

Gruppe

**CRASHSICHERHEIT, SCHÄDIGUNGSMECHANIK**

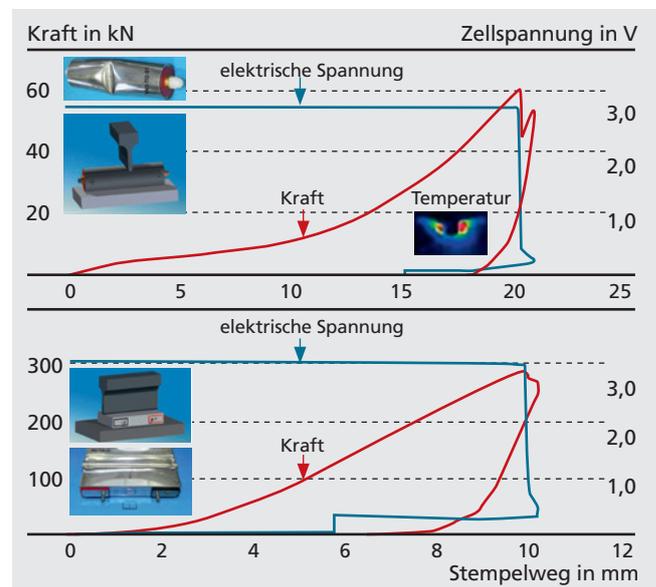
Dr. Dong-Zhi Sun | Telefon +49 761 5142-193 | dong-zhi.sun@iw.fraunhofer.de

## CRASHVERHALTEN VON BATTERIEZELLEN: CHARAKTERISIERUNG SOWIE ERSATZMODELLIERUNG

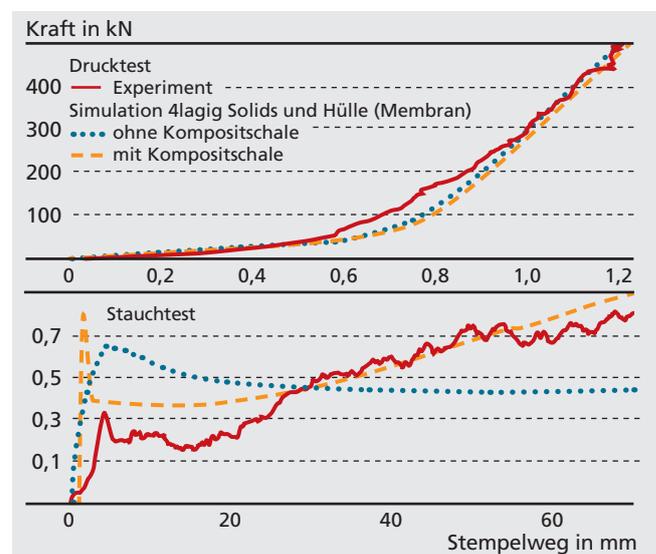
Das zentrale technische Problem bei elektrisch angetriebenen Fahrzeugen ist die Speicherung ausreichender Ladungsmengen bei gleichzeitig hoher Crashesicherheit, was zur Entwicklung individuell gekapselter Zellen führte. Zugleich sind Mobilitäts-einbußen weitestgehend zu vermeiden, was wiederum Leichtbaukonzepte erfordert, die jedoch mit den schwereren, gekapselten Zellen nicht optimal realisierbar sind. Deshalb wurden in den letzten Jahren alternativ auch nichtgekapselte, weiche Pouch-Zellen eingesetzt. Sie können in leichten Rahmen- und Plattenkonstruktionen dicht gestapelt und dennoch stabil verbaut werden und ermöglichen so höhere Energiedichten sowie Gewichtsreduktionen, was zu größeren Fahrzeugreichweiten verhelfen kann. Mit diesem Konzept sind vergleichbare Crashesicherheitsstandards möglich wie mit den eher konservativ dimensionierten, vollgekapselten Zelltypen. Ein optimaler Schutz der Zellen ist wichtig, da diese im geladenen Zustand bei äußerst ungünstigen Deformationen giftige Gase emittieren oder sogar explodieren könnten. Deshalb sind die gestapelten Pouch-Zelleinheiten in der Crashesimulation des Gesamtfahrzeugs mitzubedenken, um so bereits im Entwicklungsstadium Sicherheitsnachweise zu erbringen. Dafür werden geeignete Ersatzmodelle benötigt, da die einzelnen Zellen einen komplexen mikromechanischen Aufbau haben und in Fahrzeugsimulationen nicht detailliert abgebildet werden können. Die Gruppe Crashesicherheit und Schädigungsmechanik ist in den letzten Jahren immer stärker bei solchen Entwicklungen in verschiedenen Projekten involviert.

### Experimentelle Charakterisierung

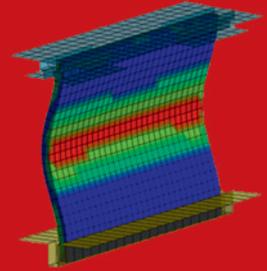
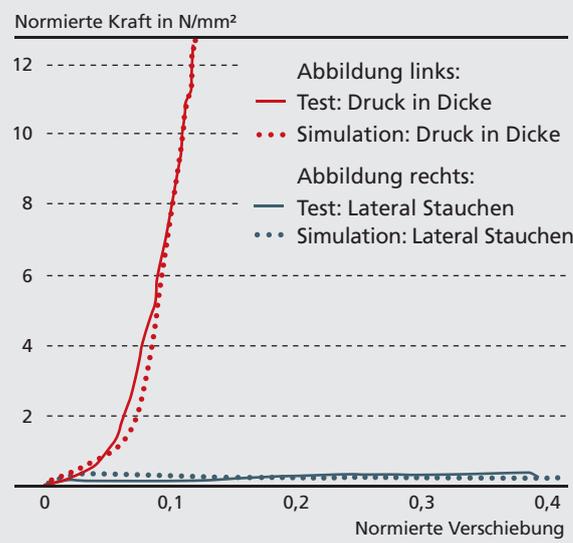
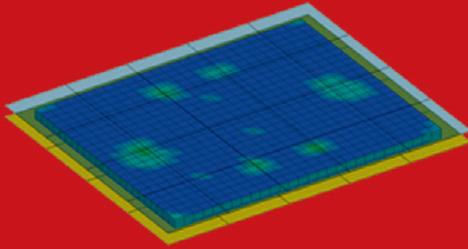
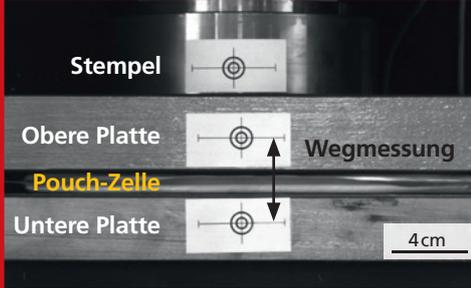
Zur Quantifizierung des mechanischen Deformations- und Versagensverhaltens wurden identische Pouch-Zellen in zwei Richtungen belastet und dabei die makroskopischen Kraft-Stempelverschiebungs-Charakteristika aufgezeichnet. Hierbei ist deutlich unterschiedliches Deformationsverhalten für



1 Indentationsversuche an vollgekapselten zylindrischen (oben) und prismatischen (unten) Li-Ionen-Zellen.



2 Druck- (oben) und Stauchversuch (unten) zweier Ersatzmodelle (blau und schwarz) im Vergleich zum Experiment (rot).



3 Richtungsabhängiges Deformationsverhalten einer Pouch-Zelle mit Simulationsergebnissen aus effizientem Ersatzmodell im Vergleich zum Experiment: Drucktest in Dickenrichtung (links); Lateral Stauchtest Pouch-Zelle (rechts).

Belastungen normal und lateral zur Zelle zu beobachten. Beide Lastszenarien sind aufgrund unterschiedlich verbauter Zellenausrichtungen in Bezug zur Fahrtrichtung als auch für den Seitenaufprall von großer Relevanz. Aufgrund der normierten Messgrößen der ermittelten Daten kann von einem richtungsabhängigen Verhalten ausgegangen werden (Abbildung 3), das das Ersatzmodell abbilden muss. Auch für vollgekapselte zylindrische und prismatische Zellen wurden experimentelle Untersuchungen durchgeführt, bei welchen deformationsabhängiges elektrisches Kurzschlussverhalten nachweisbar ist (Abbildung 1).

### Effiziente Modellierung komplexer Pouch-Zellen

Im Rahmen von Crashesimulationen ist besonders die Beschreibung von Pouch-Zellen schwierig, da bei vollgekapselten Zellen die metallische Hülle das mechanische Verformungsverhalten dominiert und daher die Deformationseigenschaften der inneren Struktur einen eher geringen Einfluss ausüben. Der heterogene, komplexe Aufbau von Pouch-Zellen, bestehend aus granularen metalloxidischen Lithium-Ionen-Materialien sowie Isolator- und Elektrodenfolien aus Polymeren sowie Metallen, erschweren eine reduzierte, effiziente Beschreibung durch Ersatzmodelle. In der jüngeren Vergangenheit wurden bereits Modelle entwickelt, diese sind jedoch aufgrund ihrer Komplexität nicht für die Gesamtfahrzeug-Crashesimulation verwendbar, da bereits in Klein- und Mittelklassewagen Hunderte dieser Zellen verbaut werden müssen.

Es wurde sowohl ein vereinfachtes homogenisiertes als auch ein erweitertes Ersatzmodell entwickelt, wobei Letztgenanntes den intrinsischen mikrostrukturellen Aufbau mithilfe entsprechend geschichteten Composites approximiert. Für die Beschreibung des dominierenden granularen Aktivmaterials wurde ein kompressibles, vom hydrostatischen Druck abhängiges

Plastizitätsmodell verwendet. Für die restlichen Komponenten ist eine Beschreibung mit inkompressibler Metallplastizität, gekoppelt mit Elastizitätsmodellen, ausreichend. Bei der Entwicklung beider Ersatzmodelle zeigten sich für lateraldominante Belastungen signifikante Einflüsse der primär aus Aluminium bestehenden Hülle der Pouch-Zelle. Mit dem erweiterten Ersatzmodell werden zusätzlich intrinsische Deformations- und Versagensmoden besser aufgelöst, auf deren Basis eine Kopplung zur Beschreibung des elektrischen Kurzschlussverhaltens zusätzlich implementierbar sein sollte. Grundsätzlich bleibt jedoch zu prüfen, ob das lokale Kurzschlussverhalten auch auf Basis des einfacheren, rein homogenisierten Ersatzmodells realisierbar wäre. Beim Design der entwickelten Ersatzmodelle wurde der Fokus auf Effizienz gelegt, die mittels adäquater Beschreibungsansätze und entsprechend angepasster Diskretisierung umgesetzt werden konnte.

### Simulation stimmt gut mit experimentellen Daten überein

Die bisherigen Simulationsergebnisse zeigen für die mechanischen Deformationseigenschaften gute Übereinstimmungen zum Experiment (Abbildung 2). Das deutlich unterschiedliche Verhalten für Belastungen, normal und lateral zur Zelle, wird von den Modellen gut wiedergegeben. Für das reine Deformationsverhalten zeigen sich beim erweiterten Ersatzmodell tendenziell bessere Simulationsergebnisse als beim vereinfachten, homogenisierten Ansatz.

Die erzielten Resultate stellen eine gute Basis für eine Erweiterung der bisher entwickelten Ersatzmodelle zur effizienten Beschreibung des elektrischen Kurzschlussverhaltens dar. Dieses Ziel soll in einem nächsten Projektschritt zusammen mit der Automobilindustrie umgesetzt werden.

Dr. Andreas Trondl, Dr. Dong-Zhi Sun