

## 1 Einleitung

Die mobile Stromversorgung ist im Alltag zur Selbstverständlichkeit geworden. Dabei werden immer mehr Geräte unabhängig von der Netzversorgung betrieben und die Nachfrage nach leistungsfähigen Energiespeichern wächst. Durch die Speicherung von elektrischer Energie in wieder aufladbaren Batterien lässt sich ein breites Gerätespektrum von autonomen Mikrosystemen und Sensoren für das Internet der Dinge bis hin zu Elektrofahrzeugen mit Energie versorgen. Aufgrund der Vielzahl unterschiedlicher Anforderungsprofile für den Einsatz von Akkumulatoren und Batterien existieren elektrochemische Energiespeicher in verschiedenen Ausprägungen in Bezug zu Leistung und Kapazität sowie Bauform und Geometrie. Allen Anwendungen gemein ist der Trend eine immer größere Energiemenge bei immer geringeren Abmessungen zu speichern. Zudem ist ein wesentlicher Antrieb für die Entwicklung von fortschrittlichen Akkumulatoren das Streben nach Energie- und Rohstoffeffizienz.

Dabei sind wieder aufladbare Lithium-Ionen-Batterien als eine wesentliche Zukunftstechnologie für die Speicherung von Energie zu sehen. Hauptgrund hierfür ist die hohe Energiedichte, welche sich mit metallischem Lithium in der Batterietechnik erreichen lässt. Jedoch weisen die üblicherweise verwendeten Lithium-Ionen-Flüssigelektrolyt- oder Polymerbatterien einen wesentlichen Sicherheitsnachteil auf: Die verwendeten Elektrolyte können bei einem lokalen Kurzschluss der Elektroden entflammt werden oder unter starker Wärmeentwicklung mit dem enthaltenen Lithium reagieren. Dies kann durch externe Einflüsse oder durch innere Dendritenbildung und Fehlstellen herbeigeführt werden. Auch kann sich ein Lithium-Ionen-Akkumulator öffnen und den Elektrolyten freisetzen, obwohl die Gefahr eines Auslaufens durch die Entwicklung von flüssigkeitsspeichernden Separatoren und Gels teilweise verringert wurde [BYR08]. Zuletzt können flüssigbasierte Lithium-Ionen-Batterien nicht in dem Maße miniaturisiert und integriert werden, wie es für mikrosystemische Elemente mit Abmessungen von wenigen Millimetern notwendig ist.

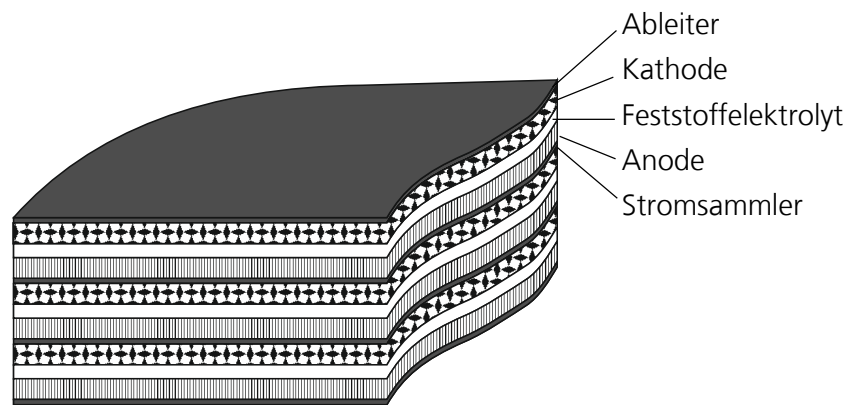
## 1.1 Feststoffbatterien

Eine vielversprechende, neuartige Batterietechnologie ist die Feststoffbatterie, auch SSLB (englisch: solid-state lithium-ion battery) genannt, bei der einzelne Batterieschichten in Abscheideverfahren übereinander angeordnet werden. Bei Verwendung von festen Elektrolyten in dünnen Schichten lässt sich die Sicherheit der Batteriezellen steigern. Festkörperelektrolyte sind feste Ionenleiter, die als keramische Schichten vorliegen und schwer entflammbar sind [SCH03]. Darüber hinaus ergeben sich eine Reihe weiterer Vorteile. So ist die Lebensdauer von Feststoffbatterien erhöht, selbst wenn sie bei hohen Temperaturen betrieben werden und es lassen sich bis zu 100.000 Ladungszyklen erreichen [BIR13]. Herkömmliche Li-Ionen-Batterien erreichen im Gegensatz dazu nur bis zu 3.000 Zyklen [INT14]. Ebenso sind feste Ionenleiter Heißleiter, sodass ihre Leitfähigkeit mit steigender Temperatur zunimmt und gleichzeitig die Verlustleistung sinkt. Die Selbstüberhitzung wird damit unterbunden [BIR13] und der sogenannte Thermal Runaway, der zu katastrophalem Batterieversagen führt, kann so vermieden werden [FIN15]. Da sich der Elektrolyt nicht zersetzen kann, kommt es nicht zu einer Gasbildung und Aufwölbung der Zelle, sodass die einzelnen Lagen sich nicht voneinander lösen können wie in einer herkömmlichen Batterie. Wird in einer solchen Li-Ionen-Batterie der eingangs erwähnte Elektrolytseparator mit circa 40 % Porenanteil verwendet, resultiert dies in einer inhomogenen Stromverteilung über den Elektroden, da der Separator nicht zur Funktion beiträgt. Bei Verwendung von festen Elektrolyten kann hingegen eine homogene Stromverteilung erzielt werden, sodass bei zusätzlicher Verwendung von angepassten Elektroden-topographien und Werkstoffen eine Steigerung der praktischen Energiedichte und sogar der Zellspannung auf über 5 Volt erfolgen kann [BIR13].

## 1.2 Feststoff-Dünnschichtbatterien

Zudem können Feststoffbatterien aus dünnen Schichten als sogenannte Dünnschichtbatterien sehr kompakt aufgebaut werden und bieten das Potential sich in beliebiger Geometrie für spezielle Anwendungen miniaturisieren, stapeln und maßschneidern zu lassen.

Bild 1:  
Schematische Darstellung einer gestapelten Dünnschichtbatterie mit flexibler Kontur



Durch die Bereitstellung dünner Batterien, die derart in gedruckte Schaltkreise integriert werden können, lassen sich Schaltungen bedarfsgerecht mit Energie versorgen [CUI16].

Der derzeitige Produktionsprozess von Dünnschichtbatterien ist mit der Fertigung von Halbleiterprodukten enger verwandt als mit der herkömmlichen Batterieproduktion. Mittels Verfahren wie dem RF-Magnetron-Sputtern, CVD (Chemical Vapour Deposition) oder PVD (Physical Vapour Deposition) hergestellte Schichten bilden dabei die Aktiv- und Passivmaterialien [BIR13]. Die maximalen Abmessungen in lateraler Richtung sind dabei von der Größe der Prozesskammer abhängig. In vertikaler Richtung des Batteriestapels betragen die Schichtdicken nur wenige Mikrometer. Dabei müssen die einzelnen Schritte, die für das Abscheiden der Schichten notwendig sind, nacheinander durchgeführt und die nicht zu beschichtenden Bereiche mittels Masken abgedeckt werden. Der Prozess ist somit stets diskontinuierlich durchzuführen.