



Empa

Materials Science and Technology

Ungewissheit: Ambivalenz zwischen Fortschritt und Blockade

Empa Technology & Innovation Forum 2017 (ETIF 2017)

Ohne Risiko keine Innovation

Dübendorf, 7. November 2017

Dr. Pierangelo Gröning

Head Department *"Advanced Materials and Surfaces"*

Empa

pierangelo.groening@empa.ch

Komplexität

Die Herausforderung des 21^{ten} Jahrhundert



Komplexe Systeme sind nicht
vollständig bestimmbar !



Quintuple pendulum

Ungewissheit und
Ignoranz sind die
Dinge, die der
Mensch am
wenigsten
erträgt!

Isaak Öztürk

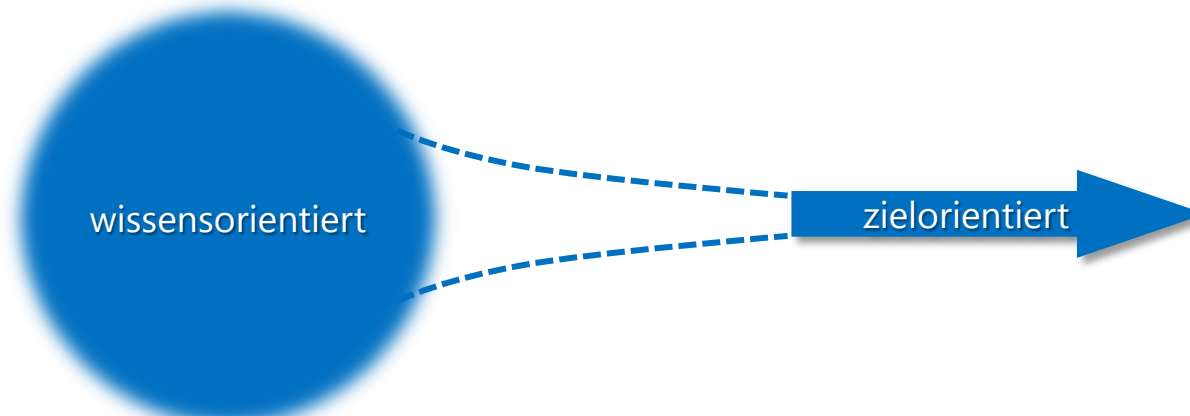
Ungewissheit ist gerade die Bedingung,
die den Menschen zur Entfaltung
seiner Kräfte zwingt.

Erich Fromm

Man muss das Unmögliche
versuchen, um das Mögliche
zu erreichen.

Herrmann Hesse

Fortschritt = f (Neugierde, Fokus)



Kultur "S"

neugierig
kindlich
spielerisch
selbstmotiviert
naiv
unstrukturiert
risikofrei

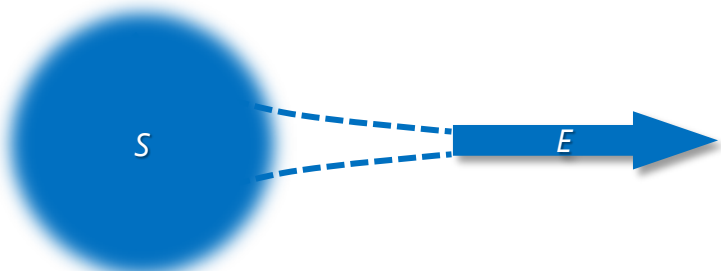
...

Kultur "E"

fokussiert
strukturiert
effizient
planerisch
risikobewusst
...

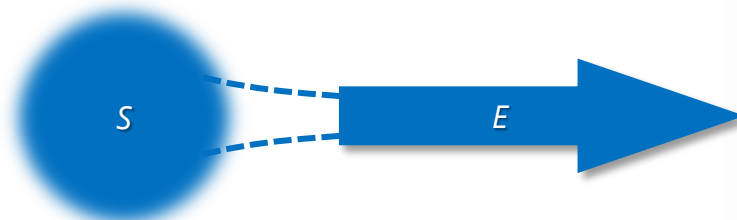
Effizienz, Effizienz, Effizienz,...

Ein Risiko für den Fortschritt



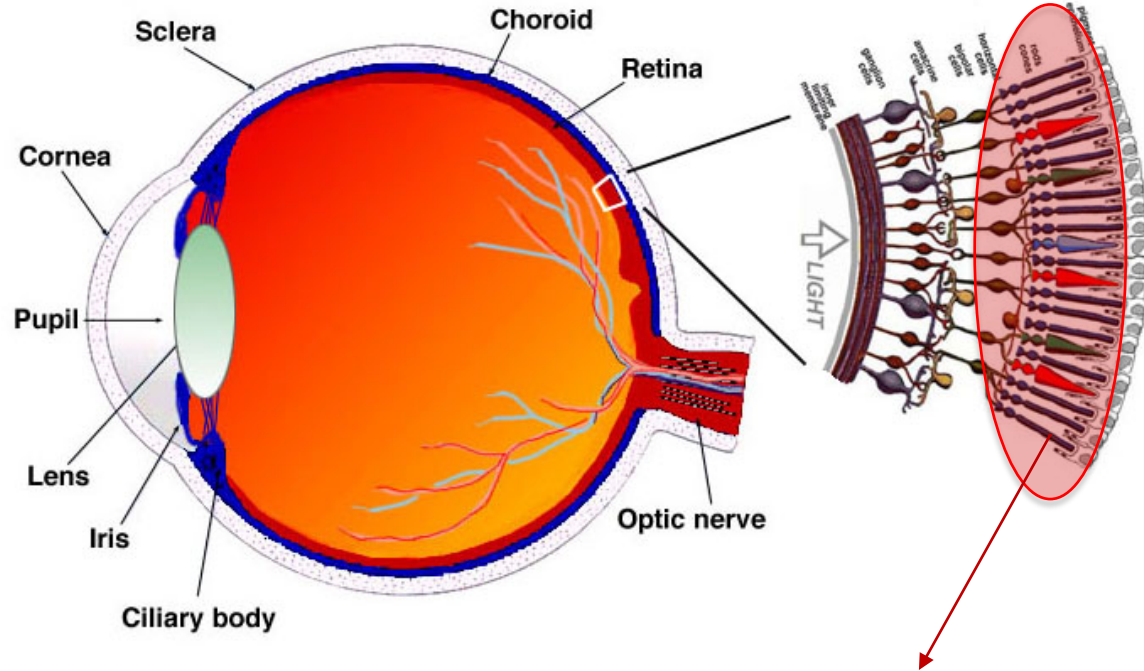
Effizienzsteigerung durch:

- Koordination
- Planung
- Fokussierung
- Controlling
- Normieren
- ...



Anderes Denken eröffnet neue Wege

Beispiel: Augenprothese

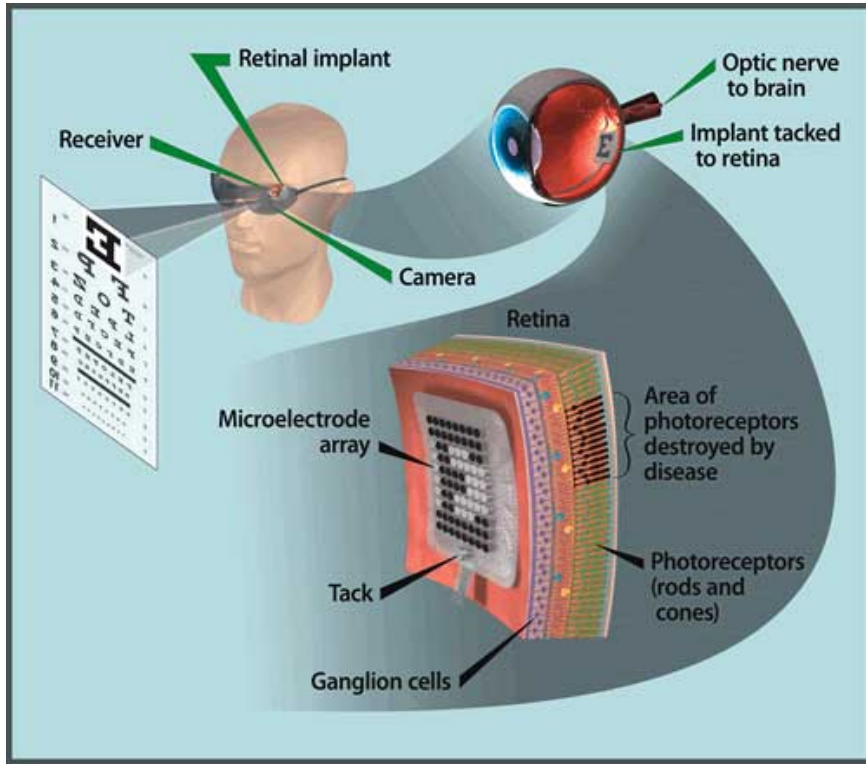


Erblindung:

Folge des Defekts der Umwandlung
Photonen \rightarrow Elektronen (Licht \rightarrow elektr. Strom)

Andres Denken eröffnet neue Wege

Beispiel: Augenprothese



SOURCE: U.S. Department of Energy, Artificial Retina Project



Probleme: Die begrenzte Auflösung

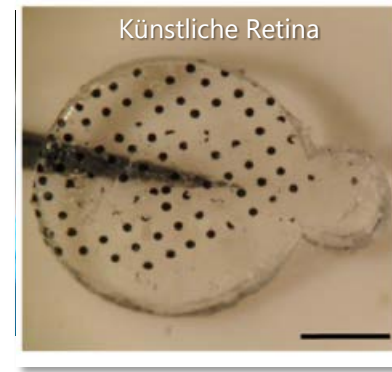


Anderes Denken eröffnet neue Wege

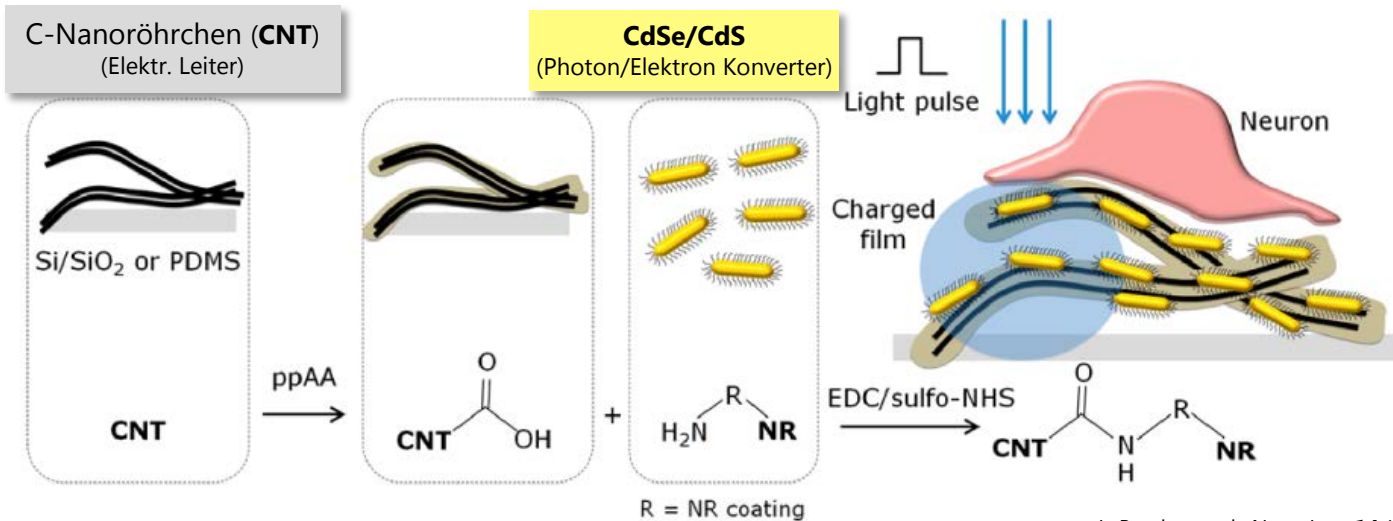
Beispiel: Augenprothese

Sehdefekt:
Umwandlung **Photon** → **Elektron**

Prinzip der Solarzelle

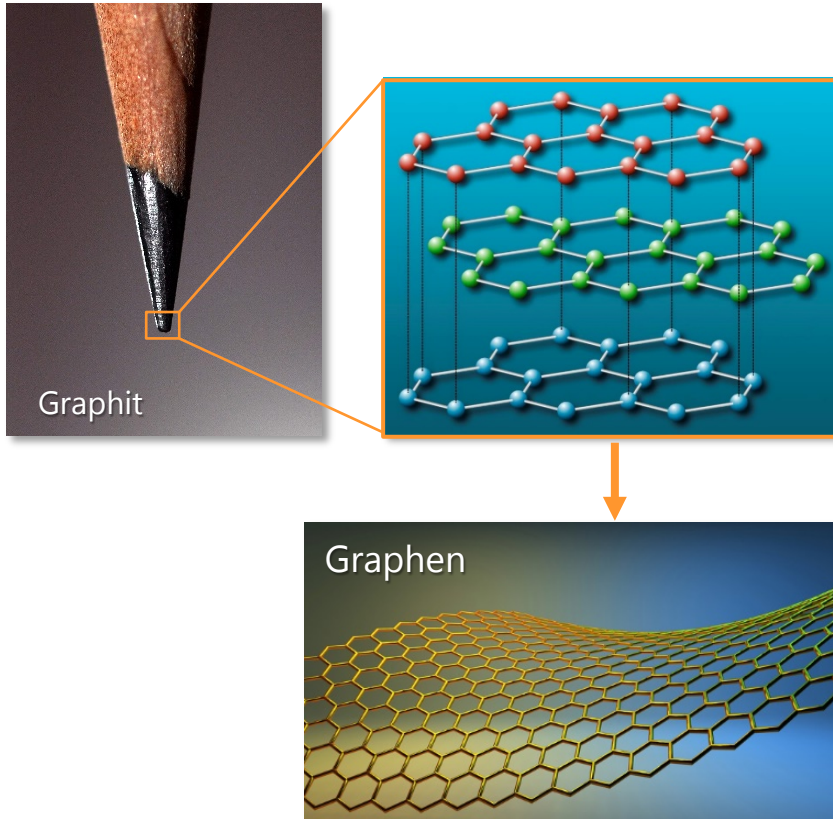


Ansatz: Nano-Solarzellen



L. Bareket et al., Nano Lett., **14** (2014) 6685

Graphen die ultimative Dünnschicht *1 Atom dick!!*



Thermische Leitfähigkeit:

- ❑ Graphen $\sim 5'000 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$
- ❑ Silizium $\sim 150 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$

Elektronenbeweglichkeit:

- ❑ Graphen $< 200'000 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$
- ❑ Silizium $1'400 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$

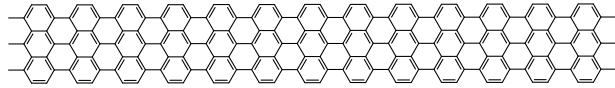
→ Graphen, das ideale Material für die Mikro- Nanoelektronik!

Problem:

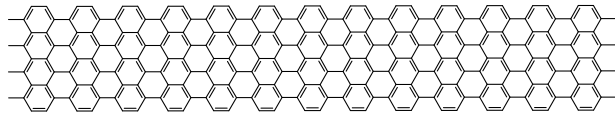
Graphen ist ein Halbmetall und kein Halbleiter!!

Graphen Nanobänder

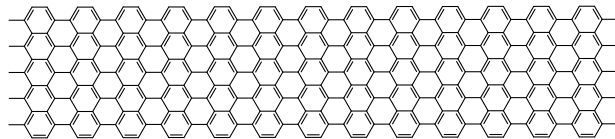
Vom Halbmetall zum Halbleiter



$N=7: E_g = 1.6 - 3.8 \text{ eV}$



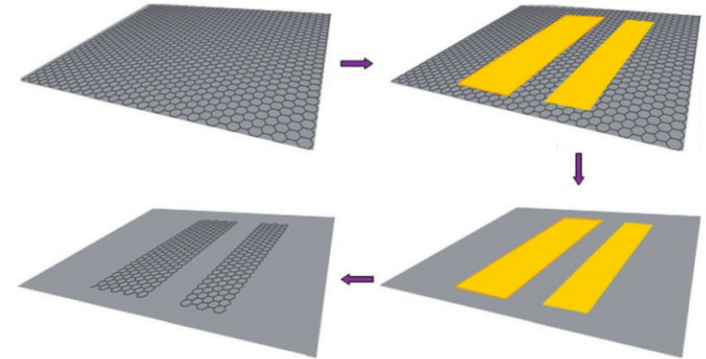
$N=9: E_g = 0.7 - 2.0 \text{ eV}$



$N=11: E_g = 0.2 \text{ eV} - 0.9 \text{ eV}$

According to: Yang et al., PRL **99** (2007) 186801

"Top-Down" Herstellung



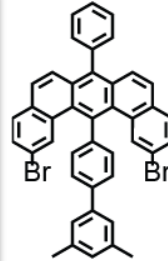
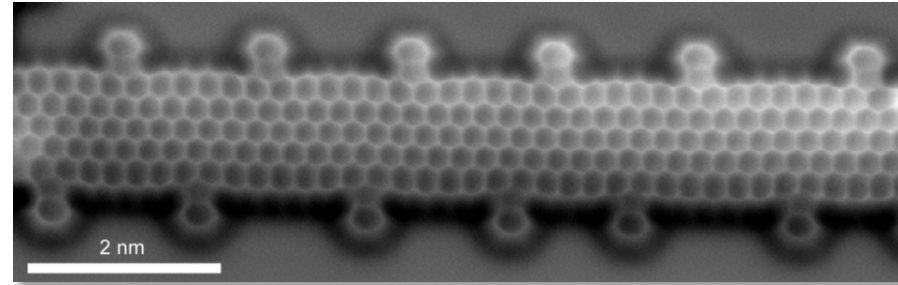
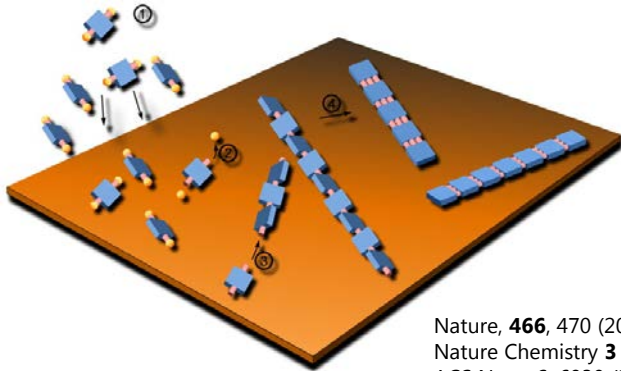
Schwierigkeiten:

- Breite der Bänder > 20 nm
- Unregelmässige Ränder



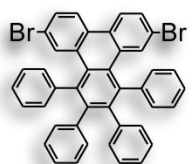
Graphen Nanobänder

"Bottom-Up" Synthese / Lego mit Molekülen

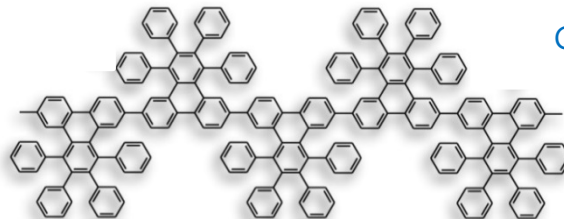


Nature, **466**, 470 (2010)
Nature Chemistry **3** (2011) 61
ACS Nano **6**, 6930 (2012)
J. Am. Chem. Soc. **135**, 2060 (2013)
Nature Nano., DOI: 10.1038/184 (2014)
Nature Comm., DOI: 10.1038/5253 (2014)
Nat. Nano. **9** (2014) 896
PRB **91** (2015) 045429
Nano Lett. **15** (2015) 5185

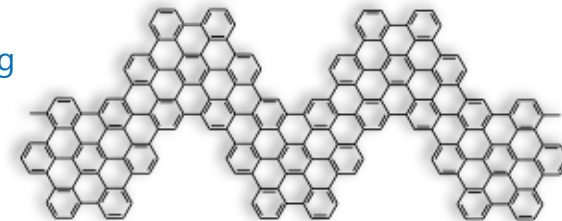
Ausgangsmolekül



Polymerisierung
(T = 160°C)

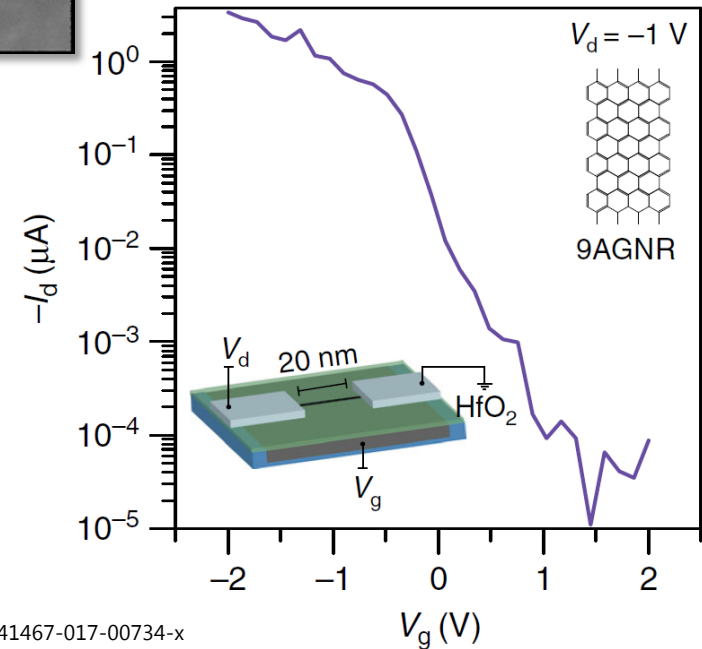
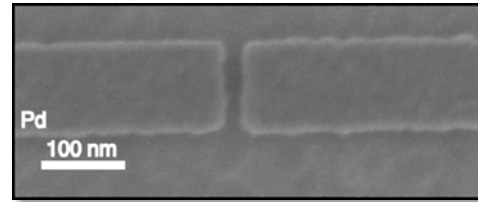
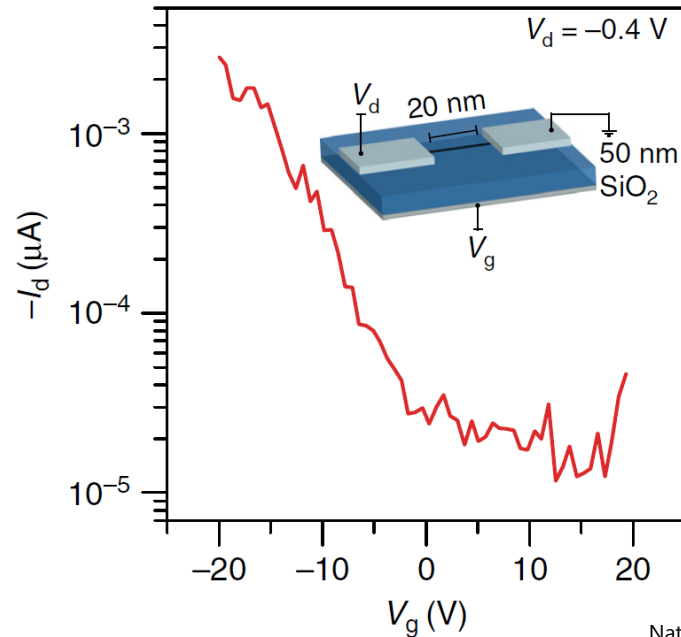


Graphenbildung
(T = 350°C)



Graphen Nanobänder

Erster Feldeffekt-Transistor

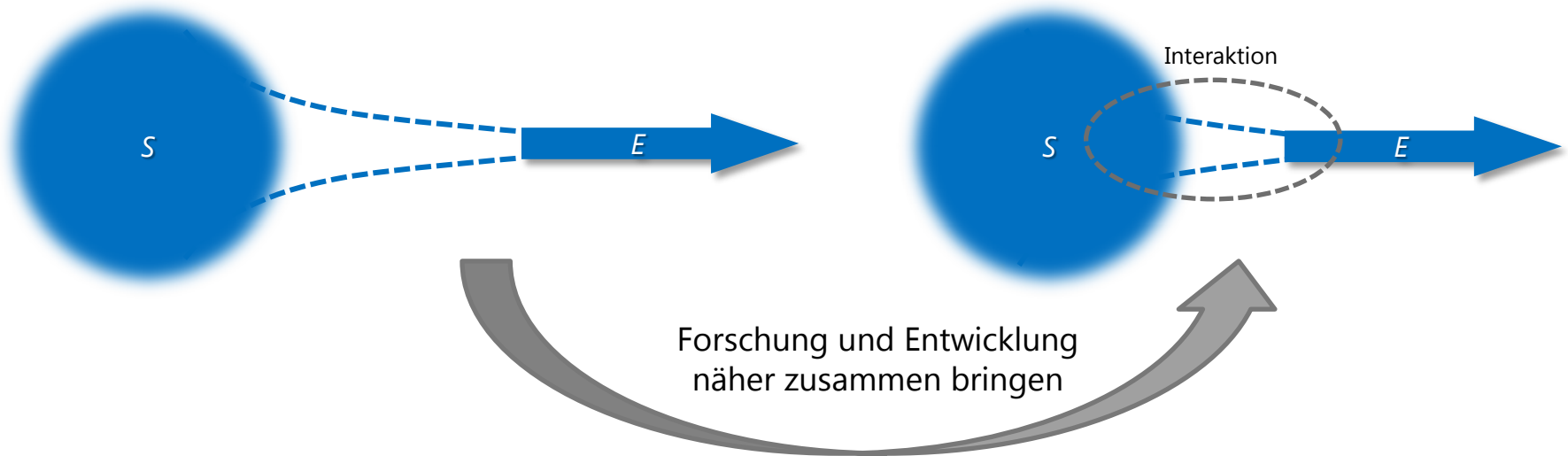


Nature Communication, **Oct. 2017**, DOI: 10.1038/s41467-017-00734-x

Innovationswettbewerb

Faktor Zeit wird immer wichtiger

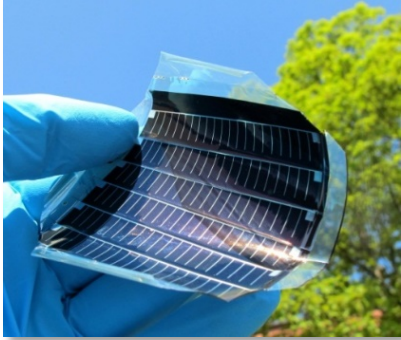
-
-
- Zunehmender Wettbewerb
- Schnellere Innovationszyklen



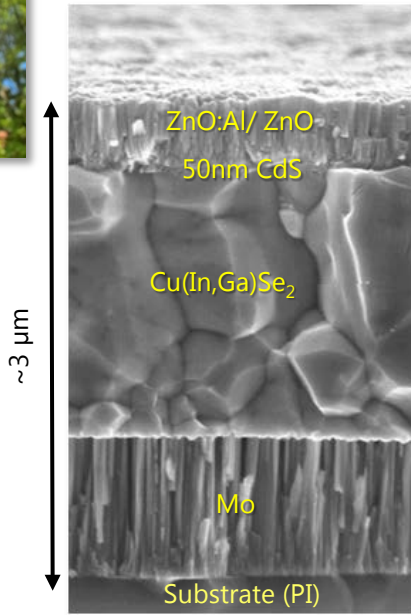
"Advanced Manufacturing"

Notwendigkeit Forschung und Entwicklung enger zu verknüpfen

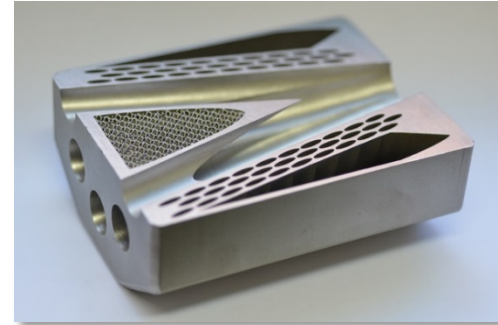
Dünnschicht Solarzellen



Produkt und Werkstoff
Herstellung
erfolgen simultan!

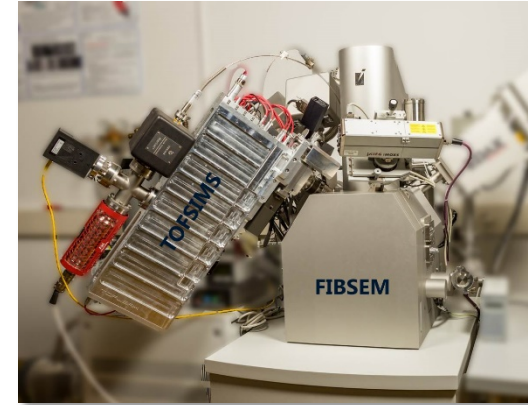
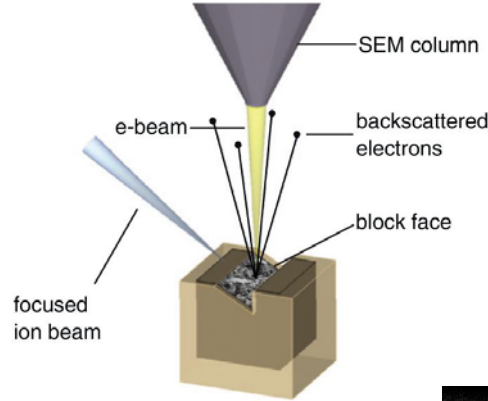
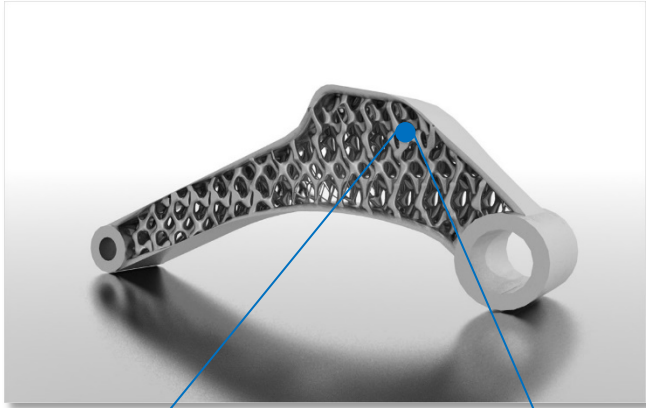


3D-Printing



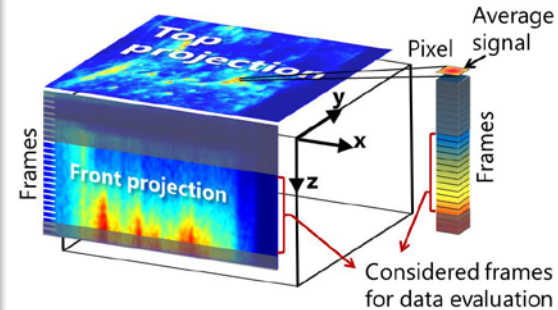
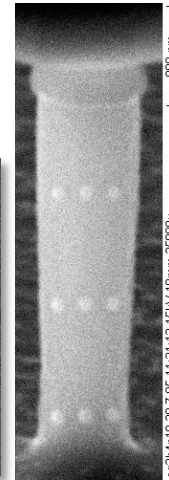
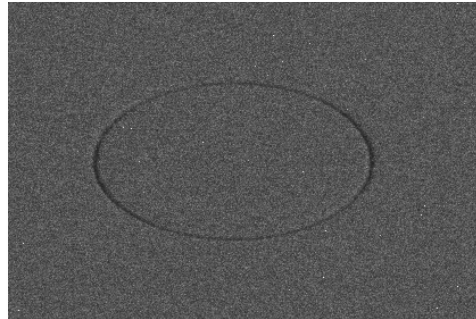
"Additive Manufacturing"

Material Charakterisierung auf Micro- & Nano-Skale



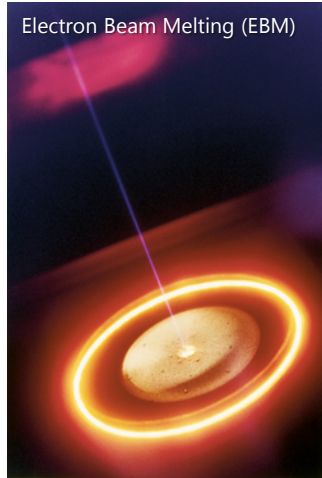
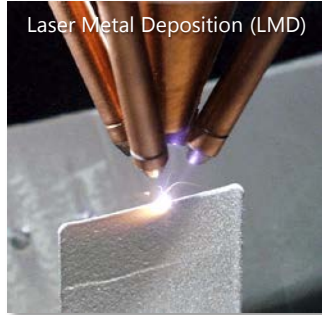
TOFWERK
Time-of-Flight Mass Spectrometry

- Chemische Zusammensetzung
- Gefüge
- Kristalline Struktur
- Mechanische Eigenschaften (Härte, E-Modul, Innere Spannungen, ...)



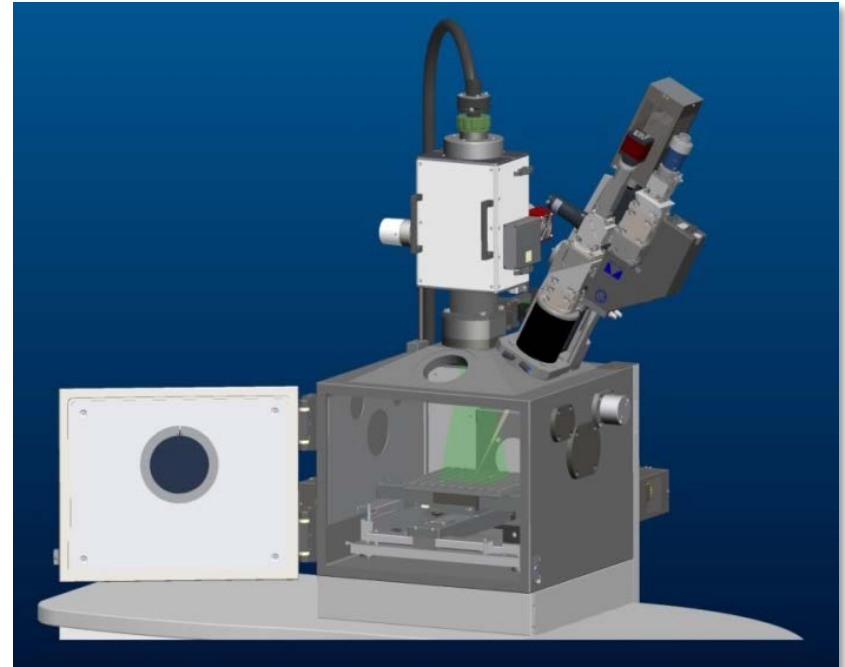
"Additive Manufacturing"

Modulare F&E Plattform für 3D-Metalldruck



Modulare 3D-Metalldruck Plattform

Kombiniert 3D-Drucktechniken mit Elektronenmikroskopie
Weltweit erstes System.



INGENIA S3p™

(High-Power Impulse Magnetron Sputtering)



Donation
1.5 Mio.CHF

oerlikon
balzers

Hard coatings

- Automotiv
- Energy
- Medtec
-

High precision modular sheet printing system C600



UHV Sputter Cluster CT200



Multilayer coatings

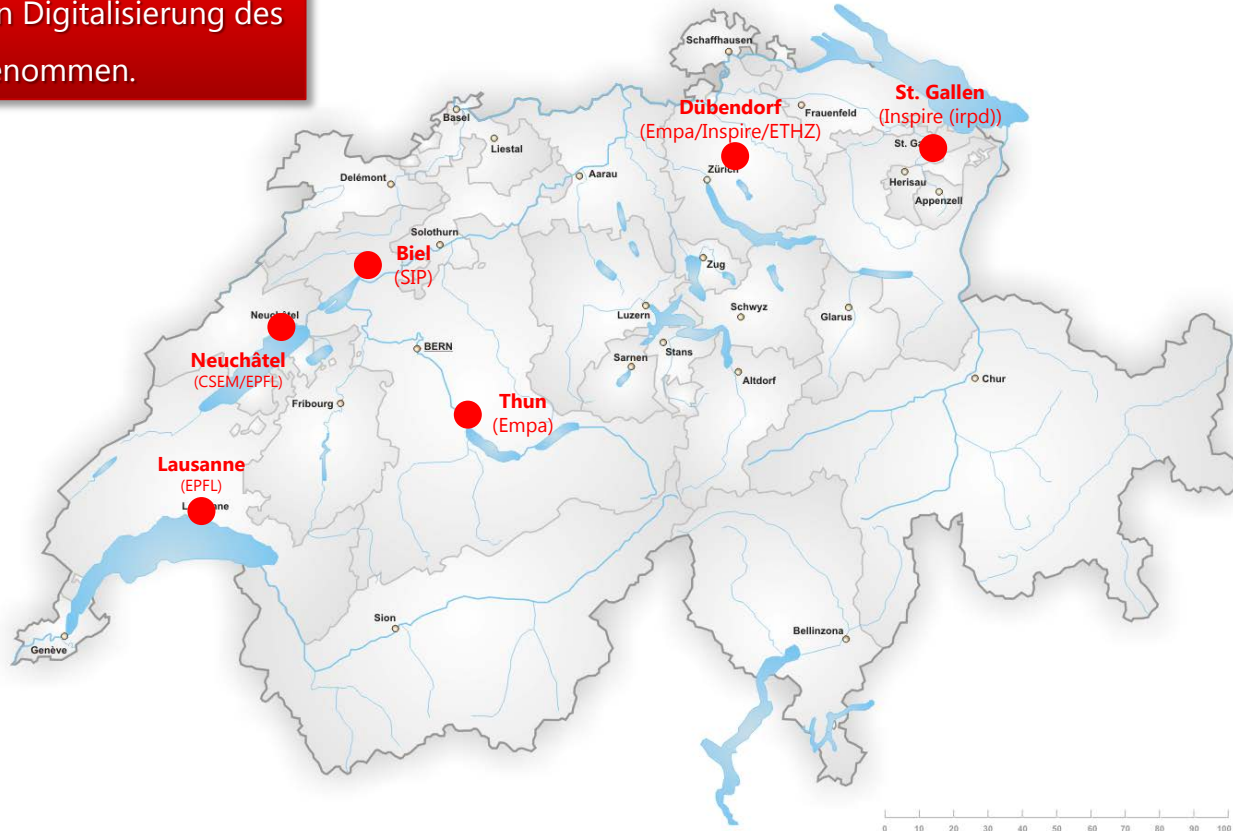
- Thin film solar cells
- Thin film batteries
-

Multilayer printing

- Thin film solar cells
- Thin film batteries
- Printable electronics
-

Advanced Manufacturing Translation Centers (AM-TTC)

Wurde in den Aktionsplan Digitalisierung des SBFI (August 2017) aufgenommen.



Ohne Ungewissheit kein Fortschritt

Danke
für Ihre
Aufmerksamkeit

