



Dialogforum Magdeburg, 2013-05  
„Speichermöglichkeiten schaffen“

# Speicherforschung mit Superkondensatoren

Hartmut S. Leipner

Martin-Luther-Universität Halle–Wittenberg



# Das Projekt Super-Kon

**Ziel:** Physikalische Energiespeicher zur effektiven Speicherung regenerativer Energien

## **bisher: hauptsächlich Akkumulatoren**

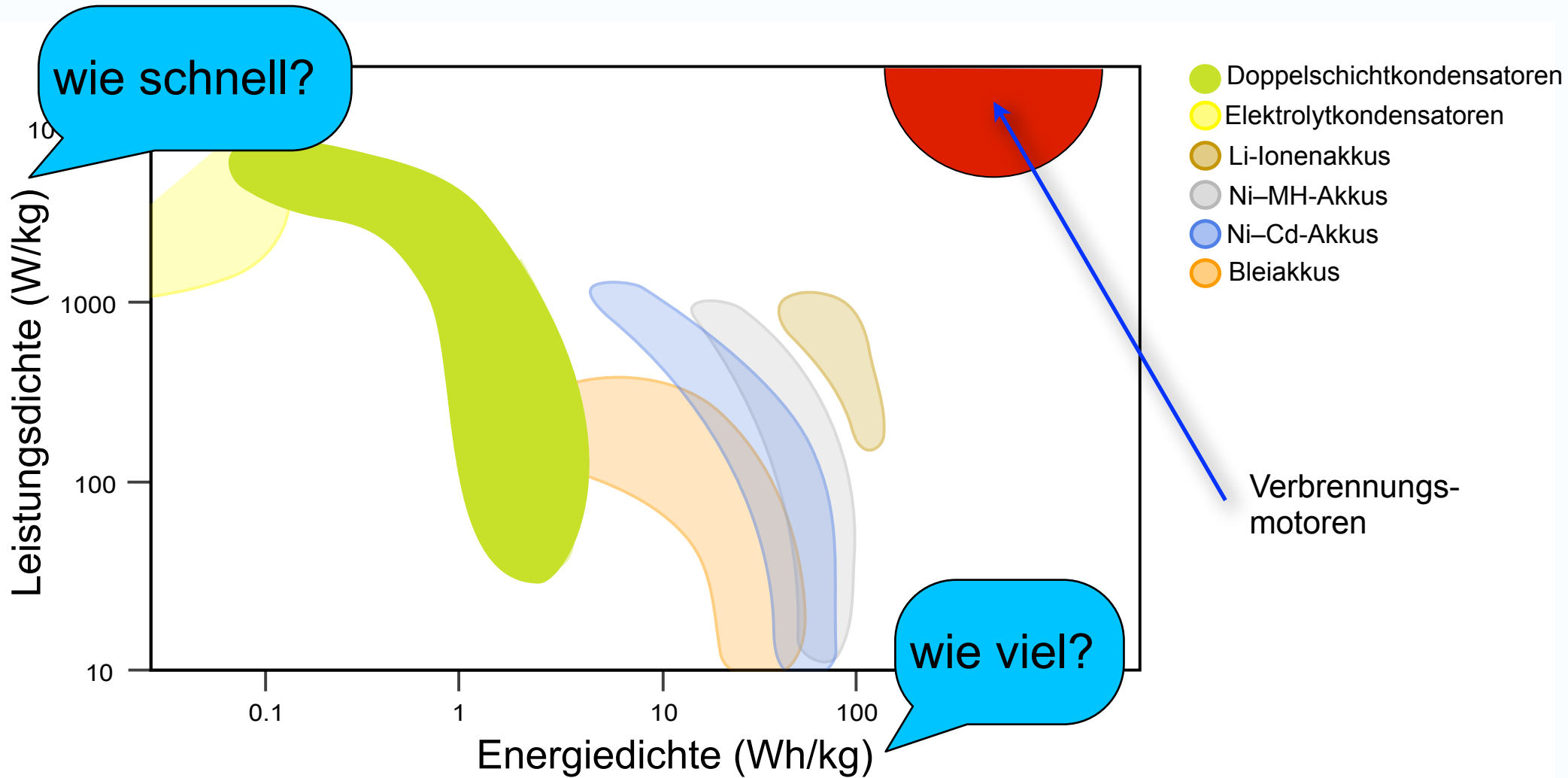
- ◆ begrenzte Lebensdauer
- ◆ Memoryeffekt
- ◆ begrenzter Temperatureinsatzbereich
- ◆ Probleme bei Überlastspitzen und Tiefentladungen
- ◆ begrenzte Ladegeschwindigkeiten
- ◆ Erwärmung bei schnellen Ladezyklen
- ◆ ökologisch nicht unbedenklich

## **Kondensatoren:**

- ◆ sehr schnelle Ladezyklen, hohe Anzahl
- ◆ aber: bisher geringe Energiedichten



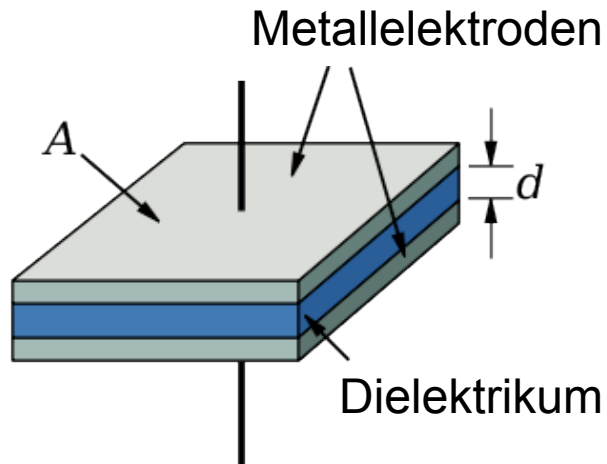
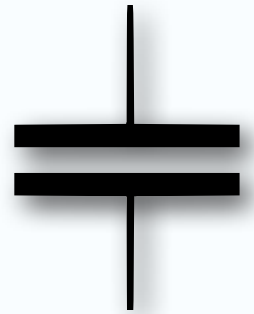
# Stand der Technik





# Kondensatoren

Kapazität  $C =$  Menge der gespeicherten Ladung pro Volt



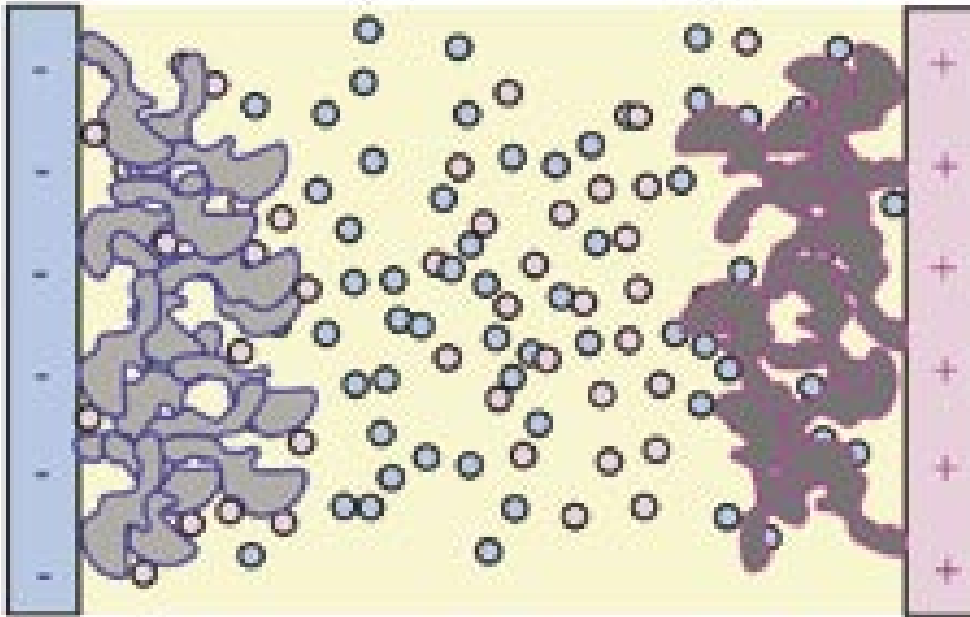
$$C = \epsilon_r \epsilon_0 \frac{A}{d}$$

$\epsilon_0$  Permittivität des Vakuums  $\approx 9 \cdot 10^{-12}$  F/m

$\epsilon_r$  relative statische Permittivität des Dielektrikums („Dielektrizitätskonstante“)

gespeicherte Energie: 
$$E = \frac{1}{2} C U^2 = \frac{1}{2} \epsilon_r \epsilon_0 \frac{A}{d} U^2$$

# Doppelschichtkondensator



$$C = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 A}{d} \quad \frac{C}{A} = \frac{\epsilon_r \epsilon_0}{p \ln \frac{p}{a_0}}$$

( $p$  Porenradius,  $a_0$  eff. Ionenradius)

$$E = \frac{1}{2} C U^2$$

Geladener Doppelschichtkondensator mit zwei Doppelschichten in Serie (Grenzfläche Elektrode–Ladungsschicht und Ladungsschicht–Elektrolyt). Die porösen Elektroden liefern eine große Oberfläche  $A$ .

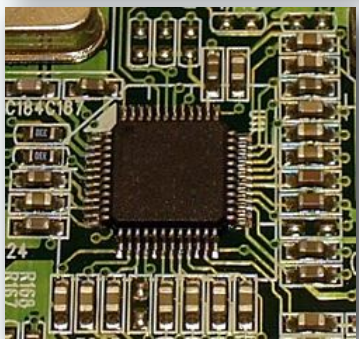
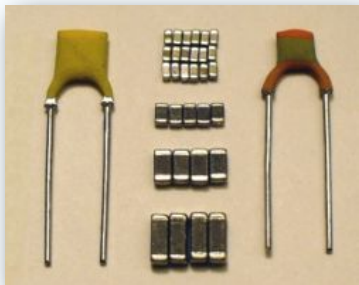
[Scherson, Palencár 2006]

# Verfügbare Standardkondensatoren

## Keramikkondensatoren

z. B. auf der Basis von Bariumtitanat

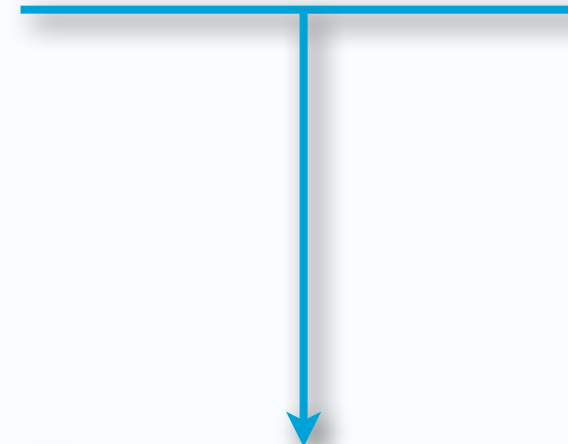
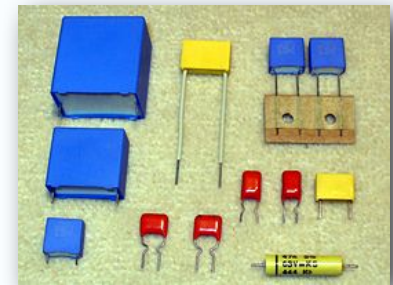
- + hohe Permittivität
- + thermische Stabilität
- + hohe Frequenzen
- spöde



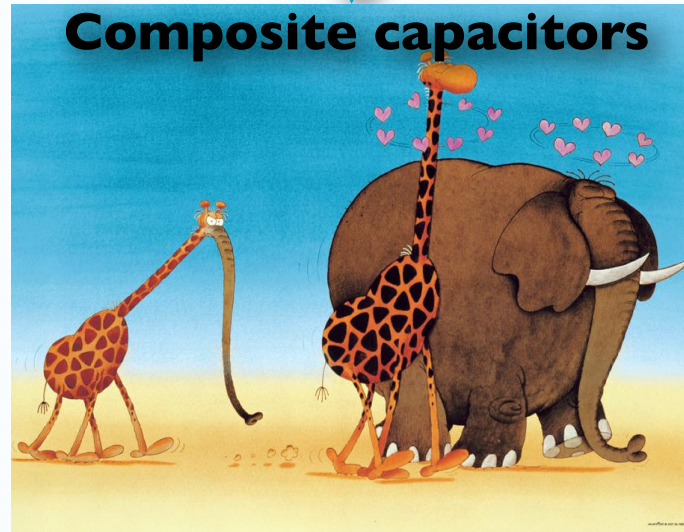
## Dünnschichtkondensatoren

z. B. PET, PP

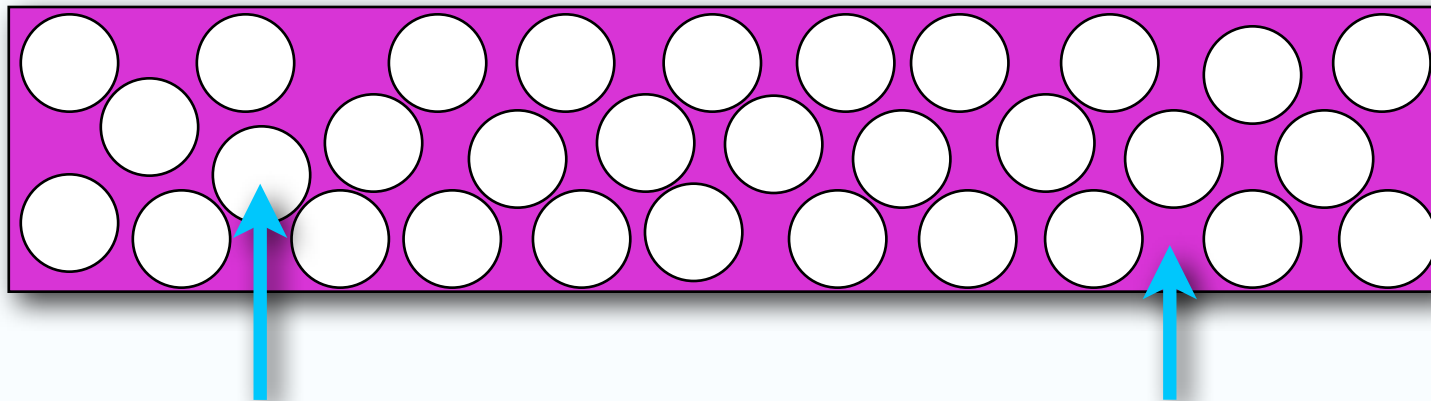
- + hohe Spannungen
- + kleine Kriechströme
- + einfache Bauformen
- geringe Permittivität



## Composite capacitors

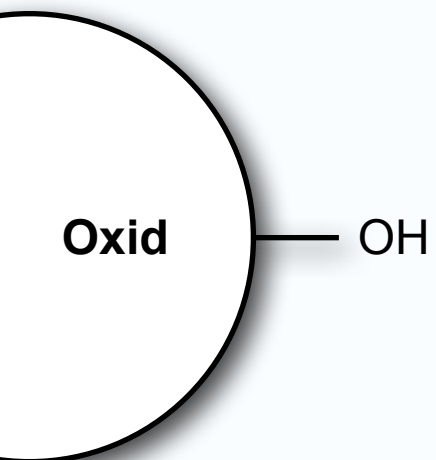


# Kompositdielektrikum



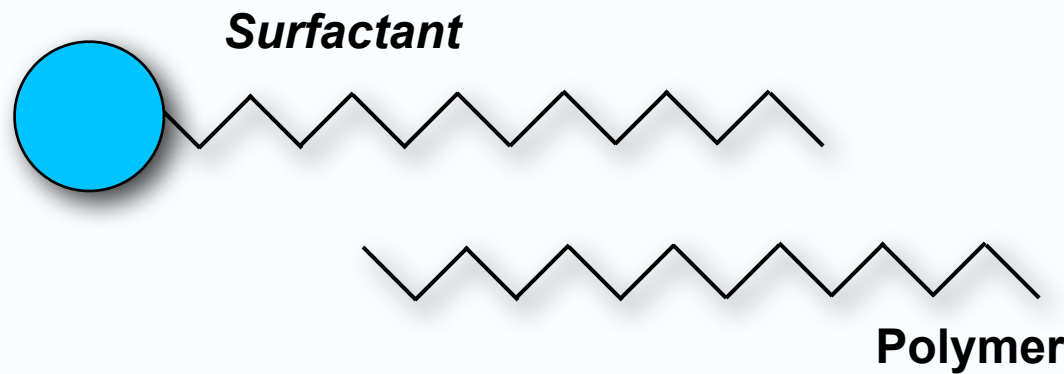
**Oxidteilchen**  
polar, hydrophil

**Polymermatrix**  
nichtpolar, lipophil



**Oxid**

OH



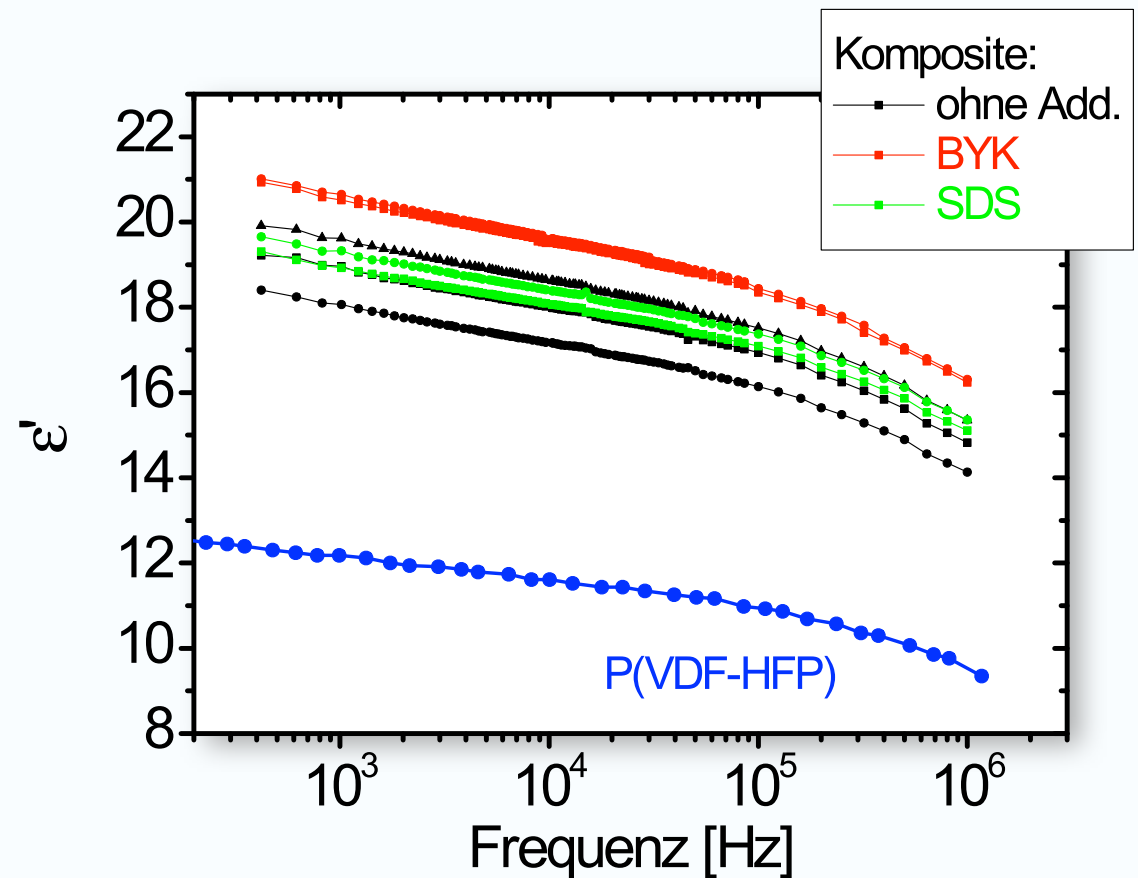
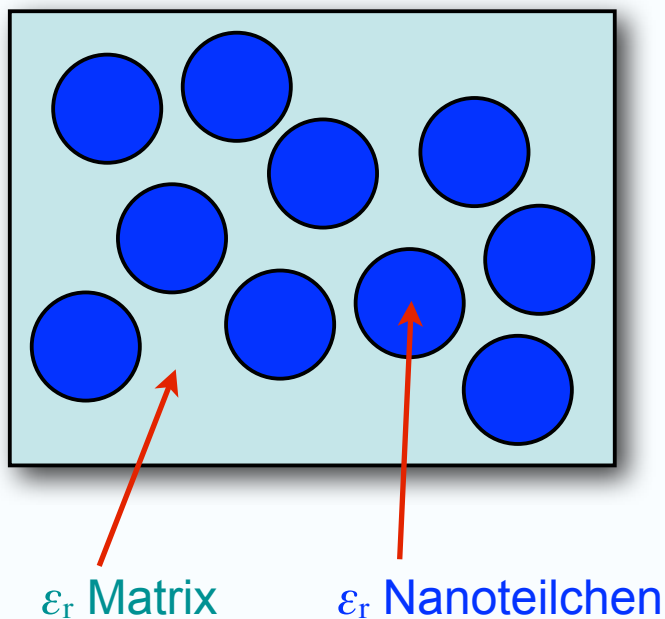
**Surfactant**

**Polymer**

# Mischungsregeln

## Einfache Modelle

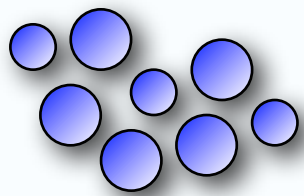
- ◆ Serien-/Parallelschaltung
- ◆ Isotrope, statistische Verteilung sphärischer Partikel in homogener Matrix



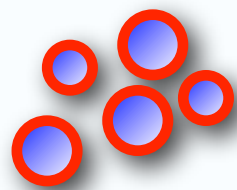


# Komposit-Superkondensatoren

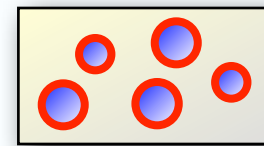
keramische  
Nanopartikel wie  
z. B.  $\text{BaTiO}_3$



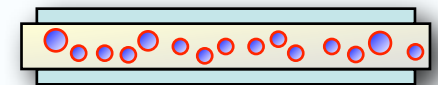
Spezifische  
Oberflächen-  
behandlung



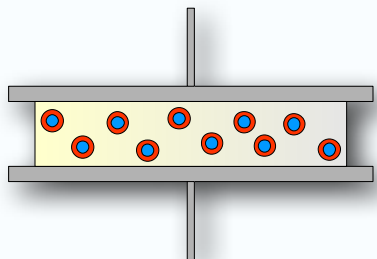
Einbetten in  
Polymer- bzw.  
Glasmatrix



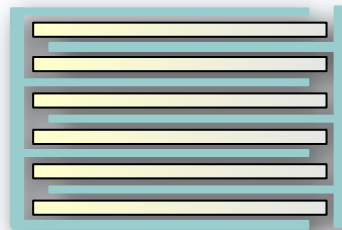
Processing →  
Dünnschichten,  
Kontaktierung



Einzelkondensator



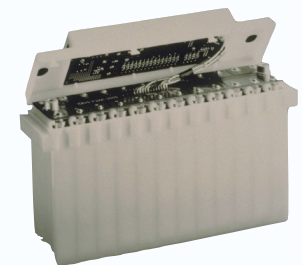
Vielschichtkondensator



AVT



Module



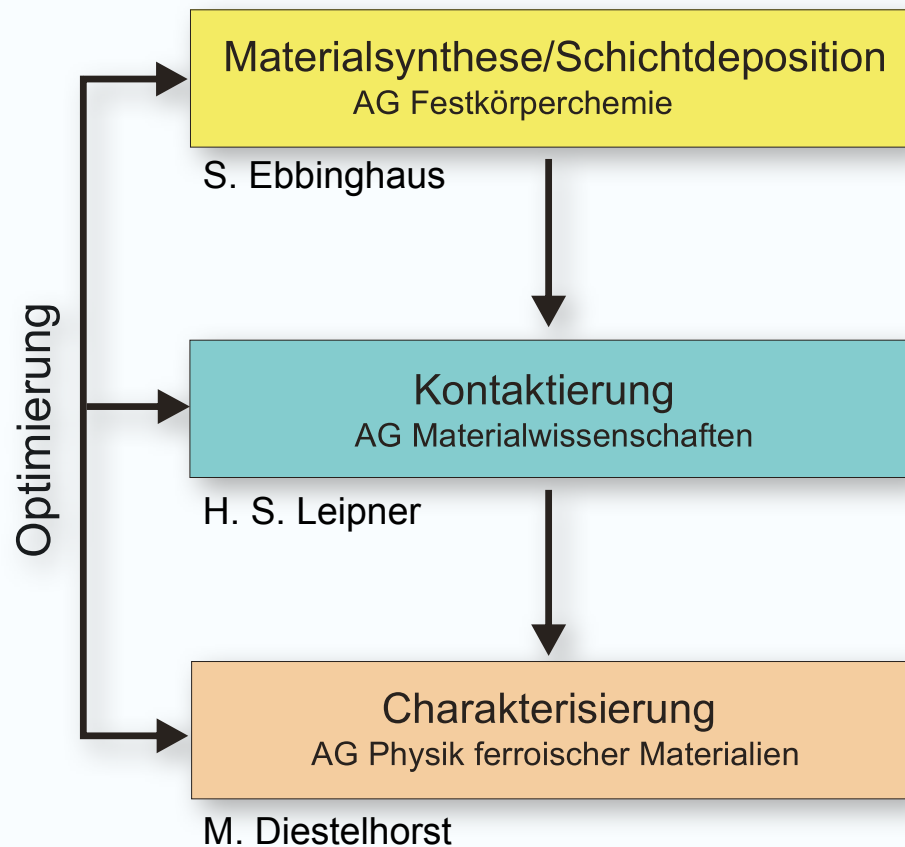
# Vorteile der Superkondensatoren

- ◆ robust, keine nennenswerte Alterung, sehr hohe Lebensdauer
- ◆ deutlich höhere Ladespannungen ( $> 10 \text{ V}$ )
- ◆ thermische Stabilität (Betriebstemperaturen  $> 60 \text{ °C}$  realisierbar)
- ◆ keine Kühlvorrichtungen notwendig
- ◆ schnelle Lade- und Entladezyklen
- ◆ hoher Wirkungsgrad
- ◆ ökologisch unbedenklich, Schonung der Umwelt
- ◆ modularer Aufbau, geringe Herstellungs- und Wartungskosten

# Super-Kon-Team



## Innovationslabor



### Institut für Chemie

- ◆ Synthese: verschiedene Oxide,
- ◆ Umhüllungen, Matrix
- ◆ Schichtpräparation
- ◆ Sintern, Spin-coating, Linearbeschichtung

### Interdisziplinäres Zentrum für Materialwissenschaften

- ◆ Elektroden
- ◆ Schichtcharakterisierung
- ◆ Mikroskopie, EBIC

### Institut für Physik

- ◆ elektrische/dielektrische Messungen
- ◆ Theorie/Simulation mittels FEM

# Zusammenfassung der Leistungsdaten

## Polymer-Komposite

- ◆ Nanopartikel BaTiO<sub>3</sub>
- ◆ Matrix: P(VDF-HFP)
- ◆ max. Permittivität (1 kHz): 50
- ◆ max. Feldstärke: 100 V/μm
- ◆ Energiedichte  $\approx 3 \text{ J cm}^{-3}$

## Glas-Komposite

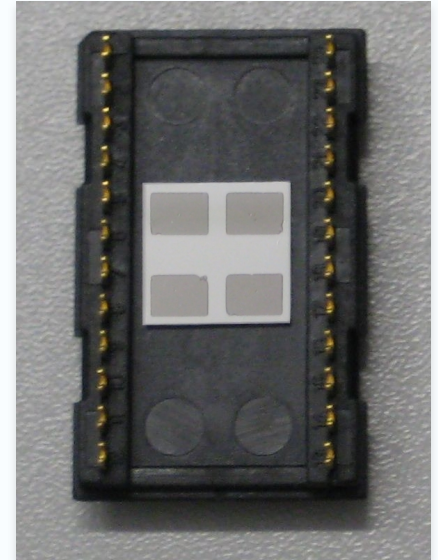
- ◆ Nanopartikel Ba(Ti,Ge)O<sub>3</sub>
- ◆ Matrix: BBS-Glas
- ◆ max. Permittivität (1 kHz): 4000
- ◆ max. Feldstärke: 6 V/μm
- ◆ Energiedichte  $\approx 1 \text{ J cm}^{-3}$

- ◆ untersuchte Elektrodenmaterialien: Aluminium, Silber, Gold

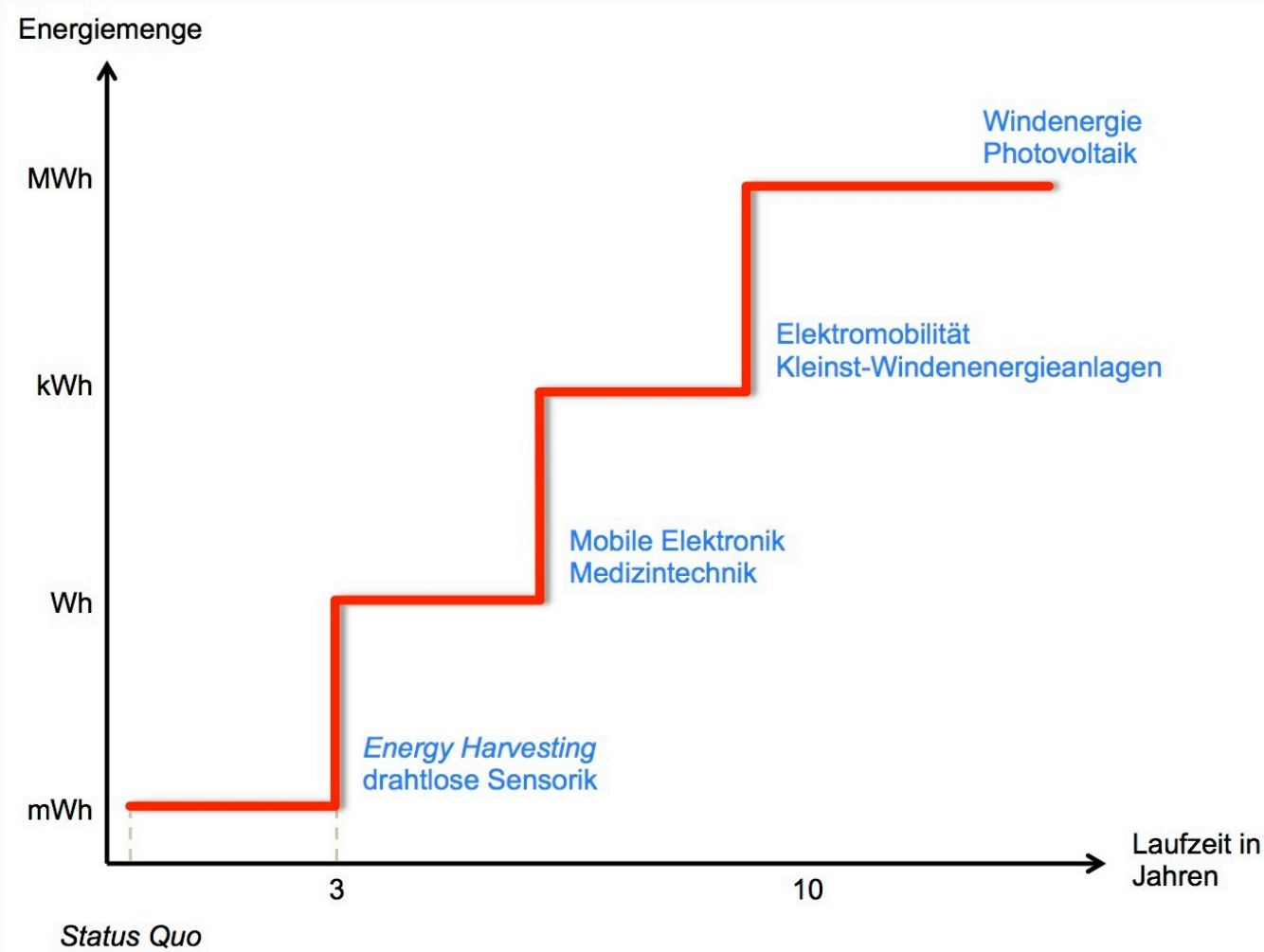


# Next targets of the Super-Kon project

- ◆ *Proof-of concept* →  
Entwicklung eines Demonstratormoduls
- ◆ Anwendung für *Energy harvesting*
- ◆ Testen im industriellen Umfeld
  - Einfluss von Temperatur, Feuchte, Vibrationen
  - Langzeitstabilität
  - Vereinbarkeit mit Standards
- ◆ Analyse lokaler Durchbrüche; Defektstudien



# Technologie-Roadmap











“Did anyone call for high-power, infinitely rechargeable electrical energy storage?”

### **Super-Kon-Team:**

H. Beige, A. Buchsteiner, M. Diestelhorst,  
S. Ebbinghaus, C. Ehrhardt, J. Glenneberg,  
T. Großmann, S. Lemm, W. Münchgesang,  
C. Pientschke, K. Suckau, G. Wagner, M. Zenkner



# Nachweise

-  [de.wikipedia.org/wiki/Ragone-Diagramm](https://de.wikipedia.org/wiki/Ragone-Diagramm)
-  [upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/3/35/  
Parallel\\_plate\\_capacitor.svg/300px-Parallel\\_plate\\_capacitor.svg.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/3/35/Parallel_plate_capacitor.svg/300px-Parallel_plate_capacitor.svg.png)
-  [www.antonine-education.co.uk/Salters/TRA/Sensing\\_files/  
image003.gif](http://www.antonine-education.co.uk/Salters/TRA/Sensing_files/<br/>image003.gif)
-  [hondaoldies.de/Korbmacher-Archiv/Technik/ucap.htm](http://hondaoldies.de/Korbmacher-Archiv/Technik/ucap.htm)
-  [gravityandlevity.wordpress.com](http://gravityandlevity.wordpress.com)
-  DA Scherson, A Palencár: Electrochem Soc Interf. **17–22** (2006).