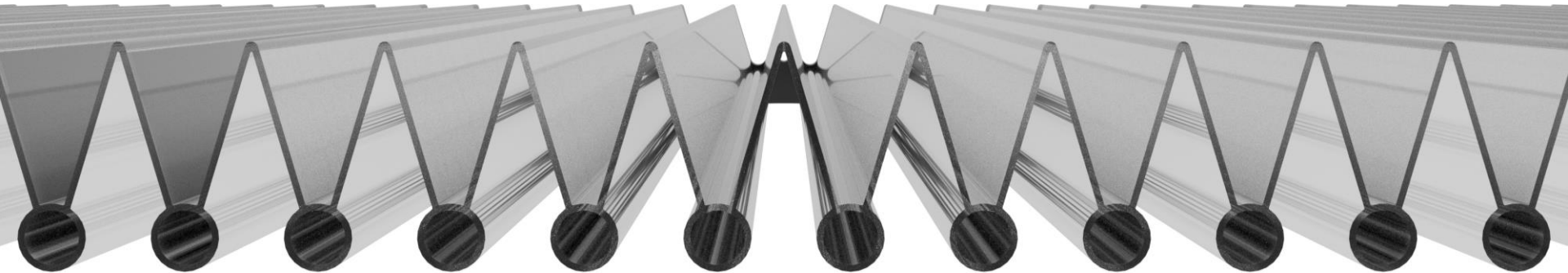


# Energiewende mit Wasserstoff vom Dach

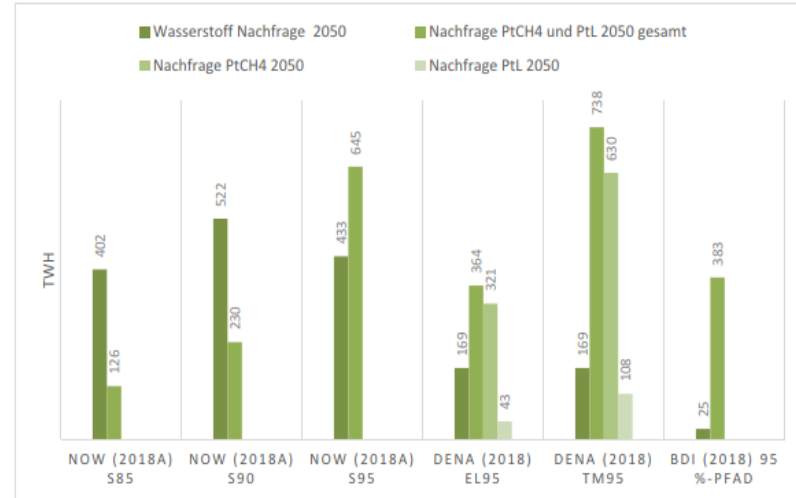
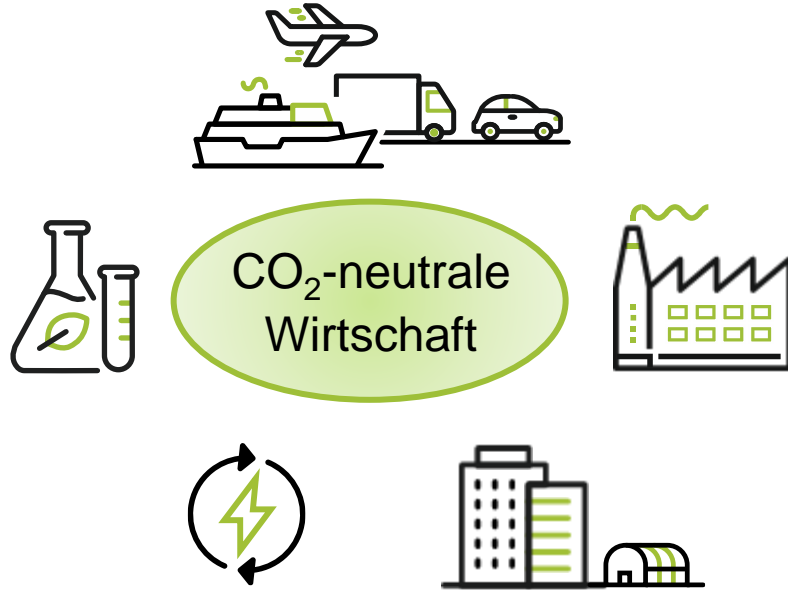
Anselm Dreher, Paul Kant, Michael Rubin,  
Roland Dittmeyer

Institut für Mikroverfahrenstechnik (IMVT)  
25. Oktober 2023



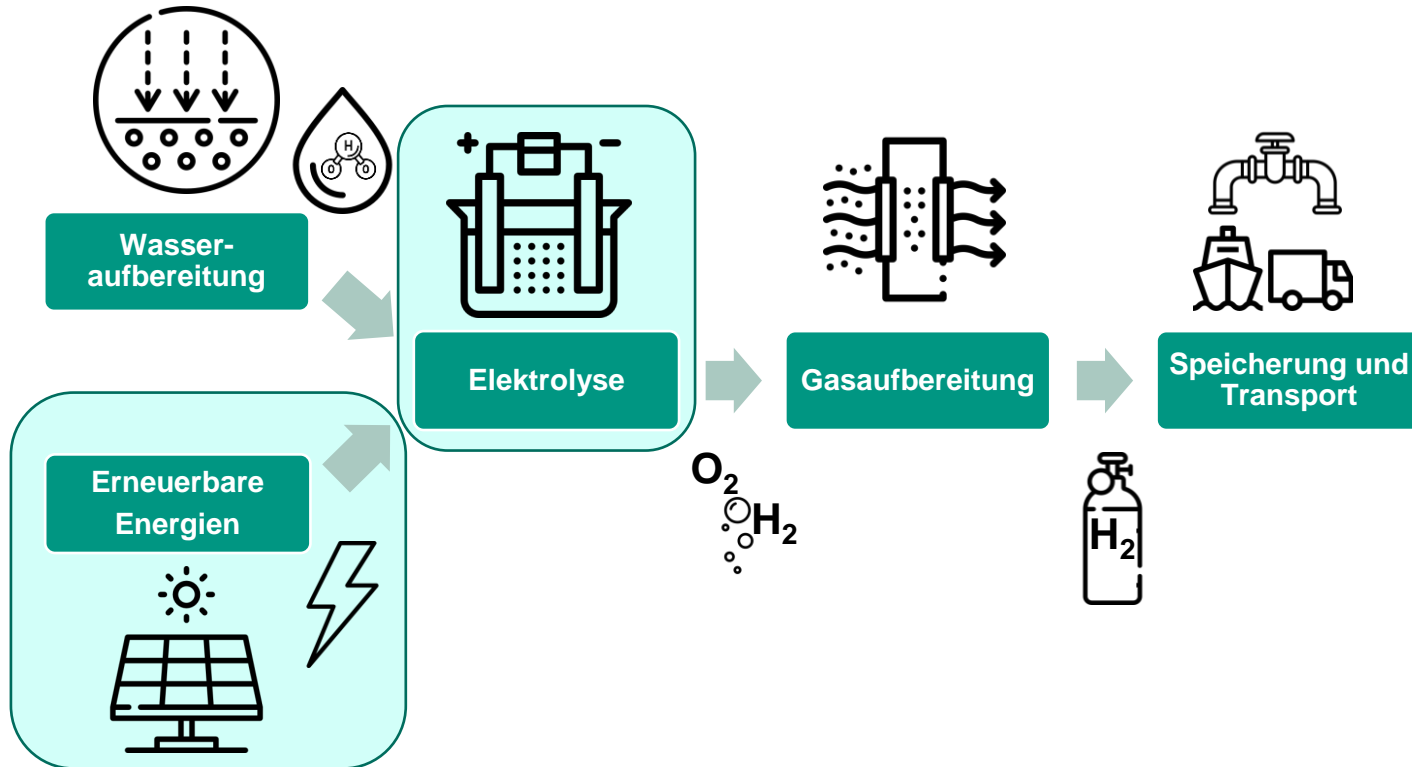
# Warum solare Energieträger?

- Jährlicher H<sub>2</sub>-Bedarf 2030: 100 TWh (3 mio. t) [1]
- Nachfrage in Deutschland 2050

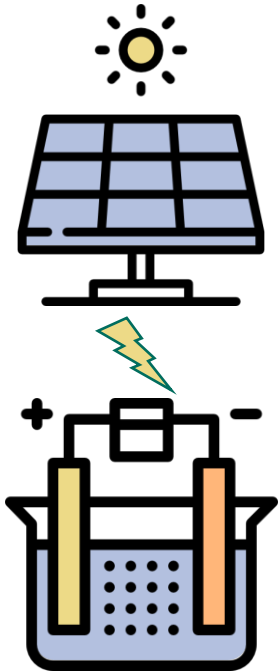


[2]

# Stand der Technik – EE + Elektrolyse



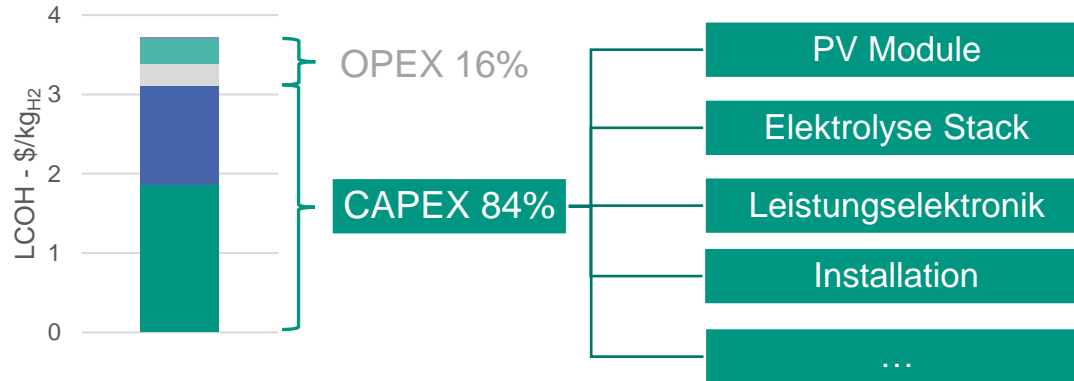
# Stand der Technik – PV + Elektrolyse



## Anlagendaten [1]

- Standort: Australien
- Leistung PV: 1500 kW<sub>p</sub>
- Sonneneinstrahlung: 233 W/m<sup>2</sup>
- STH (gesamt): 15,2%

## LCOH: 3,72 \$/kg<sub>H2</sub>



## Investitionskosten flächenbezogen: 380 \$/m<sup>2</sup> (@STH 15,2%)

[1] Yates et al., 10.1016/j.xcrp.2020.100209 (2020)

# Elegante Alternative: Photokatalyse

## ■ Vereinfachung zu einstufigem Prozess

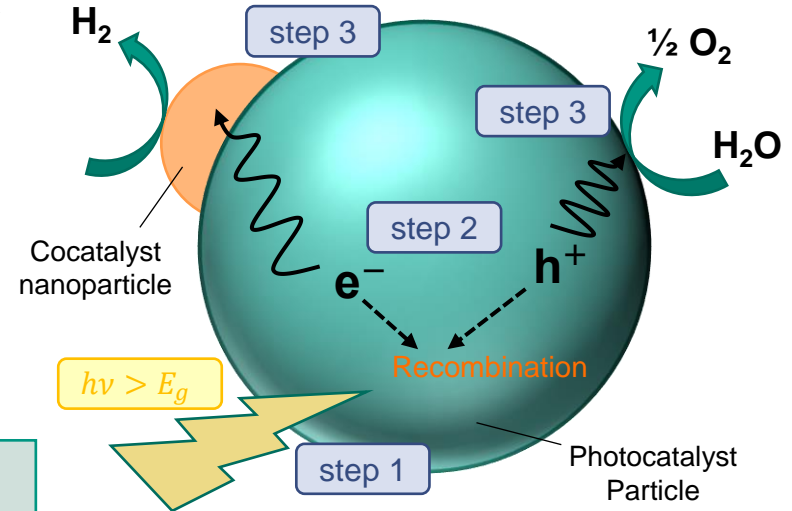
1. Absorption von Photonen und Ladungsträgertrennung
2. Transport zur Oberfläche ohne Rekombination
3. Freisetzung von  $H_2$  bzw.  $O_2$  durch Oxidation bzw. Reduktion

**+**

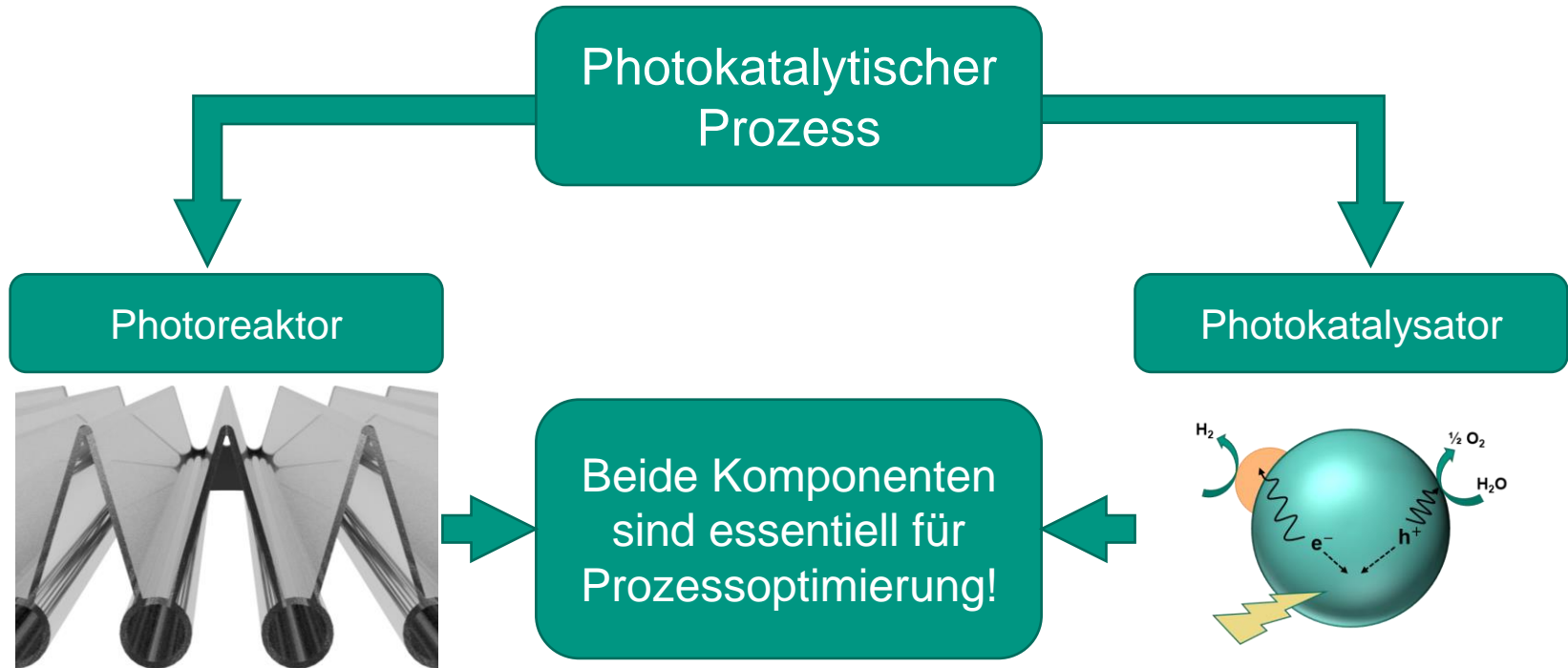
Kostengünstig
Andere chemische Reaktionen möglich

**-**

Wirkungsgrad gering
Unerprobte Technologie (TRL 4-5)



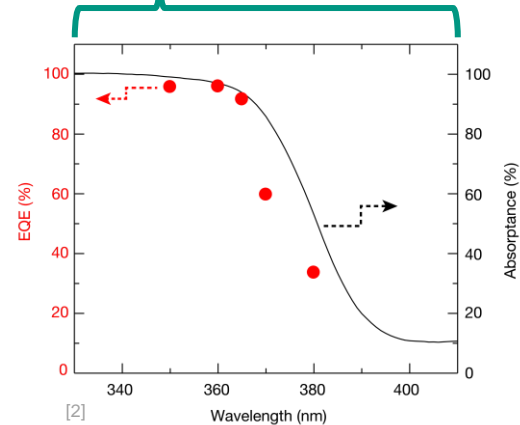
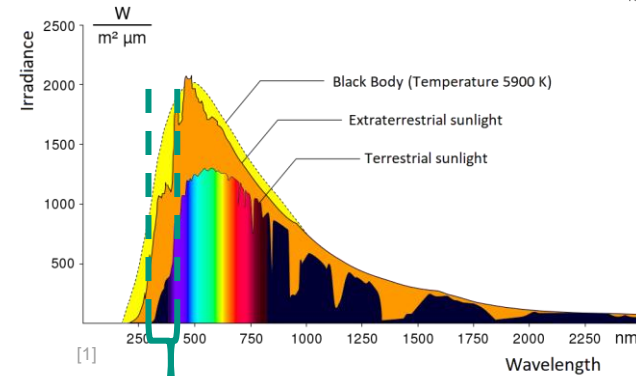
# Elegante Alternative: Photokatalyse



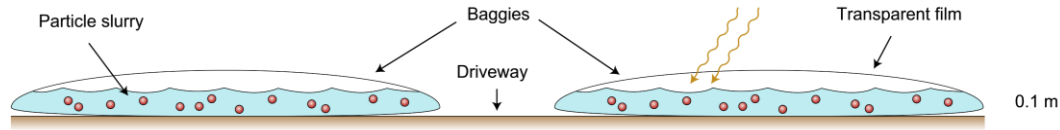
# Photokatalysator

- Wichtigste Eigenschaften
  - Absorption in breitem Spektrum
  - Hohe Quantenausbeute
  
- ...und weitere
  - Verfügbarkeit & Preis
  - Beständigkeit
  - Umweltverträglich

➡ viel Arbeit für Chemiker...



# Photoreaktor - Beispiele



■ CAPEX?

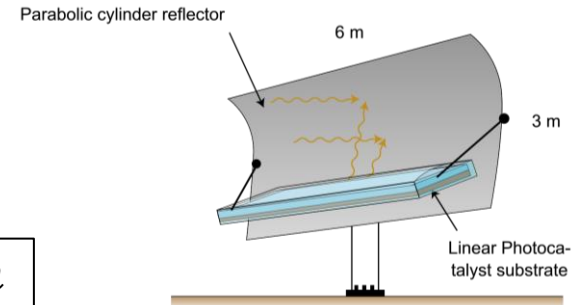
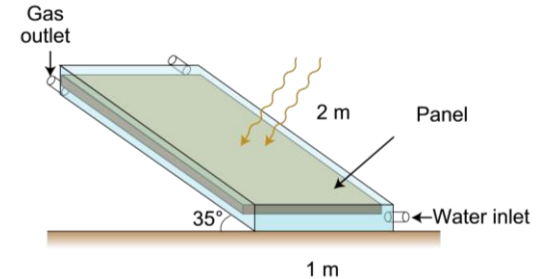
■ Effiziente Katalysatornutzung?

■ OPEX?

■ Strahlungstransporteffizienz  $\eta_\lambda$ ?

■ Sicherheit?

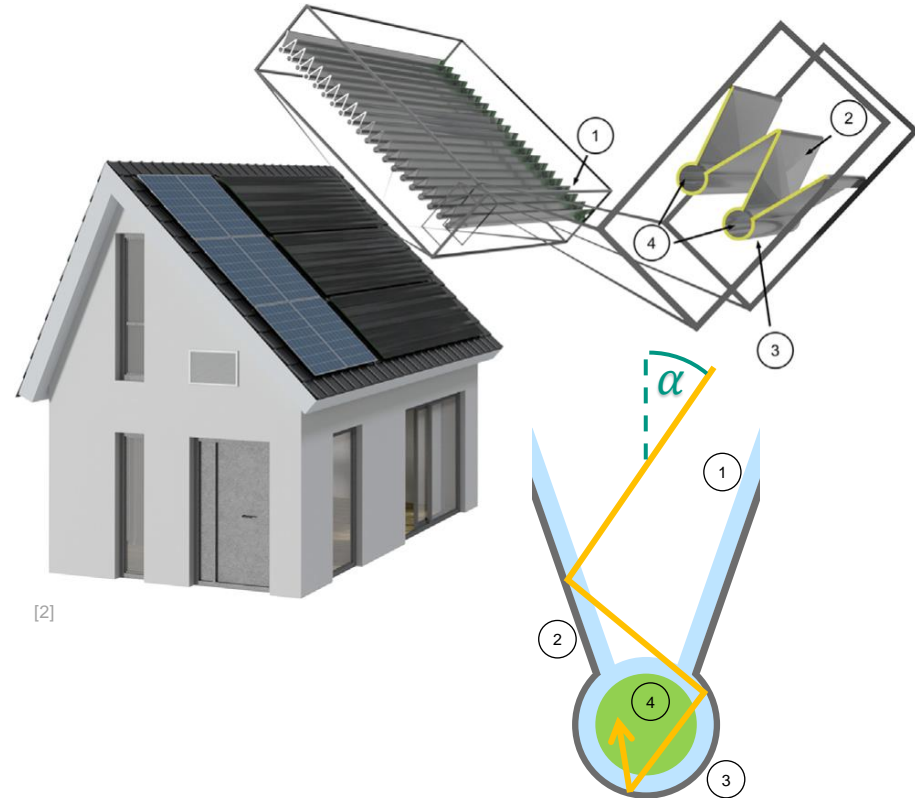
$$\eta_\lambda = \frac{\# \text{ absorbierter Photonen im Reaktionsvolumen}}{\# \text{ in den Reaktor einfallender Photonen}}$$





# Photoreaktor – Design

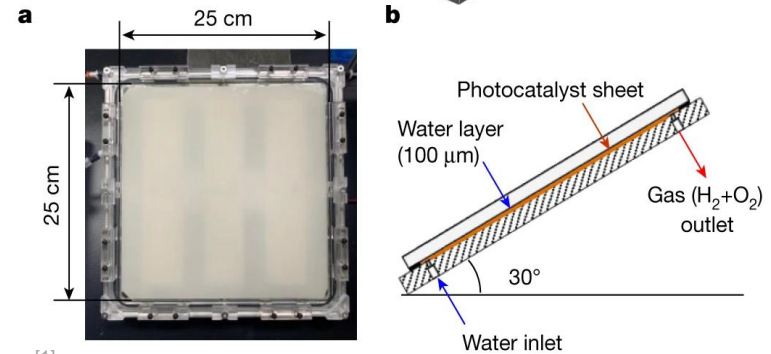
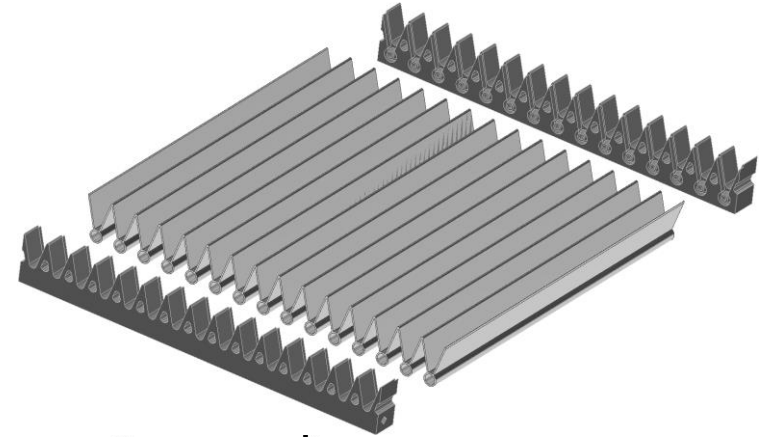
- Hauptmerkmale
  - Geringe Komplexität
  - Günstige Materialien
  - Geringer Wartungsaufwand
  - **Hohe Strahlungstransporteffizienz**
  
- Ziel:
  - Flächenbezogene Investitionskosten  $< 102\$/m^2$ <sup>[1]</sup> (@STH 10%)



➡ viel Arbeit für Ingenieure...

# Photoreaktor - Komplexität

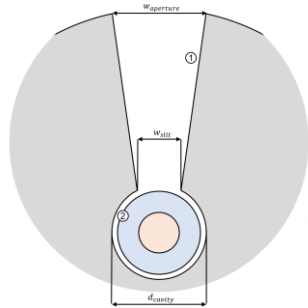
- Wenige Einzelteile
  - Reduzierter Fertigungsaufwand
  - Weniger Dichtungsprobleme
  
- Keine beweglichen Teile
  - Geringerer Wartungsaufwand
  - Entscheidender Einfluss auf Optik



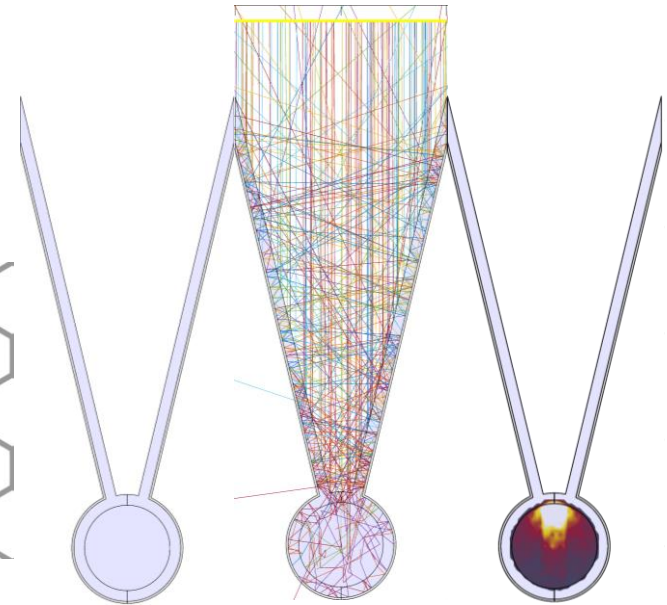
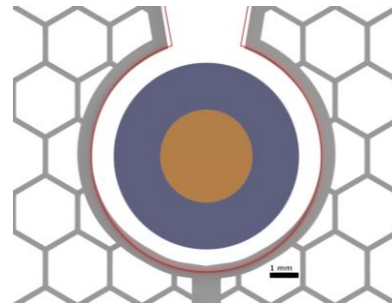
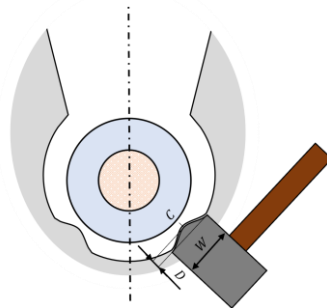
[1]

# Photoreaktor - Geometrieoptimierung

- Analyse der Geometrie mittels Monte-Carlo-Raytracing-Simulationen
- Charakteristische Abmessungen
  - Durchmesser? Länge?
- Deformierung der Kavität



[1]



# Photoreaktor - Materialauswahl

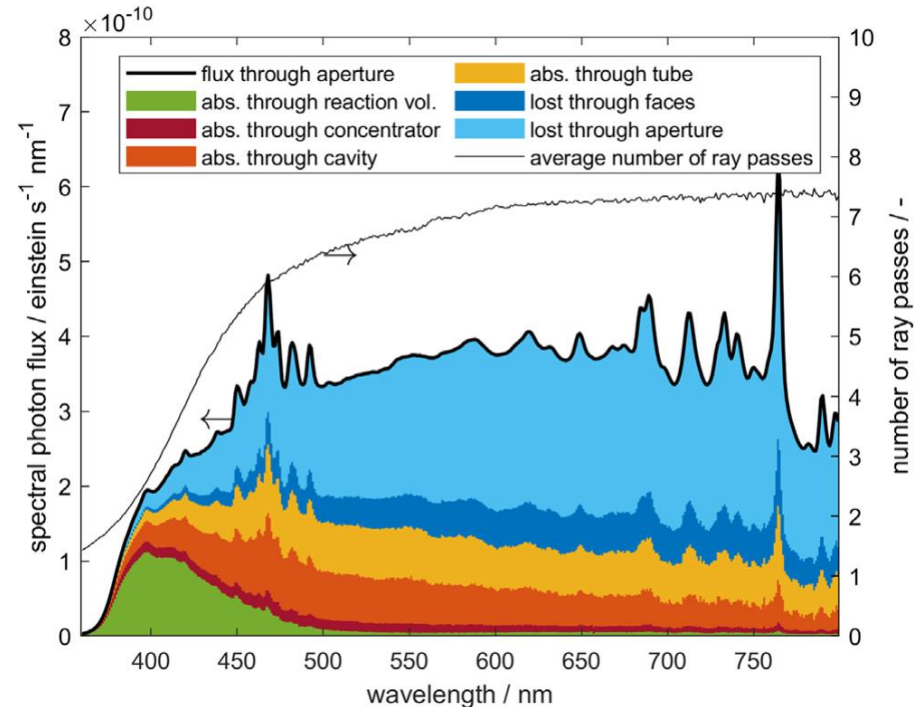
## ■ Polymer

- Hohe Transparenz
- Wetterbeständigkeit
- Extrudierbar

➔ PMMA

## ■ Reflektive Beschichtung

- Hohe Reflektivität
- ➔ Aluminium



[1]

# Photoreaktor - Kostenabschätzung

- Material- und Fertigungskosten orientiert an Großhandelspreisen
  - Große Unbekannte Photokatalysator
    - Zusammensetzung
    - Benötigte Menge
- ➔ (potentiell) viel Arbeit für die Industrie

Komponente	Kosten (Fertigung inkl.)
Transparentes Panel (PC / PMMA Extrudat)	13 \$/m <sup>2</sup>
Reflektive Beschichtung (Aluminium via Sputtern)	35 \$/m <sup>2</sup>
Fluid-Verteiler (PE-HD Spritzguss)	2,9 \$/m <sup>2</sup>
Photokatalysator (konservative Schätzung)	1000 \$/kg 12,6 \$/m <sup>2</sup>
<b>Gesamtkosten</b>	<b>63,5 \$/m<sup>2</sup> [1]</b> (STH ?)



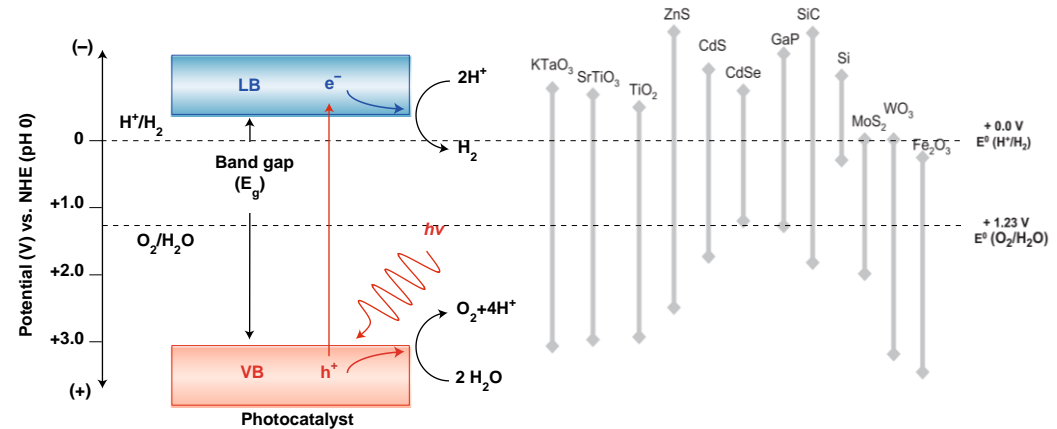
# Vielen Dank für Ihr Interesse

Fragen und Kontakt:  
[anselm.dreher@kit.edu](mailto:anselm.dreher@kit.edu)

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)  
Institut für Mikroverfahrenstechnik (IMVT)  
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1  
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

# Photokatalysator

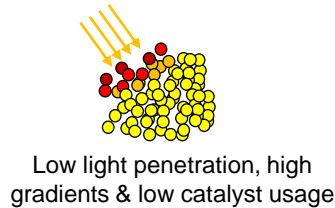
- Halbleiter mit Bandlücke zwischen Valenzband (VB) und Leitungsband (LB)
  - Absorbiertes Photon „hebt“ Elektron  $e^-$  in Leitungsband, im Valenzband bleibt positiv geladenes „Loch“  $h^+$  zurück
  - Reaktion kann ablaufen, wenn die Bandlücke die Potentiale von  $H_2$  und  $O_2$  umschließt



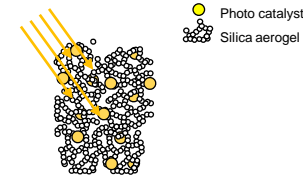
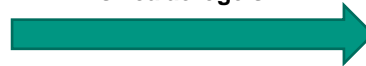
# Catalyst integration

- Early step in design process due large influences on reactor as a whole

## Bulk material



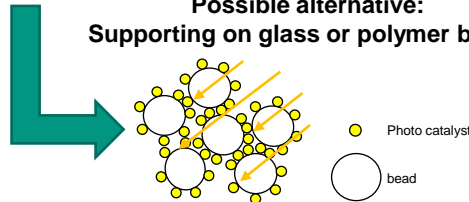
Supporting on transparent silica aerogels



Translucent catalyst, good optical accessibility & high catalyst usage  
**but**  
requires waterproofing of the gel for liquid phase reactions



Possible alternative:  
Supporting on glass or polymer beads



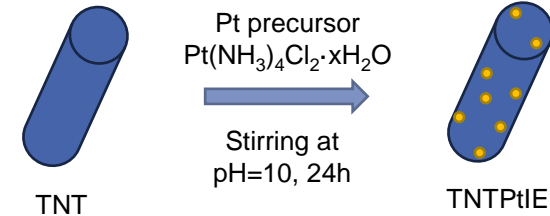
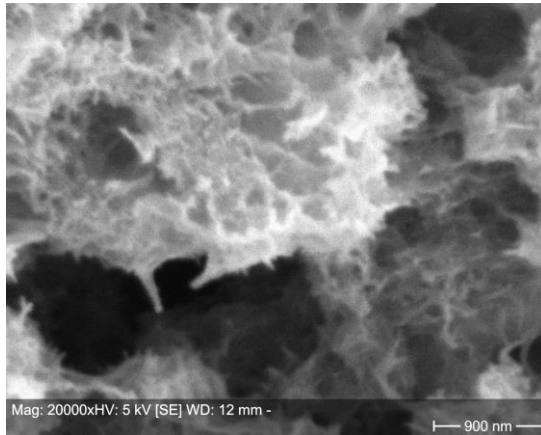
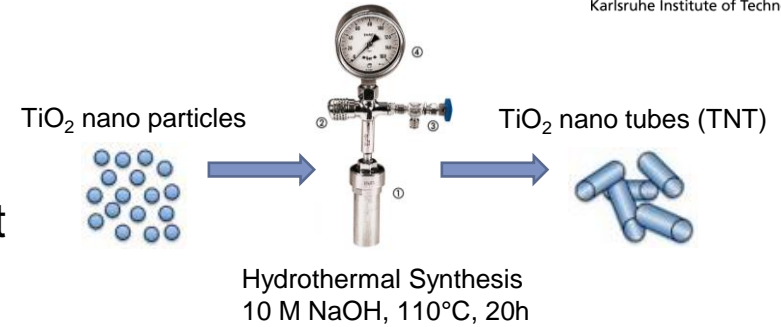
Inert properties & mechanical stability  
**but**  
harder to coat with catalyst

- *How to prevent static charge of aerogels?*
- *Can TNTPtIE be coated on glass beads?*



# Model catalyst

- $\text{TiO}_2$  nano-tubes ion exchanged with Platinum (TNTPtIE)
  - (Weak)  $\text{H}_2$  production under visible light
  - Simple to synthesise



- *Did ion exchange work?*
- *Are there better candidates for water splitting?*

# $\Phi$ – Experiments

- Reactants
  - $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CH}_3\text{OH}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , ...
- Conditions
  - $T \sim 300^\circ\text{C}$
  - $p = 10 \text{ bar}$
  - $q = 0.5\text{W} \dots 1.5\text{W}$
- Catalyst
  - Heterogenous gas phase (for now...)
  - Powdered

