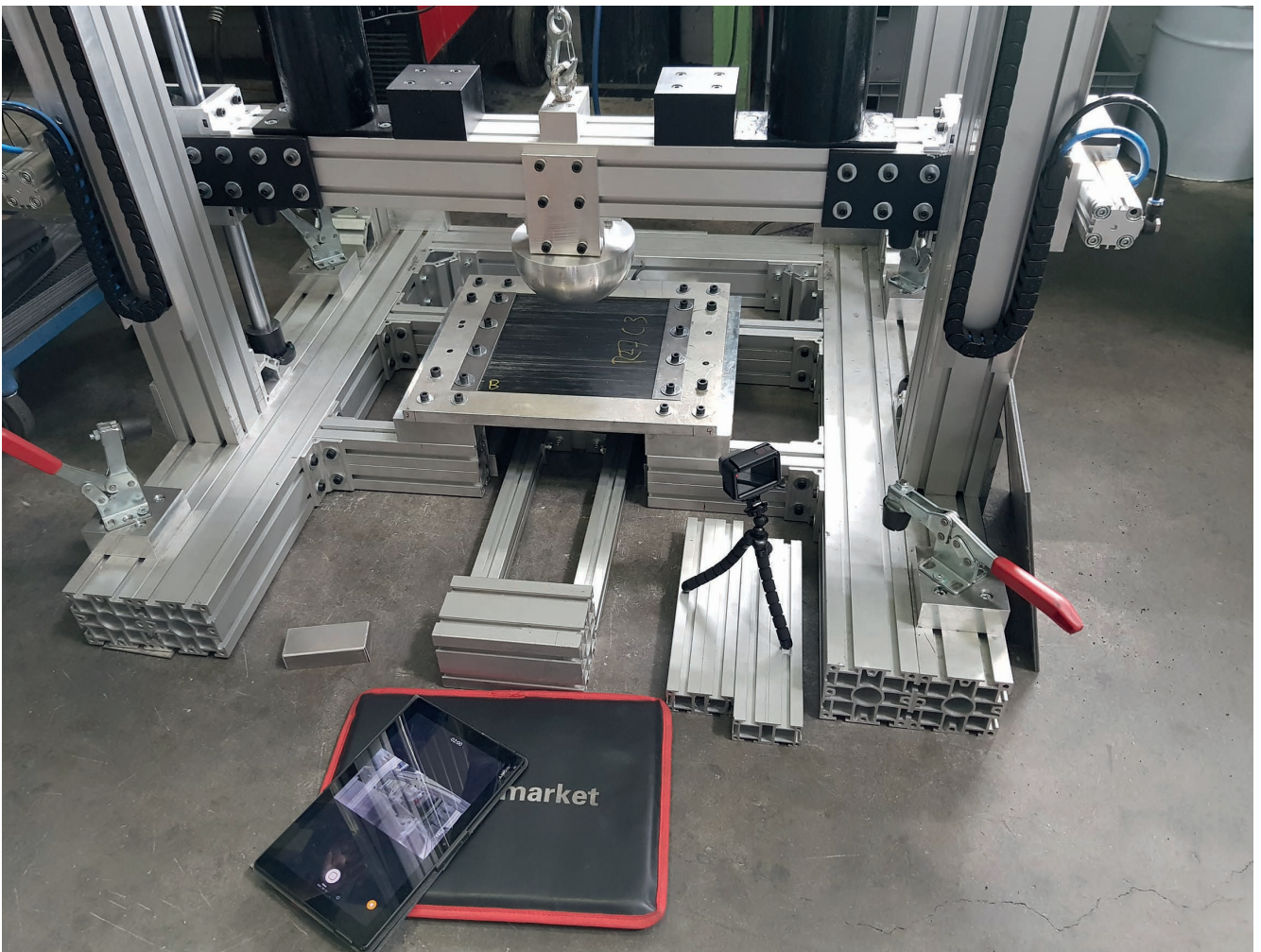


# Polypropylen schlägt Aluminium

## Unterbodenschutz für Batterien von Elektrofahrzeugen

Die Batterien von Elektrofahrzeugen müssen besonders gesichert werden, um Brände zu verhindern. Batterieböden aus Aluminium bieten häufig keinen ausreichenden Schutz. Der Automobilzulieferer ElringKlinger hat deshalb einen Unterbodenschutz aus glasfaserverstärktem PP entwickelt.



Um für den Unterbodenschutz von Elektrofahrzeugen geeignet zu sein, muss ein Material zunächst einen Pollertest bestehen © ElringKlinger

**B**isher werden Batterieböden von Elektrofahrzeugen überwiegend aus Aluminium hergestellt. In letzter Zeit sind jedoch mehrere dieser Fahrzeuge in Brand geraten, nachdem auf der Straße liegende Gegenstände mit hoher Geschwindigkeit gegen diese Batterieböden geschleudert wurden. Die auf Schlagbelastungen mit niedrigen Geschwindigkeiten

ausgelegten Bauteile konnten dieser beschussartigen Belastung nicht standhalten, sodass die Gegenstände die Bauteile durchschlugen und die Batterien beschädigten. Diese begannen daraufhin zu brennen.

Die ElringKlinger AG, Dettingen an der Erms, hat deshalb ein beschussicheres Batteriebodensystem entwickelt. Es

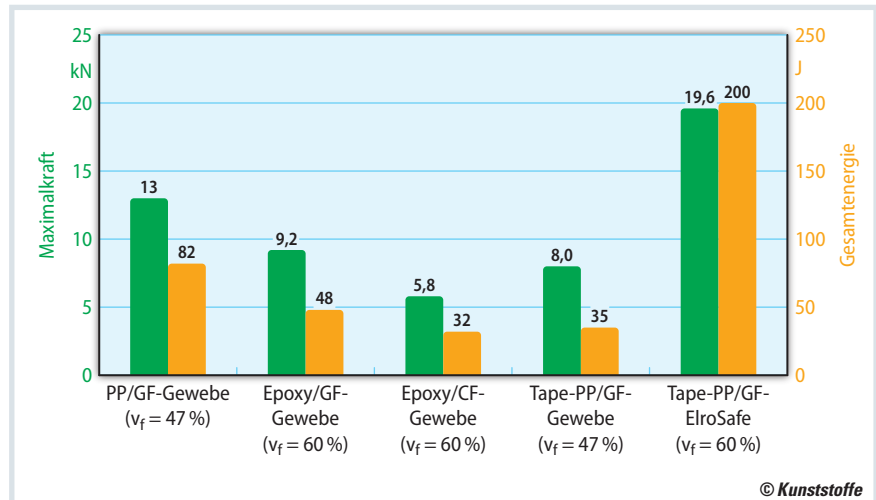
sollte mindestens gewichtsgleich mit einem Bauteil aus Aluminium sein und keine signifikanten Mehrkosten durch den Einsatz von teuren Materialien wie Aramidfasern oder Titan erzeugen. Im Sinne der Nachhaltigkeit war außerdem das Ziel, eine möglichst hohe Rezyklierbarkeit der eingesetzten Werkstoffe und des fertigen Batteriebodens zu erhalten.

Batterieböden von Elektrofahrzeugen sind primär Unterfahrschutzsysteme, die die Batterien vor straßenseitigen Schlagbelastungen schützen. Simuliert wird das in der Entwicklung durch einen Pollertest mit definiertem Energieeintrag. Aus dem zur Verfügung stehenden Bauraum, der Befestigungssituation und dem gewählten Werkstoff ergeben sich die mögliche Bauteildicke, das Gewicht und die Kosten.

Das Verhalten verschiedener Faser-verbundwerkstoffe unter Schlagbelastung wurde bei ElingKlinger anhand des Durchstoßversuchs gemäß der Norm ISO 6603-2 getestet. Untersucht wurden als Matrixsysteme Polypropylen (PP) sowie ein Epoxidharz und als Faserverstärkungen sowohl Glas- als auch Carbonfasern. Die Tests zeigten, dass ein glasfaserverstärktes PP im direkten Vergleich die höchsten Maximalkräfte und Energieaufnahmen aufweist (**Bild 1**). Verantwortlich dafür sind folgende Werkstoffeigenschaften und Mechanismen:

- Duktilität des PP im Unterschied zum spröden Epoxidharz
- Hohe Bruchdehnung der Glasfaser (5 %) im Vergleich zu Kohlenstofffasern (0,5 %)
- Hohe Energieumsetzung durch Faserzug infolge eingeschränkter Haftung von polarer Glasfaseroberfläche zu unpolarem PP

Wie die Ergebnisse zeigen, erreichen Laminataufbauten aus unidirektionalen Tapes (UD-Tapes) die höchsten Kennwerte. Die eigens entwickelten UD-Tapes mit 80 Gew.-% und 60 Vol.-% Glasfaseranteil verfügen nicht nur über eine verbesserte Maximalkraft und Energieaufnahme, sondern auch über eine deutlich erhöhte Steifigkeit. Bisher erhältliche UD-Tapes mit 70 Gew.-% Glasfaseranteil haben einen Zug-E-Modul von ungefähr 34 GPa. Durch die Erhöhung des Fasergehaltes konnte der Wert auf 47 GPa gesteigert werden. Das ist eine Voraussetzung, um ein bauraumgleiches System zu Aluminium zu schaffen. Es reicht allerdings noch



**Bild 1.** UD-Tapes aus PP mit einem hohen Glasfaseranteil kommen auf deutlich höhere Werte als die restlichen getesteten Materialien (Quelle: ElingKlinger)

nicht aus, da der E-Modul von Aluminium mit 70 GPa deutlich höher liegt. Eine Bauraumgleichheit lässt sich somit nur durch eine Steigerung der Struktursteifigkeit des Batteriebodens erreichen.

### Sandwichstruktur mit UD-Tapes

Die technische Lösung besteht aus einer Sandwichstruktur, ElroSafe genannt. Sie benutzt UD-Tapes aufgrund ihrer niedrigeren Dichten als Decklagen und einen Direkt-Longfaserthermoplast (DLFT) als Kernwerkstoff. Dadurch lässt sich mit einer höheren Wanddicke die erforderliche Struktursteifigkeit bei gleichem Flächen-gewicht erreichen. Vergleichsrechnungen und Validierungsversuche zeigen, dass es mit einem 5 mm dicken Sandwich mit jeweils 1,5 mm dicken Decklagen aus UD-Tapes und einem 2 mm dicken Kern aus einem DLFT mit 30 Gew.-% Glasfaseranteil gelingt, Bauraumgleichheit mit einer 3 mm dicken Platte aus Aluminium herzustellen. Als Vergleichsmaterial diente ein Aluminium EN AW-5754 H22. Bauraumgleichheit bedeutet dabei die gleiche Bauteildicke plus die Deformation unter definierter Last.

Geprüft wurde anhand einer anwendungs-nahen Geometrie mit einer freien Biegelänge von 254 mm. In Form eines Normpollers mit 180 mm Durchmesser fallen in dem Aufbau 100 kg aus 85 mm Fallhöhe auf die Testpanels mit einer Größe von 340 mm x 290 mm (**Titelbild**). Das entspricht einem Energieeintrag von 84 J. Gemessen wird die Durchbiegung über der Zeit auf der Unterseite des Testpanels.

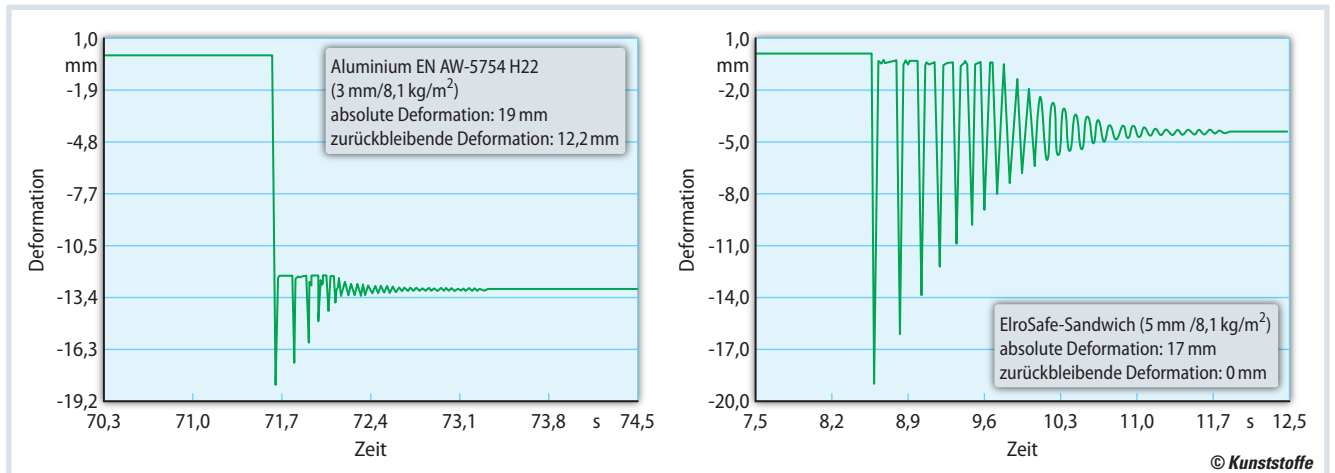
Die **Tabelle** zeigt den Vergleich von Testpanels mit verschiedenen Glasfaseranteilen in den UD-Tapes der Deckschichten und einer 3 mm dicken Aluminiumplatte. Zusammen mit den in **Bild 2** (links Aluminium, rechts ElroSafe) dargestellten Kurven ergeben sich folgende Schlüsse:

- Nur mit einem UD-Tape mit 80 Gew.-% Glasfaseranteil lässt sich Bauraumgleichheit mit Aluminium herstellen.
- Das ElroSafe-Sandwich setzt die eingetragene Energie vollkommen elastisch um. Möglich ist das durch die hohe Zugfestigkeit im Tape von bis zu 1000 MPa und die hohe Bruchdehnung des Verbundes von >2,5 %.
- Die Aluminiumplatte deformiert sich infolge der niedrigen Streckgrenze von ca. 100 MPa plastisch in Form einer bleibenden Beule von 12,2 mm (**Bild 3**).

Es wird davon ausgegangen, dass Schadensereignisse dieser Art und Intensität sehr selten oder nie in einem Fahrzeugleben auftreten. Dennoch wird es bei Fahrten außerhalb asphaltierter Straßen oder bei Bordsteinabfahrten zu Schadensereignissen kommen. Ein Batterieboden aus ElroSafe verhindert bei solchen »

Werkstoff (Decklagen / Aluminiumtype)	Fasergehalt [%]	Deformation [mm]	Wanddicke [mm]	Bauraum [mm]	Bleibende Deformation [mm]
UD-Tape PP/GF	70	19,6	5,0	24,6	0,0
UD-Tape PP/GF	80	16,9	5,0	21,9	0,0
Aluminium (EN AW-5754 H22)	--	18,9	3,0	21,9	12,2

**Tabelle.** Ergebnisse des Pollertests für UD-Tapes mit unterschiedlichen Glasfaseranteilen und einer Aluminiumplatte (Quelle: ElingKlinger)



**Bild 2.** Durchbiegung unter Last (180 mm Durchmesser, 100 kg, 84 J): Im Gegensatz zum Aluminium setzt die PP-Sandwich-Struktur die Energie vollkommen elastisch um (Quelle: ElringKlinger)

Vorkommnissen effektiv Beschädigungen der Batterie. Selbst bei zehnfacher Wiederholung des Pollertests mit einem Energieeintrag von 84 J an demselben Sandwich ist kein bleibender Schaden zu erkennen. Im Anschluss an die Prüfungen wurde die Fallhöhe in einer Art Laststeigerungsversuch schrittweise erhöht. Eine erste sichtbare Schädigung, ein duktiles Versagen auf der Druckseite, tritt bei einer Fallhöhe von 785 mm auf. Bei 735 mm, was einem Energieeintrag von 721 J entspricht, kommt es noch zu keiner Beschädigung. ElroSafe kann somit sehr hohe Belastungen ohne Beschädigung ertragen, benötigt dafür aber zusätzlichen Deformationsraum.

In Anlehnung an die aufgetretenen Batteriebrände aufgrund von überfahrenen Gegenständen wurden im Auftrag eines deutschen Automobilherstellers Beschussversuche durchgeführt. Bei diesen wurden 5 kg schwere Stahlprojekti-

le mit 110 km/h unter einem Aufprallwinkel von 15° auf verschiedene Materialien geschossen. Nur das ElroSafe-Sandwich, in der beschriebenen Gesamtdicke von 5 mm, bestand diesen Test ohne Durchdringung. Es kam lediglich auf der getroffenen Seite zu einer linienförmigen Abschürfung der außen liegenden Glasfasern. In diesem Fall wurde die eingetragene Energie ebenfalls vollständig in eine elastische Deformation umgesetzt.

Bei Unfällen zwischen einem Benzin- oder Dieselfahrzeug und einem Batterie-fahrzeug kann sich ausgelaufener Kraftstoff unter dem Batterie-fahrzeug entzünden. Daher muss sichergestellt werden, dass die Batterien nicht in Brand geraten, bevor die Insassen des Batterie-fahrzeugs gerettet werden. Die Norm ECE180 definiert dafür einen entsprechenden Test. Unter das zu prüfende Bauteil, bzw. einen aussagefähigen Abschnitt davon, wird eine Wanne mit brennendem Benzin mit

einer Flammentemperatur von 700 bis 800 °C geschoben. Sie bleibt dort für 130 s. Während der Beflammung darf das Bauteil seine strukturelle Integrität nicht verlieren. Außerdem darf die Temperatur auf der Innenseite des Bauteils nicht so weit steigen, dass sich die Batterien entzünden.

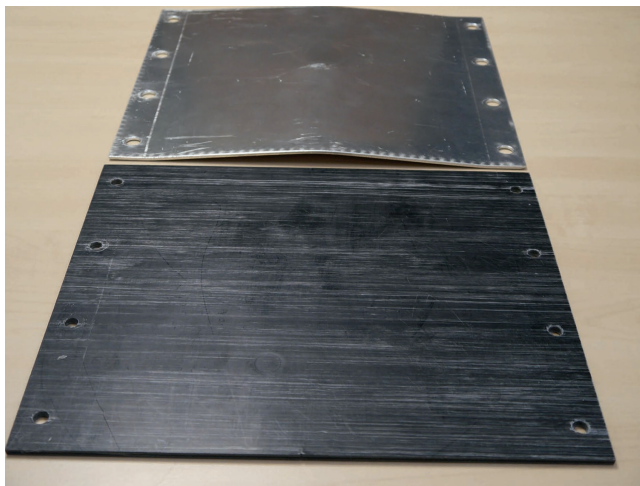
### Unterboden schützt auch gegen Brand

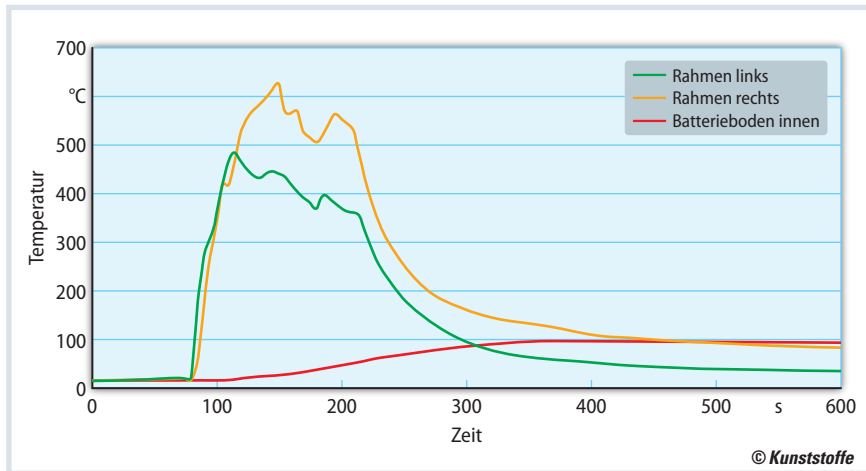
Der Prüfaufbau des Brandtests ist in **Bild 4** zu sehen. Auf eine Platte ElroSafe mit 695 mm x 695 mm wurden umlaufend Aluminium-Profile aufgebracht und damit die Bauweise einer aktuellen Batterie-wanne nachgestellt. Die Wanne ist oben mit einer feuerfesten Gipsplatte verschlossen. Außen an den Profilen wurden zwei Thermo-elemente seitlich angebracht und ein weiteres durch die Gipsplatte bis auf die Innenseite der ElroSafe-Platte geführt.

**Bild 5** zeigt die profilhohen Temperaturverläufe (gelb und grün), die eine Mischtemperatur von Flammen und der Aluminiumprofile darstellen. Die rote Kurve zeigt den Temperaturverlauf auf der Innenseite der ElroSafe-Platte. Infolge der geringen Wärmeleitfähigkeit der thermoplastischen Faserverbundwerkstoffe werden dort nur knapp 100 °C erreicht. Der hohe Fasergehalt bedingt eine extrem dichte Packung der unidirektionalen Glasfasern, weshalb kein Sauerstoff an die tiefer liegenden Schichten gelangen kann. Deswegen brennt nur ein sehr dünner Matrixfilm auf der beflamten Seite ab. Der Gewichtsverlust der Platte betrug lediglich 14 g. »

**Bild 3.** Die Aluminiumplatte hat sich nach dreimaligem Pollertest deutlich um 12,2 mm verformt, die Platte aus ElroSafe wurde hingegen nicht beschädigt

(© ElringKlinger)





**Bild 5.** Temperaturverläufe des Brandtests: An den Aluminiumrahmen (grüne und gelbe Kurve) sind die Temperaturen zu Beginn extrem höher, als das an der ElroSafe-Platte (rote Kurve) der Fall ist (© Warringtonfire)

Der geringe Temperaturanstieg auf der Innenseite der ElroSafe-Platte beim Brandtest zeigt die gute thermische Isolierwirkung von ElroSafe. Da die Batterien nur in einem bestimmten Temperaturbereich optimal arbeiten, müssen sie entsprechend temperiert werden. Vor allem

bei tiefen Außentemperaturen ist dazu eine nicht zu vernachlässigende Menge an Energie nötig. Dieser Energiebedarf fällt umso höher aus, je mehr Energie infolge von Wärmeleitung an die Umgebung verloren geht. Ein Batterieboden aus ElroSafe sorgt für eine deutliche Verbesserung gegenüber einem aus Aluminium mit sehr hoher Wärmeleitfähigkeit, was auch eine höhere Reichweite des Fahrzeugs bewirkt.

## Der Autor

**Harri Dittmar** ist bei ElringKlingler als Consultant im Bereich Global Business Development Lightweight Solutions tätig; harri.dittmar@elringklingler.com

## Dank

Die vorgestellten Ergebnisse sind keine Einzelleistung. Daher an dieser Stelle ein herzliches Danke an das beteiligte Team: Martin Eberhardt (Leiter Entwicklung Presstechnik), Jaroslav Antoschenko und Markus Höfler (Entwicklung Presstechnik), Robert Witzgall (Vorentwicklung Leichtbau) und Julian Kleih und Sebastian Hemmerle (Bauteilberechnung).

## Service

### Literatur & Digitalversion

- Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter [www.kunststoffe.de/2020-03](http://www.kunststoffe.de/2020-03)

### English Version

- Read the English version of the article in our magazine *Kunststoffe international* or at [www.kunststoffe-international.com](http://www.kunststoffe-international.com)

## Beschussichere Batterieböden

Entstehung und Verlauf eines Schallereignisses als Folge einer äußeren Anregung, etwa einen Steinschlag, werden durch die Messung der akustischen Impedanz charakterisiert. Dabei werden die Impulshöhe, also die Lautstärke, und das Abklingverhalten des Impulses über der Zeit gemessen. Auch in diesem Punkt besitzt ein Batterieboden aus ElroSafe große Vorteile gegenüber einem aus Aluminium. Der Schallimpuls ist niedriger und klingt schneller ab. Gerade bei hochklassigen Fahrzeugen ist das von Bedeutung.

Die Tests während der Entwicklung zeigen deutlich, dass sich aus ElroSafe beschussichere Batterieböden herstellen lassen. Neben dem entscheidenden Sicherheitsaspekt zeichnen sich solche Böden auch durch eine sehr gute Alltags-tauglichkeit aus, da kleinere Schlagbelastungen keine dauerhaften Schädigungen hinterlassen. Sie bieten außerdem einen guten Schutz gegenüber Bränden unter dem Fahrzeug und sind sehr gute thermische und akustische Isolatoren. Aufgrund

dieser technischen Vorteile und der geringen Kosten konnten mit dem Material bereits mehrere Entwicklungsprojekte gestartet werden. Die Serieneinführung wird voraussichtlich 2022 oder 2023 erfolgen.

ElroSafe kann außerdem in Leichtbauanwendungen mit thermoplastischen Faserverbundwerkstoffen eingesetzt werden, die bisher an den zu hohen Systemkosten gescheitert sind. Denkbar sind etwa Rücksitzrückenlehnen, Stirnwände und hintere Stoßfängerträger. Die genannten Bauteile erfordern ein zusätzliches Funktionalisieren in Form von Rippen oder Befestigungselementen, was sich durch ein Anpressen aus dem DLFT-Kern heraus oder durch einen nachfolgenden Spritzgießprozess im Presswerkzeug einfach umsetzen lässt.

Die Rohstoffe für ElroSafe sind ausschließlich PP, Glasfasern und gängige Zusatzstoffe, wie Ruß zur Einfärbung, Stabilisatoren und Haftvermittler. Alle Abfallprodukte entlang der Herstellungskette, wie der Randbeschnitt bei der Tapeherstellung, aber auch Ausschussbauteile



**Bild 4.** Bis zu 800 °C muss das Material bei dem Brandtest widerstehen. Dadurch wird sichergestellt, dass die Batterie kein Feuer fängt (© Warringtonfire)

können zerkleinert und anstelle eines Spritzgusskonzentrats bei der Herstellung neuer Bauteile eingesetzt werden. Das Mahlgut wird dabei mit reinem PP auf der Spritzgießmaschine zu einem PP-GF30 oder PP-GF40 abgemischt. Das gewährleistet einen nachhaltigen Rohstoffkreislauf, was im Rahmen zweier Studienarbeiten an der Hochschule Rosenheim validiert wurde [1]. ■