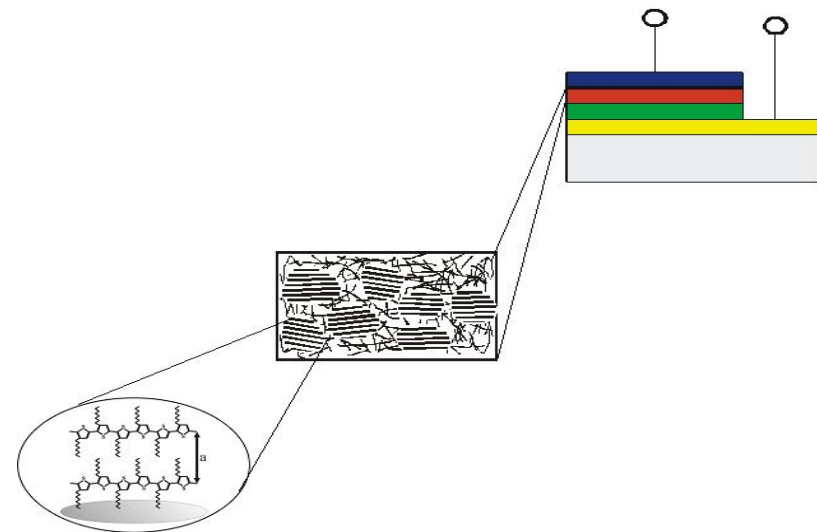


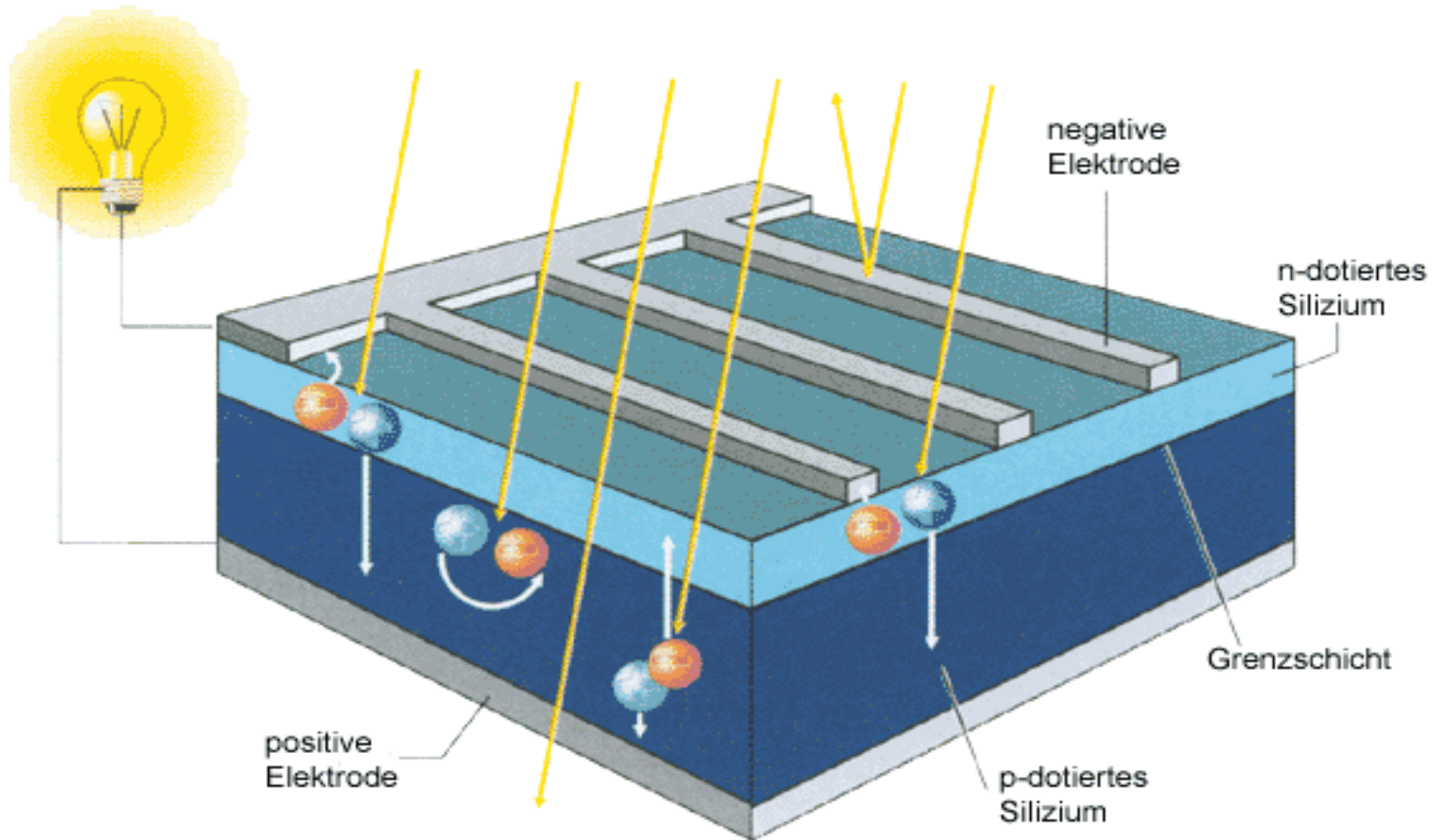
Plastiksolarzelle - eine Innovation der Photovoltaik

Prof. Dr. Gerhard Gobsch

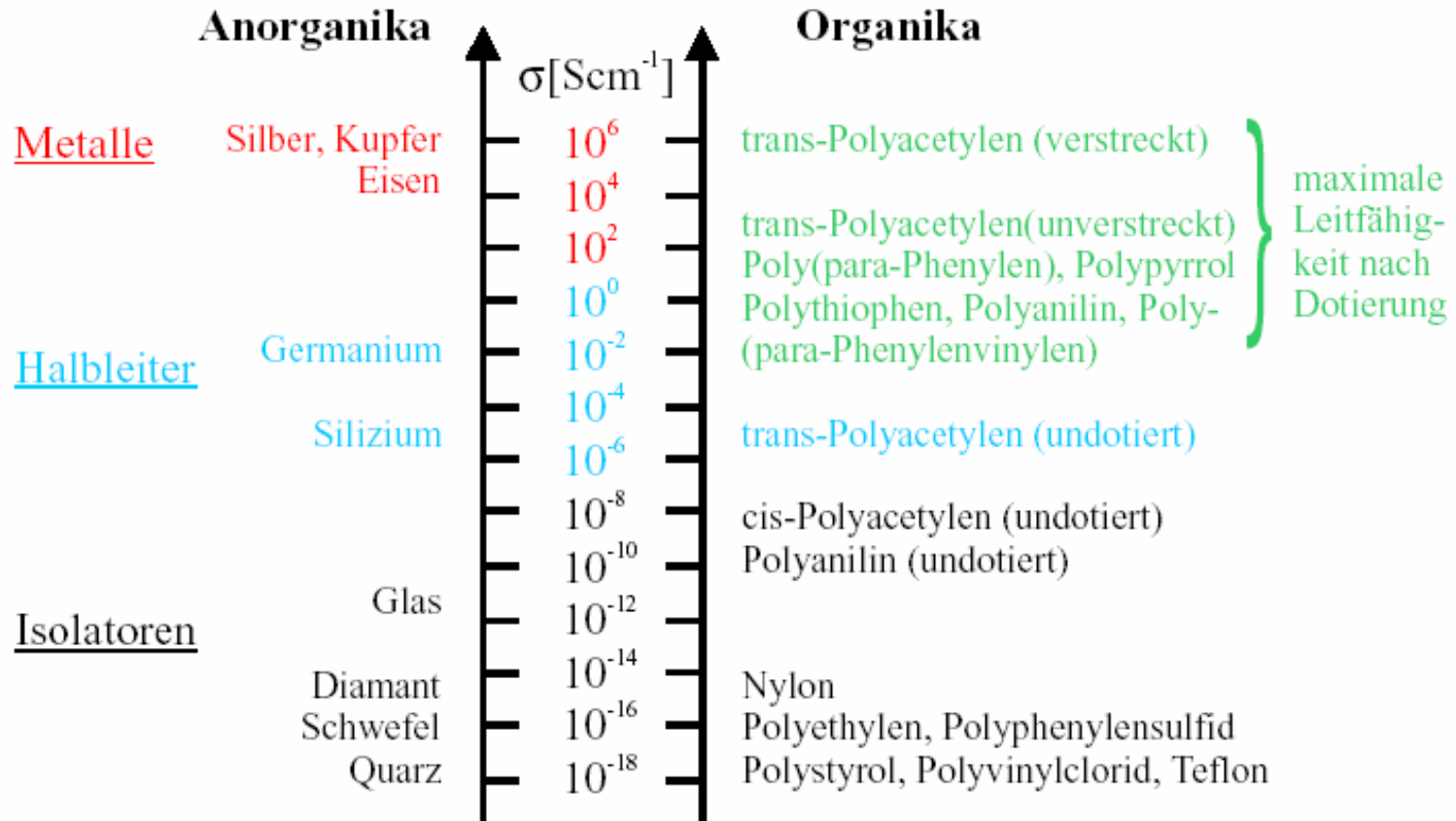
Technische Universität Ilmenau
Institut für Physik
Fachgebiet Experimentalphysik I



Solarzelle auf der Basis anorganischer Halbleiter (hier: Siliziumsolarzelle)



Elektrische Leitfähigkeit verschiedener Materialien





Nobel-Preis für Chemie 2000

"for the discovery and development of conductive polymers"



Alan J. Heeger

🏆 1/3 of the prize

USA

University of
California
Santa Barbara, CA,
USA

b. 1936

**Alan G.
MacDiarmid**

🏆 1/3 of the prize

USA and New
Zealand

University of
Pennsylvania
Philadelphia, PA,
USA

b. 1927
(in Masterton, New
Zealand)

**Hideki
Shirakawa**

🏆 1/3 of the prize

Japan

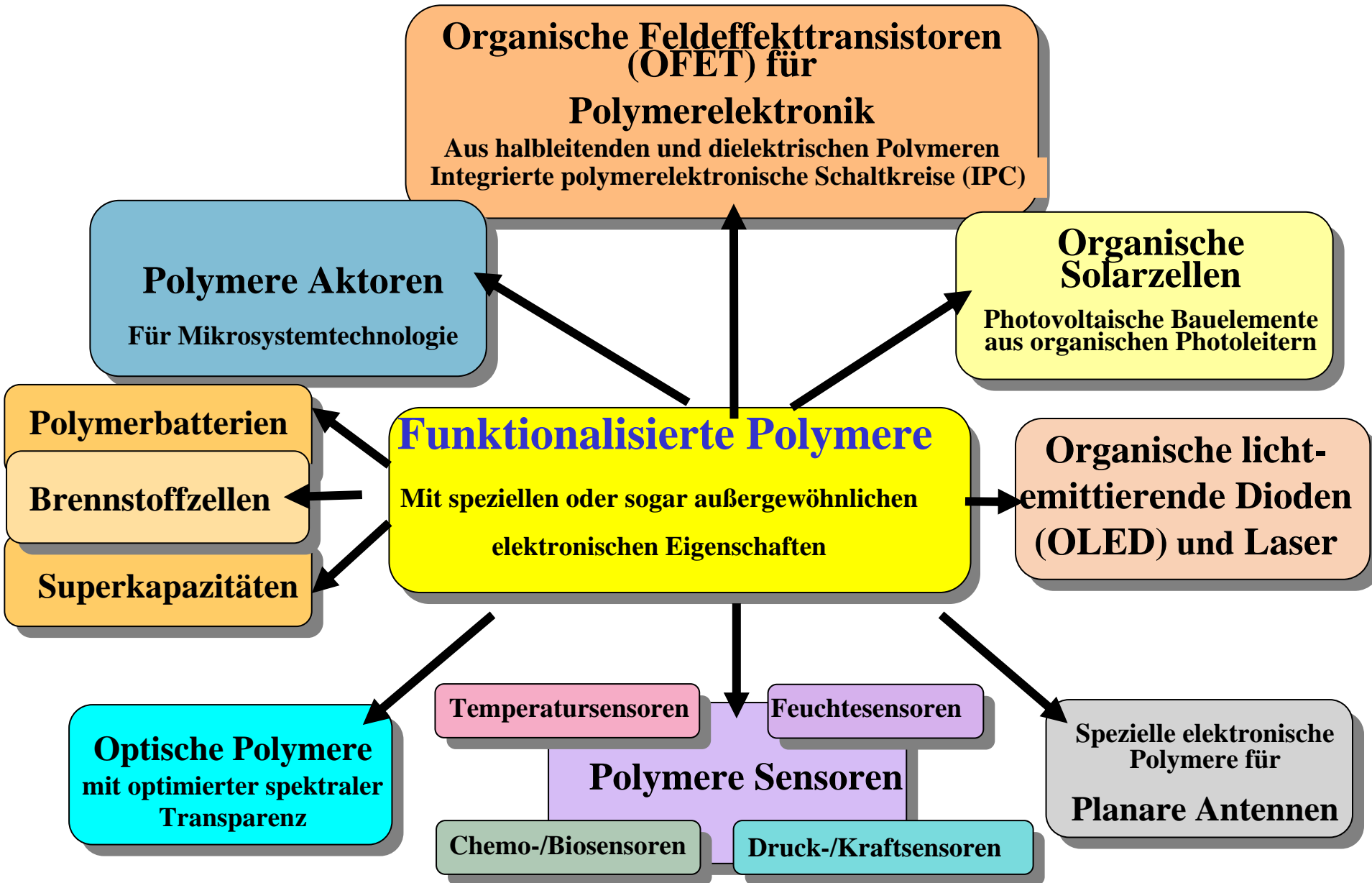
University of
Tsukuba
Tokyo, Japan

b. 1936

“für die Entdeckung
und die Entwicklung
leitfähiger Polymere“

Eine neue
Materialklasse!

Anwendung funktionalisierter Polymere



Vor- und Nachteile von Polymeren für elektronische Anwendungen

Vorteile

- Metallische und halbleitende Eigenschaften durch Dotierung
- Kombination von plastischen mit elektronischen Eigenschaften
- Gezielt einstellbare Eigenschaften
- Löslichkeit, verschiedenartige Prozessierbarkeit
- Anwendung von großflächigen Drucktechniken
- Keine extremen Vakuum- und Hochtemperaturprozesse
→ Niedrig-Kosten-Produktion

Nachteile

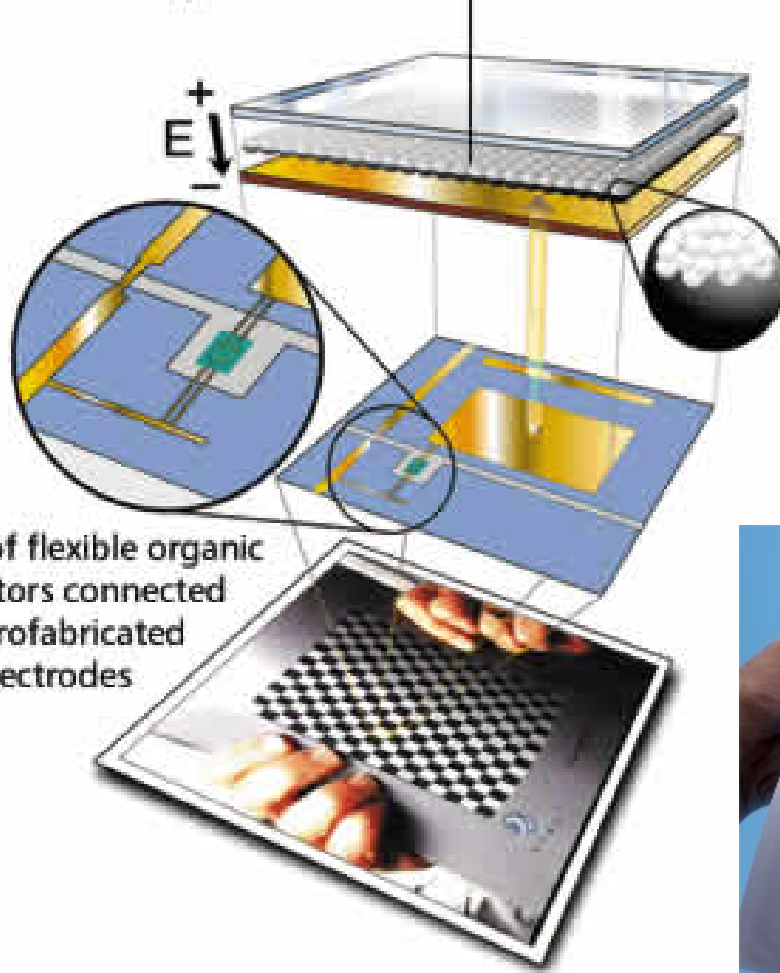
- Z.Zt. nur niedrig-integrierte Bauelemente und Schaltkreise
 - Degeneration in O₂- und H₂O-Atmosphäre
→ Langzeit-Stabilität ist z.Zt. noch kritisch
-

Organische Feldeffekttransistoren: RF ID Technologie



Organischer Feldeffekttransistor: Elektronisches Papier

Layer of microencapsulated e-ink



Array of flexible organic transistors connected by microfabricated gold electrodes

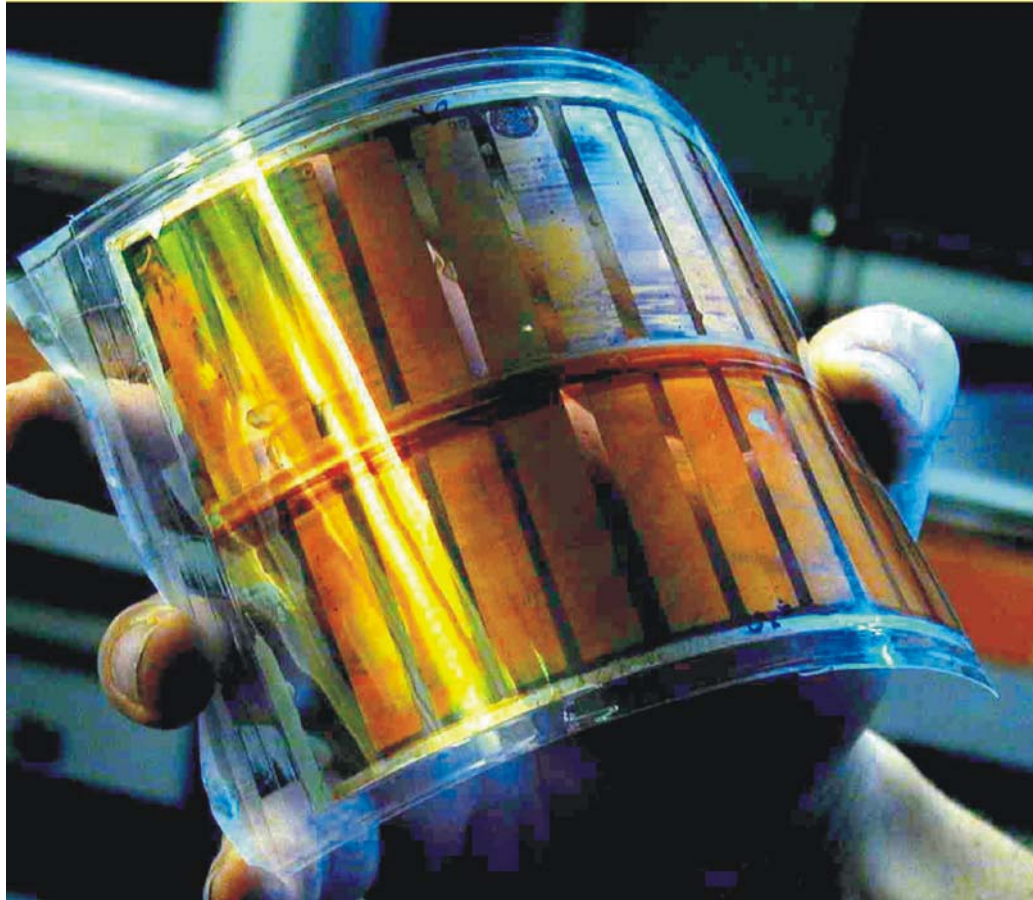


Organische Lichtemittierende Displays:

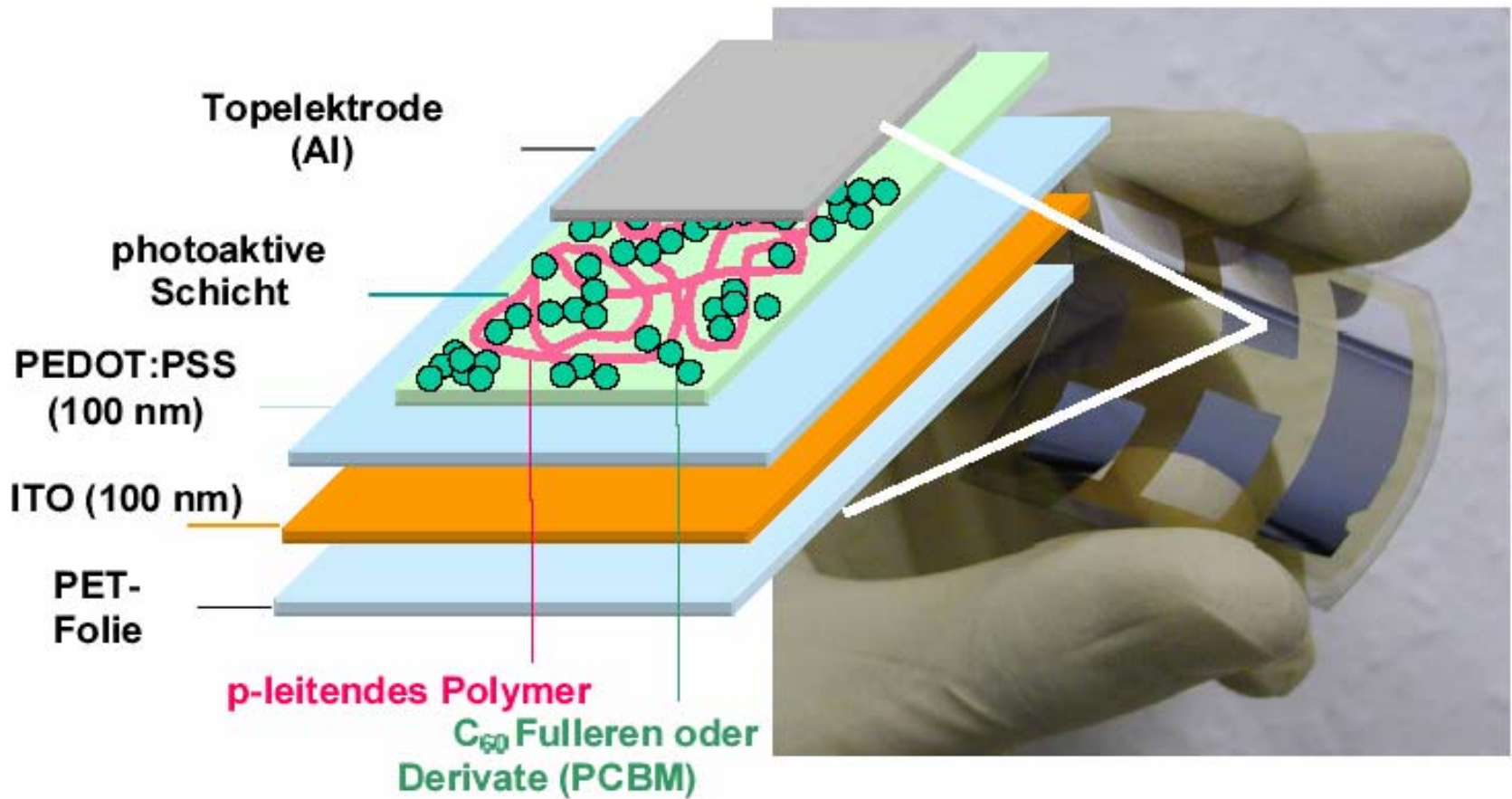


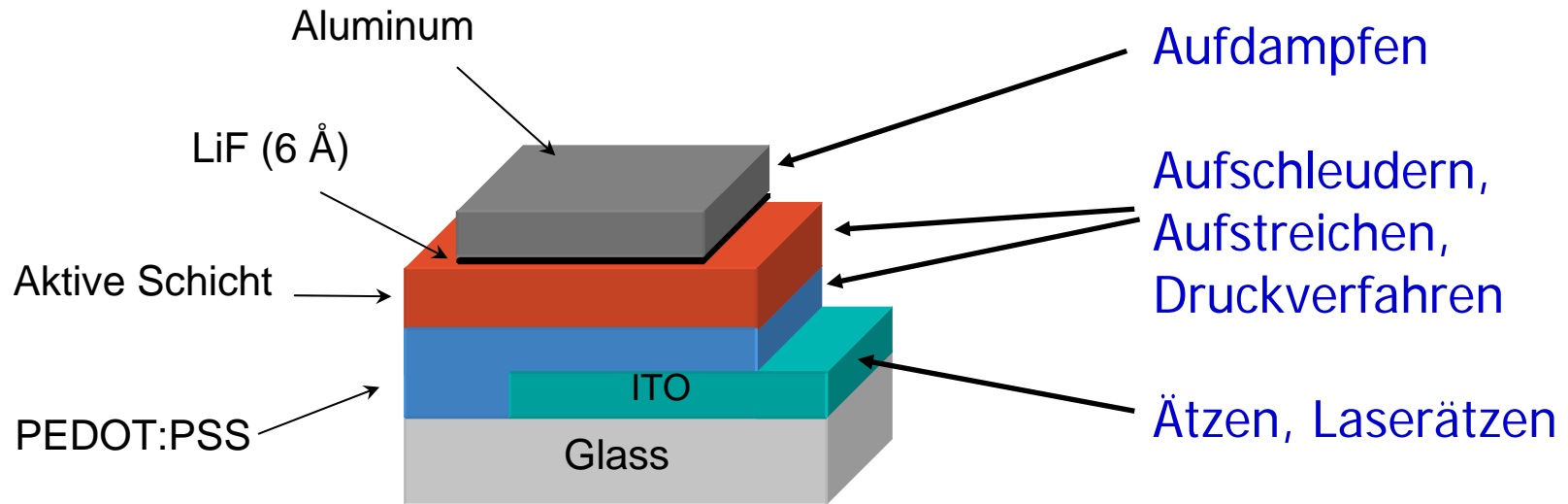
Extrem großer Sehwinke!

Organische Solarzelle = Polymere Solarzelle = Plastiksolarzelle



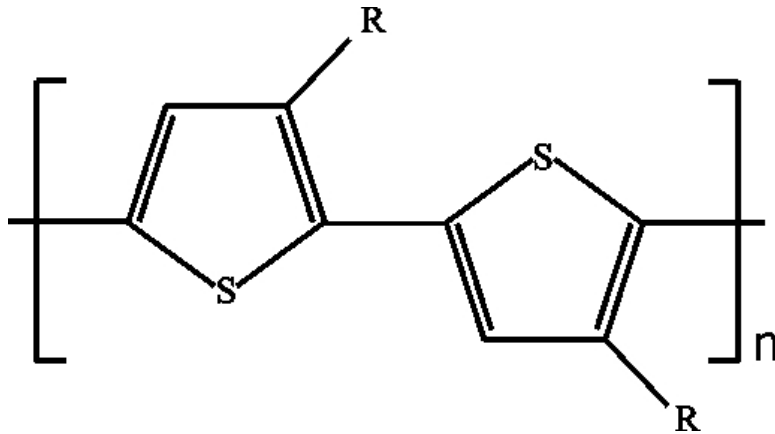
Prinzip der polymeren Solarzelle





- **aktive Schicht:** z.B. Komposit aus konjugiertem Polymer + Fulleren
- **Selektive Kontakte:**
 - Elektronen: Al/LiF
 - Löcher: ITO/ PEDOT:PSS (poly[3,4-(ethylenedioxy) thiophene] : poly(styrene sulfonate))

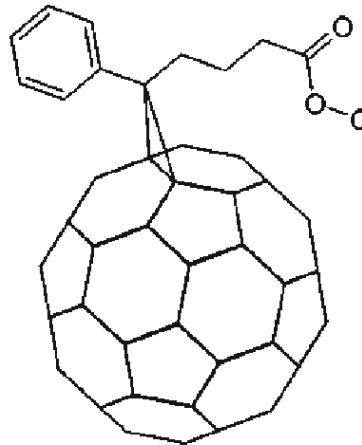
Konjugiertes Polymer als Donator



$R = C_8H_{17}$
poly(3-octylthiophene) - **P3OT**

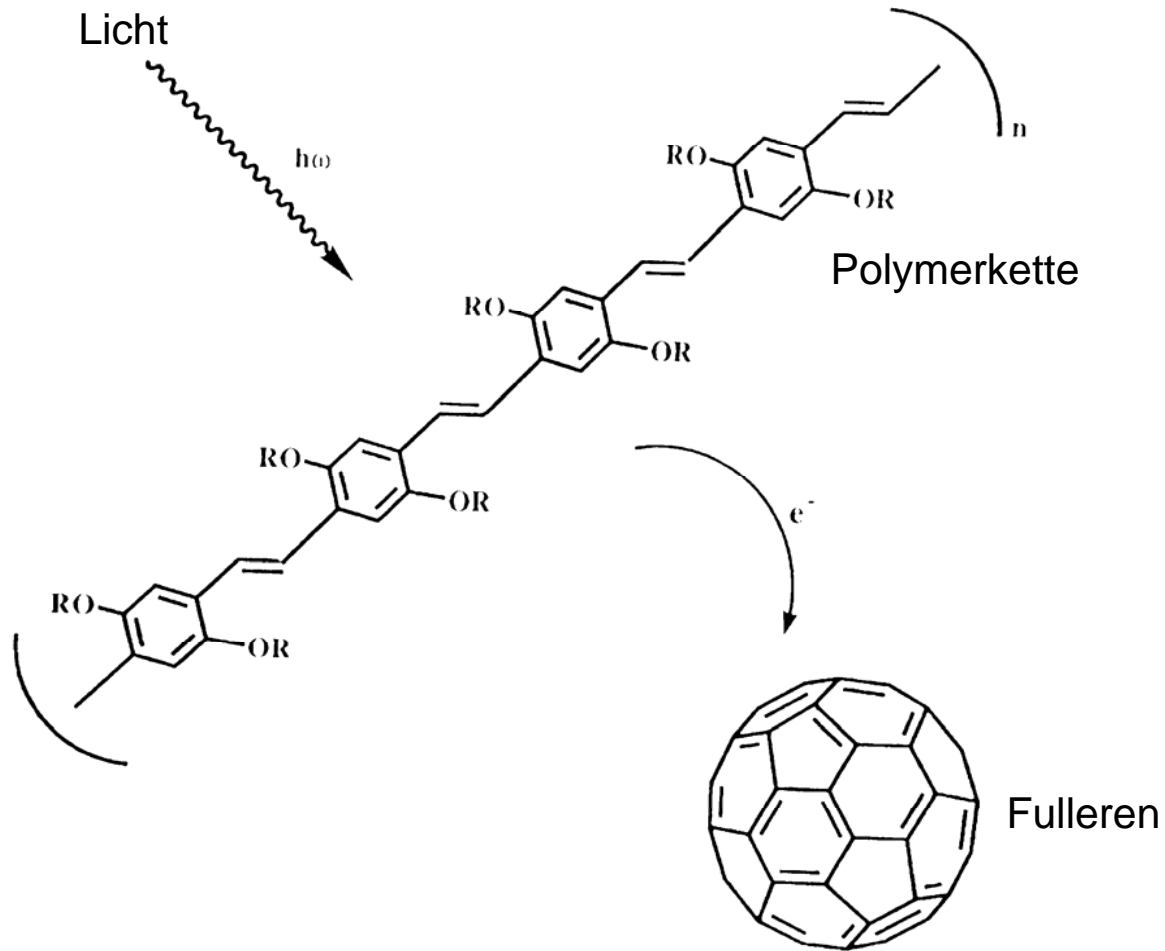
$R = C_6H_{13}$
poly(3-hexylthiophene) - **P3HT**

Fulleren (PCBM) als Akzeptor

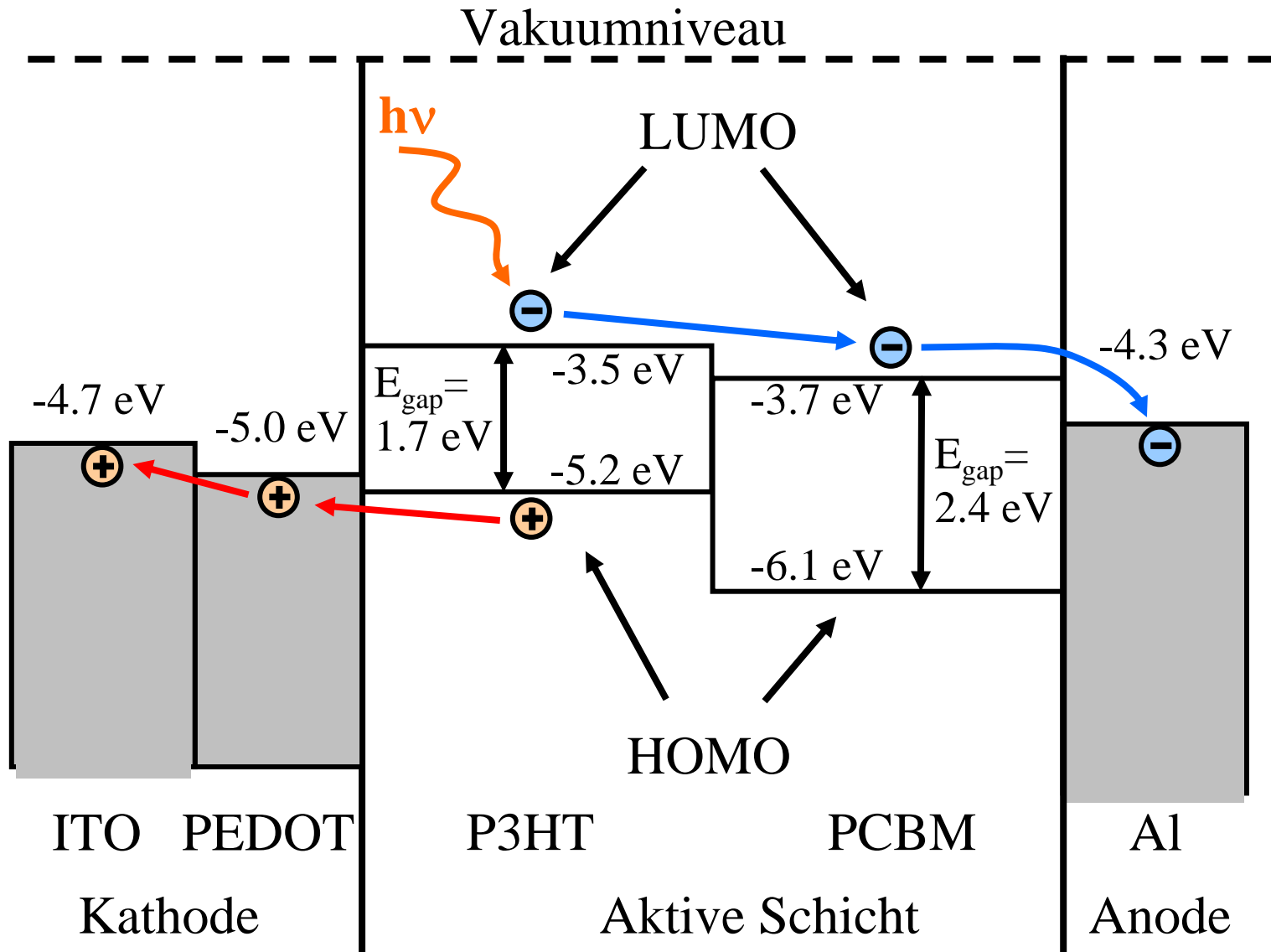


[6,6]-phenyl C₆₁ butyric acid methyl ester - **PCBM**

Ultraschneller Elektronentransfer (innerhalb ~ 40 fs)



Bänderschema



Before: white light power conversion efficiencies $\eta = 10^{-3} - 10^{-2} \%$

1970: first US patents on organic solar cells

1978: single layer merocyanine solar cells reach $\eta = 0.7\%$

1986: bilayer Cu-Phthalocyanine / perylene with $\eta = 1\%$

1998: laminated bilayer polymer/polymer solar cell with $\eta = 1.9\%$

2000: evaporated bilayer exceeds $\eta > 1\%$

2001: Feb.: 2.5% bulk heterojunction plastic solar cell (polymer/fullerene)

2001: July: 3.6% bilayer solar cell CuPc / C₆₀

2002: March: 1.7% hybrid organic-inorganic solar cells

2003: Feb.: 3.5% bulk heterojunction plastic solar cell (polymer/fullerene)

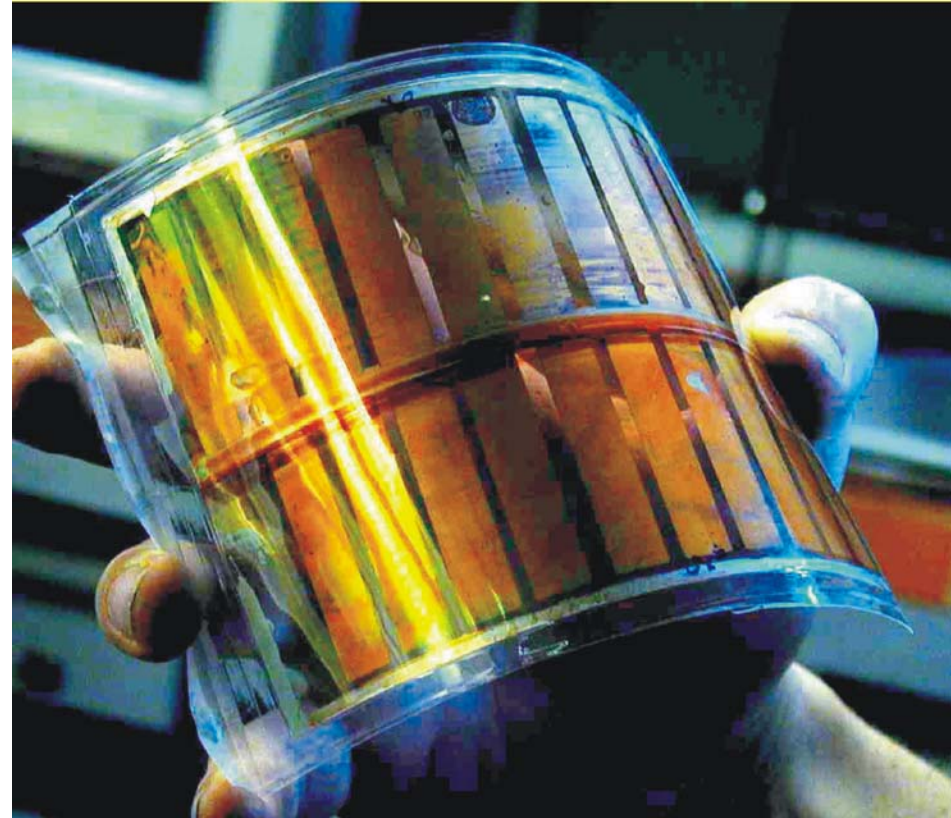
2003-2005: 1.9 – 3.8% bulk heterojunction p-i-n molecular solar cells

2004/2005: 5% bulk heterojunction plastic solar cell (polymer/fullerene)

2004: Dez.: 5.7% evaporated bulk heterojunction tandem solar cell

Wirkungsgrade η

Material	η (%) (Year)
Anorganische Solarzellen¹	
c-Si	24.7
CdTe	16.5
CIGS	18.4
Plastiksolarzellen	
MDMO-PPV/PCBM	2.5 ² (2001)
P3HT/PCBM	3.5 ^{3,4} (2003)
	5.0 ^{5,6,7} (2005)



=> Weitere Verbesserung des Wirkungsgrades der Plastiksolarzelle erforderlich

¹M. A. Green et. al., Prog. Photovolt. **12**, 365 (2004)

²S. E. Shaheen et. al., Appl. Phys. Lett. **78**, 841 (2001)

³F. Padinger et. al., Adv. Func. Mat. **13**, 85 (2003)

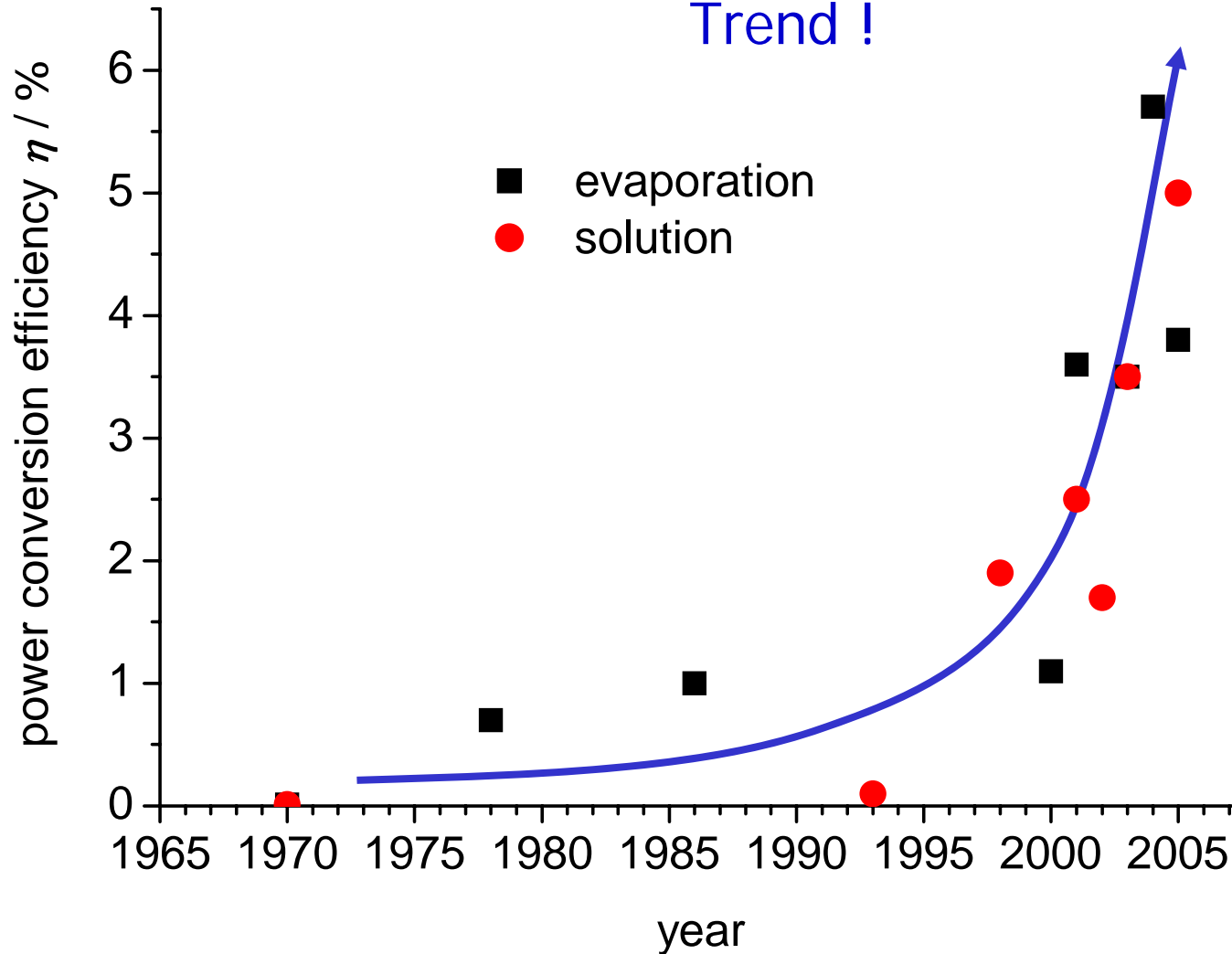
⁴M. Al-Ibrahim et. al., Appl. Phys. Lett. **86**, 201120 (2005)

⁵M. Reyes-Reyes et. al., Appl. Phys. Lett. **87**, 083506 (2005)

⁶W. Ma et. al., Adv. Func. Mat. **15**, 1617 (2005)

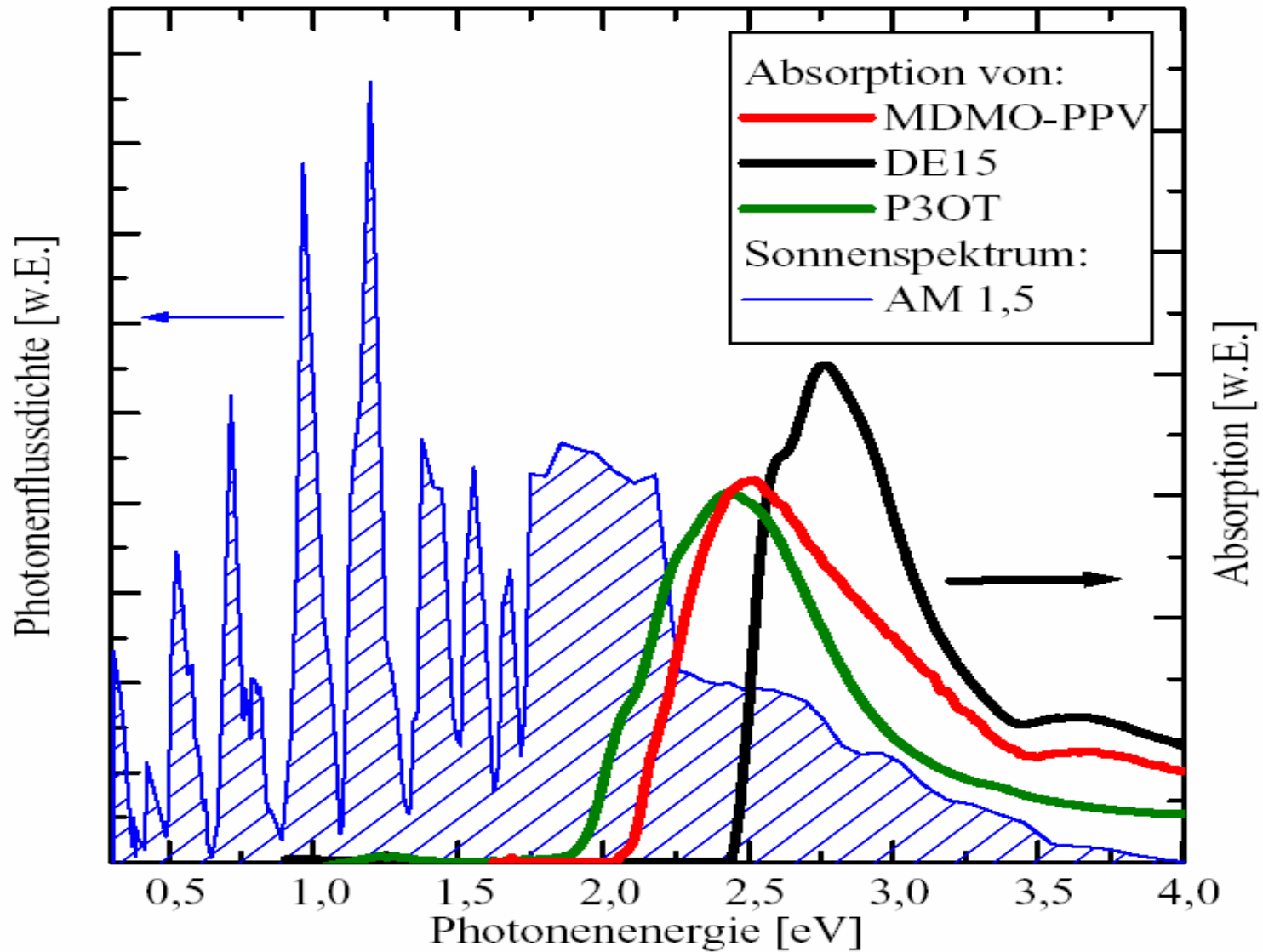
⁷H. Hoppe, G. Gobsch,, et al. (to be published)

Erfolg versprechender positiver
Trend !



- Anpassung der Absorption der Polymere an das solare Spektrum (→ Bandlücke E_g) und Anpassung von HOMO und LUMO
- Optimierung der Nanomorphologie der Polymer-Fulleren-Mischung
- Optimierung der Kontakte
- Langzeitstabilität / Verkapselung
-

Solares Spectrum AM 1.5 und Absorption

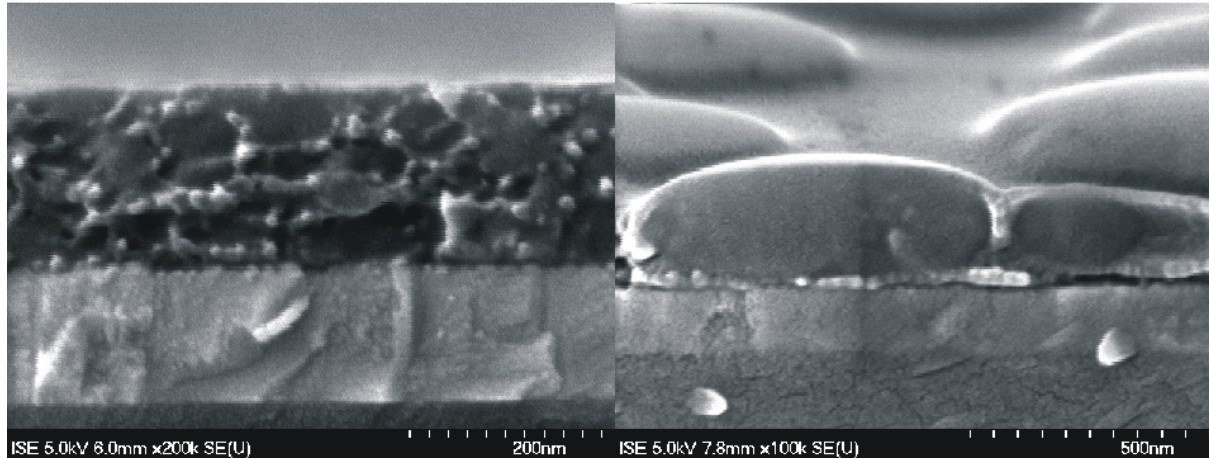


Folgende Herstellungsparameter wurden als entscheidend für die Nanomorphologie der aktiven Schicht (Polymer-Fulleren-Gemisch) identifiziert:

- **Lösungsmittel** beim Aufschleuderprozeß,
- **Mischungsverhältnis** (Polymer/Fulleren),
- **Lösungskonzentration**,
- Nanophasenseparation und Kristallisation durch **Tempern**,
- **chemische Struktur** der Materialien.

Aufgeschleudert aus einer Lösung mit:
Chlorbenzol Toluol

Struktur der aktiven Schicht



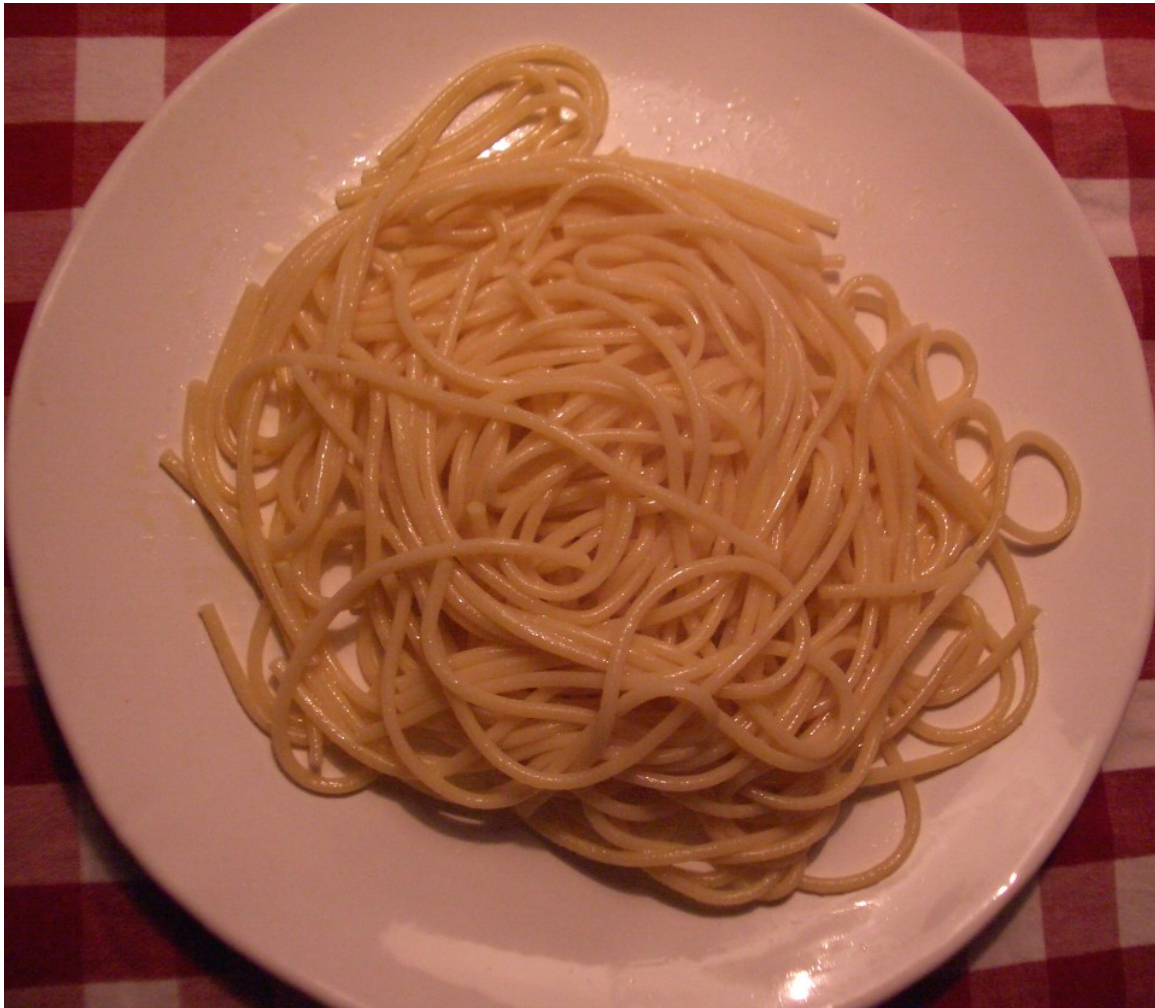
SEM-Aufnahmen der aktiven Schicht einer Plastiksolarzelle*

Solarzellen-Wirkungsgrad:
2.5% 0.9%

→ **Struktur-Eigenschafts-Zusammenhang**

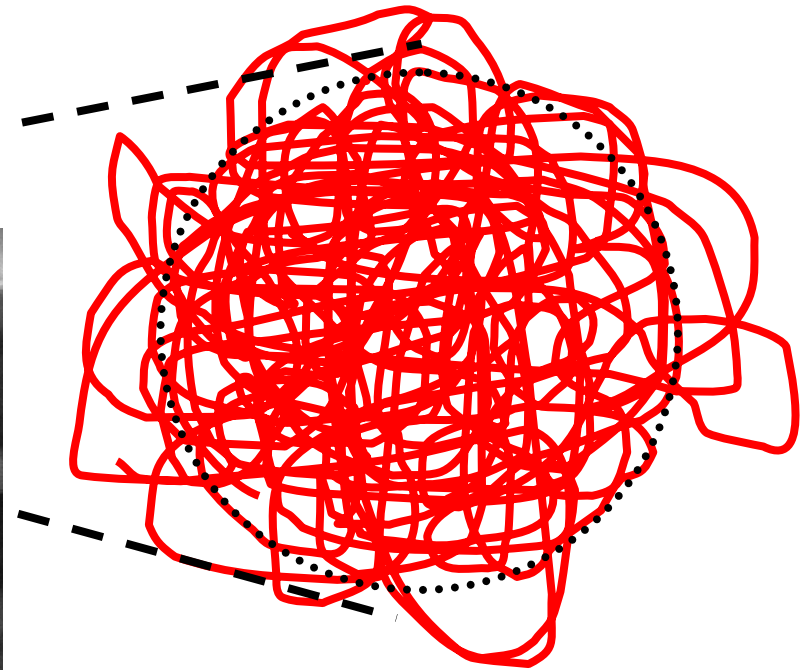
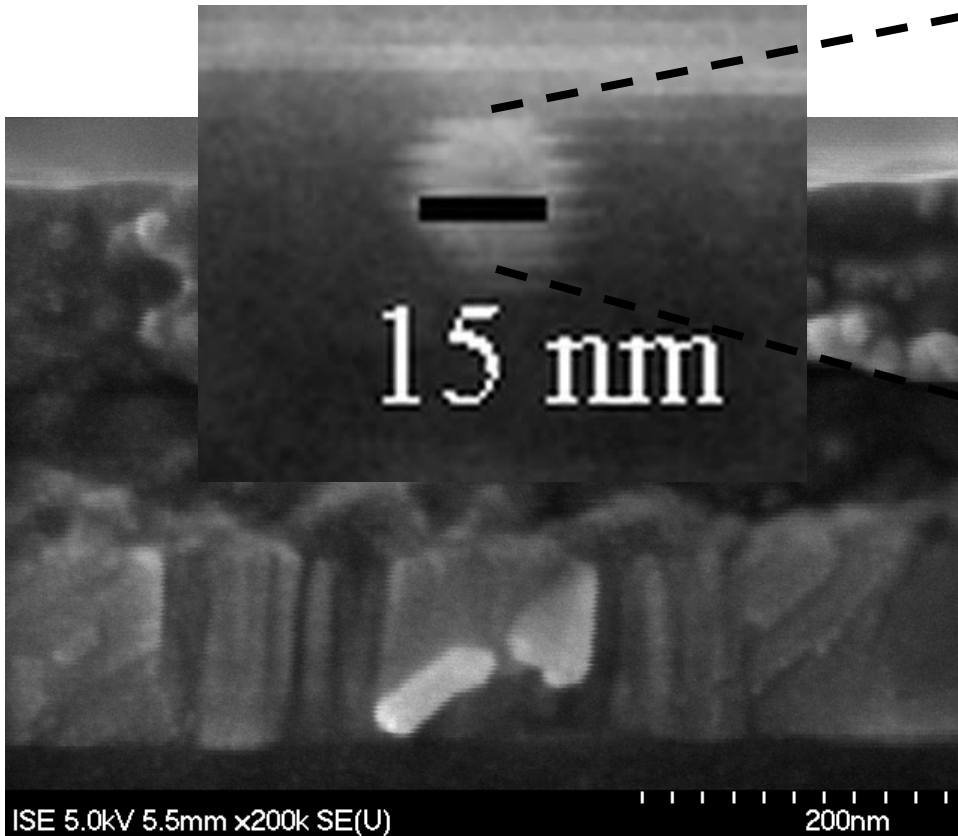
*H. Hoppe, M. Niggemann, C. Winder, J. Kraut, R. Hiesgen, A. Hinsch, D. Meissner, N. S. Sariciftci, Adv. Funct. Mat. **14**, 1005 (2004)

Sehen Polymeraggregationen so aus?



...oder mehr so?!



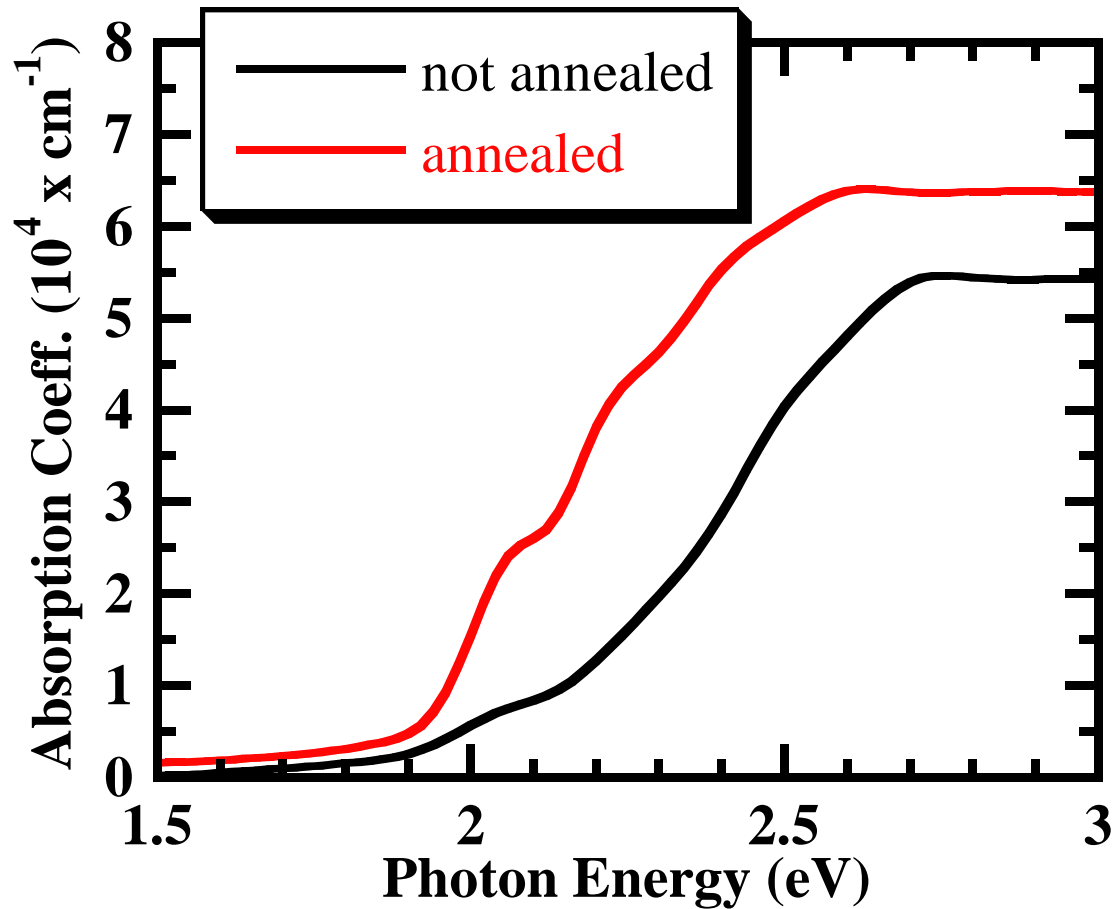


$$V_c = \frac{m}{\rho} = \frac{10^6 \cdot 1.66 \cdot 10^{-21} \text{ kg}}{910 \text{ kg/m}^3}$$

$$= 1.824 \cdot 10^{-24} \text{ m}^3$$

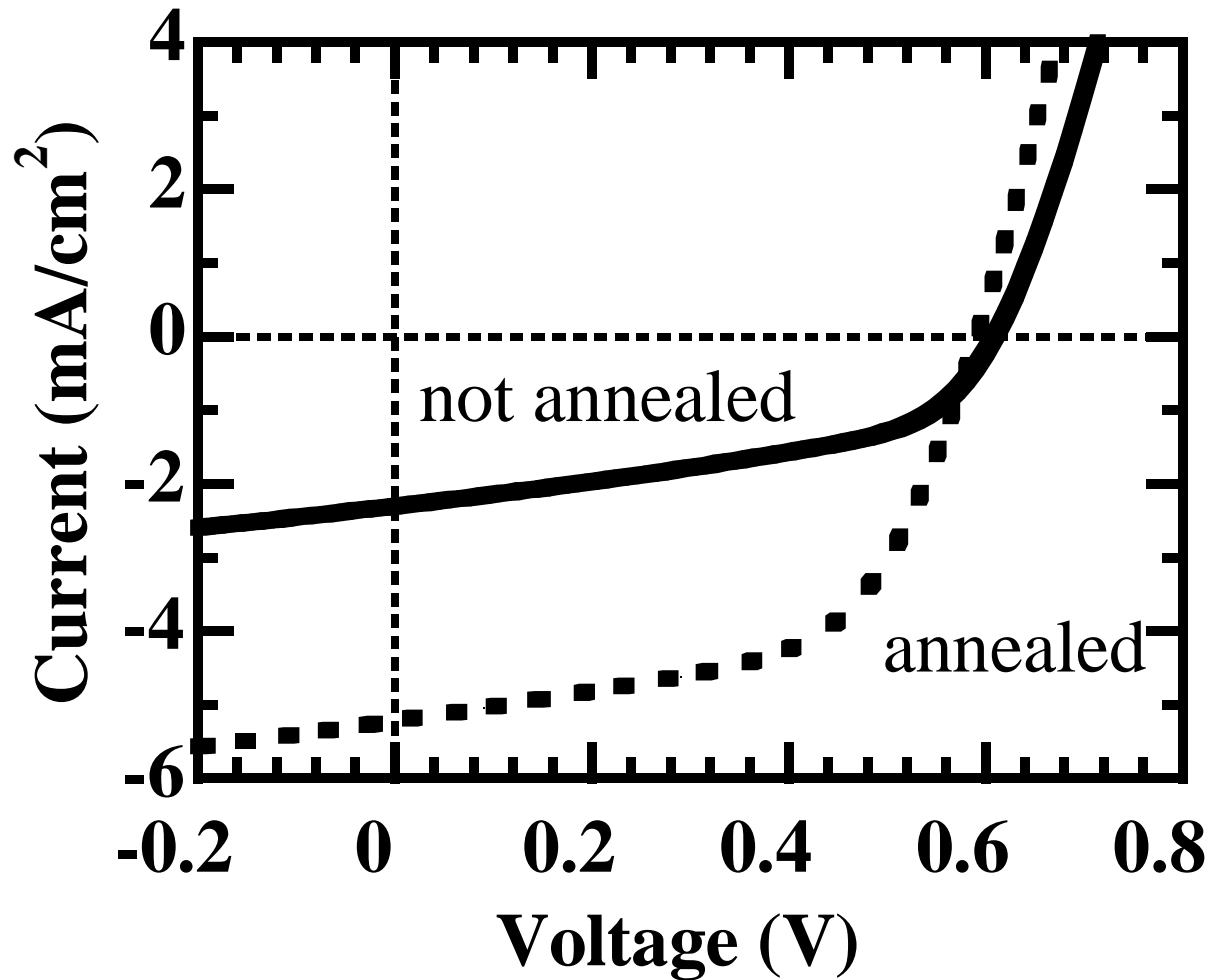
$$V_s = \frac{4}{3} \pi r^3 = V_c \Leftrightarrow r = \sqrt[3]{\frac{3}{4\pi} V_c} = \sqrt[3]{\frac{3}{4\pi} 1.824 \cdot 10^{-24} \text{ m}^3} = 7.57 \cdot 10^{-9} \text{ m}$$

Absorption - P3HT/PCBM (1:2) (dünne Filme auf Glas)



→ nach dem Tempern ist die Absorption (im spektralen Bereich (2.0 - 2.5eV))
deutlich verbessert

Kennlinie einer P3HT/Fulleren (1:2) Solarzelle



Effizienz η :

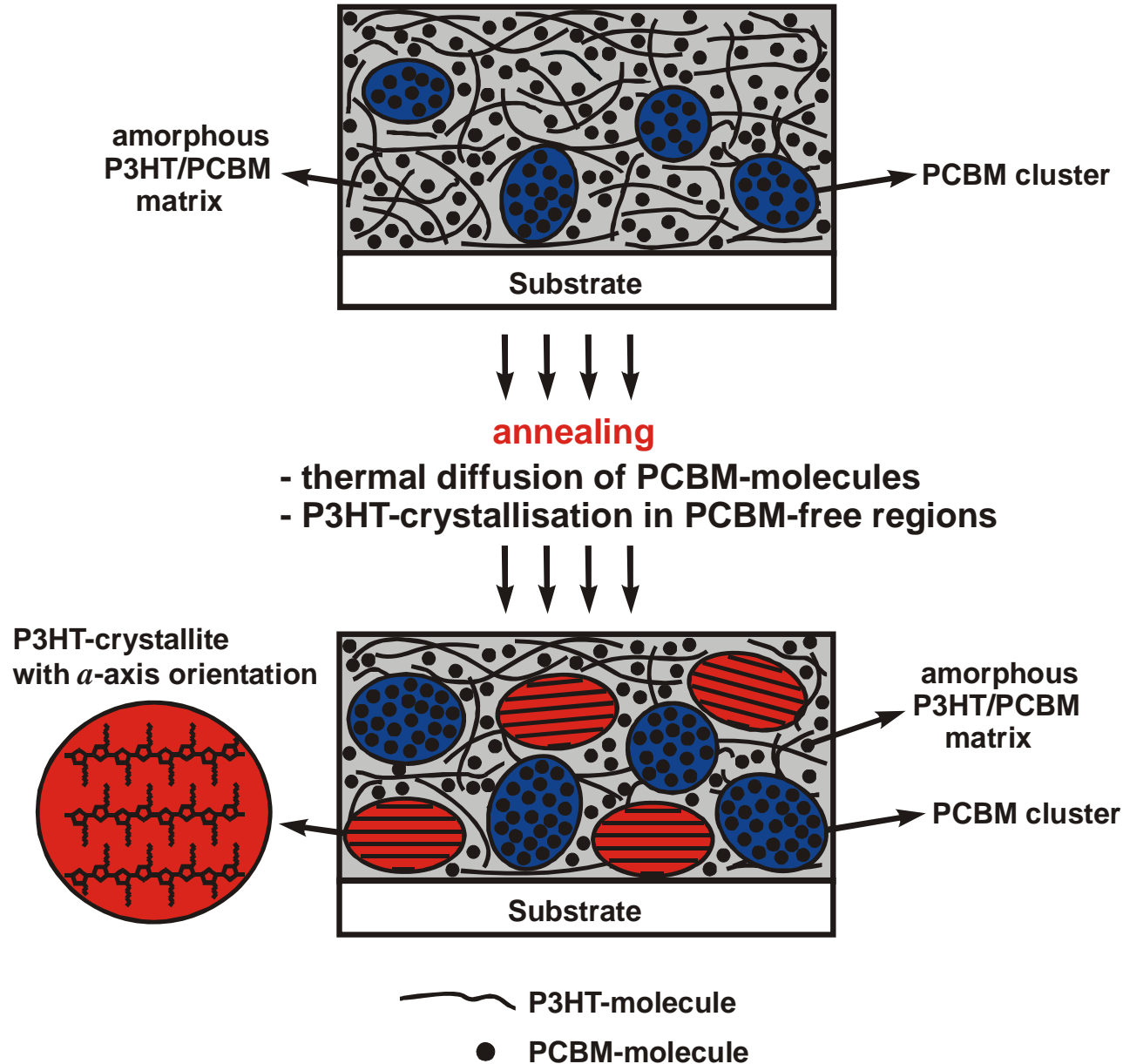
Nicht getempert

$$\eta = 1.0\%$$

Nach Temperung

$$\eta = 3.6\%$$

Modell der Strukturänderung beim Tempern



- η wird entscheidend von der Nanomorphologie determiniert
- Percolation and Kristallinität haben starken Einfluß auf den Ladungstransport und den Photostrom
- Eine Reihe von Parametern beeinflusst die Morphologie und muß deshalb gleichzeitig optimiert werden: Lösungsmittel, Lösungsverhältnis, Temperregime, Filmherstellungstechnologie, Materialkompatibilität, ...

Herstellungsmethoden für polymerelektronische Bauelemente (einschließlich PSZ)

- Aufschleuderverfahren (Spin Coating) → bis max. wenige 10 cm
- Aufstreichen (Doctor Blading)
- Tintenstrahldrucker (gelöste Polymere sind wie „Tinte“)
- Rolle-zu-Rolle-Druckverfahren (nur durch Druckmaschinengröße beschränkt → z.B. leuchtende Tapeten oder großflächige Solarzellen)
→ **Film**
- Aufdampfen im Hochvakuum (sehr genau, insbesondere für Displays, Bildschirme etc.)

Organische Solarzelle



Marktstudie von I.T. Strategies 10/2005:

2010 für die verschiedenen Applikationsfeldern von **gedruckter Polymerelektronik** (Displays, Beleuchtung & Werbung, Photovoltaik, Sensorik, gedruckte Elektronik & Smart Packaging, Anorganisch-Organische Hybridelektronik, Smart Textiles) →

weltweites Marktvolumen: **1,20 Mrd.€**

(davon **100 Mio. €** für **organische Photovoltaik**) .

I.T. Strategies, Inc., Boston & Tokyo, <http://www.it-strategies.com>

	<u>Angaben für 2004</u>	[*]
c-Si	2.45 $\$/W_p$	
mc-Si	2.1 $\$/W_p$	
a-Si	2.7 $\$/W_p$	
CdTe	2.3 $\$/W_p$	
CIS	2.25 $\$/W_p$	
Farbstoff	2.2 $\$/W_p$	
Polymer	<1 $\$/W_p$	

[*] A. Baumann, Y. Bhargava, Z.X. Liu, G. Nemet, J. Wilcox, Photovoltaic Technology Review, MSE/C226, December 6, 2004

Fazit

- Die Polymerelektronik ist eine Hochtechnologie mit enormem Entwicklungspotential für den Freistaat Thüringen
- Die polymere Solarzelle erschließt völlig neue Anwendungsfelder für die PV
- Die polymere Solarzelle ist äußerst kostengünstig herzustellen. Sie hat viele Vorteile, (aber natürlich auch Nachteile)
- Es bedarf weiterer verstärkter Anstrengungen in F&E
- Die in einem Netzwerk eng zusammen arbeitenden Thüringer Forschungseinrichtungen (TU Ilmenau, TITK Rudolstadt, FSU Jena, CiS Erfurt, u.a.) bieten beste Voraussetzungen, um auch weiterhin den internationalen Forschungs- und Entwicklungsstand auf dem Gebiet der Platiksolarzelle mit zu bestimmen
- Es bedarf nunmehr verstärkt der industriellen Umsetzung und Realisierung auch in Thüringen!

TU Ilmenau

Institut für Physik (Harald Hoppe, Uladzimir Zhokhavets, Tobias Erb, Rüdiger Goldhahn, Sviatoslav Shokhovets, Dirk Schulze, Paul Denner)

ZMN (Oliver Ambacher, Maher Al-Ibrahim, Susanne Scheinert)

FG Chemie (Peter Scharff, Uwe Ritter)

TITK Rudolstadt (Aninstitut der TU Ilmenau)

Steffi Sensfuß, Hans-K.Roth, Klaus Heinemann, Ralf-Uwe Bauer

FSU Jena

Institut für Chemie (Elisabeth Klemm, Daniel Egbe)

Institut für Werkstoffe (Klaus Jandt)

Konarka Austria (Ch. Brabec),

LIOS Linz (S. Sariciftci),

Universität Oldenburg (J. Parisi),

ISE Freiburg (A. Hinsch),

HMI Berlin (K. Fostiropoulos, M. Mohr)

Projektförderung:

Thüringer Kultusministerium TMK (NanOrgI),

BMBF, DFG, INTAS, EU (NoE),

Fonds der Chemischen Industrie,

TU Ilmenau (Exzellenzförderung)



Zentrum für Mikro- und
Nanotechnologien der TU
Ilmenau

Danke für Ihre geschätzte Aufmerksamkeit !