

# Biomimetische Chemie: Lösungen für den Planeten Erde

---

Markus Antonietti

Max Planck Institute of Colloids and Interfaces

Research Campus Golm, D-14424 Potsdam



Einstein-Tag 2011





# Menschheit 2020/2050?

Vor uns: Probleme auf der Megaskala bestimmen den Gang der Welt:

- Der Hunger nach Energie  
Bis 2030: nochmals 50 % Verbrauchssteigerung
- Der Rohstoffwandel
- Die CO<sub>2</sub>-/Klimakrise
- Alles Neue: bitte natürlich nachhaltig



# Wissenschaft 2020/2050!

solche Herausforderungen können/müssen von der Wissenschaft adressiert werden

- Neue Energiesysteme
- CO<sub>2</sub>-Minderungs/Vermeidungstechnologien
- I-Energy (dezentral, autark, vernetzt)
- Integrative Technologien, Hand in Hand mit der Natur

# Eine Bilanz: Solares Energiepotential

Theoretisch: ~ 120000 TW Solarenergie fallen auf die  
Erdoberfläche

Verbrauch 2000: ~ 13 TW (Sonnenenergie 1 Stunde...)

Projektion 2050: ~ 28 – 35 TW weltweit

Photosynthese in der Natur: ~ 125 TW weltweit

Natürliche Photosynthese: recht „ineffizient“ in der Energie-  
Fixierung:

ca. 0.3 % !!!

# Künstliche Photosynthese:

„Die Umwandlung von Lichtenergie mit einer Maschine in chemische Energiespeichermoleküle wie Wasserstoff, Zucker, Alkohol, Erdgas... im „künstlichen Baum“ ...

Ziel : 10 % Effizienz  
(300 t Methanol/ha)

Dan Nocera (MIT):  
„I-Energy“

from: [www.treehugger.com](http://www.treehugger.com)



# Biomimetik für Materialien und Stoffchemie

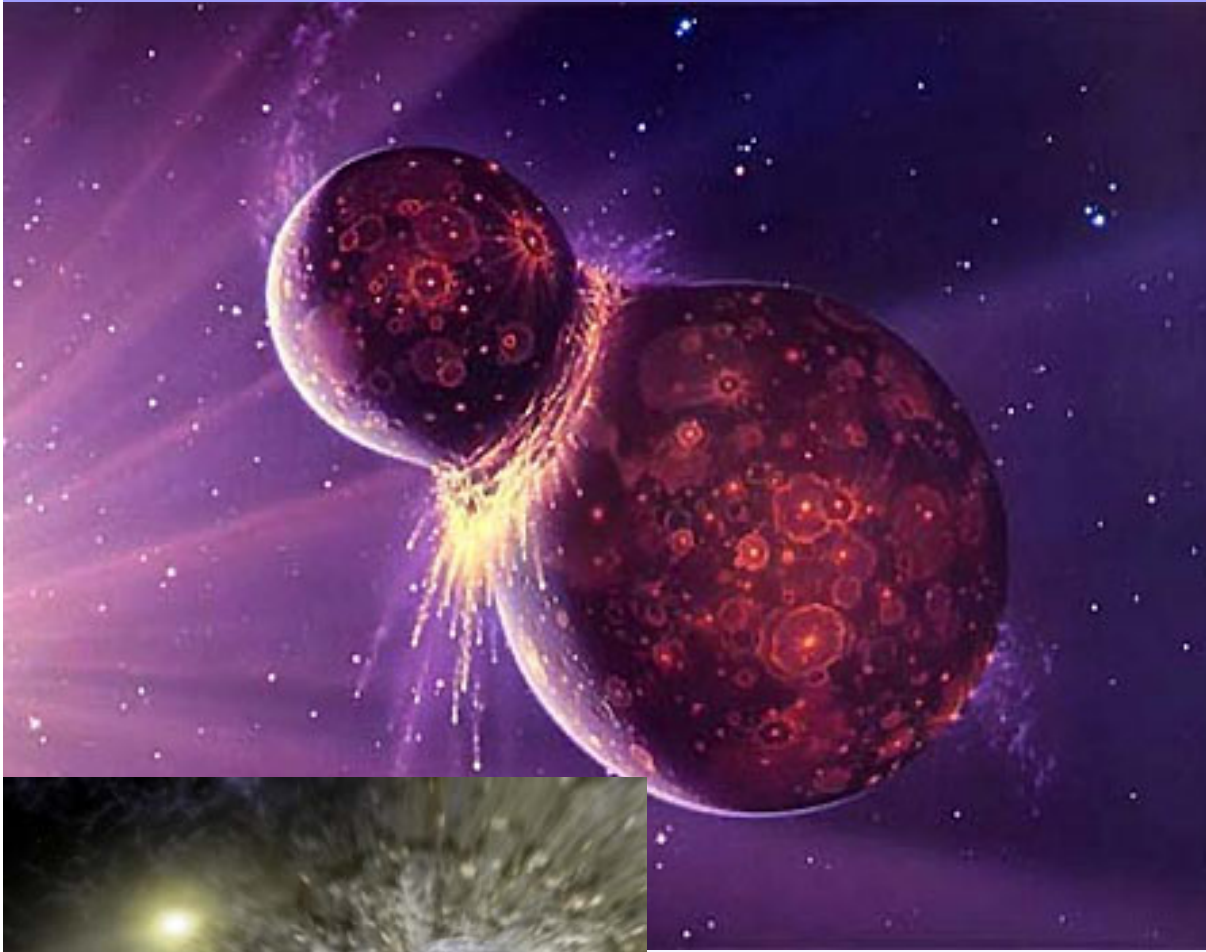
Natur: eine endlose Quelle von Inspiration

Moleküle, Systeme, Hierarchien, Prinzipien,  
Prozesse

*Vereinfachung, Anpassung, Ausdehnung.*



# Alpha to omega (der Zeitpunkt Null)



Theia und Hyperion:  
Die Geburt von Erde und Mond

# Symphonisch: der Anfang

**Hadean**            erster Quarz 4.4 Ga

- nach 150 Ma: Land, Ozeane, Erdkruste
  - eine schrecklicher Platz: Säure, voll mit Eisen 20 bar Druck, wahrscheinlich 200 °C, Vulkane, dichte Wolken
- Hadean**  $\approx$  “wie die Hölle”
- Atmosphäre: CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>S, HCN, (O<sub>2</sub>)

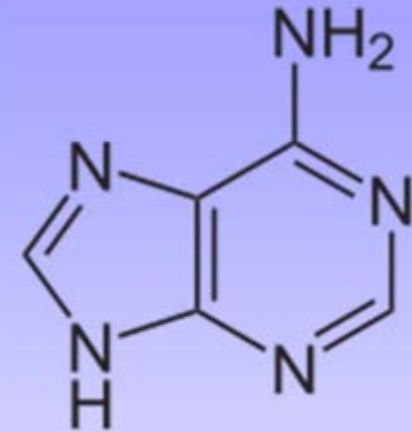
# Leben?

Erste Indizien im Isua „supercrustal belt“,  
Grönland

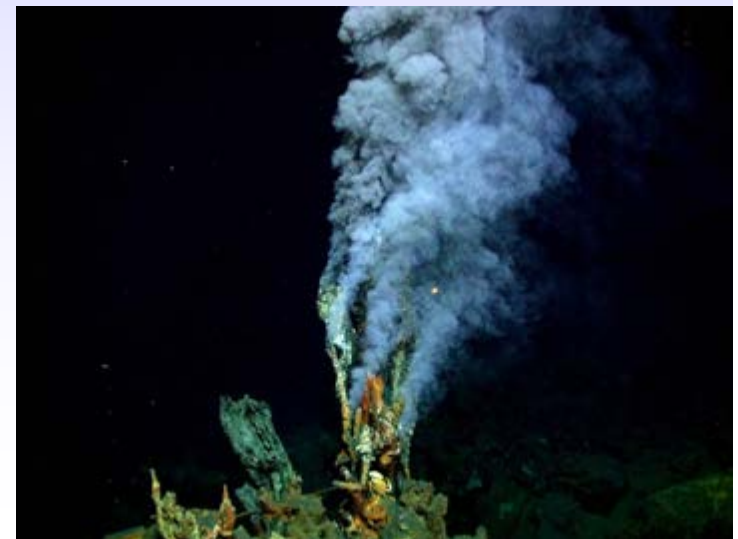
- $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ -ratio, Biomasse -20 – 30, natural -5.5, dort -18
- CO<sub>2</sub>-Metabolisierung!
- 3.85 Ga alt!!!
- Erste Black shales: 3.2 Ga...

# Molecular „fossils“

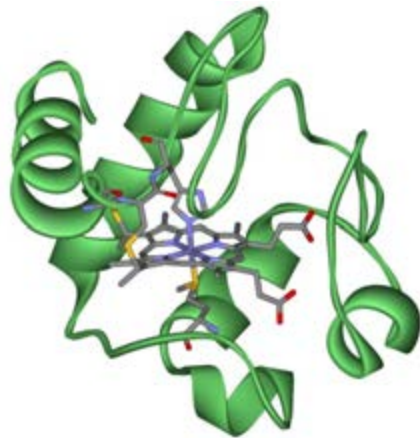
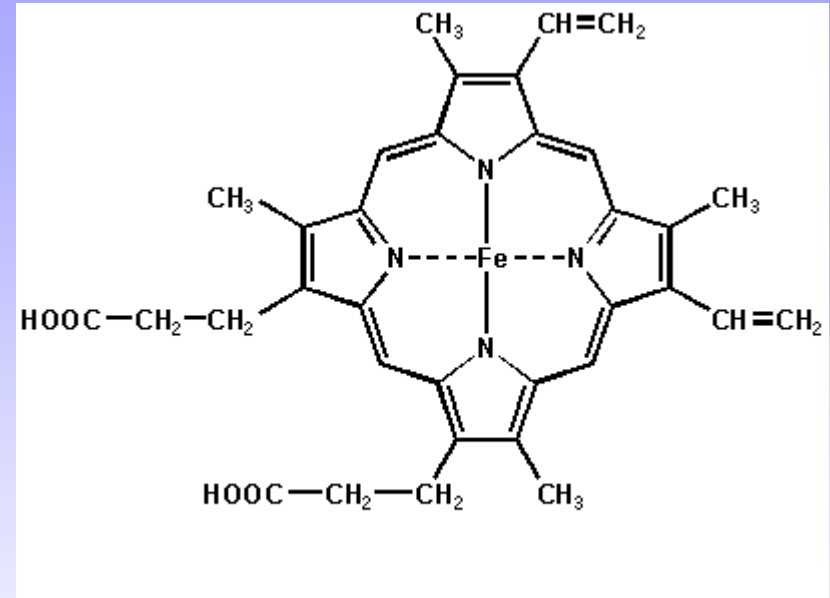
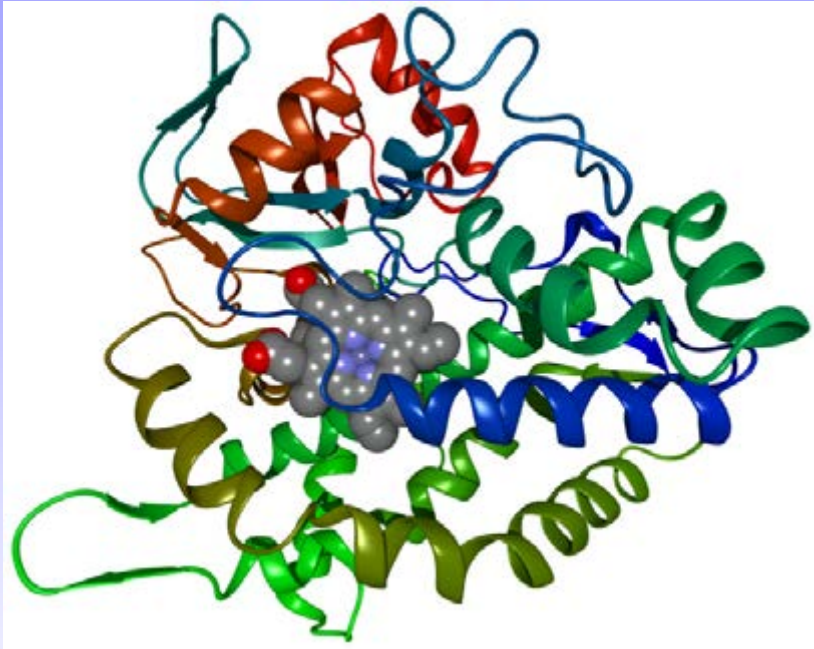
- o Adenin
- o Nucleinsäurens
- o Einige enzyme
- o 6 – 8 Aminosäurens
- o Fe/NiS clusters
- o Zucker??



(Murray meteorite CC enthält Zucker), Formose Reaction

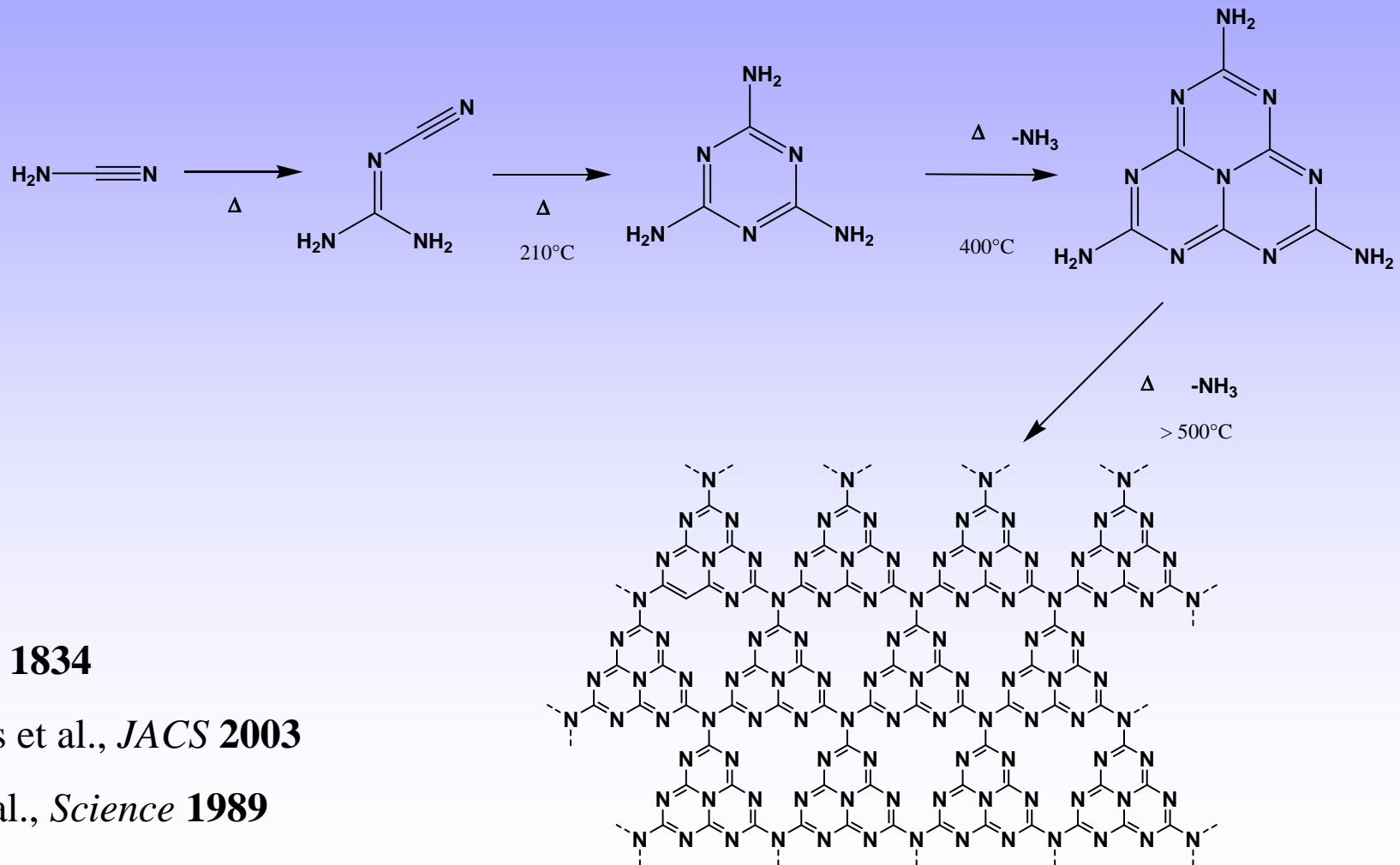


# Künstliche Photosynthese,



- Cytochrome C

# Eine Harnstoff-Chemie hin zu Melon und graphitischem $C_3N_4$

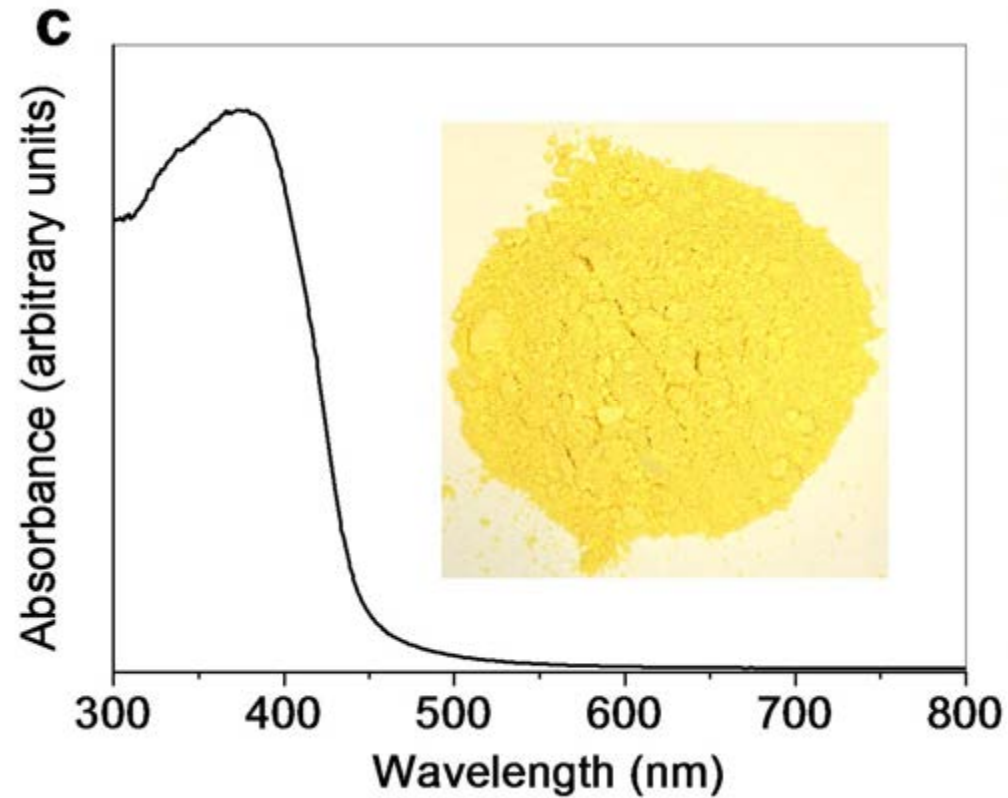
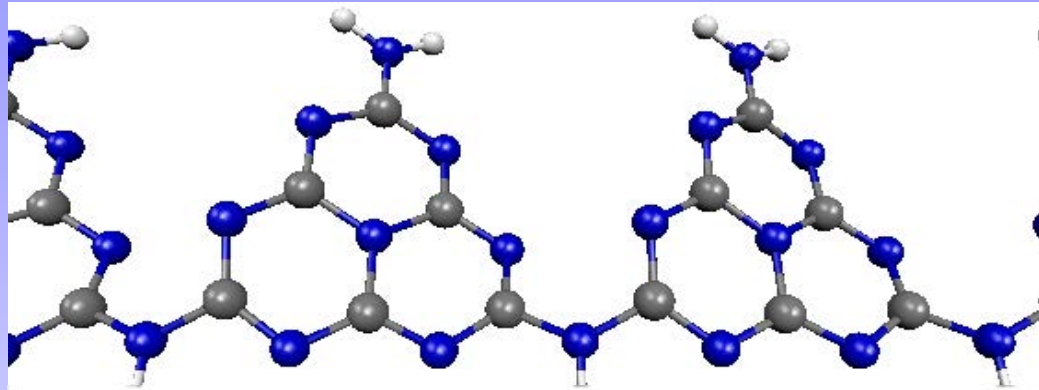


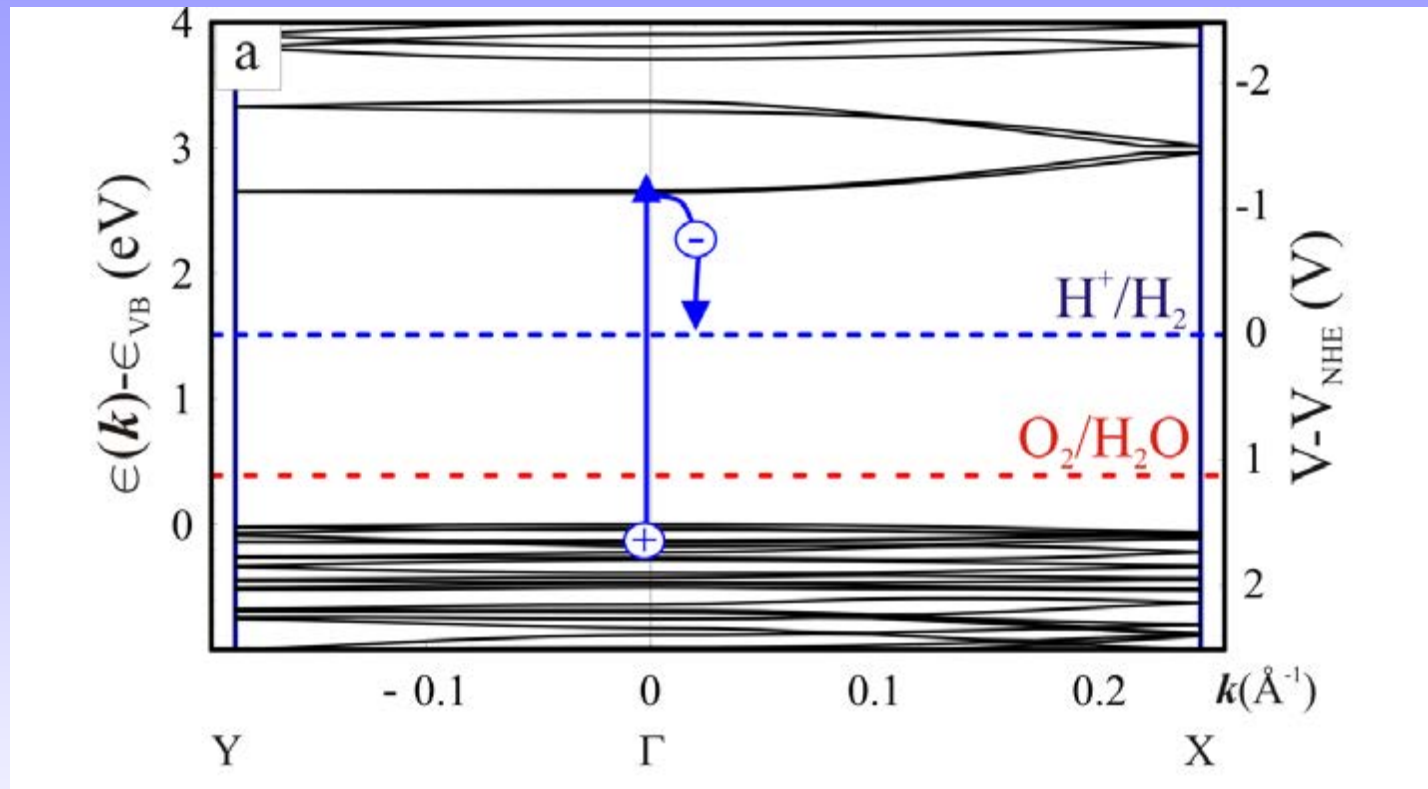
Liebig, 1834

Jürgens et al., *JACS* 2003

Liu et al., *Science* 1989

# Melon: (Poly-(heptazine)imine)

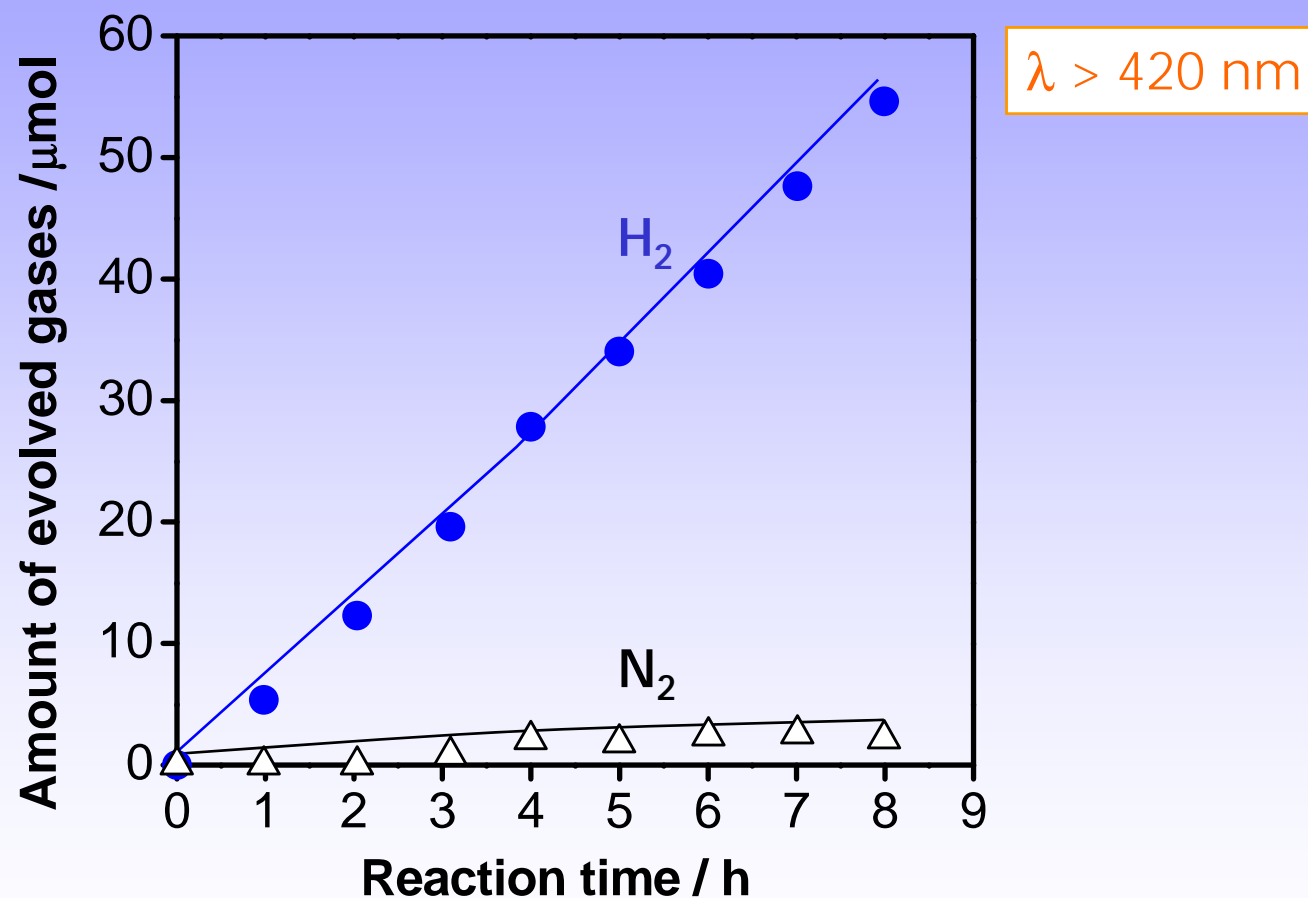




Bandlagen: ideal für die photochemische Wasserspaltung

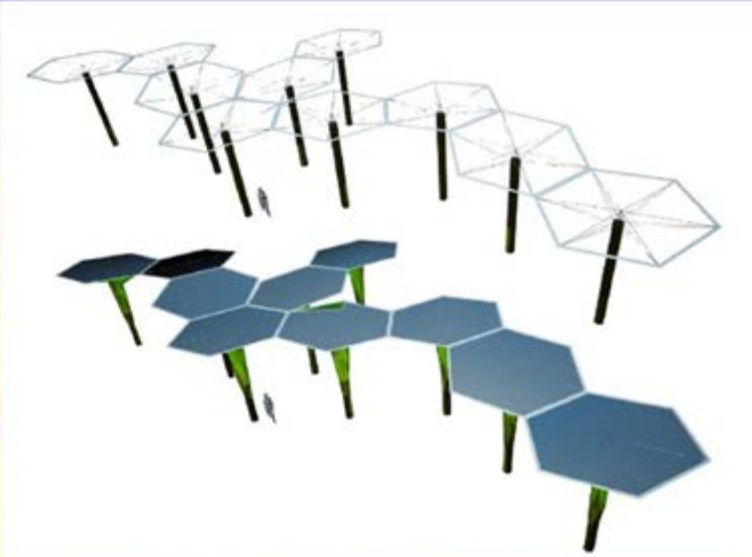


# H<sub>2</sub> evolution on Pt (0.5 wt%)-loaded C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>



Catalyst, 0.1 g, Reactant solution, aqueous triethanolamine solution 100 mL 10 vol.%;  
Reaction vessel, Pyrex top irradiation-type; Light source, xenon lamp (300 W) attached  
with a cutoff filter

# Der künstliche Baum tree...





# Bestandsaufnahme: Das “CO<sub>2</sub>-problem” von einem Chemiker bilanziert

- **Weltölproduktion** 4 km<sup>3</sup>
- Wert 1.8 Billionen Euro
- erzeugt politische Instabilität und Ungerechtigkeit
- Öl generiert ~15 GT CO<sub>2</sub> pro Jahr -- > Klimawandel
- Terrestrische Welt-Biomasse 120 km<sup>3</sup>
- 6,7 % der Biomasse genug, um Öl-basiertes CO<sub>2</sub> zu kompensieren
- 11 % der Biomasse auf Äckern

“persönlicher Fußabdruck” 3.0 Tonnen

Bedarf an CO<sub>2</sub>-negativen Technologien & Produkten

Kosten: nicht mehr als 180 G€

# Hydrothermale Karbonisierung

Ein Verfahren, um Pflanzenmasse

- in chemische Rohstoffe
- in Polymere
- In Kohlenstoffe zu verwandeln
- Alles in Wasser
  - Kolloid- und Grenzflächenchemie
- Carbon efficiency  $\approx 1$

Friedrich Bergius beschrieb 1913 die  
elementaren Schritte der HTC

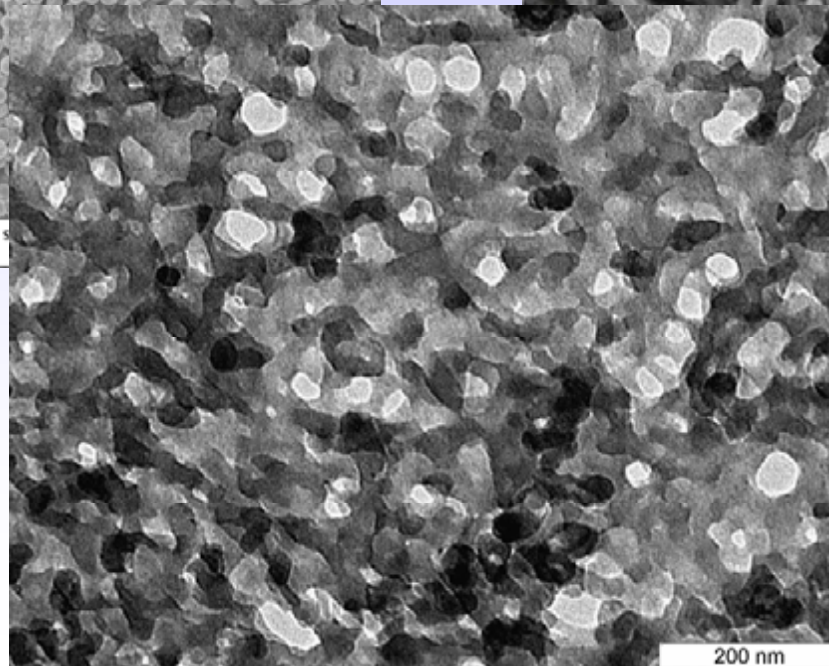
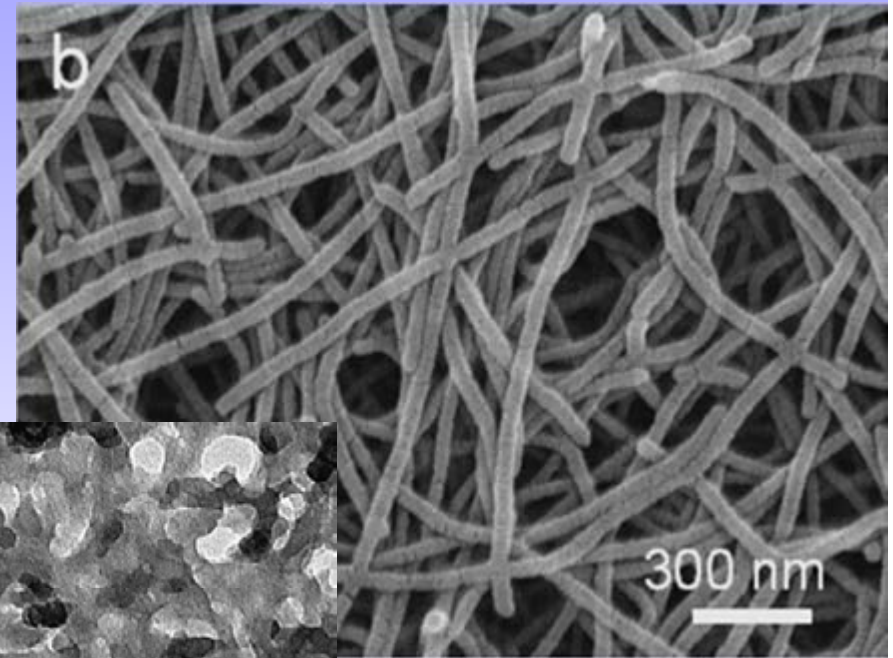
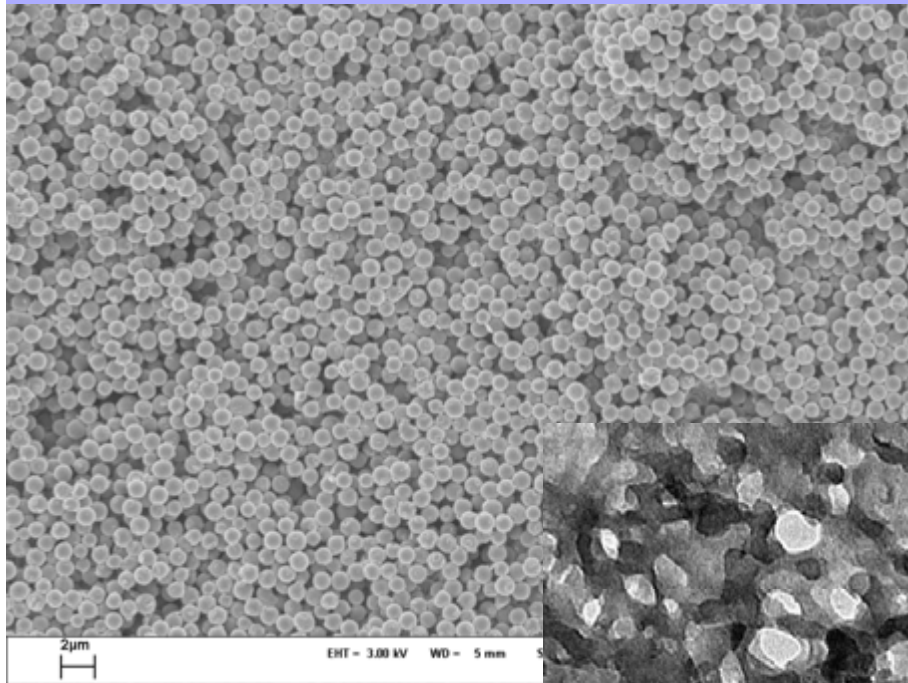
# HTC

## Dehydratisierung von Kohlehydraten

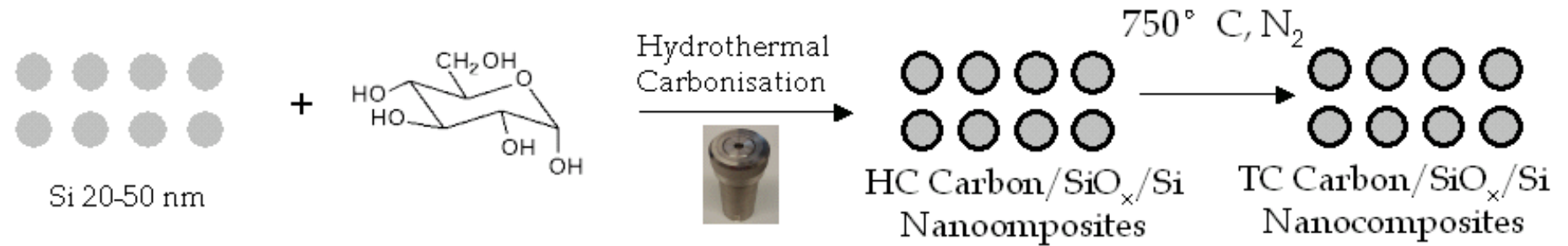
- bei 180 °C – 230 °C
- für 2 – 16 h's
- $C_6H_{12}O_6 \rightarrow C_6H_6O_3 + 3 H_2O \rightarrow C_6H_2O + 5 H_2O$
- preiswert (ca. 180 €/t biomass)
- führt zu nützlichen Materialien

# „Kohlebilder“:

(aus Glucose/Stärke/Pflanzenteilen)



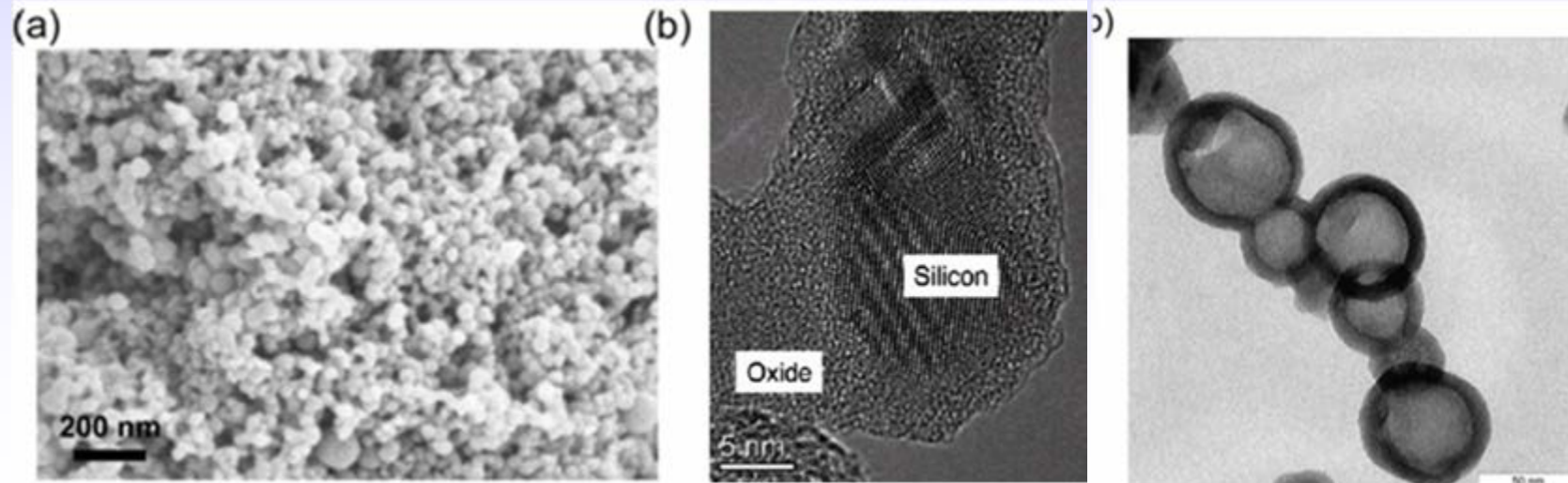
# Neue grüne Batteriematerialien



1g Si + 0.5g glucose in 10mL H<sub>2</sub>O@200° C, 12h  $\longrightarrow$  43%C  $\longrightarrow$  21%C

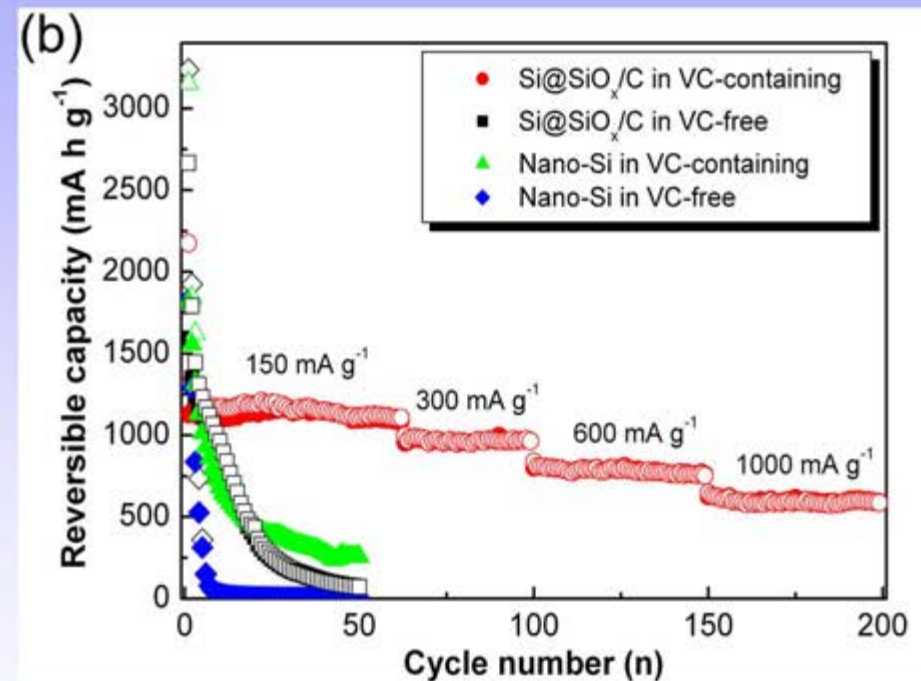
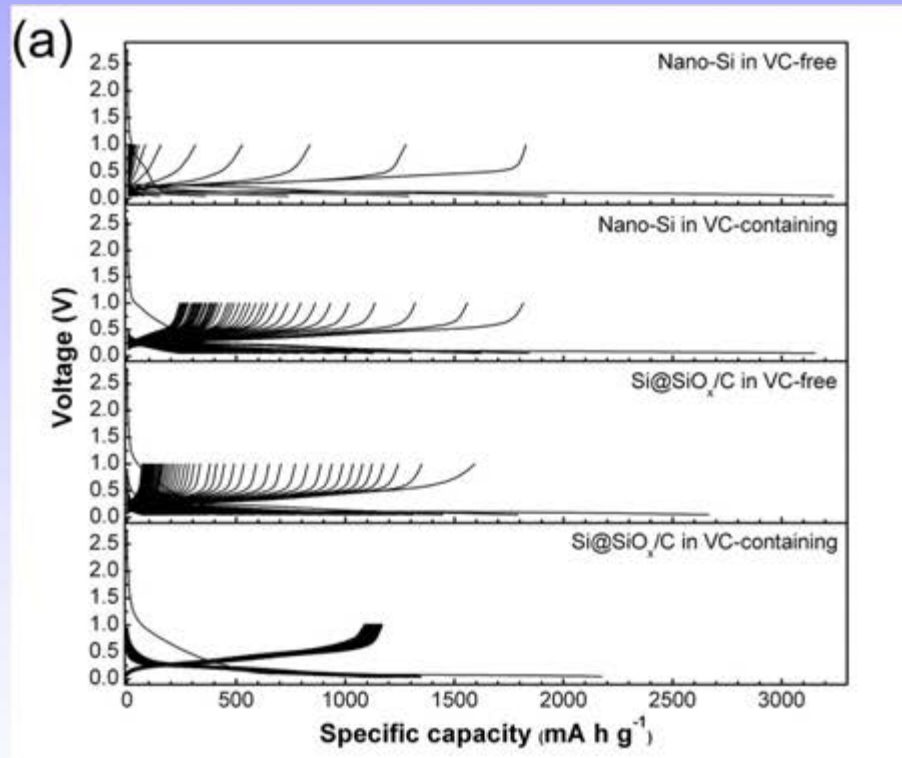
Maria M. Titirici

Rezan Demir Cakan



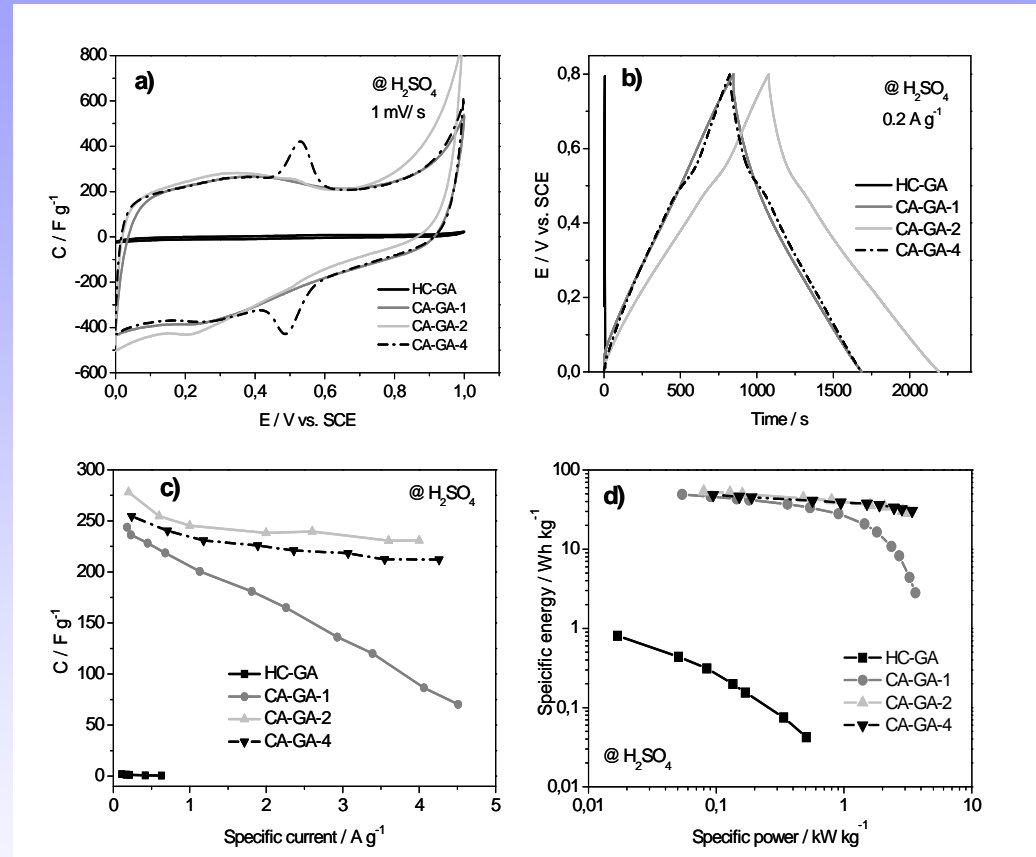
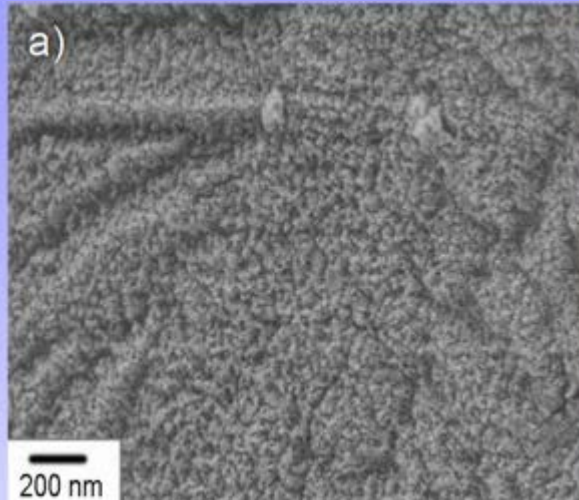


# Leistungen dieser Batterie



6 mal jetzige Technologie  
Angewandte Chemie 2008

# Superkondensatoren aus N-haltiger Biomasse



10 kg Material: 160 kW für 12.5 Sec.

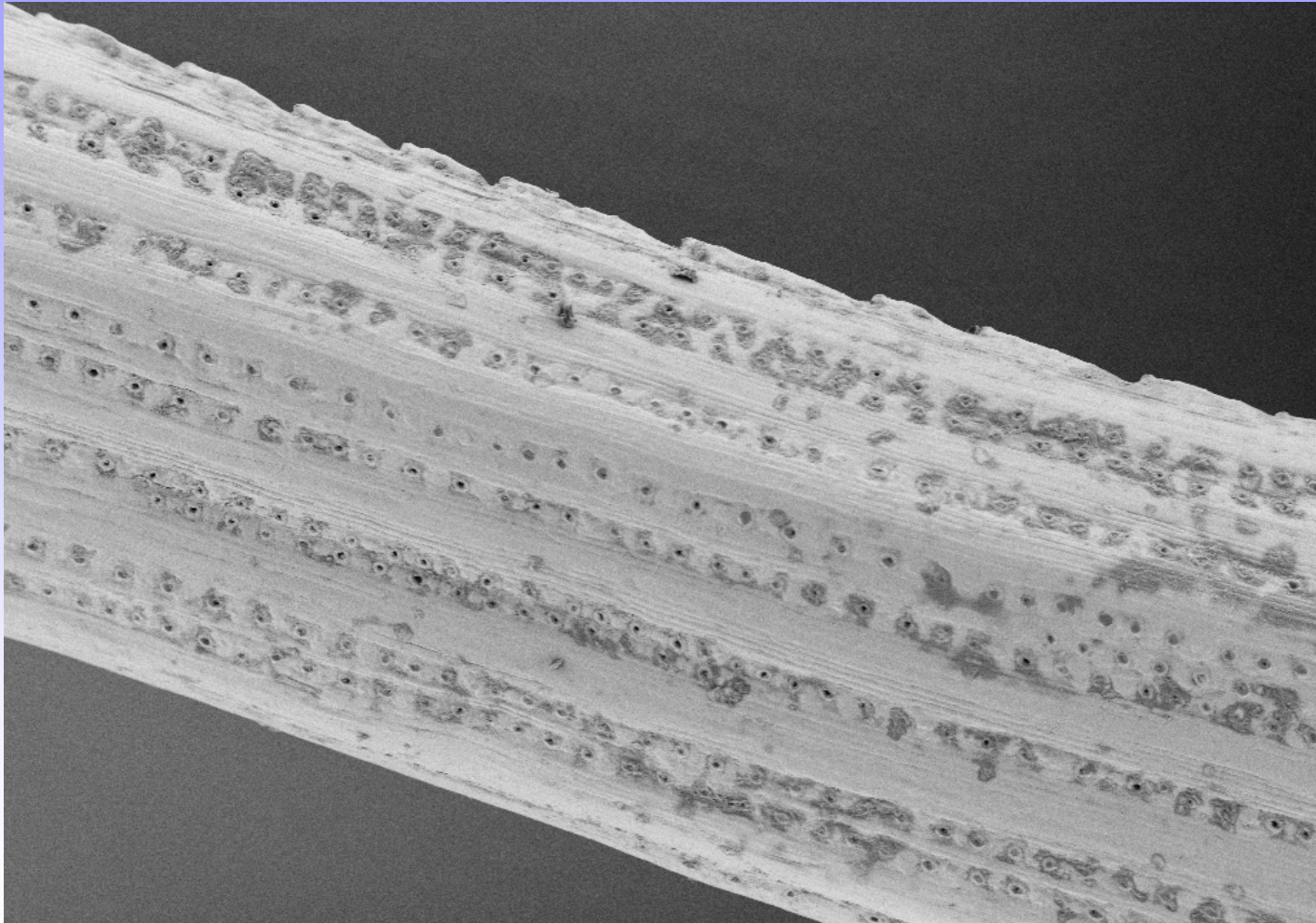
10 kg: 150 kW für 10 sec ... extra!

# Ernährung/Energie-Konflikt

- Geht das auch mit (deutscher) Abfallbiomasse?

industrielle Biomasseabfälle: Zuckerrüben (5 Mt), Rapsstroh (20 Mt), Klärschlämme (10 Mt), Orangenschalen (2 Mt) etc.

# Die gemeine Kiefernnaedel ( vor der HTC)



100µm



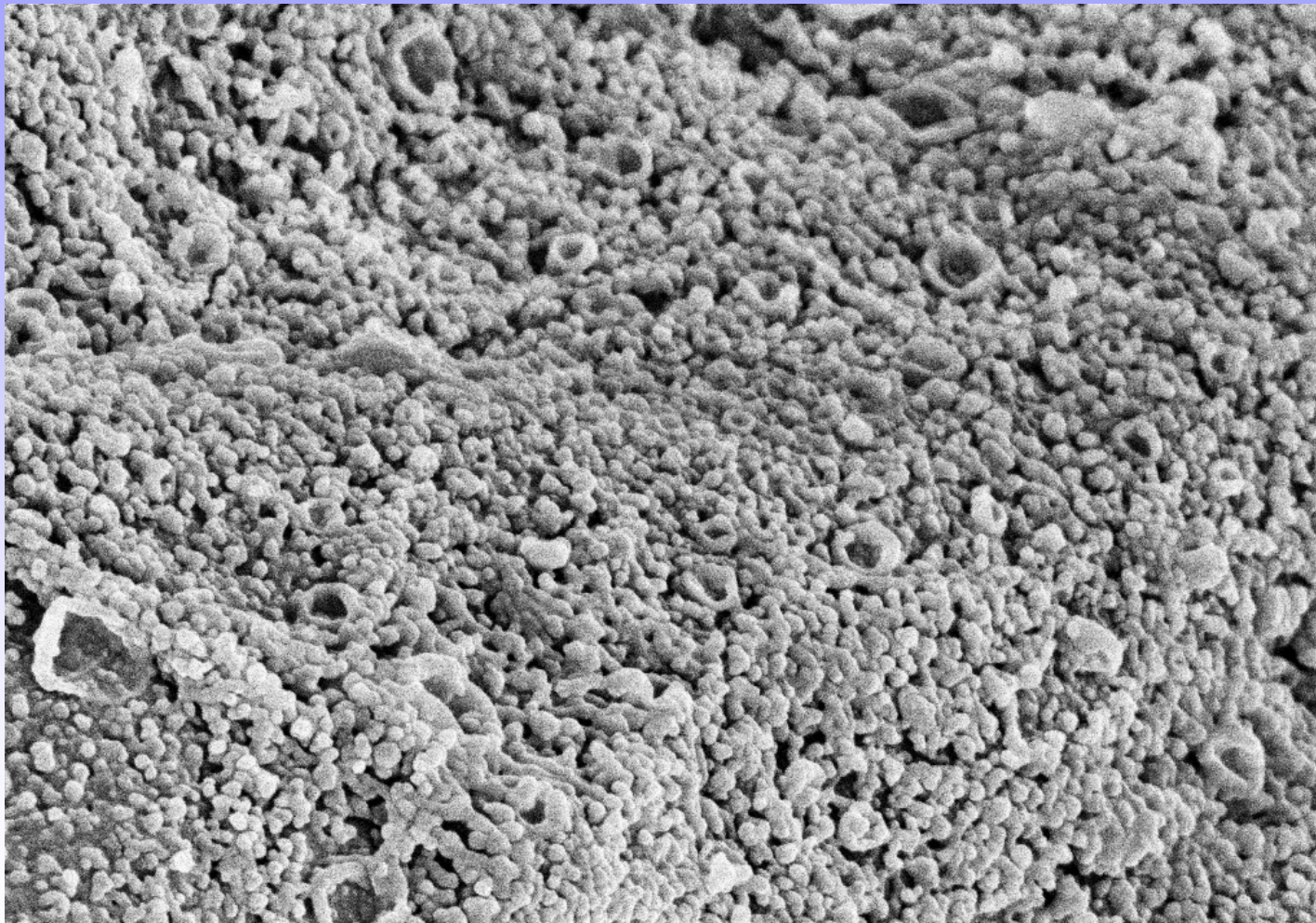
EHT = 3.00 kV

WD = 5 mm

Signal A = SE2

Date :21 Apr 2006

und nach der HTC....



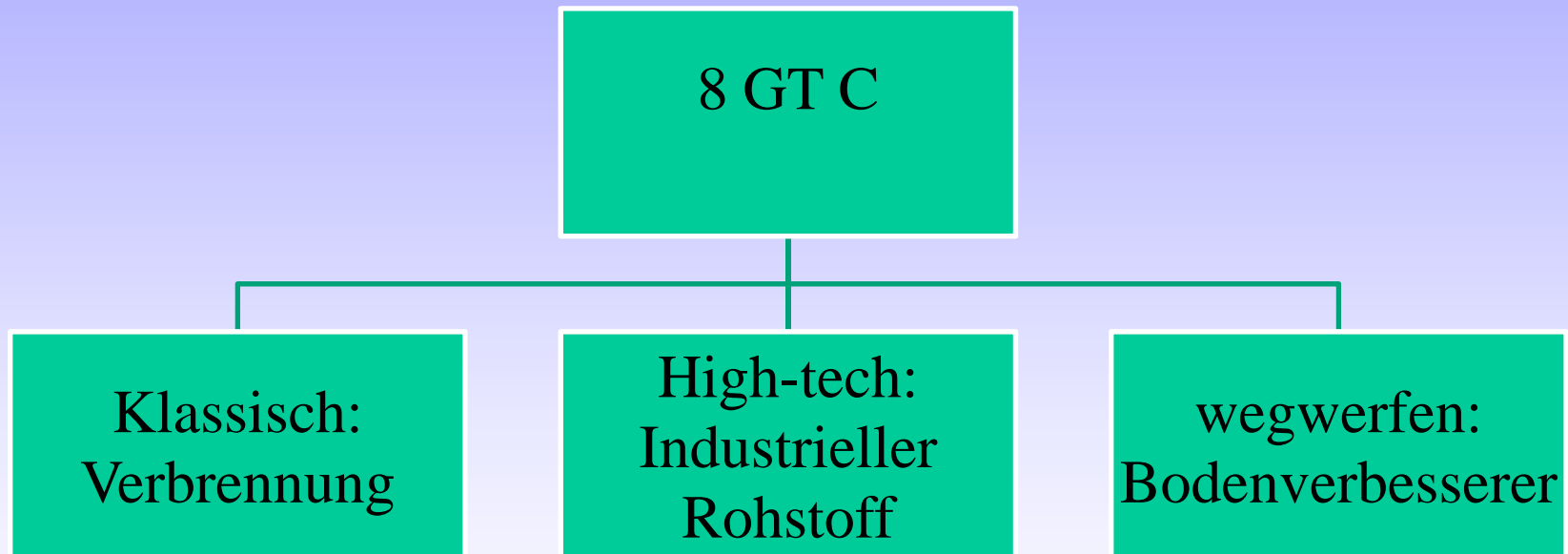
200nm  
| |

EHT = 3.00 kV WD = 5 mm Signal A = InLens Date :10 Apr 2006

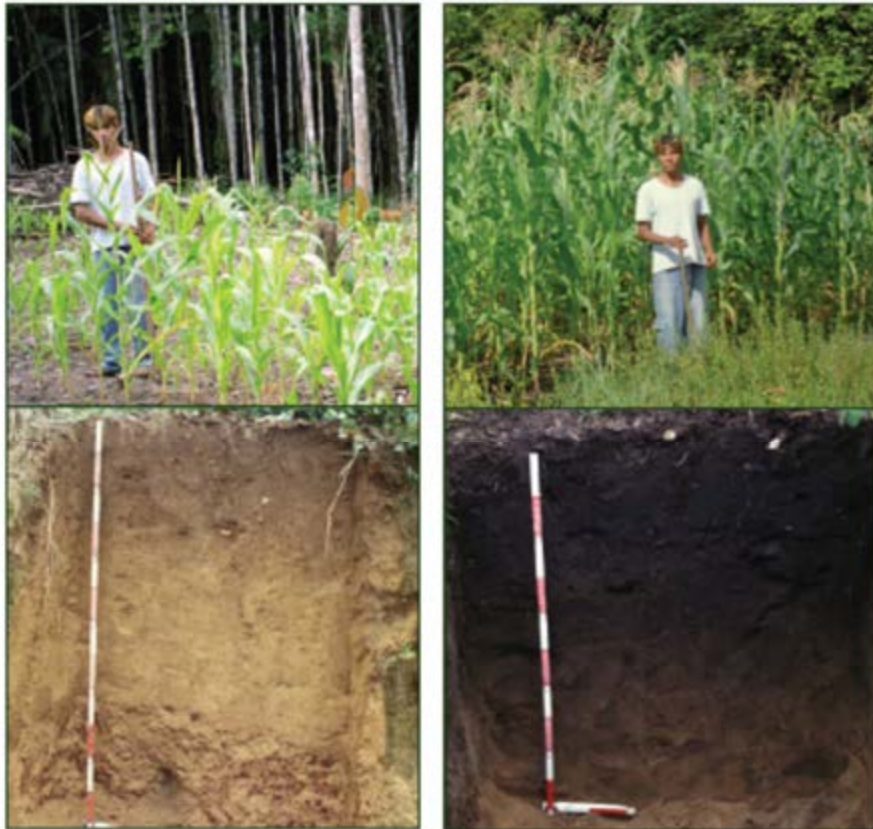
# Eine Pilotanlage, betreut von der MaxPlanckGesellschaft



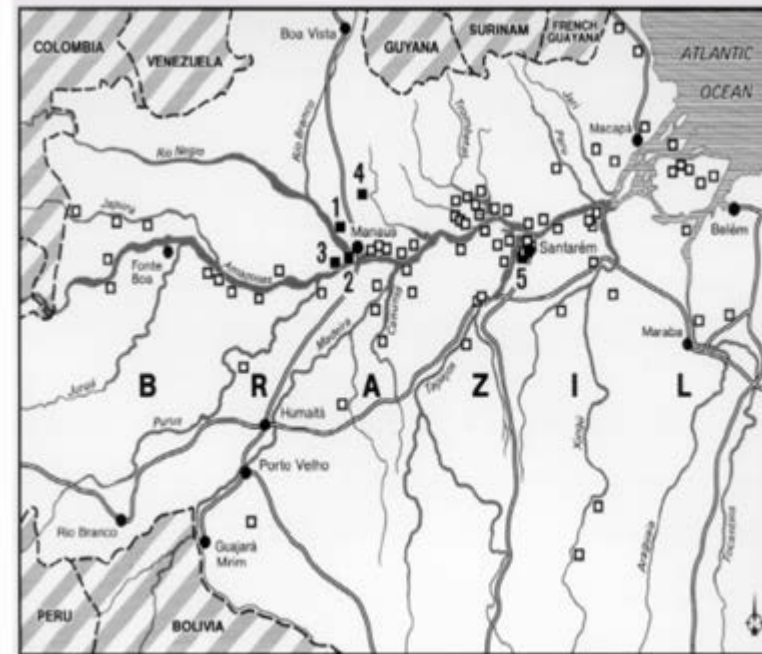
# Was tun mit so viel Kohlenstoff?



# Biokohle und „Terra Preta“: Kohlenstoffe als Bodenverbesserer



Biochar and Terra Preta Soils



- Mosaikartig
- 0,1 - 350 ha
- Mittel 20 ha
- Terra Firme
- Bolivien
- Peru
- Südafrika

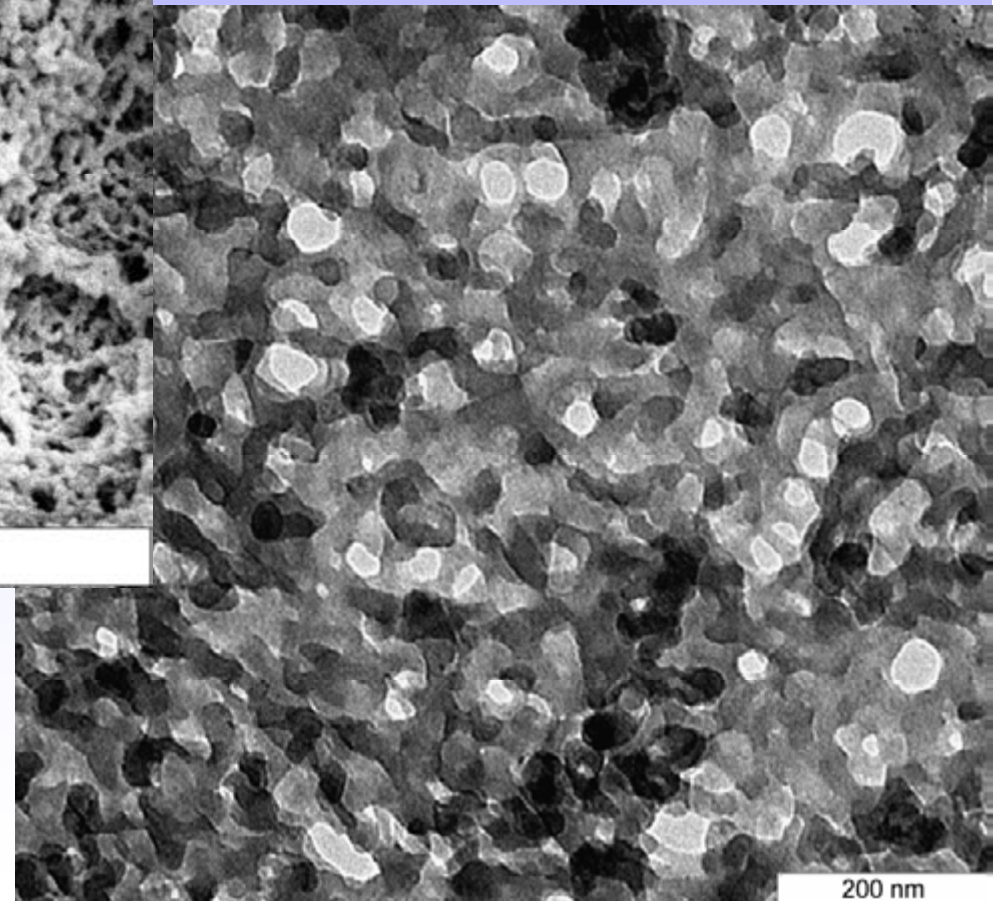
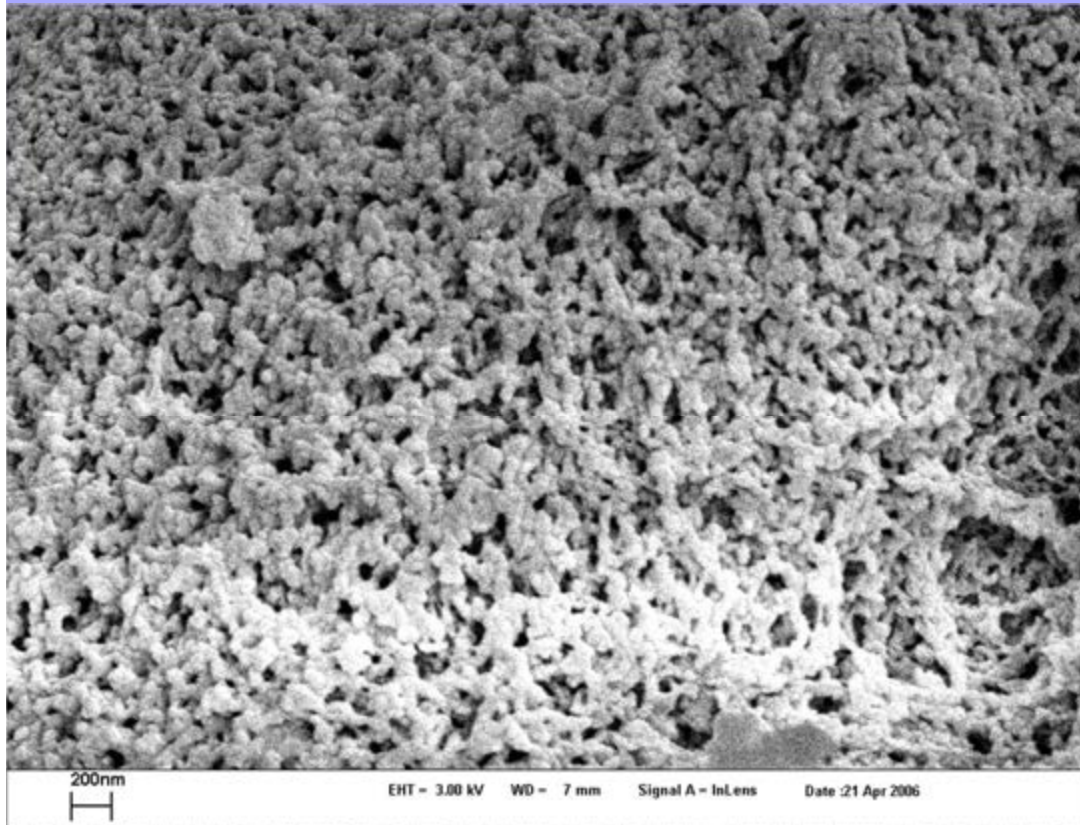


# „klassische“ Reaktionsführung



Bilder: Dank an Dr Heiko Pieplow

# Modern: Kohlenstoff-Schwämmchen



# Zusammenfassung

- o künstliche Photosynthese
- o “I-Energy”
- o Hydrothermale Carbonisierung
- o Biokohle als Kohlenstoffsенke
- o Kohlenstoff-negative Produkte

Dank der Max Planck Gesellschaft:  
„Forschung mit dem langen Atem/für die  
dicken Bretter“

ENERCHEM 2005

