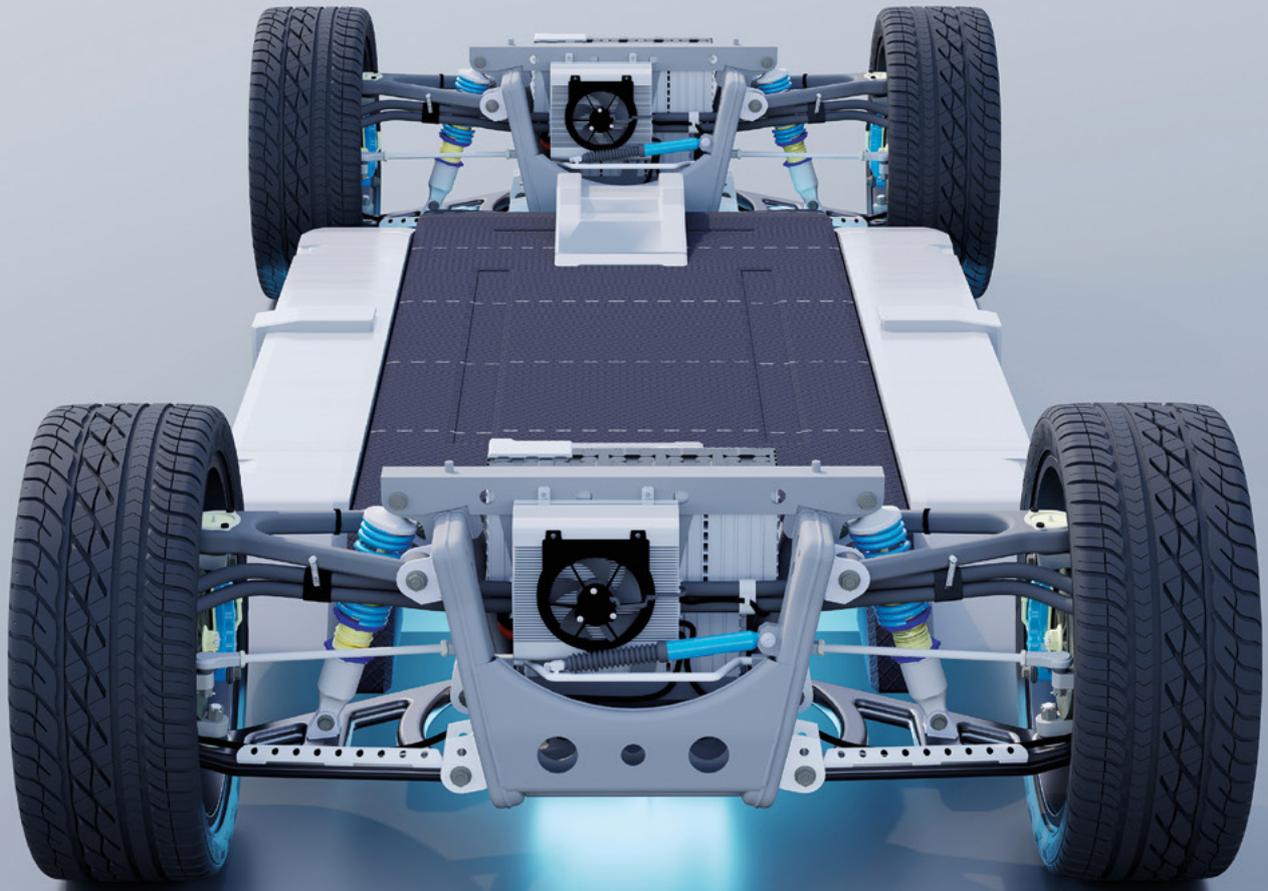


ATZ extra



BEV-TRAKTIONSBATTERIEN

**Hitzeresistente Komponenten
für mehr Sicherheit**

oerlikon

Ihr globaler Technologiepartner in der Automobilindustrie

Wir sind bekannt für unsere innovativen multifunktionalen Hitzeschutzlösungen, die speziell für Batteriesysteme entwickelt wurden, sowie für unsere bahnbrechenden Leichtbaulösungen für Hitzeschilde von Batterien. Unser Engagement für

Spitzenleistungen hat uns dazu gebracht, ESG-konforme (glimmerfreie, nicht erdölbasierte) Produkte zu entwickeln, die die Wärmeausbreitung wirksam eindämmen.

Unser Ziel? Die Auswirkungen von Bränden auf den Fahrzeuginnenraum

deutlich zu reduzieren. Mit unseren ultradünnen, leichten Barrieren können Sie Lösungen auf der Ebene der Zelle, des Moduls oder des Batteriepakets implementieren und so Funktionen wie Limp-Home und Zero TP ermöglichen.

Unsere Lösungen

HS800/HS900 Hitzeschilde

Unsere Hitzeschilde, temperaturbeständig bis 1400 °C, schützen vor dem Aufprall durch heiße Partikel, mit hoher Geschwindigkeit und bieten eine hervorragende elektrische Isolierung. Sie sind in komplexen 3D-Formen herstellbar.

HS850/HS950 Gasableitende Struktur

SafeVent-Komponenten führen den heißen Gasstrom und leitende Partikel aus einer entgasenden Zelle in unkritische Bereiche ab und bilden eine isolierende Barriere zwischen Hochspannungskomponenten. Nur 0.8 mm dünn, aber temperaturresistent bis 1200 °C.

HS433 Zellseparator

Unsere innovativen Zellseparatoren verhindern, eine Kettenreaktion, indem sie bei einem Thermal Runaway die fehlerhafte Zelle thermisch isolieren. Sie sorgen für optimalen Zelldruck und sind elastisch, um die Zellatmung zu kompensieren.

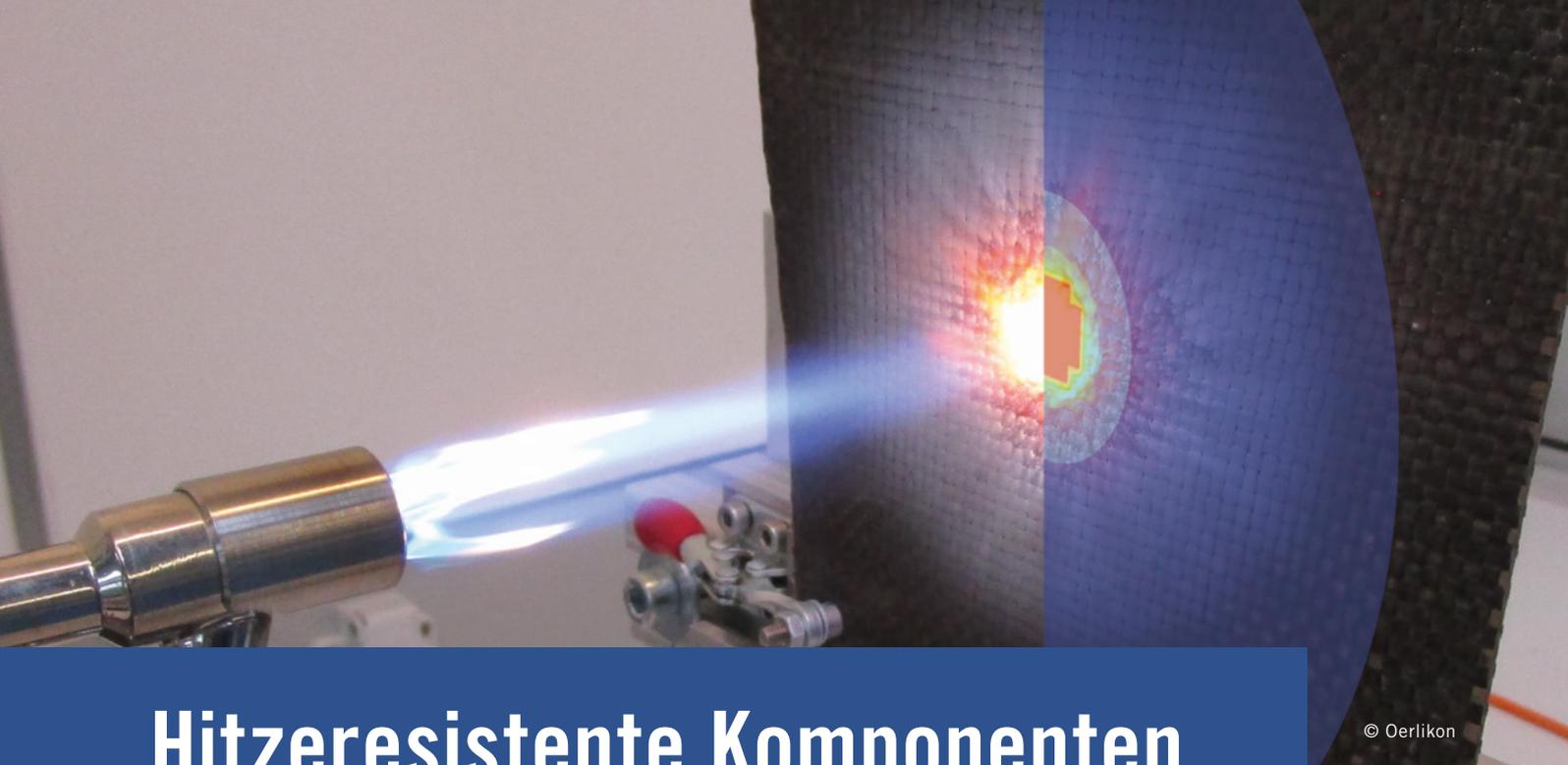
Oerlikon Surface Solutions

Oerlikon ist ein weltweit führender Anbieter von Lösungen und Dienstleistungen im Bereich der Oberflächen- und additiven Fertigung. Der Geschäftsbereich bietet ein umfangreiches Portfolio an marktführenden Dünnschicht-, thermischen Spritz- und additiven Fertigungstechnologien, Anlagen, Komponenten und Materialien. Die Reduzierung von Emissionen

im Transportwesen, die Maximierung der Langlebigkeit und Leistung von Werkzeugen und Komponenten, die Steigerung der Effizienz und die Verwendung intelligenter Materialien sind die Markenzeichen des Unternehmens. Die Division, die seit Jahrzehnten technologische Pionierarbeit leistet, bedient ihre Kunden mit standardisierten und massgeschneiderten Lösungen über

ein weltweites Netzwerk von mehr als 170 Standorten in 37 Ländern.

Mit seinen Technologiemarken - Oerlikon Balzers, Oerlikon Metco und Oerlikon AM - konzentriert sich der Geschäftsbereich Oerlikon Surface Solutions auf Technologien und Dienstleistungen zur Verbesserung und Maximierung von Leistung, Funktion, Design, Zuverlässigkeit und Nachhaltigkeit.



© Oerlikon

Hitzeresistente Komponenten für BEV-Traktionsbatterien

Für Nutzer batterieelektrischer Fahrzeuge (Battery Electric Vehicles, BEVs) spielen hohe Reichweite und kurze Ladezeiten eine wichtige Rolle. Das erfordert Lithium-Ionen-Batteriesysteme mit leistungsstarken Zellen. Damit steigt jedoch das Risiko eines sogenannten thermischen Durchgehens, das schwere Schäden am Fahrzeug verursachen und die Insassen gefährden kann. Oerlikon hat Lösungen entwickelt, um die Auswirkungen eines solchen Vorgangs zu minimieren.

Die Marktakzeptanz von batterieelektrischen Fahrzeugen hängt stark von der Leistung und den Kosten der Fahrzeuge ab. Entscheidend für die Leistung ist die Antriebsbatterie – sie ist aber auch ein Hauptfaktor hinsichtlich der Kosten. Für den Markterfolg braucht es daher kontinuierliche Verbesserungen der Antriebsleistung und Reduzierung der Kosten.

Die Erwartungen hinsichtlich hoher Reichweiten und kurzer Ladezyklen erfordern Batterien mit hoher Energiedichte, was ein enges Zellpackaging in leistungsstarken Nickel-Mangan-Kobalt(NMC)-Zelltypen bedeutet. Das inhärente Risiko solcher Zellen ist das sogenannte thermische Durchgehen (Thermal Runaway, TR), eine Selbsterhitzung der Batteriezelle, bei der es zu einem exothermen Abbau der aktiven Masse

kommt. Das führt zu einer explosionsartigen Freisetzung der heißen und leitfähigen Reaktionsgase durch die Überdrucköffnung. Die Selbsterhitzung wird ausgelöst, wenn die Zelltemperatur eine kritische Grenze überschreitet. Das kann durch interne oder externe Kurzschlüsse, externe Erwärmung, Überladung oder eine Fehlfunktion des Kühlsystems verursacht werden.

Ohne Schutzkonzept löst dieses Ereignis ein TR in weiteren Zellen aus, und zwar durch Wärmeübertragung auf benachbarte Zellen, den heißen Gasstrom einer entlüftenden Zelle oder indem sich die elektrisch leitende Atmosphäre durch Lichtbögen entzündet. Diese Kettenreaktion wird als thermische Ausbreitung (Thermal Propagation, TP) bezeichnet und führt zu

VERFASST VON



Dr.-Ing. Marcus Spreckels
ist Head of Technology für Thermal Insulation Systems bei Oerlikon Friction Systems in Bremen.



Andrew Raistrick, M. Eng.
ist Manager Battery/TIS Engineering & BEV Safety bei Oerlikon Friction Systems in Nuneaton (Großbritannien).

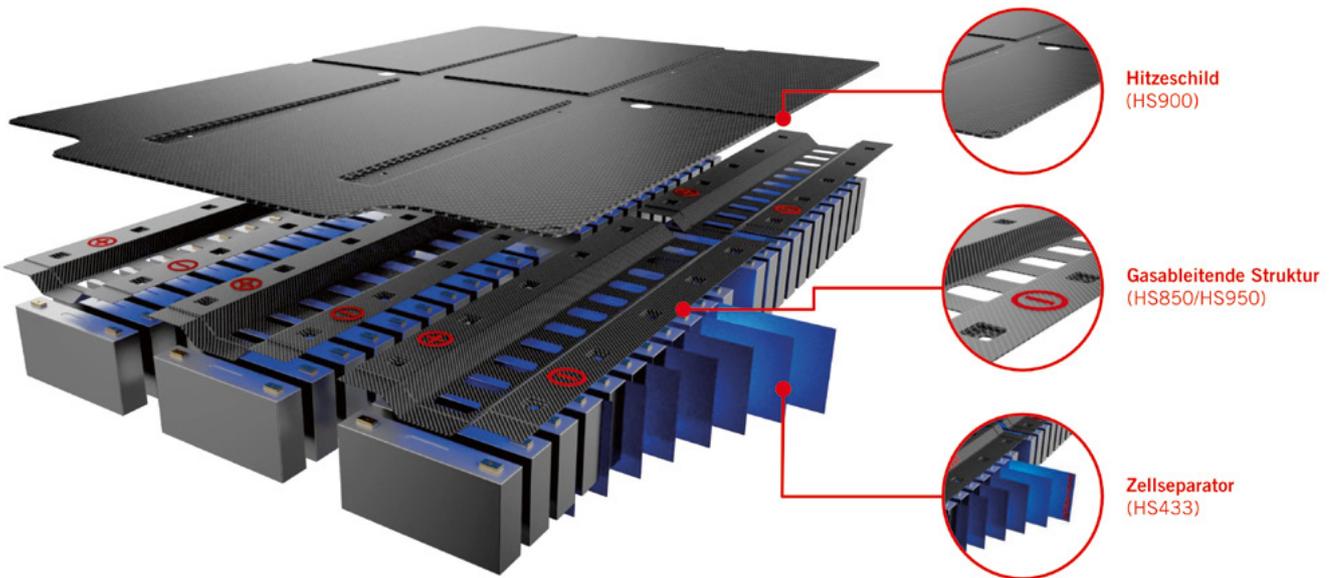


BILD 1 Hitzebeständige Komponenten für Sicherheitskonzepte von batterieelektrischen Fahrzeugen (© Oerlikon)

schweren Schäden an der Batterie oder dem Fahrzeug und im schlimmsten Fall zu fatalen Folgen für die Insassen. Das Risiko eines TRs kann konstruktiv minimiert, aber nicht ausgeschlossen werden. Es braucht ein Sicherheitskonzept, um eine TP und ihre verheerenden Folgen zu vermeiden.

SICHERHEITSKONZEPTE UND NOTWENDIGE KOMPONENTEN

Bauteile wie Hitzeschilde, gasableitende Strukturen und Zelltrennelemente erhöhen die Sicherheit eines Batteriesystems, **BILD 1**. Ein Hitzeschild befindet sich in der Regel zwischen der Entlüftungsöffnung der Zelle und dem Batteriedeckel beziehungsweise -gehäuse. Er schützt diese Bauteile vor der direkten Einwirkung des partikelbeladenen, heißen Gasausstoßes einer entlüftenden Zelle. Der Hitzeschild muss sowohl der mechanischen Belastung durch den Partikelbeschuss als auch der thermischen Belastung durch das heiße Gas standhalten. Muss die Temperatur des geschützten Bauteils zudem unter einem bestimmten Grenzwert wie zum Beispiel der Schmelztemperatur gehalten werden, ist außerdem eine isolierende Funktion erforderlich.

Gasableitende Strukturen kanalisieren das heiße Gas und leitende Partikel aus der Zelle, führen sie in unkritische Bereiche ab und bilden eine elektrisch isolierende Sperre zwischen den Hochspan-

nungskomponenten. Das minimiert das Risiko eines Lichtbogens zwischen Bauteilen mit unterschiedlichem Spannungspotenzial.

Separatoren zwischen den einzelnen Zellen verhindern die Wärmeübertragung zwischen den Zellen. Zusätzlich zur thermischen Funktion sollten die Trennelemente die Dickenzunahme der Zellen über deren Lebensdauer sowie den Ladezustand kompensieren können und gleichzeitig die Pressung im Zellstapel begrenzen. Separatoren sorgen dafür, dass der Druck auf die Zellen in einem Bereich liegt, der optimal für die Zyklenstabilität ist.

Die Folgen eines TRs für Insassen und Fahrzeug sind davon abhängig, wie wirksam das Sicherheitskonzept mit einer, zwei oder allen zuvor genannten Komponenten ist. Der Schweregrad kann in vier Levels eingeteilt werden, **BILD 2**.

LEVEL 1

Dieses Level bietet genügend Zeit für eine sichere Evakuierung der Insassen. Außerhalb des Batteriegehäuses ist 10 min lang kein Feuer oder Rauch erlaubt (typischer Zeitrahmen). Ein Hitzeschild mit guter thermischer Isolierung schützt die mechanische Integrität des Batteriegehäuses, und eine effektive Gasableitung verhindert in der Anfangsphase der thermischen Kettenreaktion gefährliche Lichtbögen. Letztendlich kommt es jedoch zu einem Total-

verlust des Fahrzeugs. Der Level 1 ist die gesetzliche Mindestanforderung aus der UN GTR No. 20 (Electric Vehicle Safety) [1], die in vielen Ländern übernommen wurde.

LEVEL 2

Die TP wird eingedämmt, und der Schaden beschränkt sich auf das Batteriegehäuse. Die Insassen haben genügend Zeit, um sich in Sicherheit zu bringen. Allerdings kann aus dem Gehäuse etwas Rauch entweichen. Ein effektiver Zellseparator unterbricht die thermische Kettenreaktion. Ein isolierender Hitzeschild sowie eine Gas- und Partikelableitung vervollständigen das Sicherheitskonzept. Das Fahrzeug wird zur Reparatur abgeschleppt, und die Batterie kann ausgetauscht werden.

LEVEL 3

Das Stop-TP- oder Zero-TP-Konzept verhindert die Eskalation eines TRs. Der Fahrer wird über einen Batterieausfall informiert, eine Evakuierung ist nicht nötig. Eine hochwirksame Wärmedämmung zwischen den Zellen verhindert die thermische Kettenreaktion. Das Ereignis bleibt auf eine Zelle beschränkt. Die Anforderungen an den Hitzeschild und die Gasableitung werden geringer. Das Fahrzeug kann abgeschleppt werden, um die Batterie zu reparieren.

Sicherheit und Komfort erhöhen		Hitzeschild	Gasableitende Struktur	Zellseparator
Level 1 Zeit für eine sichere Evakuierung bereitstellen		++	+++	++
Level 2 Thermische Ausbreitung beschränkt sich auf Batterie		+++	+++	++
Level 3 Stop-TP / Zero-TP		+	++	+++
Level 4 Stop-TP / Zero-TP und Notlaufmodus		+	++	+++

BILD 2 Auswirkungen eines thermischen Durchgehens und die Bedeutung der Sicherheitskomponenten (© Oerlikon)

LEVEL 4

Zusätzlich zum Level 3 ermöglicht ein Batteriemanagementsystem hier, dass das Fahrzeug aus eigener Kraft in die Werkstatt gefahren werden kann.

MASSGESCHNEIDERTE SICHERHEITSLÖSUNGEN

Aufbau und Konstruktion von Batteriesystemen sind abhängig von Strategien und Präferenzen der Hersteller. Das beginnt bei der Zellchemie, wie etwa Lithium-Eisenphosphat-, NMC- oder auch Natrium-Ionen-Batterien, geht weiter über das Format, wie Pouch, zylindrisch

oder prismatisch, bis hin zum Zellpaket, ob Cell-to-Module, Cell-to-Pack oder Cell-to-Body. Jedes Batteriesystem erfordert ein spezielles Sicherheitskonzept mit entsprechenden Komponenten. Eine effektive technische Lösung für Wärmedämmsysteme (Thermal Insulation Systems, TIS) ist eine Kombination aus einem hitzebeständigen Material mit einem intelligenten Design.

Die Basis einer guten Wärmeisolierung ist das Isoliermaterial, nämlich ein Konstruktionsverbundstoff, der die grundlegenden physikalischen, chemischen und mechanischen Eigenschaften mitbringt. Die wichtigste ist eine hohe Hitzebeständigkeit, denn das Material

sollte so lange wie möglich intakt bleiben, auch wenn es zu einem TR oder sogar einer TP kommt.

Der andere Aspekt einer guten Lösung ist das Design. Die entwickelten Bauteile sollten die spezifischen Sicherheitsanforderungen des Batteriekonzepts erfüllen und gleichzeitig leicht sowie platzsparend sein. Das Sicherheitskonzept ist ein integraler Bestandteil der Batterie und sollte bereits in der frühen Phase der Entwicklung berücksichtigt werden.

HITZESCHILD

Die Hitzeschilder von Oerlikon wurden aus einem mehrschichtigen Werkstoff in

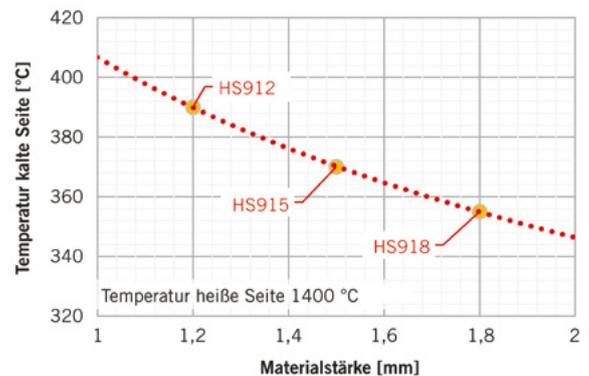
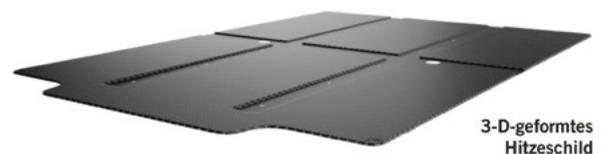
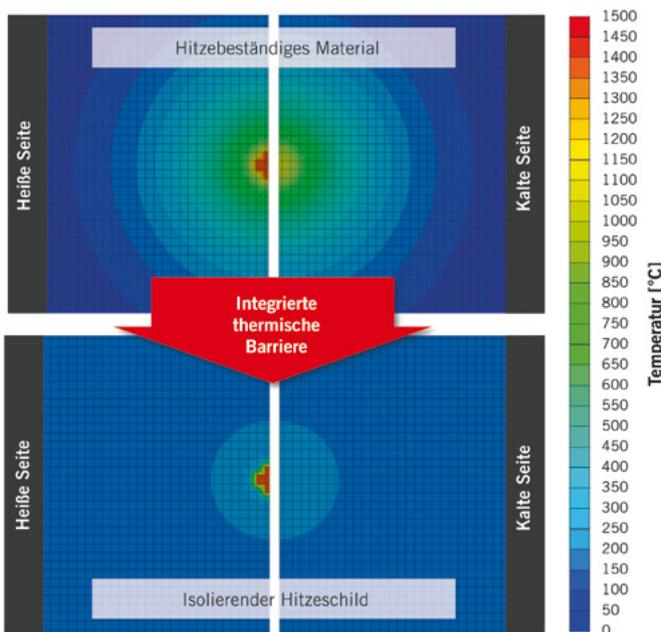
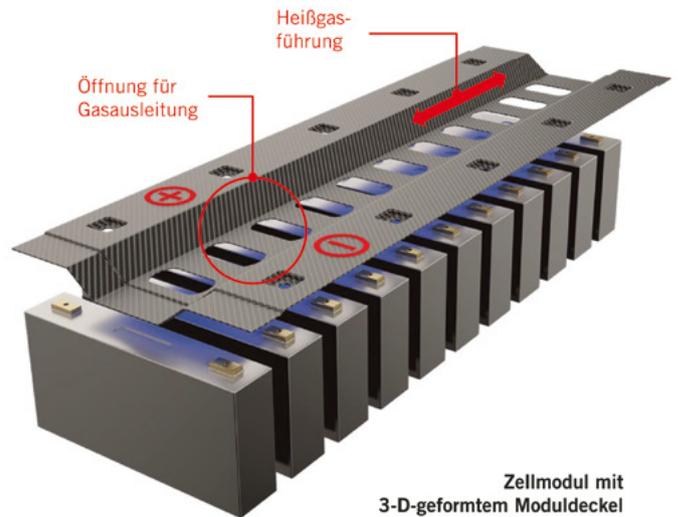
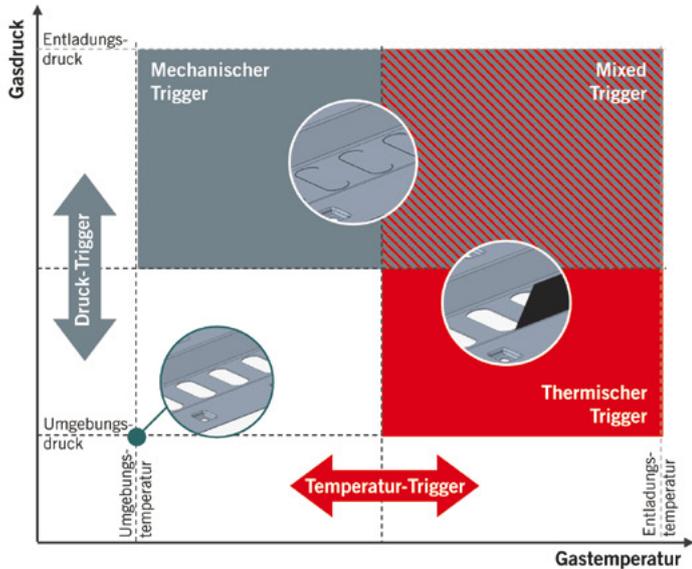


BILD 3 Die thermische Barriere macht aus einem hitzebeständigen Werkstoff einen isolierenden Hitzeschild (© Oerlikon)



Zellmodul mit 3-D-geformtem Moduldeckel

BILD 4 Auslösemöglichkeiten für Entlüftungsöffnungen von gasableitenden Elementen (© Oerlikon)

Kombination mit einem speziellen Designkonzept entwickelt. Sie weisen eine hohe Temperaturbeständigkeit bis zu 1400 °C, einen hohen mechanischen Widerstand gegen den direkten Einschlag heißer Gaspartikel und eine gute Wärmedämmung auf. Die Werkstoffe bestehen aus Schichten hitzebeständiger Mineralfaserverbundstoffe, in die zusätzliche Bestandteile zur mechanischen Verstärkung integriert sind. Durch Hinzufügen einer thermischen Barriere wird aus diesem Werkstoff ein isolierender Hitzeschild. Die Temperatur der Rückseite sinkt damit bei einer Flammentemperatur von 1400 °C von über 1000 auf unter 400 °C, BILD 3. Auch können angepasste Hitzeschilde mit lokalen Sperrern für temperaturkritische Bereiche oder Bereiche mit hoher Hitzeeinwirkung, zum Beispiel über den Entgasungsauslässe einer Zelle, konstruiert werden.

Der dünnste Hitzeschild mit einer Dicke von nur 1,2 mm hält mindestens 15 s lang Partikeleinschlägen stand und gleichzeitig die Temperatur an der Außenseite unter 400 °C. Die Temperaturgrenze von typischen Leichtbau-Abdeckmaterialien wie Aluminium oder Harz-Glasfaser-Verbundstoffen wird also nicht überschritten. Weitere Materialschichten können hinzugefügt werden, um die Partikelbeständigkeit und die Isolierleistung für leistungsstärkere Zellen zu erhöhen, oder mehrere Entlüftungsvorgänge im Fall der Ausbreitung.

Die Isolierleistung solcher Hitzeschilde ist in BILD 3 dargestellt. Sie übertreffen die Anforderungen jeder Batteriezellenkonfiguration. Das Material kann dreidimensional geformt werden, um einen einteiligen Hitzeschild herzustellen. Dieser kann den Konturen der Verkleidung folgen, was die Wirkung maximiert und alle kritischen Bereiche schützt. Zudem lässt er sich so optimal in die bestehende Konstruktion integrieren.

KONTROLLIERTE GASFÜHRUNG

Die Komponenten, die für die Gasableitung verantwortlich sind, spielen eine entscheidende Rolle beim Auffangen des heißen Gasstroms aus einer entgasenden Zelle. Sie sollen in erster Linie verhindern, dass leitende Partikel kritische Bauteile und Bereiche erreichen, insbesondere unter Spannung stehende, nicht isolierte Oberflächen und den Raum dazwischen. Das gasableitende System führt die elektrisch leitenden Gase ab und bildet eine elektrisch isolierende Barriere.

Für eine wirksame Leistung muss das Material, das für diese Gasführungsstrukturen verwendet wird, so hitzebeständig sein, dass es dem heißen Gasstrom standhalten kann. Gleichzeitig muss es Eigenschaften wie elektrische Isolierung und mechanische Stabilität aufweisen. Das stellt sicher, dass bei einem TR entsprechende Kanäle unversehrt bleiben. Ideal ist ein modi-

fiziertes Mehrschichtmaterial ähnlich jenem, das für die Hitzeschilde verwendet wird.

Das Hauptaugenmerk liegt jedoch auf der Konstruktion der Eintrittsöffnungen für die heißen Gase innerhalb der gasableitenden Struktur. Diese müssen geschlossen bleiben, solange die Zelle intakt ist, sich jedoch während eines Entlüftungsvorgangs sofort öffnen. Ein spezieller Mechanismus deckt deshalb die Entlüftungsöffnung ab und wird nur als Reaktion auf ein TR ausgelöst. Der Mechanismus, der die Öffnung auslöst, kann durch erhöhte Temperatur, Druck des ausströmenden Gases oder eine Kombination aus beidem, BILD 4, getriggert werden. Ein mechanischer Druckauslöser kann durch eine Sollbruchstelle in der gasführenden Komponente realisiert und der Auslösedruck durch die Ausprägung der Sollbruchstelle eingestellt werden. Öffnungen, die mit wärmeempfindlichen Membranen verschlossen sind, werden thermisch ausgelöst, wobei die Auslösetemperatur vom Material der Membran abhängt.

Ein durch Druck auslösender Öffnungsmechanismus kann vorzugsweise direkt über der Entlüftungsöffnung der Zelle positioniert werden, um den ersten Gasimpuls abzufangen. Im Gegensatz dazu können bei Pouchzellen, bei denen der Austrittsort weniger vorhersehbar ist, temperaturgesteuerte Öffnungsmechanismen verwendet werden.

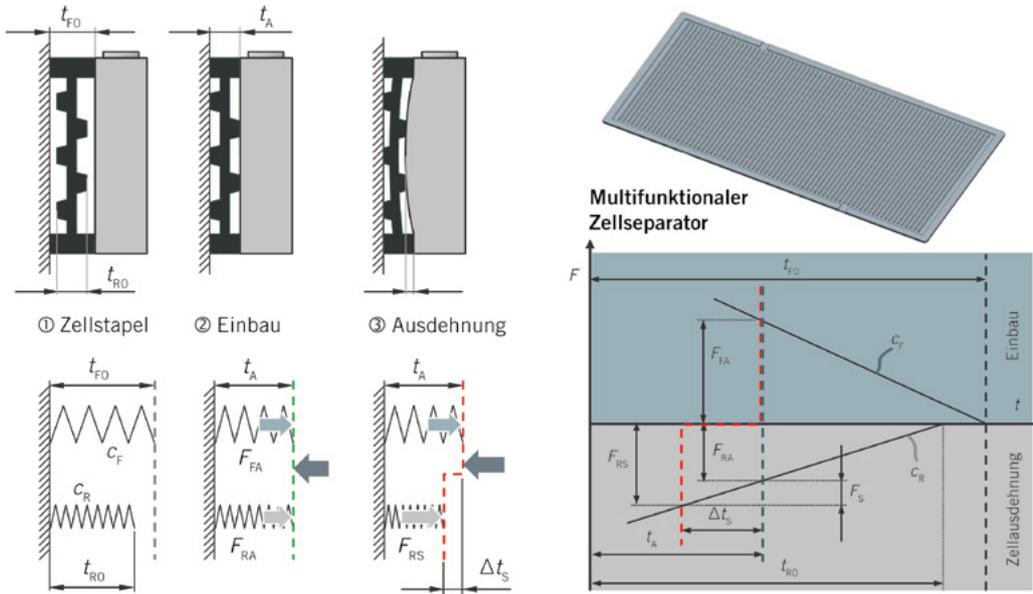


BILD 5 Mechanisches Modell eines multifunktionalen Zelltrennelements (© Oerlikon)

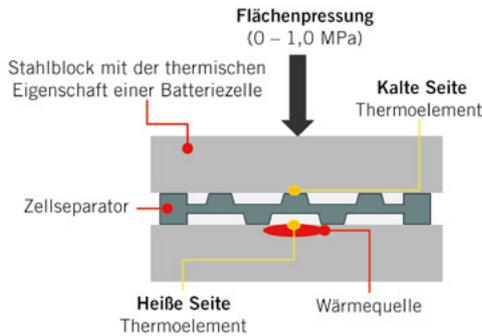
ZELLTRENNELEMENTE

Zellseparatoren verhindern vor allem, dass Wärme von einer zur benachbarten

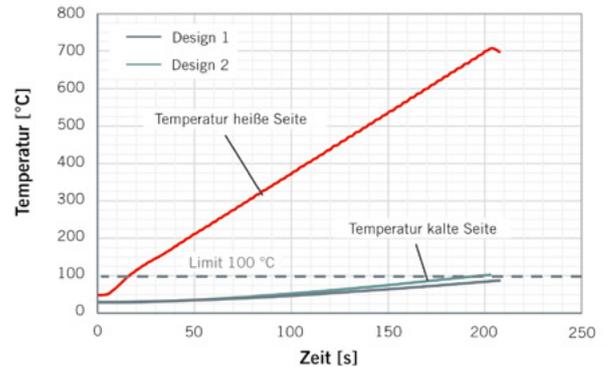
Zelle übertragen wird. Das Stop-TP- oder Zero-TP-Konzept verlangt, dass die Temperatur einer Zelle 100 °C nicht übersteigt. Multifunktionale Zelltrennelemente

sind zudem elastisch, um die Zellatmung sowie die Montagetoleranzen des Zellenpakets zu kompensieren. Die geforderten thermischen und mechani-

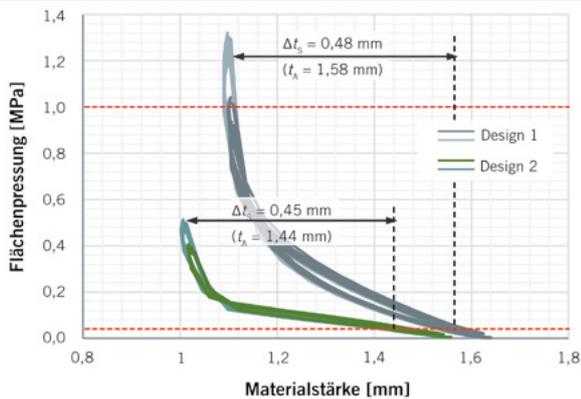
Messmethode



Thermische Eigenschaften



Mechanische Eigenschaften



Isolationswirkung

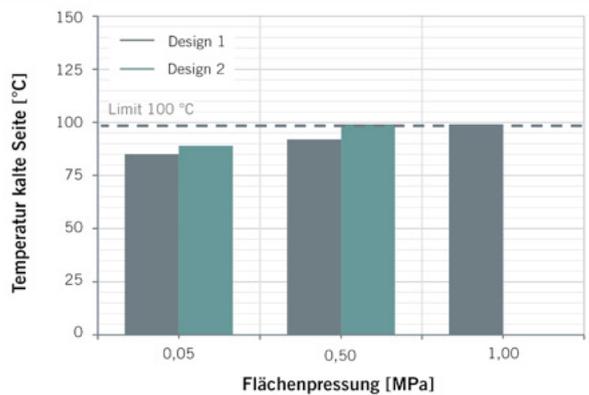


BILD 6 Thermische und mechanische Eigenschaften eines multifunktionalen Zelltrennelements (© Oerlikon)

schen Eigenschaften können nicht allein durch Werkstoffe wie Glimmer, Aerogel-Vlies oder Schaumstoff erreicht werden. Um dünne Zellseparatoren zu realisieren, ist eine unterstützende Konstruktionskomponente erforderlich.

Der entwickelte Zellseparator verfügt über zwei Bereiche mit unterschiedlichen elastischen Eigenschaften, **BILD 5**. Ein fester Rahmen aus einem Elastomermaterial gleicht die Maßtoleranz des Zellstapels beim Zusammenbau zum Modul oder Paket aus, und eine Rippenstruktur sorgt für eine verringerte Elastizität in der Mitte, um die Ausdehnung der Zelle zu kompensieren. Dieses Konzept ermöglicht eine unabhängige Anpassung der Elastizität des festen Rahmens und der Rippenstruktur an die Einbausituation und die Zelleigenschaften. Dies verdeutlicht das mechanische Modell in **BILD 5**.

BILD 6 zeigt die Ergebnisse der thermischen und mechanischen Analyse von zwei Mustern mit unterschiedlichen Rippenabmessungen (Design 1 und 2). Thermisch gesehen ist ihr Verhalten nahezu identisch: Beide Proben begrenzen die Temperatur auf der kalten Seite auf unter 100 °C, während die Temperatur auf der heißen Seite innerhalb von 200 s von Raumtemperatur auf 700 °C ansteigt.

Beide Designs erlauben eine Zellausdehnung von mindestens 0,45 mm innerhalb der typischen Pressungsgrenzen, die entscheidend sind für die Zyklusstabilität der Zelle (mindestens 0,05 MPa, höchstens 1 MPa). Die Dicke im Einbauzustand liegt zwischen 1,4 und 1,6 mm, das bedeutet eine Kompressibilität von mehr als 30 %.

Die mechanische Charakteristik ist jedoch deutlich anders: Der Druck-Dicken-Gradient von Design 1 ist etwa doppelt so hoch wie jener von Design 2,

Design 1 ist also „härter“ als Design 2. Mit größeren Dicken von 1,8 bis 2,0 mm lässt sich die Kompressibilität auf >50 % steigern.

LITERATURHINWEIS

[1] United Nations: Global Technical Regulation on the Electric Vehicle Safety (EVS), 3. Mai 2018. Online: <https://unece.org/transport/standards/transport/vehicle-regulations-wp29/global-technical-regulations-gtrs>, aufgerufen: 24. Januar 2024

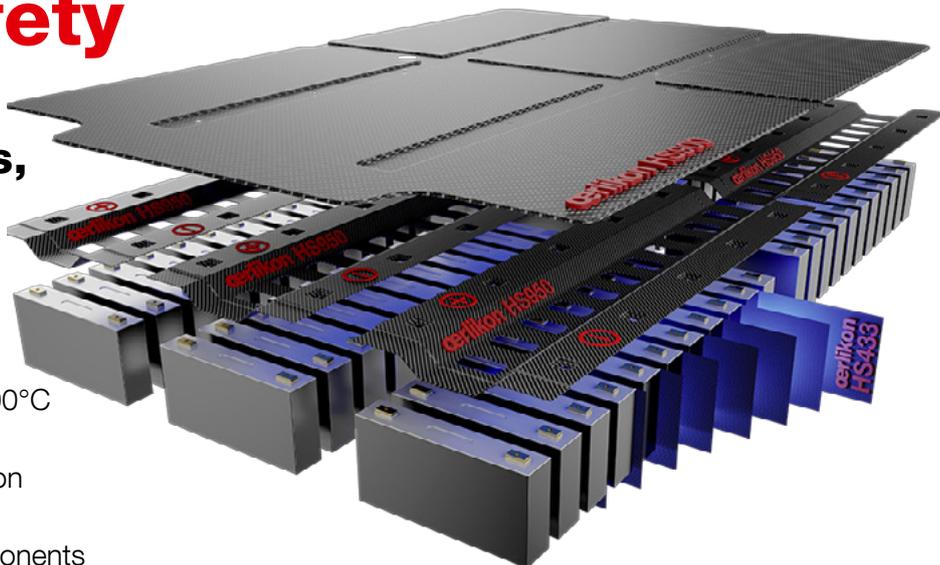
DANKE

Die Autoren bedanken sich bei Ulf Christoffer und Mal Howe (beide bei Oerlikon) für die Unterstützung bei der Erstellung dieses Beitrags.

Battery Safety

Advanced Materials, Components and Concepts

- Temperature resistant up to 1400°C
- Electrical insulation up to 18kV
- Enables zero thermal propagation
- Allows limp home driving mode
- Thin, light and 3D formed components
- ESG compliant – Mica free and non-petroleum-based material



No compromise on battery safety!

Get in touch

insulation@oerlikon.com

www.oerlikon.com

oerlikon

IMPRESSUM

Sonderausgabe 2024 in Kooperation Oerlikon Friction Systems (Germany) GmbH, Bremer Heerstrasse 39, 28719 Bremen; Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, Postfach 1546, 65173 Wiesbaden, Amtsgericht Wiesbaden, HRB 9754, USt-IdNr. DE81148419

GESCHÄFTSFÜHRER:

Stefanie Burgmaier | Andreas Funk | Joachim Krieger

PROJEKTMANAGEMENT: Anja Trabusch

TITELBILD: © Oerlikon