

Batteriegehäuse für Lithium-Ionen-Batterien



© Thermamax

Die Elektrifizierung und Hybridisierung des Antriebsstrangs haben auch im Offroad-Bereich Fahrt aufgenommen. Durch den rauen Einsatz der Fahrzeuge werden dabei besondere Anforderungen an die Komponenten wie die Batterien gestellt. Thermamax hat ein hochtemperaturbeständiges Gehäuse für Lithium-Ionen-Batterien entwickelt, das die Umgebung vor den Auswirkungen des thermischen Durchgehens und die Batterie vor den Risiken hoher Außentemperaturen schützt.

MOTIVATION

Laut einer Untersuchung von Frost & Sullivan [1] wurden 2017 weltweit 23.034 hybride Offroad-Fahrzeuge produziert; für 2025 sind 51.585 prognostiziert. Auch die VDMA-FVA-FVV-Studie Antrieb im Wandel [2] bestätigt diesen Trend: In Europa und den USA wird im Jahr 2030 für die Leistungsklasse 56 bis 150 kW in den untersuchten Segmenten Traktoren, Bagger und Radlader ein Absatzanteil von Hybridantrieben zwischen 10 und 20 % erwartet.

In Europa und USA spielen rein elektrische Antriebe kaum eine Rolle. In China werden dagegen auch elektrische Antriebe mit einem Anteil von bis zu 8 % prognostiziert. In der Leistungsklasse 19 bis 56 kW wird ein Absatzanteil für elektrische Antriebe von bis zu 5 % im Jahr 2030 erwartet.

Bei der Entwicklung alternativer Antriebe für Offroad-Anwendungen stehen Lithium-Ionen-Batterien im Mittelpunkt. Sie bieten relevante Vorteile wie eine hohe Energiedichte, geringeres Gewicht und Volumen, eine sehr lange

Lagerfähigkeit durch geringe Selbstentladung, kein Memory-Effekt (Kapazitätsverlust durch nicht vollständiges Laden/Entladen) und einen hohen Wirkungsgrad. Aufgrund ihrer Bauweise, insbe-

AUTOREN



Dipl.-Ing. (FH) Dominic Düser, M. Sc.
ist Entwicklungsingenieur im Bereich Konstruktion und Entwicklung der Thermamax Hochtemperaturdämmungen GmbH in Mannheim.



Dipl.-Ing. (FH) Thomas Schramm
ist Leiter des Bereichs Entwicklung der Thermamax Hochtemperaturdämmungen GmbH in Mannheim.

sondere aus der Verwendung bestimmter chemischer Verbindungen im Zusammenhang mit hohen Energiedichten, ergeben sich bei Lithium-Ionen-Batterien spezifische Gefahrenpotenziale, die neue Anforderungen an den Brandschutz von Fahrzeugen stellen.

Lithium-Ionen-Batterien sind Energiespeicher, die die chemisch gespeicherte Energie beim Entladevorgang in Form von elektrischer Energie abgeben. Ab einer gewissen Betriebstemperatur kommt es zum sogenannten thermischen Durchgehen der Batterie, das heißt die gesamte Energie in der Zelle wird nicht kontrolliert als elektrische Energie, sondern unkontrolliert in Form von thermischer Energie abgegeben. Im Fall eines Versagens setzt eine Lithium-Ionen-Batterie das circa sieben- bis elffache der elektrisch gespeicherten Energie in Form von thermischer Energie frei. Es kommt somit zu einer Überhitzung der Batterie. Bei den hohen Temperaturen zerfallen einige der eingesetzten Kathodenmaterialien [3]. Der dabei freigesetzte Sauerstoff und die Wärmeenergie entzünden die weiteren Bestandteile der Batterie und es entstehen Temperaturen über 1000 °C.

Lithium-Ionen-Batterien reagieren empfindlich auf Ihre Umgebung und Handhabung und sind deshalb für Transport und Lagerung als gefährliche Güter eingestuft. Auf keinen Fall sollten die Energiequellen unmittelbar oder dauerhaft höheren Temperaturen ausgesetzt sein. Thermamax hat ein hochtemperaturbeständiges Gehäuse für Lithium-Ionen-Batterien entwickelt, das die Umgebung vor den Auswirkungen des thermischen Durchgehens und die Batterie vor den Risiken hoher Außentemperaturen schützt. Im Folgenden wird auf die Entwicklung, sowie auf die einzelnen Sicherheitskomponenten des Batteriegehäuses eingegangen.

AUFBAU EINES BATTERIEGEHÄUSES

Ein Batteriegehäuse besteht aus dem eigentlichen Gehäuse aus Edelstahl, das die strukturelle Tragfähigkeit zwischen den Komponenten, den Batterien und den Steuerungskomponenten im Inneren bildet. Lithium-Ionen-Batterien arbeiten optimal, wenn sie in einem Temperatur-

bereich zwischen 18 und 25 °C betrieben werden. Um diesen Temperaturbereich einhalten zu können, ist der Einsatz eines Kühlsystems mit Kühlplatte meist unumgänglich. In den unterschiedlichen Ausbaustufen kommen noch weitere Funktions- und Sicherheitskomponenten im Gehäuse zum Einsatz. Hierunter zählen Materialien, die die Brandsicherheit bei einem potenziellen thermischen Durchgehen der Batterien gewährleisten und die Batterien im Inneren gleichzeitig vor schädlichen Außeneinflüssen, wie hoher oder niedriger Außentemperaturen, schützen. Falls es doch, zum Beispiel durch einen Kurzschluss, zum Brand einer Batteriezelle kommt, ist die sichere Ableitung der Reaktionsgase durch ein Überdruckventil äußerst wichtig. Der Schutz in der Nähe befindlicher Personen und deren sichere Evakuierung aus der Gefahrenzone wird dadurch sichergestellt. Beim Einsatz von Batterien in Fahrzeugen besteht potenziell die Gefahr eines Zusammenstoßes mit anderen Verkehrsteilnehmern oder feststehenden Objekten. Bei Beschädigung der empfindlichen Batteriezellen durch eine Kollision ist meist ein Brand des gesam-

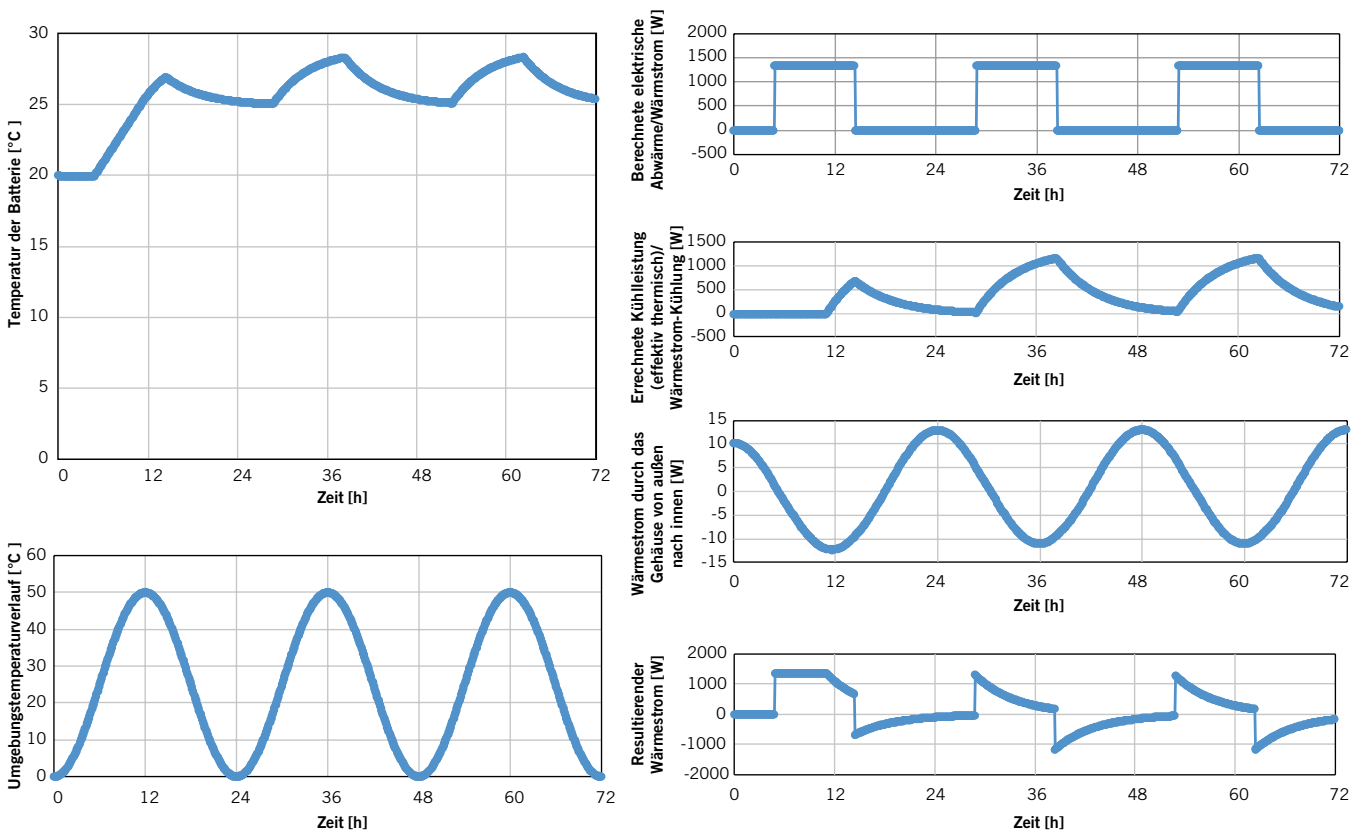


BILD 1 Systemsimulation einer Batterie im Gehäuse über einen Zeitraum von drei Tagen © Thermamax



BILD 2 Brandversuch nach ECE R100 (© Thermamax)

ten Fahrzeuges die Folge. Zur Vermeidung solcher Unfallfolgen ist der Einsatz einer Crashstruktur die optimale Lösung, um von außen einwirkende Kräfte abzufangen und diese nicht auf die empfindlichen Batteriezellen einwirken zu lassen.

SYSTEMSIMULATION EINES BATTERIESYSTEMS

Am Entwicklungsbeginn eines neuen Batteriegehäuses steht die detaillierte Systemanalyse. Denn nur das Verständnis des Gesamtsystems ermöglicht es, die notwendigen Entwicklungsschritte zum optimalen Schutz der Batterie korrekt und in aller Ausführlichkeit durchzuführen. Zuerst werden die Randbedingungen des eingesetzten Batteriepacks ermittelt und daraus eine umfassende Systemsimulation des späteren Einsatzszenarios erstellt. Als Eingangsgrößen werden erfasst: Abmaße der Batterie (inklusive Technikraum), maximale und minimale Umgebungstemperatur, Batteriemasse, spezifische Wärmekapazität, Wirkungsgrad und gewünschte Arbeitstemperatur der Batterie. In der Systemsimulation werden die aus den bereitgestellten Daten abgeleiteten Eingangswerte iterativ mit Daten zur Kühllungsauslegung, der Isolier- und Blechstärke, des umgebenden Luftspalts, der maximalen elektrischen Leistung und des Leistungsbedarfs des eingesetzten Verbrauchers, exemplarisch über einen definierten Zeitraum von beispielsweise drei Arbeitstagen berechnet. Langzeitef-

fekte können hierdurch mit in die Auslegung einbezogen werden. Als Ergebnis werden Daten wie die Batterietemperatur, elektrische Abwärme- und Wärmeströme, die benötigte effektive thermische Kühlleistung und der resultierende Wärmestrom errechnet. **BILD 1** zeigt das Ergebnis einer Simulation, bei der aufgrund der eingegebenen Randbedingungen ein optimales Gehäusedesign abgeleitet werden kann.

SICHERHEIT IM BRANDFALL

Ein wesentlicher Punkt bei der Entwicklung eines Batteriegehäuses ist die allgemeine Sicherheit im Brandfall. Hierbei sind grundsätzlich zwei verschiedene Szenarien möglich. Zum einen ein Brand



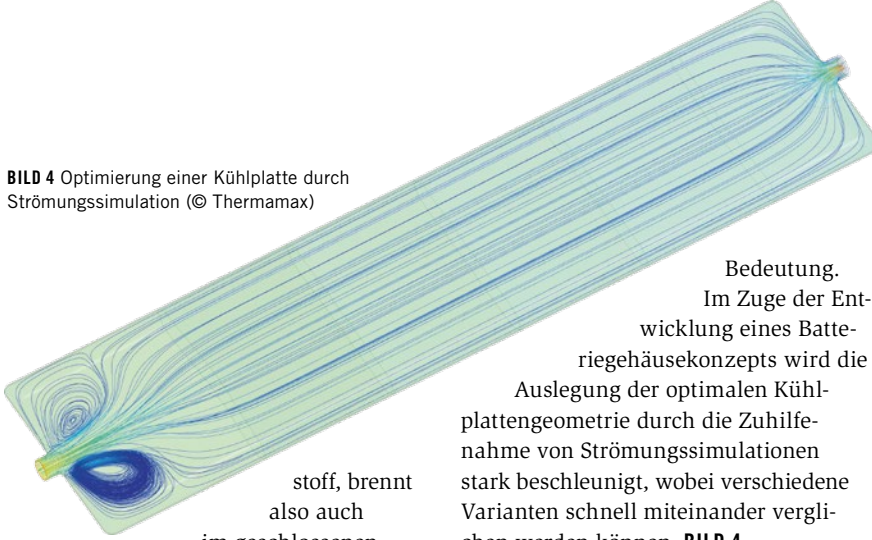
BILD 3 Sicherheitselement: Überdruckventil (© Thermamax)

im Inneren des Gehäuses, der beispielsweise durch einen Kurzschluss der Batterie ausgelöst wird. Zum anderen ein Feuer außerhalb des Gehäuses, das zum Beispiel durch ein in Brand geratenes Fahrzeug entsteht und die empfindlichen Batteriezellen gefährdet. Um das Verhalten von batteriebetriebenen Fahrzeugen und Fahrzeugteilen zu untersuchen, wird die Norm ECE R100 herangezogen und das Batteriegehäuse dem hier geforderten Brandversuch unterzogen. Hierbei wird das Gehäuse einer direkten Benzinflamme ausgesetzt, die nach 60 s Aufheizphase unterhalb des Gehäuses platziert wird. Anschließend wird das Gehäuse für 70 s direkt und für weitere 60 s indirekt beflammt, **BILD 2**. Bei den durchgeführten Versuchen kamen verschiedene Dämmsysteme zum Einsatz, die ausnahmslos die an sie gestellten Erwartungen der thermischen Abschirmung erfüllen können.

ÜBERDRUCKVENTIL

Im Fall eines Kurzschlusses oder einer Beschädigung einer Batteriezelle, die zum Brand der Reaktionsgase und im Extremfall zur Propagation (also der Entzündung anderer, sich im Verbund befindender Batterien) führt, entstehen als Folge erhebliche Mengen an Rauchgasen. Werden keine konstruktiven Maßnahmen ergriffen, entweichen diese hochgiftigen Rauchgase unkontrolliert in die unmittelbare Umgebung und können sich in der Nähe befindliche Personen gesundheitlich schädigen. Um dies auszuschließen, wurde ein patentiertes Überdruckventil entwickelt, das im Normalbetrieb durch den Einsatz einer semipermeablen Membran das Eindringen von zum Beispiel Wasser nach der Schutzart IPx7 verhindert und die natürliche Wärmeexpansion beim Laden und Entladen der Batterie ausgleicht, **BILD 3**. Im Brandfall schmilzt die Membran und ein Federmechanismus verschließt in Verbindung mit einer intumeszierenden Dichtung alle Ventilöffnungen nach außen, sodass das Batteriegehäuse abgedichtet ist und keine Rauchgase entweichen können. Da Lithium-Ionen-Batterien aktuell aufgrund der hohen Ladungsdichte und guten Zyklenstabilität vor allem mit oxidischem Kathodenmaterial hergestellt werden, versorgt sich ein einmal entzündeter Brand fortan selbst mit Sauer-

BILD 4 Optimierung einer Kühlplatte durch Strömungssimulation (© Thermamax)



stoff, brennt
also auch
im geschlossenen
Gehäuse weiter. Wenn
der Druck im Gehäuse zu hoch wird
und ein Bersten droht, öffnet das Ventil
und entlässt das unter Druck stehende
Gas kontrolliert aus dem Gehäuse.

KÜHLPLATTE

Lithium-Ionen-Batteriesysteme reagieren sensibel auf Temperaturgradienten in ihrer Umgebung. Bei Temperaturen über 60 °C, die durch Sonneneinstrahlung und Wärmeentwicklung in der Batteriezelle während des Lade- und vor allem des Entladevorgangs schnell entstehen können, kann es durch die Zersetzung des Elektrolyts zu Ablagerungen auf der Anode kommen, die den Zellinnenwiderstand stark erhöhen. Um diesen destruktiven Mechanismen entgegenzuwirken, ist eine effektive und richtig bemessene Kühlung von großer

Bedeutung.
Im Zuge der Entwicklung eines Batteriegehäusekonzepts wird die Auslegung der optimalen Kühlplattengeometrie durch die Zuhilfenahme von Strömungssimulationen stark beschleunigt, wobei verschiedene Varianten schnell miteinander verglichen werden können, **BILD 4**.

CRASHSICHERHEIT

Das Ziel eines Crashkonzeptes in Batteriegehäusen ist es, eine Zwischenwandstruktur einzusetzen, die im Crashfall möglichst viel kinetische Aufprallenergie in plastische Verformung umwandelt. Dazu werden im Rahmen von Forschungsaktivitäten und kooperativen Arbeiten mit Hochschulen, die sowohl theoretische und simulative Ansätze wie auch praktische Versuche beinhalten, verschiedene Konzepte entwickelt und miteinander verglichen. Als Werkzeuge für diese Untersuchungen kommen Finite-Elemente-Software und explizite Berechnungsmethoden für die Simulation von Kurzzeitdynamikvorgängen zum Einsatz. Außerdem wurde ein Falltestprüfstand entwickelt, der die theoretisch gewonnenen Ergebnisse aus der Analytik und der

Simulation verifiziert. Es werden unter anderem mäanderförmige Blechgeometrien mit verschiedenen Radien, Honeycomb-Strukturen aus Aluminium in hexagonaler und runder Ausführung und Aluminiumschaumplatten untersucht. Auf Basis der gewählten Lastfälle, zum Beispiel freier Fall aus 2 m Höhe, werden die genannten Konzepte entsprechend dimensioniert und abschließend explizit gelöst. Anschließend werden die Konzepte energieanalytisch miteinander verglichen und die aus der Simulation erhaltenen Werte im praktischen Versuch mit vorher definiertem Versuchsaufbau und entsprechender Messtechnik validiert, **BILD 5**. Spannungen werden mithilfe von applizierten Dehnmessstreifen (DMS) direkt an den höchstbelasteten Stellen ermittelt. Durch den Einsatz einer Hochgeschwindigkeitskamera kann die Rückfederrate des Gehäuses und das Schwingverhalten festgehalten und daraus die im System verbliebene Energie berechnet werden. Auftretende, maximale Beschleunigungen im Bereich der Batterien werden durch einen 3-D-Beschleunigungssensor erfasst.

ZUSAMMENFASSUNG

Sicherheitsaspekte spielen in Zeiten der zunehmenden Elektrifizierung von Antrieben mit Lithium-Ionen-Batterien durch die kontinuierliche Steigerung der Leistungsdichte der Batterien eine immer wichtigere Rolle. Thermamax hat dieser Entwicklung folgend ein innovatives Batteriegehäuse entwickelt, das durch den Einsatz verschiedener hochtemperaturbeständiger Sicherheitsfeatures die drohenden Gefahren, die mit diesem Fortschritt einhergehen, kontrollieren kann.

LITERATURHINWEISE

- [1] Poggi, P.: Hybridization Trends in the Global Off-Highway Vehicle Market. Frost & Sullivan, iVT Expo, 2019
- [2] N. N.: Antrieb im Wandel. Die Elektrifizierung des Antriebsstrangs von Fahrzeugen und ihre Auswirkung auf den Maschinen- und Anlagenbau und die Zulieferindustrie. VDMA, Frankfurt, 2018.
- [3] Buser, M.; Mähliß, J.: Lithiumbatterien. Brandgefahren und Sicherheitsrisiken. Online: https://www.riskexperts.at/fileadmin/downloads/Lithiumbatterien/Lithiumbatterien__Sicherheitsratgeber__2016__BUSER-MAEHLISS.pdf, aufgerufen am 12.04.2019



BILD 5 Fallversuch an einem Batteriegehäuse (© Thermamax)



READ THE ENGLISH E-MAGAZINE

Test now for 30 days free of charge:
www.emag.springerprofessional.de/atz-heavyduty-worldwide