

Structural Energy Storage

Mit der starken Verbreitung tragbarer elektronischer Systeme und dem Aufkommen verschiedenster Varianten elektrisch angetriebener Land- und Luftfahrzeuge hat die Forschung an Speichern für elektrische Energie in den letzten ca. zwei Jahrzehnten großen Auftrieb erfahren. Auch wenn über diesen Zeitraum hinweg deutliche Erfolge bei der Erhöhung der Speicherdichten z.B. von elektrochemischen Energiespeichern wie Batterien zu verzeichnen sind, sind diese doch nicht beliebig steigerbar und werden voraussichtlich auch immer unterhalb der Energiedichte flüssiger Treibstoffe bleiben. Um diesem prinzipiellen Nachteil zu begegnen, müssen in den jeweiligen Systemen alle Potenziale zur Speicherung elektrischer Energie ausgeschöpft werden. Hierfür ist der vergleichsweise neue Ansatz des Structural Energy Storage eine besonders interessante Option. Darunter versteht man die Speicherung elektrischer Energie in multifunktionalen Werkstoffen, die gleichzeitig sowohl als leichte, stabile Strukturwerkstoffe als auch als Energiespeicher dienen und so beträchtliche zusätzliche Volumina der Systeme zur Energiespeicherung nutzbar machen. Heute befinden sich die diesbezüglichen Forschungs- und Entwicklungsbemühungen noch weitgehend im Grundlagenbereich.

Für die Energiespeicherung in Strukturmaterialien kommen in der Praxis vor allem die Speicherprinzipien von wiederaufladbaren Batterien und Superkondensatoren infrage. Man kann dann von Strukturbatterien bzw. strukturellen Superkondensatoren sprechen. Batterien speichern elektrische Energie durch in ihrem Inneren stattfindende elektrochemische Reaktionen. Mit ihnen lassen sich vergleichsweise hohe Energiedichten erreichen, d. h. der nutzbare Energieinhalt bezogen auf die Masse bzw. das Volumen ist relativ hoch. Superkondensatoren bestehen in ihrer einfachsten Form aus zwei Elektroden, die durch einen Elektrolyten (Ionenleiter) und einen Separator, der zwar Ionen, nicht aber Elektronen leitet, getrennt werden. Sie speichern Energie an ihren Elektroden in ionisierten Schichten, welche entstehen, wenn die im

ungeladenen Zustand gleichmäßig in dem Elektrolyten verteilten Ionen nach Anlegen einer äußeren Ladespannung zu den Elektroden wandern. Zwar ist die mit Superkondensatoren erreichbare Energiedichte etwa zehnfach geringer als bei Batterien, dafür lassen sich mit ihnen bis zu etwa hundertfach höhere elektrische Leistungen erreichen, da bei ihnen keine bremsenden chemischen Reaktionen an der Energiefreisetzung beteiligt sind. In der Praxis bedeutet das, dass sie sehr viel schneller geladen und entladen werden können als Batterien.

Will man multifunktionale Werkstoffe entwickeln, die als Energiespeicher und auch als Strukturwerkstoff dienen sollen, so müssen die Bestandteile sehr unterschiedliche Anforderungen erfüllen. Ein interessanter Ausgangspunkt sind Kohlenstofffasern, die in eine Matrix aus Kunststoff eingebracht für besondere Stabilität sorgen (Kohlefaserverstärkter Kunststoff, CFK). Kohlenstoff wird aber auch als Elektrodenmaterial in Energiespeichern genutzt. Zwar verwendet man hier traditionell sehr unterschiedliche Formen des Kohlenstoffs, aber es besteht die Möglichkeit, diese beiden Rollen zu vereinen. Ähnliches gilt für Polymere, die in Faserverbundwerkstoffen als Matrixmaterial dienen, aber in speziellen Varianten auch als Ionenleiter in Energiespeichern vorkommen. Diese beiden Rollen in einem Werkstoff zu vereinen, gehört zu den Herausforderungen der Structural Energy Storage.

Die Forschung an Strukturbatterien konzentriert sich auf die Adaption des Funktionsprinzips von Lithium-Ionen-Batterien, die sich heute in vielen Bereichen durchgesetzt haben. Um eine solche Batterie mechanisch stabil zu gestalten, müssen Kohlenstofffaser-Elektrodenmaterialien mit hoher Festigkeit und hohem Aufnahmevermögen für Lithium-Ionen gefunden werden. Außerdem muss der flüssige Elektrolyt, in dem sich die Lithium-Ionen bewegen, durch einen festen Polymerelektrolyt ersetzt werden. Hier steckt eine der größten Herausforderungen, da mit steigender mechanischer Festigkeit der Materialien die für den Speichervorgang benötigte Ionen-

leitfähigkeit abnimmt. Neben der Optimierung der Werkstoffe selber wird hier auch an komplett neuen Anordnungen der Einzelkomponenten der Batterien gearbeitet, um die Dicke der Elektrolytschichten und damit den Weg, den die Lithium-Ionen zurücklegen müssen, zu verringern. Strukturelle Superkondensatoren sind ebenso wie Strukturbatterien auf gut ionenleitende, mechanisch stabile Elektrolyte angewiesen. Des Weiteren geht es in der Forschung hier um die Erhöhung der Oberfläche der Elektroden, um dort beim Aufladen möglichst viele Ionen einlagern zu können und damit die Speicherdichte entsprechend zu erhöhen.

Structural Energy Storage hat das Potenzial, einen wichtigen Beitrag zum Leichtbau zu leisten, der eine wesentliche Voraussetzung für die erfolgreiche Realisierung von Elektrofahrzeugen mit praxismgerechten Reichweiten ist. Für Elektrofahrzeuge wären sowohl Strukturbatterien als auch strukturelle Superkondensatoren einsetzbar, wobei Batterien aufgrund ihrer Speicherdichte im Wesentlichen den Energievorrat speichern und damit die Reichweite bestimmen, während Superkondensatoren wegen ihrer hohen Leistungsdichte besser in der Lage sind, Bremsenergie aufzunehmen oder beim Beschleunigen Spitzenlasten abzudecken. Verwandte Einsatzgebiete sind Straßenbahnen, Eisenbahnen, Elektrofahräder, der in den letzten Jahren rasant wachsende Markt für Drohnen, aber auch größere elektrisch bzw. hybridelektrisch angetriebene Flugzeuge. Ein weiteres Anwendungsfeld wären außerdem tragbare elektronische Geräte wie Mobiltelefone, bei denen energiespeichernde Gehäuse einen signifikanten Anteil an der Energieversorgung beisteuern könnten.

Erste Anwendungen energiespeichernder Strukturwerkstoffe werden vermutlich mittelfristig bei in großen Stückzahlen gefertigten Produkten wie Smartphone-Gehäusen realisiert werden. Eine breite Nutzung in Autos oder Flugzeugen, wo die Ansprüche an die Struktureigenschaften deutlich höher sind, ist erst langfristig zu erwarten.

Dr. Ulrik Neupert