

## Verbesserung der Energiedichte von Lithium-Ionen-Batterien

Lithium-Ionen-Batterien (LIB) finden sich in wiederaufladbaren tragbaren batteriebetriebenen Geräten wie etwa Mobiltelefonen, Laptop-Computern oder digitalen Kameras.

Forscher sind jedoch weiterhin auf der Suche nach neuen Elektrodenmaterialien, um die Kosten und die Leistung zu verbessern und deren Anwendungsmöglichkeiten zu erweitern. Dafür benötigen sie präzise, verlässliche und schnelle Techniken, um die Eigenschaften dieser in der Entwicklung befindlichen Materialien zu messen.

### Die Nachfrage nach neuen Materialien

In einer LIB wandern Lithium-Ionen während des Entladens von der Anode (häufig Graphit) zur Kathode (am häufigsten Lithium-Cobalt-oxid) und während des Aufladens von der Kathode zur Anode. Beim Elektrolyt handelt es sich in der Regel um eine Kombination aus Lithiumsalzen, die in einer organischen Lösung vorliegen. Diese Kombination sorgt für eine Gesamtspannung, die mehr als doppelt so hoch ist wie die einer alkalischen AA-Standardbatterie. Im Ergebnis weist die LIB ein sehr viel besseres Verhältnis von Energie zu Volumen – oder eine sehr viel höhere Energiedichte – auf als eine gewöhnliche alkalische Batterie oder als eine andere durchschnittliche wiederaufladbare Batterie. Anders ausgedrückt: Sie können mehr Energie speichern und können länger betrieben werden.

Die Erhöhung der Menge an Energie, die in einem gegebenen Batterievolumen verdichtet werden kann – also eine Verbesserung der Energiedichte – ist eine der größten Herausforderungen, denen sich heutige Batteriehersteller gegenübersehen [1]. Viele der jüngeren Bemühungen bei der Verbesserung von LIB haben sich auf die Entwicklung von Anoden- bzw. Kathodenmaterialien konzentriert, die in einem gegebenen Volumen mehr Ladung aufnehmen können, was zu einer höheren Energiedichte führt. Zahlreiche Forschungsgruppen haben ihr Augenmerk auf den Austausch von Graphit-Anoden durch beispielsweise Silikon gelegt, das potenziell das Zehnfache der jetzigen Kapazität speichern kann.



Sehr viele Forschungsbemühungen zielen auf das Kathodenmaterial ab, da dies in Bezug auf die elektrochemische Leistung einer Batterie eine herausragende Rolle spielt [2]. Da es drei Phasen (Gasphase, Flüssigphase und Festphase) gibt, die während des Entladens und Aufladens an den Elektrodenreaktionen beteiligt sind, muss die Elektrode porös sein, um einen schnellen Transport von Sauerstoff und Elektrolyten zu ermöglichen und um die Produkte der Festphasenreaktion aufzunehmen. Forscher haben verschiedene poröse leitende Materialien wie Carbon, Hartmetalle und Metalle/Verbundstoffe entwickelt.

Ein weiterer Schwerpunkt der Forschung besteht in der Entwicklung von Separatoren, also dem dünnen Material, das die Kathode von der Anode trennt und das ein wesentliches Sicherheitsmerkmal darstellt. Kommerziell erhältliche LIB arbeiten mit Separatoren aus Polyethylen, aus Polypropylen oder aus Laminaten aus beiden Materialien, gelegentlich mit einer Keramikbeschichtung. Der Separator muss durchlässig sein, eine gleichmäßige Verteilung von Poren mit einer Größe von 30 bis 100 nm und eine empfohlene Porosität von 30 bis 50 % aufweisen [3]. Überhitzt die Batterie, schmilzt das Polymer und die Poren des Separators schließen sich, sodass ein Ionentransport verhindert wird. Die Batterie schaltet sich ab.

## Die Bedeutung der Porosität für die Energiedichte

Porenvolumen, Porengröße, Porenverteilung und Oberfläche eines Materials beeinflussen alle die Kapazität für die Speicherung der Ladung und die Energiedichte des Materials [4]. Generell führen poröse Kathoden mit einer höheren Porosität dazu, dass das Material mehr Ionen aufnehmen kann; eine größere Oberfläche fördert während des Entladens bzw. Aufladens die Ionenbildung bzw. den Ionenzerfall. Eine höhere Porosität und eine größere Oberfläche miteinander zu vereinen, gestaltet sich etwas schwieriger, da größere Oberflächen kleinere Porengrößen erfordern, während für eine höhere Porosität größere Poren benötigt werden. Und das betrifft nicht allein die Kathodenmaterialien. Die Porosität ist eine wesentliche Eigenschaft von Separatormaterialien.

Bei der Testung und Entwicklung von Elektrodenmaterialien und Separatoren benötigen Batteriehersteller alle wichtigen Daten zur Porosität und zu anderen Eigenschaften. Sie müssen rasch Zugriff haben auf präzise Messungen zur Porosität, zur Porengröße und zur Oberfläche, aber auch zur Partikelgröße und zu weiteren Parametern. Und hier kommen die Analytical Services von Micromeritics ins Spiel. Das Unternehmen bietet eine Reihe von Techniken zur Charakterisierung von Materialien an, die sich schwerpunktmäßig auf die Porosität und die Oberflächen konzentrieren, damit Forscher das richtige Material für die jeweiligen spezifischen Bedürfnisse auswählen können. Dazu zählen Geräte der Reihe TriStar, GeoPyc, Particle Insight, NanoPlus und Autopore.

## Eine breite Palette an Geräten

Der TriStar II Plus ist ein automatisches Oberflächen- und Porositäts-Analysegerät, das mit exzellenter Leistung und rascher Analyse aufwartet [5]. Mit drei verfügbaren Analyse-Ports bietet es einen hohen Probendurchsatz und fortschrittliche Datenanalysemerkmale, die Informationen zur spezifischen Oberfläche und zur Porengrößenverteilung liefern.

Das GeoPyc 1365 Rohdichte-Analysegerät hingegen ist ein hervorragendes Werkzeug, um Informationen zum Feststoffanteil zu erhalten [6]. Das Analysegerät bestimmt automatisch das Volumen und die Dichte eines festen Objekts durch Verdrängung, indem eine einzigartige

Verdrängungsmesstechnik zur Anwendung kommt, die Dry Flo nutzt, eine Quasi-Flüssigkeit, die sich aus kleinen, starren Kügelchen mit hoher Fließfähigkeit zusammensetzt.

Der Particle Insight ist ein dynamisches Bildanalysegerät, das sich ideal für Anwendungen eignet, bei denen es auf die Partikelform ankommt und nicht nur auf den Durchmesser [7]. Es stehen Modelle in drei optionalen Größen zur Verfügung: 1 bis 150  $\mu\text{m}$ , 3 bis 300  $\mu\text{m}$  und 10 bis 800  $\mu\text{m}$ . Ein Echtzeit-Datendisplay, das mit einer Kamera mit einzigartiger Optik ausgestattet ist, ermöglicht die Analyse von zehntausenden von Partikeln in nur wenigen Sekunden.

Für die Messung der Partikelgröße hat Micromeritics den NanoPlus anzubieten, ein einzigartiges Gerät, das die Verfahren der Photonenkorrelationsspektroskopie und der elektrophoretischen Lichtstreuung nutzt [8]. Es kann auch eingesetzt werden, um das Zeta-Potenzial zu berechnen, einen Messwert für die Höhe der elektrostatischen Ladung zwischen Partikeln, und einem der bekanntermaßen grundlegenden Parameter, welche die Stabilität beeinflussen. Dies ist eine besonders wichtige Eigenschaft, wenn es darum geht, die Effizienz von Separatormaterialien zu untersuchen. Das Gerät kann die Partikelgröße von in Flüssigkeit suspendierten Proben messen, und zwar in einem Bereich von 0,1 nm bis 12,30  $\mu\text{m}$ , bei Probensuspensionskonzentrationen von 0,00001 % bis 40 %, sowie das Zeta-Potenzial von Probensuspensionen im Bereich von -200 mV bis +200 mV bei Konzentrationen von 0,001 % bis 40 %.

Forschern, welche die Porosität von Materialien bestimmen möchten, hat Micromeritics die AutoPore IV-Reihe der Quecksilber-Porosimeter anzubieten [9]. Porosimeter wenden unterschiedlich hohe Drücke auf Proben an, die in Quecksilber getaucht sind. Der Druck, der erforderlich ist, um Quecksilber in die Poren der Probe eindringen zu lassen, verhält sich umgekehrt proportional zur Größe der Poren. Die Geräte von Micromeritics können eine breitere Porengrößenverteilung (0,003 bis 1100 Mikrometer) rascher und präziser bestimmen als andere Methoden. Neben Geschwindigkeit, Präzision und einem breiten Spektrum an Messungen bietet die Quecksilber-Porosimetrie die Möglichkeit, zahlreiche Eigenschaften von Proben zu berechnen, wie die Porengrößenverteilungen,

das Gesamtporenvolumen, die Gesamtporenoberfläche, den medianen Porendurchmesser und die Probendichten (sowohl die Rohdichte als auch die Skelett-Dichte).

## Schlussfolgerung

Batteriehersteller möchten die Energiedichte von LIB maximieren, ohne Einbußen bei anderen Leistungsmerkmalen hinnehmen zu müssen. Wenn sie nun neue Materialien für Elektroden und Separatoren entwickeln und testen, müssen sie auf ein breites Spektrum an Daten im Zusammenhang mit den Eigenschaften zugreifen können, wie etwa die Porosität, die Partikelform und die Partikelgröße, oder auch die Oberfläche. Das breite Portfolio der Micromeritics-Geräte ist in der Lage, diese Daten zu bieten und es den Forschern so zu ermöglichen, ihre Materialien abzustimmen und die leistungsstärksten Batterien zu konzipieren.

## Literatur

- [1] <http://www.physicscentral.com/explore/action/lithium.cfm>
- [2] <http://www.nature.com/articles/srep33466>
- [3] [http://batteryuniversity.com/learn/article/bu\\_306\\_battery\\_separators](http://batteryuniversity.com/learn/article/bu_306_battery_separators)
- [4] <http://www.nature.com/articles/srep33466>
- [5] <http://www.micromeritics.com/Product-Showcase/TriStar-II-Series.aspx>
- [6] <http://www.micromeritics.com/Pressroom/Press-Release-List/Introducing-the-GeoPyc-1365.aspx>
- [7] <http://particulatesystems.com/Products/Particle-Insight-Dynamic-Image-Analyzer.aspx>
- [8] <http://particulatesystems.com/Products/NanoPlus-DLS-Nano-Particle-Size-and-Zeta-Potential-Analyzer.aspx>
- [9] <http://www.micromeritics.com/Product-Showcase/AutoPore-IV.aspx>