

**INFRASTRUKTUR**

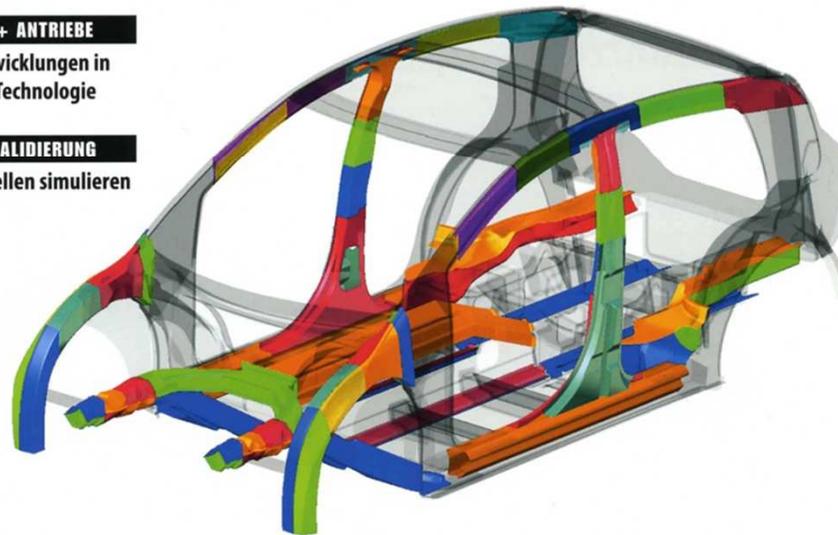
Fahrzeuge für Flotten-  
betreiber optimieren

**ENERGIE + ANTRIEBE**

Neue Entwicklungen in  
der Akku-Technologie

**TEST + VALIDIERUNG**

Batteriezellen simulieren



## LEICHTBAU: KUNSTSTOFF ODER METALL

## Energiespeicher neu definiert Kondensatoren auf Basis von Lithium-Ionen-Technologie

Im Vergleich zu konventionellen elektrochemischen Doppelschichtkondensatoren, kurz EDLC, haben Lithium-Ionen-Kondensatoren eine viermal höhere Energiedichte und eine sehr geringe Selbstentladung. Sie sind derzeit mit Werten bis 200 Farad erhältlich. Unser Beitrag zeigt Aufbau, Funktionsweise, Eigenschaften und Besonderheiten dieser innovativen Kondensatoren.

*Autor: Reinhard Meyer*

### KEYWORDS

Kondensator / Energiespeicher / Geringe Selbstentladung



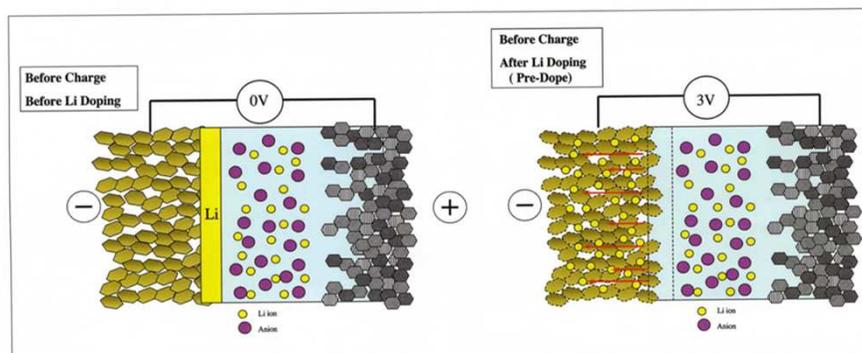


Bild 1: Bei Lithium-Ionen-Kondensatoren befindet sich über der Anode eine Lithiumschicht (links). Lithium-Ionen wandern in die Anode und generieren eine 3-V-Ladung, das so genannte Pre-Doping (rechts).



Wer Energie sehr schnell speichern und wieder abrufen muss, setzt klassischerweise auf elektrochemische Doppelschichtkondensatoren, kurz EDLC. Je nach Anbieter heißen diese Produkte auch Supercap, Ultracap oder Goldcap. Doch sie haben ihre Grenzen, etwa bei der Energiedichte oder der Selbstentladung. Die Alternative sind Akkus, vorrangig in Lithium-Technologie. Sie brauchen beim Laden und Entladen jedoch viel mehr Zeit, da die Spitzenströme begrenzt sind. Bisher klafft zwischen diesen beiden Ansätzen eine deutliche Lücke.

Im Jahr 2011 betrat Taiyo Yuden Energy Device mit einer Hybrid-Lösung den Markt: Die Erfindung des Lithium-Ionen-Kondensators (LIC) trägt aufgrund seiner Eigenschaften dazu bei, mit der in ihm gespeicherten Energie äußerst sparsam umzugehen. Der neue Kondensatortyp liefert damit seinen Beitrag zum Thema Energieeffizienz. Ein ganz entscheidender Vorteil ist außerdem seine Umweltfreundlichkeit, da er gänzlich ohne Schwermetalle auskommt, RoHS-konform ist, und nicht der europäischen Batterieverordnung unterliegt. Damit kann man den LIC der grünen Energie zuordnen.

#### AUFBAU UND FUNKTIONSWEISE

Die zylindrischen Kondensatoren, vergleichbar einem Elko, gibt es zur Zeit in den drei Kapazitätsgrößen 40, 100 und 200 F (ein Farad entspricht 1 As/V). Ihr innerer Aufbau ist ähnlich dem der herkömmlichen EDLCs, allerdings wird beim LIC an der Anode eine Lithiumschicht aufgetragen und Lithium-Ionen wandern in die Anode. Dieser Dotierungsvorgang (Pre-Doping) bewirkt eine Aufladung auf eine Spannung von 3 V gegenüber der Kathode (Bild 1). Diese Funktionsweise verleiht dem LIC die entscheidenden Vorteile gegenüber herkömmlicher EDLCs. Wird der LIC nach dem Erreichen von 3 V mit einem konstanten Ladestrom auf maximal 3,8 V geladen, werden weitere Li-Ionen an der Anode angelagert, bis eine Spannung von 3,8 V zwischen Anode und Kathode erreicht ist.

Aus dem Aufbau und der Funktionsweise eines LIC lassen sich alle seine Vorteile gegenüber EDLCs ableiten. Die Verwendung von Li-Ionen führt aufgrund ihrer geringen Größe zu einer hohen Ladungskonzentration in der Anode. Ein LIC erreicht so

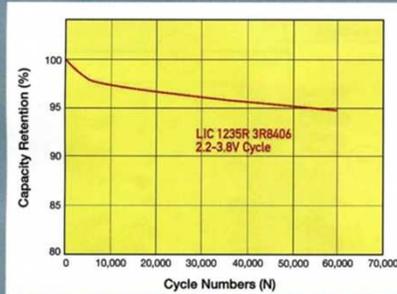


Bild 2: Beim Auf- und Entladen von 2,2 auf 3,8 V verliert ein LIC1235 nach 60.000 Zyklen nur 5 % seiner Kapazität.

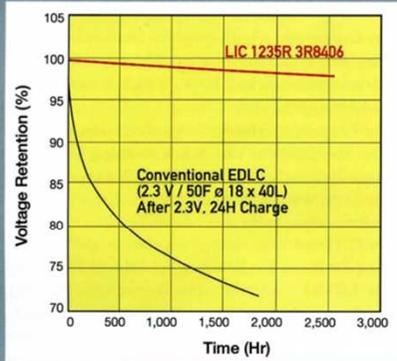


Bild 3: Vergleich der Selbstentladung eines LIC1235R (40 F) nach 24-stündiger Ladung mit einem konventionellen EDLC.

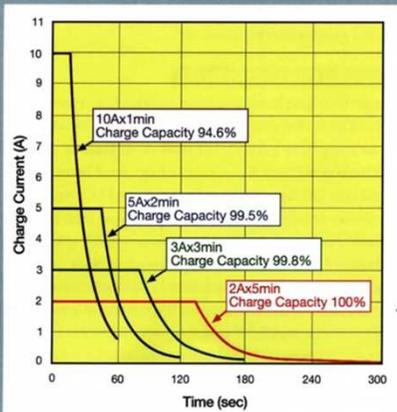


Bild 4: Schnellladecharakteristik des LIC2540R bei vier unterschiedlichen Ladestromstärken.

eine höhere Ladungsdichte, Kapazität und Energiedichte als EDLC: Die Kapazität ist etwa doppelt so hoch und die Energiedichte etwa viermal so hoch wie bei einem gleich großen EDLC. Der Energieinhalt und damit die Energiedichte hängen unter anderem von der Kondensatorspannung ab. Aufgrund der Lithium-Pre-Doping-Technologie hat der LIC eine um etwa 50 % höhere Spannung (3,8 V) gegenüber Doppellagenkondensatoren (2,5 V). Gemäß der Gleichung  $E = 1/2 \cdot C \cdot U^2$  ergibt sich daraus eine etwa viermal so hohe Energie.

**TIEFENTLADUNG VERMEIDEN**

Ein LIC darf nicht bis 0 V entladen werden, sondern aufgrund der Vordotierung nur bis etwa 2,2 V. Für die Energiedichte gibt der Hersteller Werte von 10 bis 30 Wh/kg für LICs an, während diese Werte für EDLCs zwischen 2 und 5 Wh/kg liegen. Ein Li-Ionen-Akku kann im Vergleich dazu mit Energiedichten von maximal 200 Wh/kg aufwarten. Folglich ist der LIC in seiner gegenwärtigen Entwicklungsphase noch nicht in der Lage, Li-Ionen-Akkus zu ersetzen.

Weitere interessante Merkmale eines Energiespeicherbauelements sind seine Lebensdauer, das schnelle Lade- und Entladeverhalten, die Zahl der maximal möglichen Lade- und Entladezyklen, der Temperaturbereich sowie die Selbstentladung. Da die Lebensdauer davon abhängt, wie oft man den Kondensator lädt, gibt der Hersteller die Zahl der maximalen Lade- und Entladezyklen an. Hier werden mehr als 100.000 Zyklen spezifiziert. Bild 2 zeigt den Kapazitätsverlust des Typs LIC1235 (40 F) bei 60.000 Lade-/Entladezyklen.

Der Temperaturbereich eines LIC reicht von -25 bis +60 °C, bei Einsatz unter 3,5 V sogar bis 85 °C. Die geringe Selbstentladung differenziert den LIC vom EDLC ganz erheblich. Während ein LIC in 2500 Stunden weniger als 5 % an Ladung verliert, ist ein EDLC schon nach 2000 Stunden praktisch auf 70 % seiner Ladung abgefallen (Bild 3). Ein wichtiges Merkmal eines Energiespeichers ist auch seine Fähigkeit zur Schnellladung und -entladung. Hier gibt der Hersteller eine Faustregel an, wonach ein LIC innerhalb seiner Spezifikationsgrenzen in einer Minute auf 95 % seiner Kapazität aufgeladen werden kann. Bild 4 zeigt die Schnellladecharakteristik des Typs LIC2540R (200 F) bei einer Ladestromstärke von 2 bis 10 A in 60 bis 300 s.

**TAUSEND FARAD IN ARBEIT**

Der Beitrag zeigt, dass der in der ersten Generation vorliegende LIC aufgrund seiner elektrischen Eigenschaften sowie der Umweltfreundlichkeit ein interessanter Energiespeicher für den Ersatz von elektrochemischen Doppellagenkondensatoren ist. Li-Ionen-Akkus können aufgrund der bis jetzt erreichten Kapazität und Energiedichte noch nicht ersetzt werden. Taiyo Yuden arbeitet jedoch bereits an der nächsten Generation, die 1000 F erreichen soll. (lei)

**Autor**  
**Reinhard Meyer**  
 Geschäftsführer der RM  
 Components in Schwabach.

