



## Hybridkondensatoren für smart grids und regenerative Energietechnologien

Prof. Dr. Gerhard Sextl, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Fakultät für Chemie und Pharmazie/Lehrstuhl für Chemische Technologie der Materialsynthese

Regenerative Energietechnologien, wie z. B. Windkraft- und Photovoltaikanlagen, sind in ihrer Stromproduktion abhängig von jahreszeitabhängiger Sonnenscheindauer und wechselndem Windertrag. Für die kurzzeitige Überbrückung daraus resultierender Schwankungen in der Produktion ist derzeit noch kein geeignetes und zuverlässiges Energiespeichersystem vorhanden. Neue Speichersysteme sollen Produktions- und Verbrauchsspitzen ausgleichen und somit temporäre Netzbelastungen bzw. Überlastungen vermeiden. Auch in anderen Bereichen, wie z. B. in der Elektromobilität oder der Energieversorgung von immer leistungsfähigeren Smartphones und Laptops, sind effiziente und maßgeschneiderte Energiespeicher von großem Interesse.

Im Rahmen des Projekts wurden Hybridkondensatoren als hocheffiziente Energiespeicher in Richtung Anwendungstauglichkeit kombiniert mit umweltverträglicher Herstellung weiterentwickelt. Hybridkondensatoren speichern wie elektrochemische Doppelschichtkondensatoren Energie durch die Ausbildung einer elektrochemischen Doppelschicht, die schnell für Leistungsspitzen zur Verfügung gestellt werden kann. Zusätzlich können sie, analog zu Lithium-Ionen-Batterien, eine größere Energiemenge durch die Einlagerung von Lithium-Ionen in ein Aktivmaterial aufnehmen. Durch diese Kombination beider Speichermechanismen können Systeme mit hoher und maßgeschneiderter Energie- und Leistungsdichte realisiert werden. Die guten Eigenschaften von Kondensatoren hinsichtlich Lebensdauer, Effizienz und Zuverlässigkeit sollten dabei erhalten bleiben.

Für den Bau elektrochemischer Zellen wurden acht verschiedene kommerzielle Separatoren bezüglich ihrer Eignung in Hybridkondensatoren getestet. Die Unterschiede zwischen den Separatoren stellten sich hinsichtlich ihrer elektrochemischen Eigenschaften als relativ gering heraus und liegen im Bereich des Messfehlers der verwendeten Messzellen. Als Standard-Elemente für den Zellbau wurden der mit 25µm dünnste Separator (Celgard 2325) und die Messzelle der Firma EI-Cell ausgewählt. So wurden sehr kurze Diffusionswege für die Ionen realisiert und zusätzlich Zellvolumen eingespart. Dies bietet den Vorteil kompakter und leichter Speicherzellen.

Um einen Hybridkondensator zu konstruieren, ist es notwendig, das Aktivmaterial (Aktivkohle – hier: Kuraray YP-50F), welches eine extrem hohe Dichte an nanometergroßen Poren besitzt, mit dem Aktivmaterial für Batterien  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ - (Lithiumtitanat - LTO) und  $\text{LiFePO}_4$ -Sol (Lithiumeisenphosphat - LFP) zu beschichten. So entsteht auf einer Nanoskala eine Partikelmischung von umgewandelter Aktivkohle mit einer Beschichtung aus Batterieaktivmaterial.

Die Mikrostruktur der synthetisierten Aktivmaterialien wurde mit Hilfe verschiedener analytischer Methoden (u. a. XRD, REM, BET) charakterisiert. Unabhängig von den Synthesebedingungen bildete sich immer LTO bzw. LFP, dieses lag jedoch in verschiedenen Morphologien (Partikel, Schichtstrukturen) vor.



An den so synthetisierten Aktivmaterialien wurden elektrochemische Messungen durchgeführt, d. h. sie wurden galvanostatisch zyklisiert. Für die Anode konnte gezeigt werden, dass die LTO-Beschichtung die Leistung des Hybridkondensators um den Faktor 2 verbessert.

Bei der LFP-beschichteten Kathode konnte ein vergleichbarer Effekt noch nicht beobachtet werden. Mit elektrochemischen Messmethoden wurde daher überprüft, in wie weit eine thermische Aktivierung der Oberfläche des Aktivkohlenstoffs vor der Synthese oder die thermische Nachbehandlung des LFP-beschichteten Kohlenstoffs die Beschichtungsqualität und somit die elektrochemische Leistung verbessern kann<sup>1</sup>. Die Aktivkohlenstoffchargen wurden dazu entweder vor oder nach der Hydrothermalsynthese (Beschichtung) bei verschiedenen Temperaturen an Luft thermisch (275, 300, 325°C) vorbehandelt (aktiviert) oder der mit LFP-beschichtete unbehandelte Kohlenstoff wurde nach der Synthese als Pulver in Argon Atmosphäre bei verschiedenen Temperaturen (300, 400, 500, 600°C) nachbehandelt. Es wurde untersucht, inwiefern diese Modifikationen die elektrochemischen Eigenschaften beeinflussen. Die Ergebnisse zeigen, dass die thermische Nachbehandlung bei höheren Temperaturen (500, 600°C) die elektrochemische Leistung der von LFP-beschichtetem Aktivkohlenstoff deutlich verbessert.

<sup>1</sup> Gao, F., Tang, Z., Xue, J., Preparation and characterization of nano-particle LiFePO<sub>4</sub> and LiFePO<sub>4</sub>/C by spray-drying and post-annealing method, *Electrochimica Acta*, **53**, Issue 4, 1939-1944, (2007).