

VDI



18. VDI-Symposium

Gardelegen 2013-11-21

„Die Energiewende stirbt ohne geeignete Speichersysteme“

Neue Superkondensatoren für die Energiespeicherung

Hartmut S. Leipner

Martin-Luther-Universität Halle–Wittenberg

SUPERKON

ForMaT
UNTERNEHMEN
Die BMBF-Innovationsinitiative
Neue Länder **REGION**

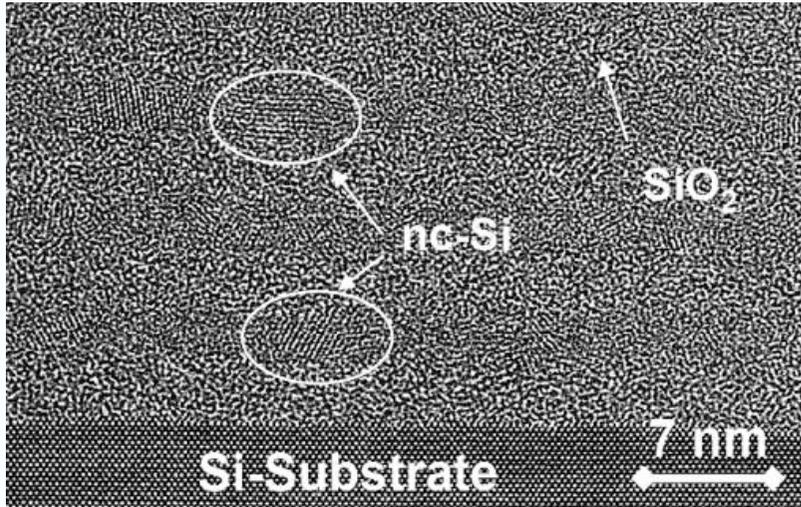
gründerwerkstatt
NANOSTRUKTURIERTE
WERKSTOFFE



Nanotechnikum Weinberg

- ◆ **Nanostrukturierung:** Lithographie, Dünnschichtabscheidung, Bauelemente-*Prototyping*
- ◆ **Nanoanalytik:** mikroskopische und spektroskopische Charakterisierungsverfahren mit höchster Auflösung
- ◆ 1 800 m² Labore, 620 m² Reinraum der Klassen 10 000/100/10

Materialien für regenerative Energien

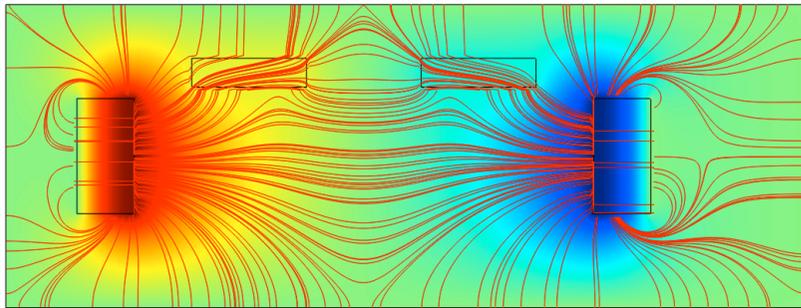


- ◆ Siliciumbasierte nanostrukturierte Dünnschichten als Funktionselemente in Solarzellen der nächsten Generation

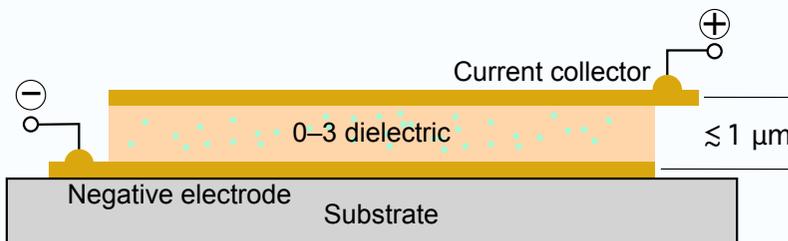
GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



- ◆ Si- and Si-Ge-Dünnschichten für thermoelektrische Anwendungen

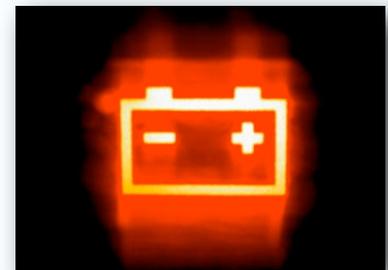


- ◆ Neue Superkondensatoren als Energiespeicher

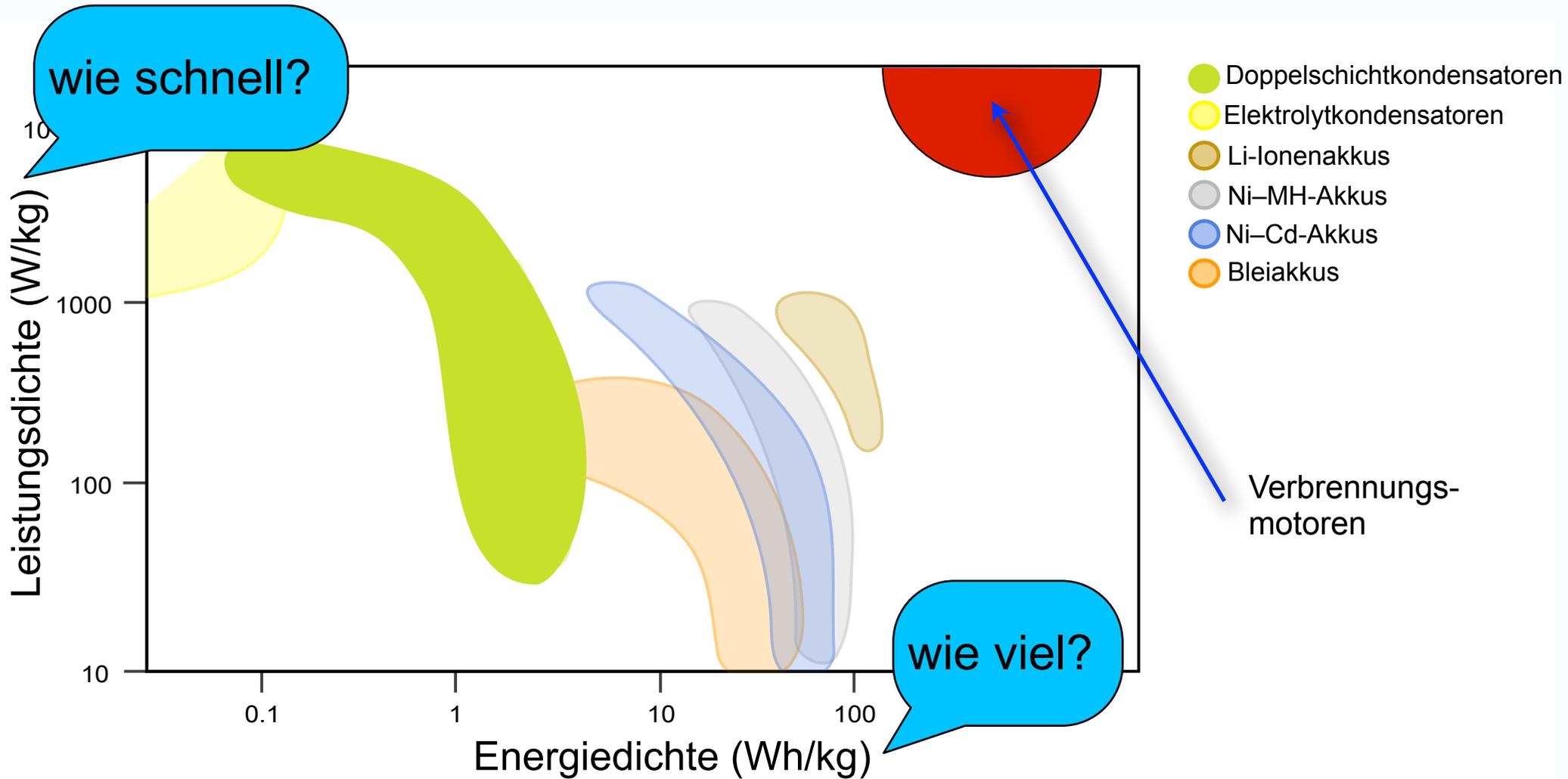


Energiespeicher

- ♦ erneuerbare Energien: höchst diskontinuierlich
- ♦ Vielzahl von Energiespeicherkonzepten
 - thermische und thermochemische Speicherung (Wasser, Wasser–Kies, latente Wärme)
 - chemische Speicherung (Wasserstoff)
 - mechanische Energie (Schwungrad, Pumpspeicherkraftwerke, Druckluft)
 - elektrochemische Speicherung (Blei-, Lithiumionen-, *Redox-flow*-, NaS-Batterien)
- ♦ Vorteile ↔ Nachteile
 - keine einheitliche Lösung für alle Anwendungen



Stand der Technik



Das Projekt Super-Kon

Ziel: Physikalische Energiespeicher zur elektrischen 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

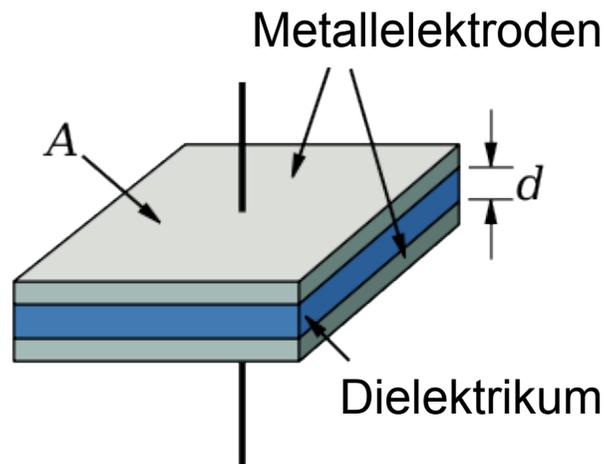
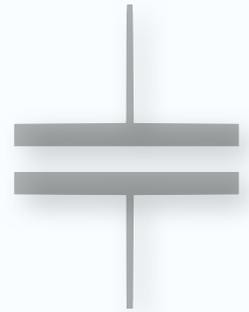
Kondensatoren:

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



Kondensatoren

Kapazität $C =$ Menge der gespeicherten Ladung pro Volt



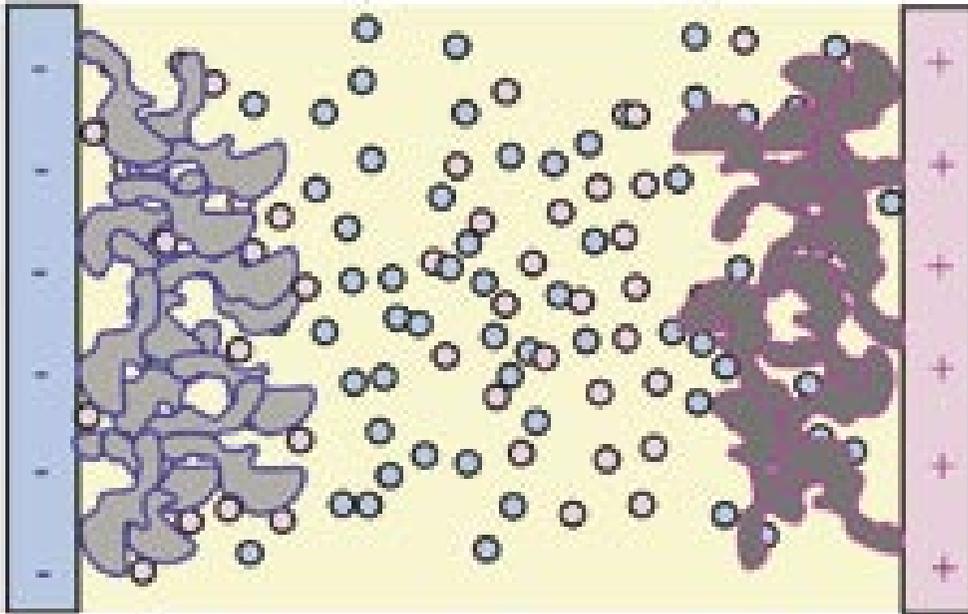
$$C = \epsilon_r \epsilon_0 \frac{A}{d}$$

ϵ_0 Permittivität des Vakuums $\approx 9 \cdot 10^{-12}$ F/m

ϵ_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 .

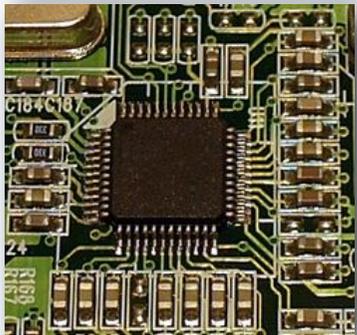
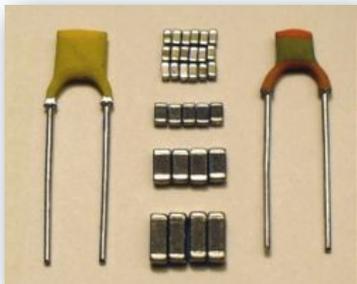
[Scherson, Palencár 2006]

Verfügbare Standardkondensatoren

Keramikkondensatoren

z. B. auf der Basis von Bariumtitanat

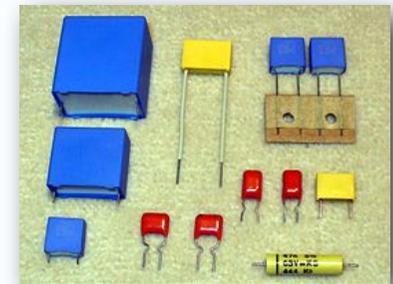
- + hohe Permittivität
- + thermische Stabilität
- + hohe Frequenzen
- spröde



Dünnschichtkondensatoren

z. B. PET, PP

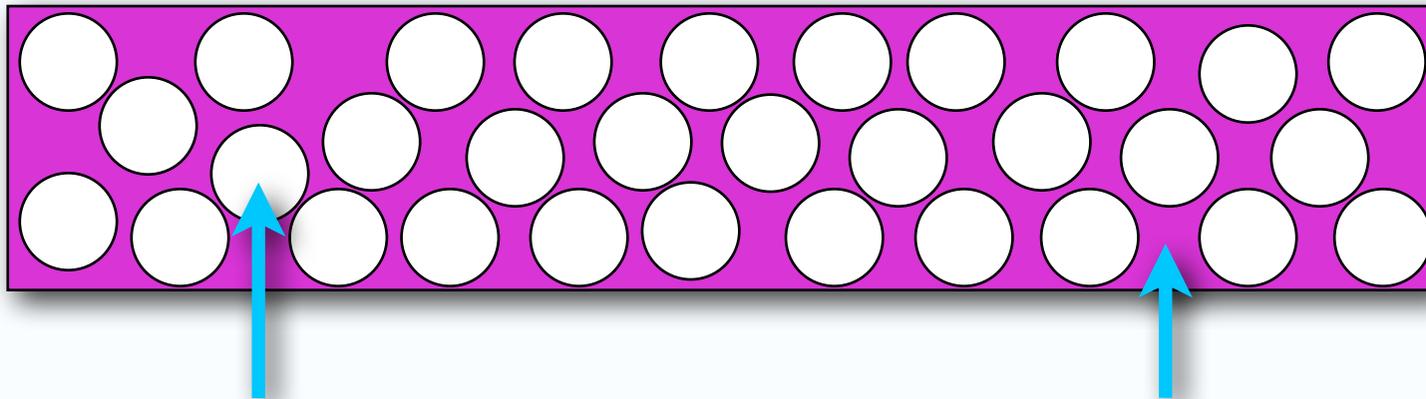
- + hohe Spannungen
- + kleine Kriechströme
- + einfache Bauformen
- geringe Permittivität



Kompositkondensator

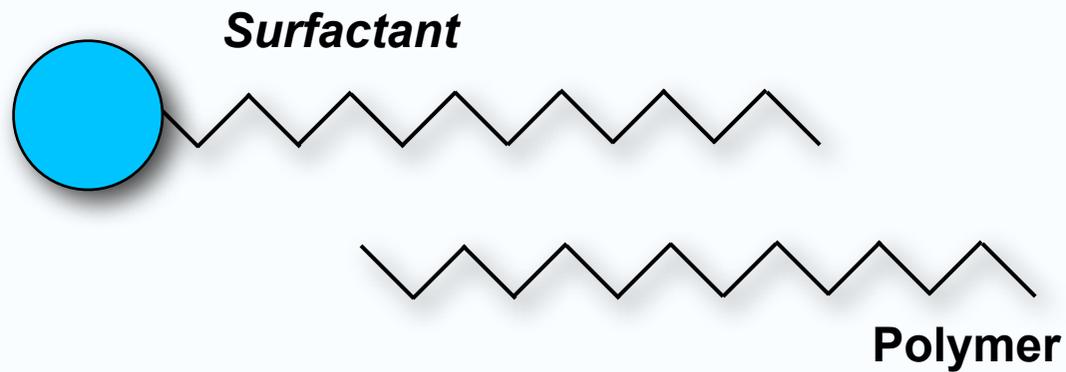
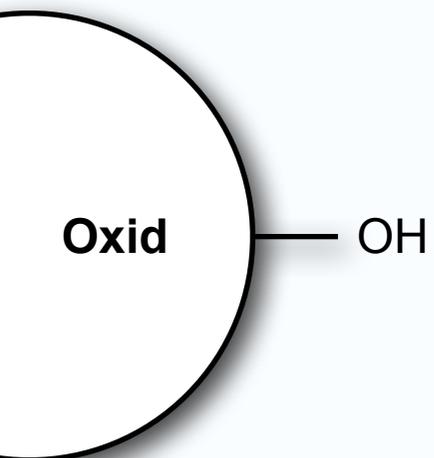


Kompositdielektrikum



Oxidteilchen
polar, hydrophil

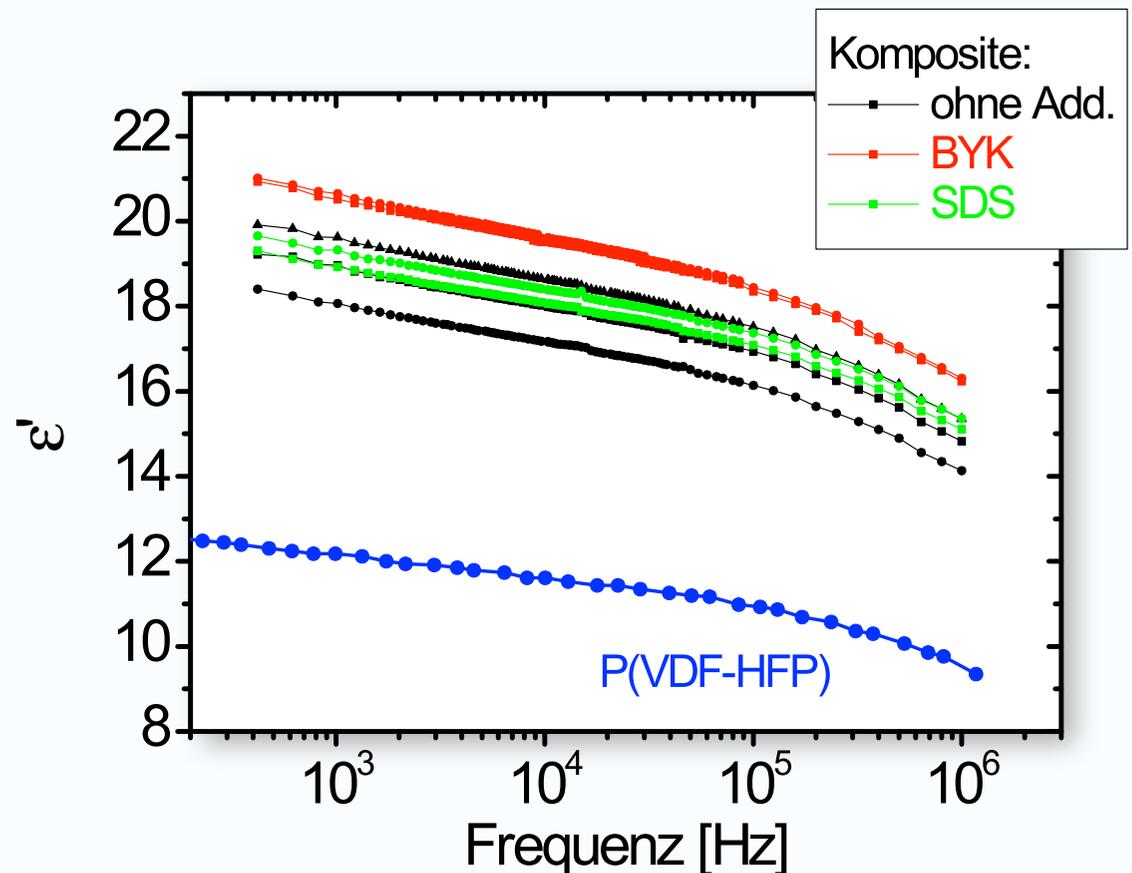
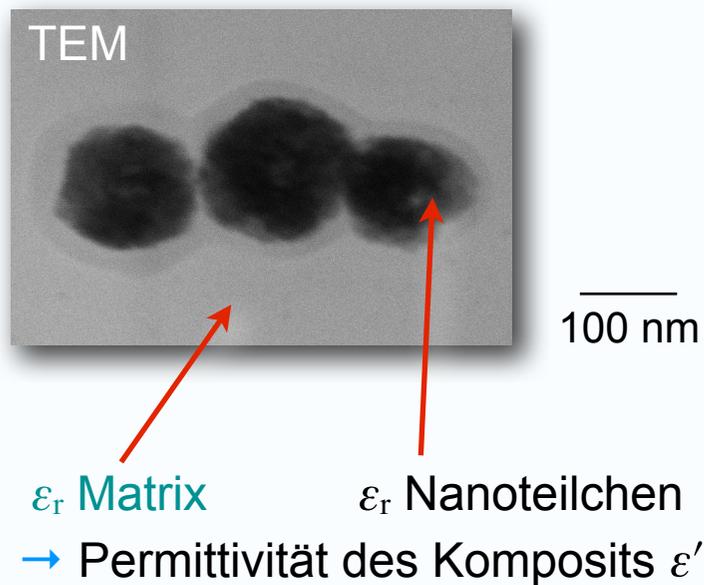
Polymermatrix
nichtpolar, lipophil



Mischungsregeln

Einfache Modelle

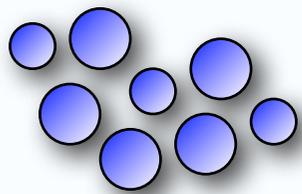
- ◆ Serien-/Parallelschaltung
- ◆ isotrope, statistische Verteilung sphärischer Partikel in homogener Matrix



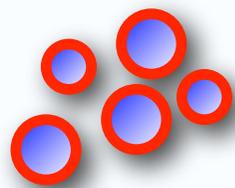
Frequenzabhängige Messungen der Permittivität ϵ' in Abhängigkeit von der Struktur des 0–3-Komposits

Komposit-Superkondensatoren

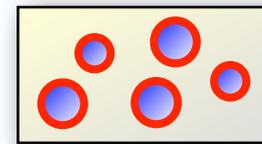
keramische
Nanopartikel wie
z. B. BaTiO_3



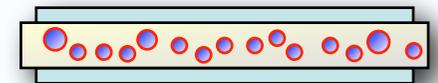
Spezifische
Oberflächen-
behandlung



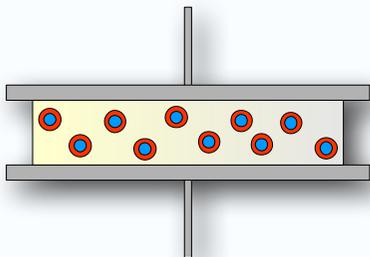
Einbetten in
Polymer- bzw.
Glasmatrix



Processing →
Dünnschichten,
Kontaktierung



Einzelkondensator



Vielschichtkondensator



AVT



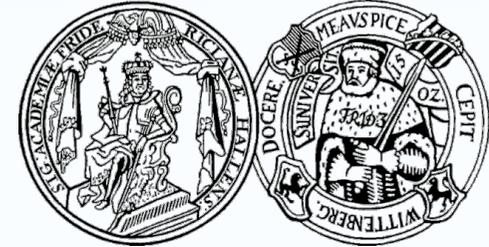
Module



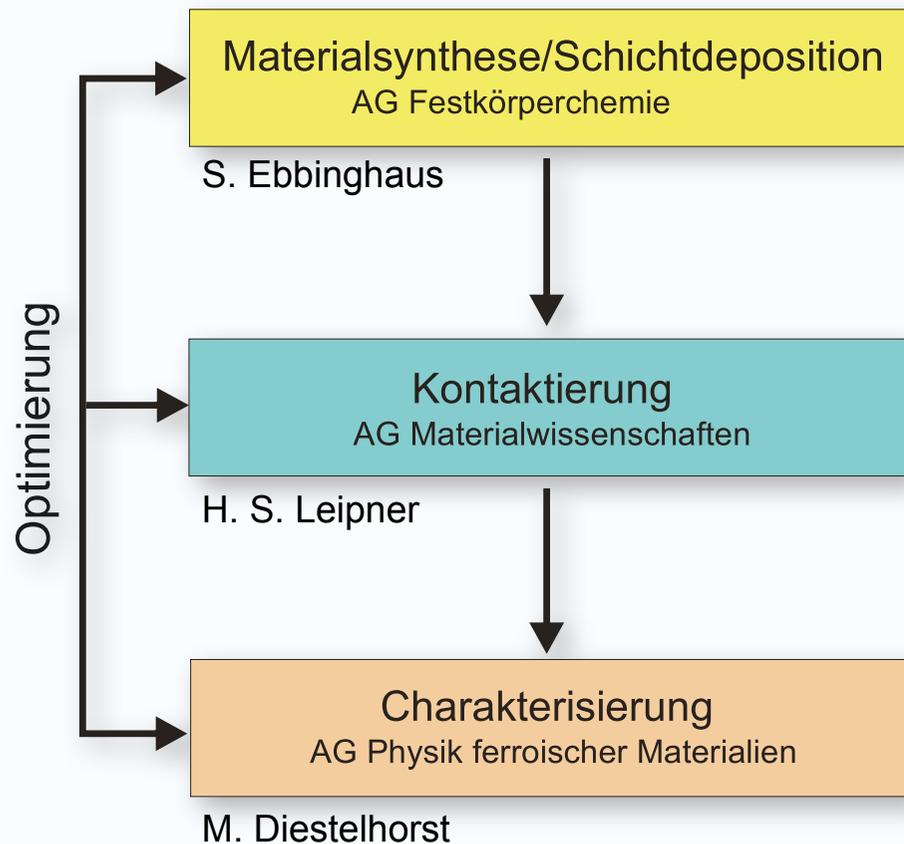
Vorteile der Superkondensatoren

- ◆ 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, Zyklendifestigkeit
- ◆ 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 BaTiO₃
- ◆ Matrix: P(VDF-HFP)
- ◆ max. Permittivität (1 kHz): 57
- ◆ max. Feldstärke: 164 V/μm
- ◆ Energiedichte $\approx 7 \text{ J cm}^{-3}$

Glas-Komposite

- ◆ Nanopartikel Ba(Ti,Ge)O₃
- ◆ Matrix: BBS-Glas
- ◆ max. Permittivität (1 kHz): 4000
- ◆ max. Feldstärke: 2 V/μm
- ◆ Energiedichte $\approx 1 \text{ J cm}^{-3}$

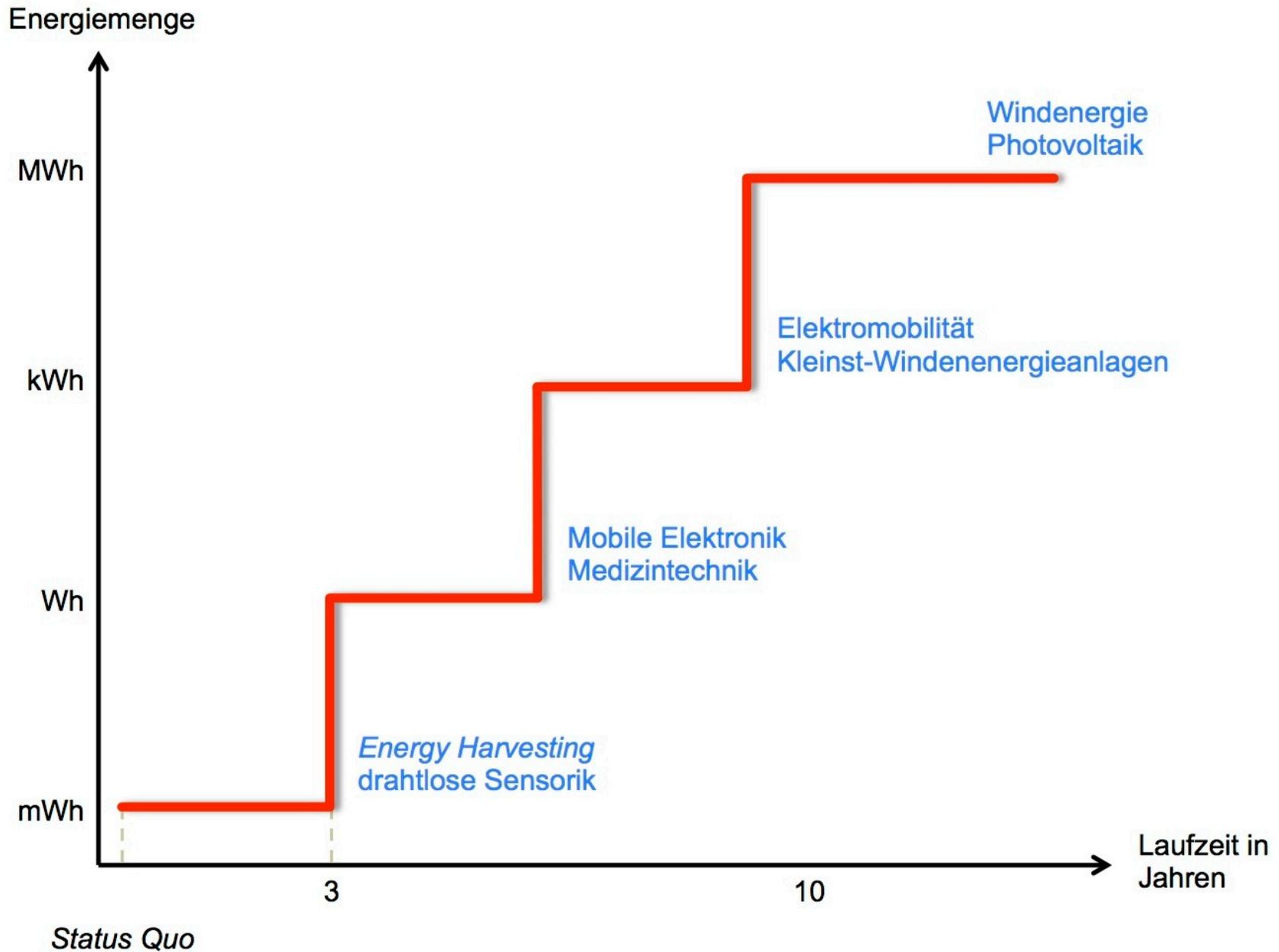
- ◆ untersuchte Elektrodenmaterialien: Aluminium, Silber, Gold

Next targets of the Super-Kon project

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



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
-  www.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Elementbibliothek/Bibliothek_Politik_und_Verwaltung/Politik%2BVerwaltung/Startseite_2012/Zusammenfassung_Energiestudie.pdf
-  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
-  hondaoldies.de/Korbmacher-Archiv/Technik/ucap.htm
-  gravityandlevity.wordpress.com
-  www.pdfmagazines.org/uploads/posts/2013-04/1367261789_adac-motorwelt-magazin-mai-no-05-2013-1.jpg
-  DA Scherson, A Palencsár: Electrochem Soc Interf **17–22** (2006).