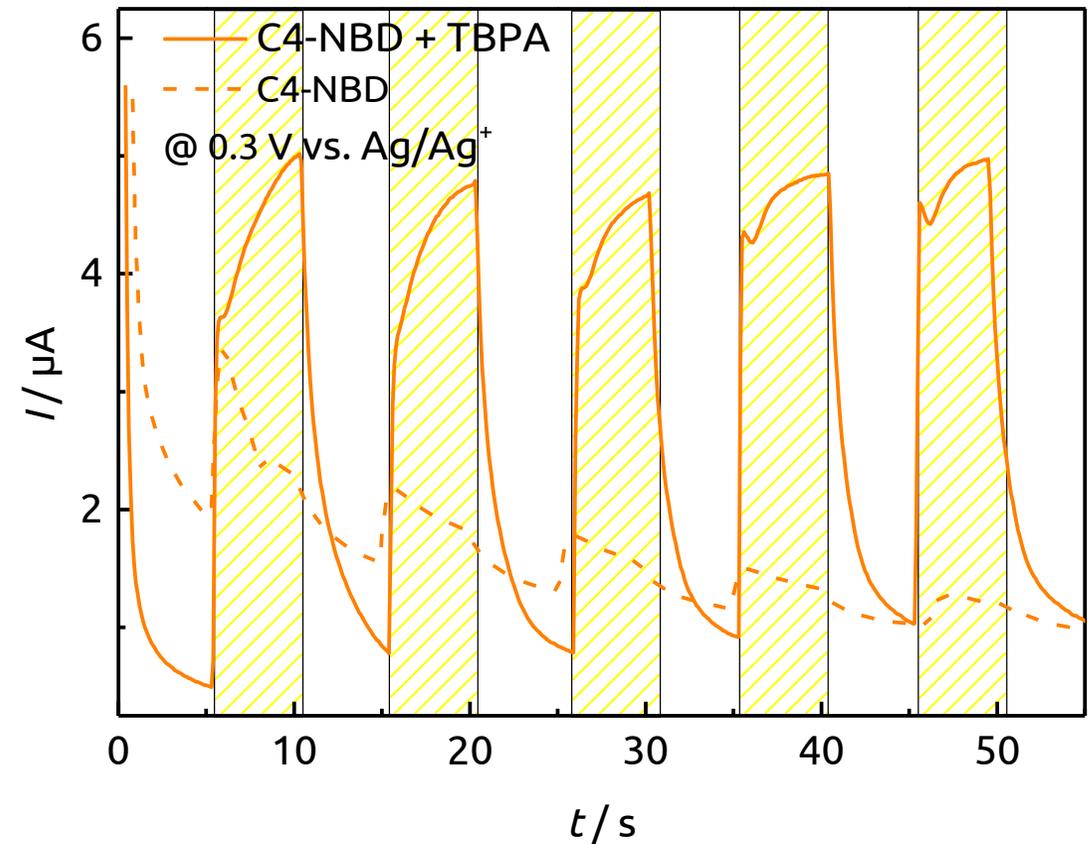
Funktion als Solarzelle:  
Direkte Umwandlung von **Licht zu Strom**



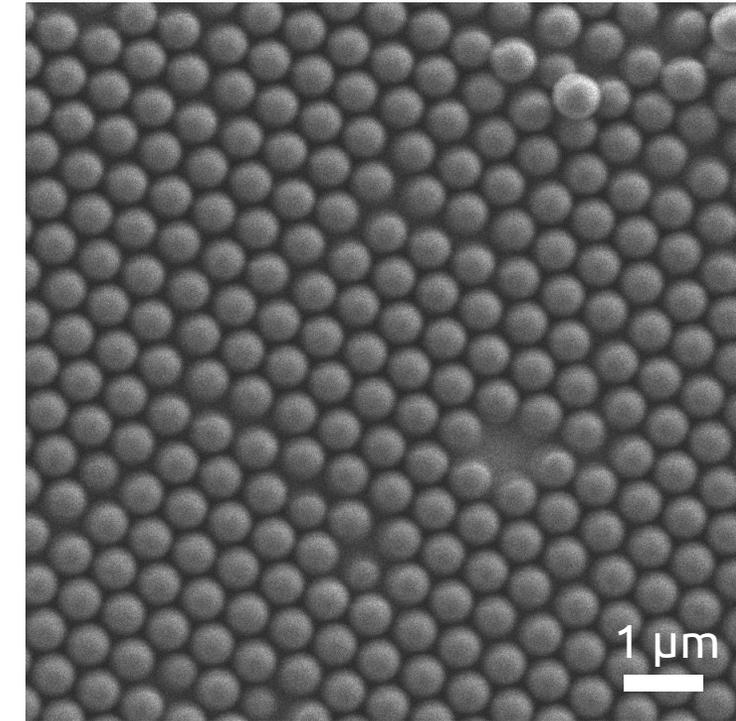
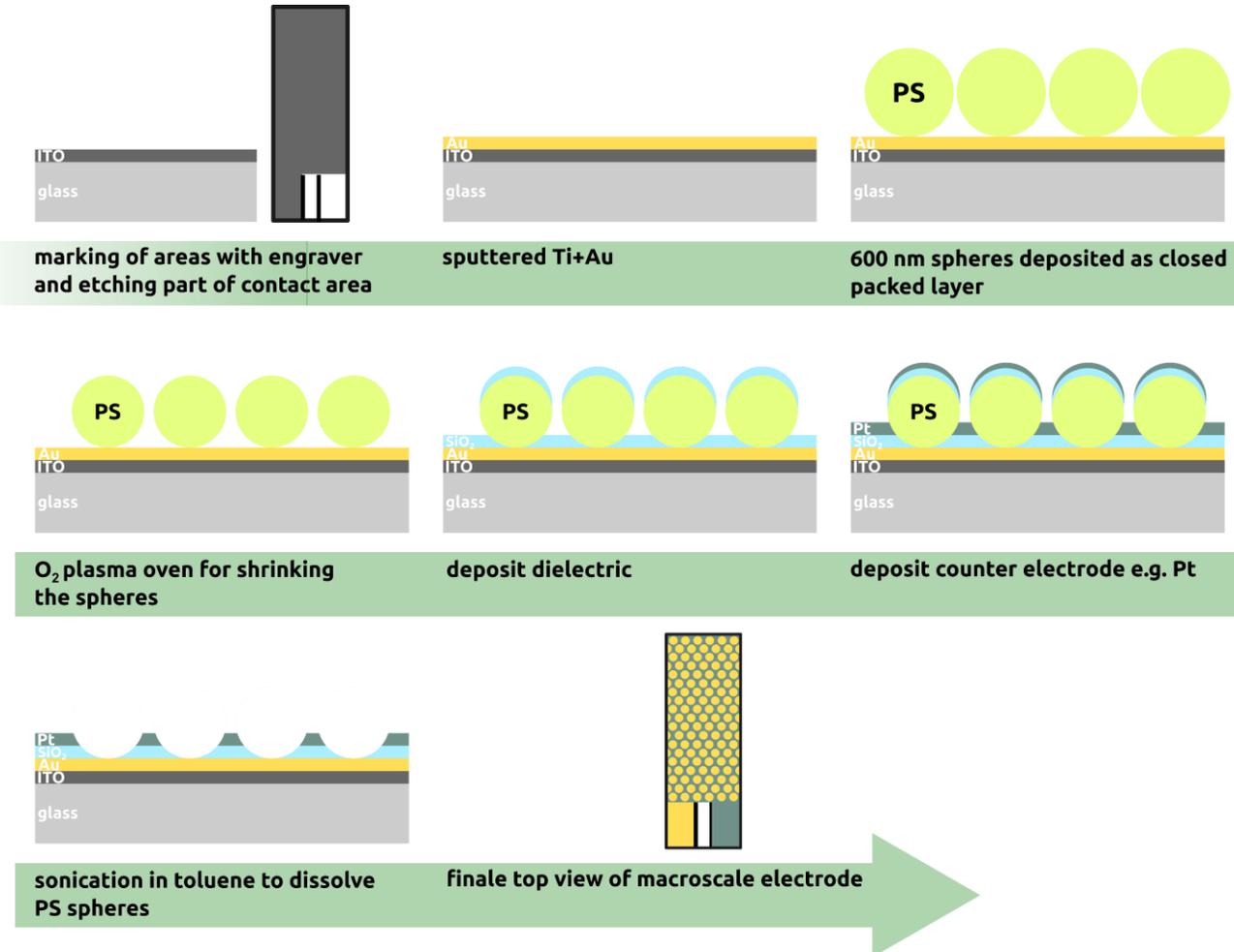
Funktion als Batterie:  
Entnahme von elektrischer **Energie nach Bedarf**, mit vorheriger Umwandlung



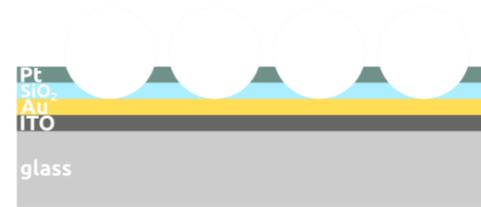
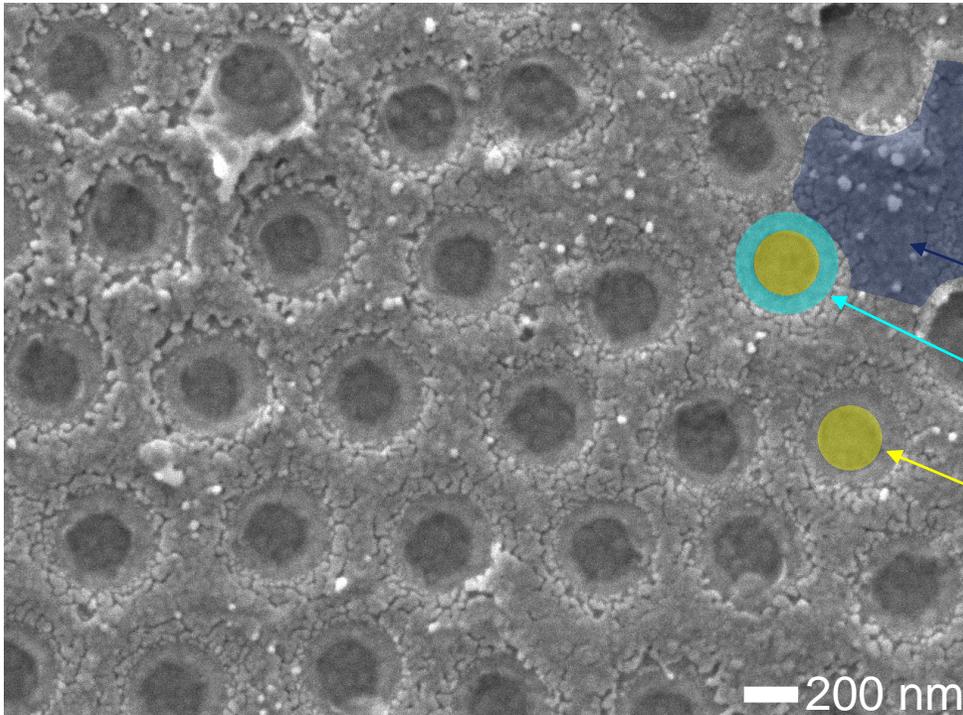
Funktion als Solarzelle:  
Direkte Umwandlung von **Licht zu Strom**



## Elektrodendesign um das System zu verbessern 'polka-dot design'



- Abstand der Elektroden im Nanometerbereich
- Verwendung in einer elektrochemischen Flusszelle zur Entwicklung einer **Solaranlage mit Speichertank**

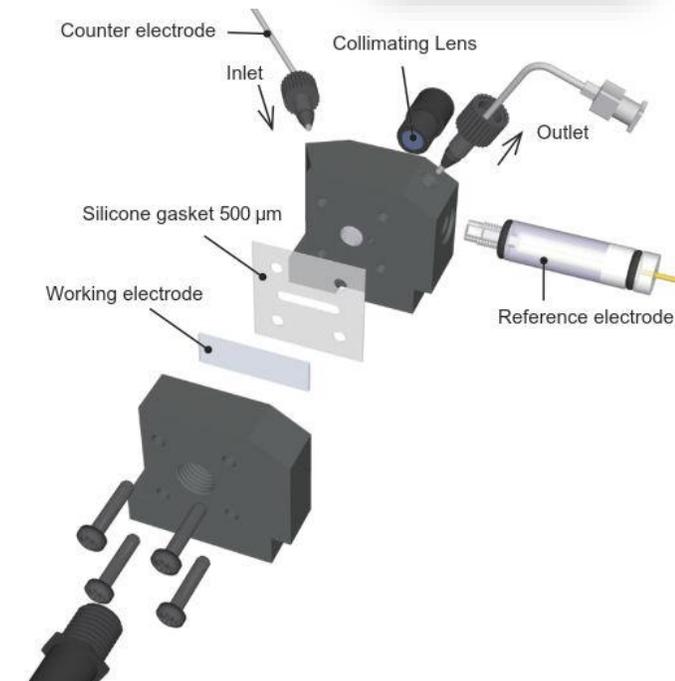


### Finale Struktur:

obere Elektrode (Ag)

Isolator

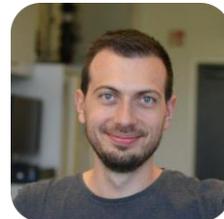
untere Elektrode (Au)



EU H2020 ERC Consolidator Grant 'Solacylin' (647281)

DFG project 'Catalytic and Electrochemical Release of Solar Energy Stored in Strained Organic Compounds' (392607742)





@CtfmLab

**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!**