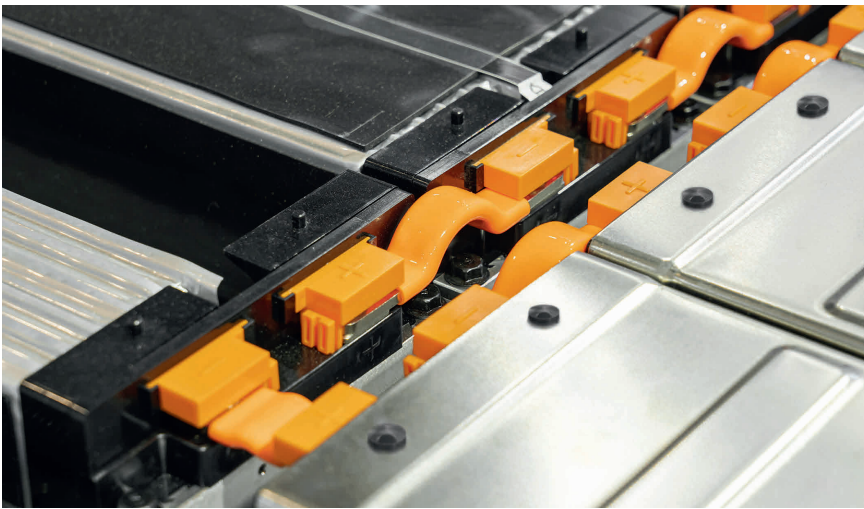


Heißluftnieten für flammhemmende Kunststoffe

Zuverlässige und saubere Verbindung in Elektroautos

Für die Leistungselektronik, Batteriesysteme und Sensorik von Elektrofahrzeugen sind flammhemmende Kunststoffe notwendig, die hohen thermischen und elektrischen Belastungen standhalten. Für sicherheitskritische Bauteile hat sich das Heißluftnieten als prozesssichere Verbindungstechnik etabliert. Ob sich dieses auch für flammgeschützte Kunststoffe eignet, haben BASF und bdtronic gemeinsam untersucht.



Auch für Batterieeinheiten lässt sich das Heißluftnieten verwenden. © bdtronic

Mit der E-Mobilität steigen die Anforderungen an Materialien in sicherheitskritischen Bereichen. Passende flammhemmende Kunststoffe vereinen vier dafür zentrale Eigenschaften: hohe Flammbeständigkeit, elektrische Isolation (hohe CTI-Werte), mechanische Festigkeit und Formstabilität sowie Recyclingfähigkeit.

BASF bietet für diese Anforderungen ein breites Portfolio technischer Kunststoffe wie Polyamid 6 (PA6), Polybutylenterephthalat (PBT) und Polyphthalamid (PPA) an – jeweils in flammhemmenden und nicht-flammhemmenden Varianten. Diese Materialien kommen in einer Vielzahl an Anwendungen in Elektrofahrzeugen zum Einsatz: in Batteriegehäusen für mechanischen Schutz und thermische Sicherheit, in der Leistungselektronik für die Betriebssicherheit durch Isoliereigenschaften, in Steckverbindern und Isolatoren für elektrische Zuverlässigkeit und in thermischen Managementsystemen zum Schutz vor Überhitzung.

Das Heißluftnietverfahren BHS Hot Air von bdtronic bietet eine prozesssichere und verschleißfreie Lösung zur Verbindung hochtemperaturbeständiger, flammhemmender Kunststoffe – insbesondere in anspruchsvollen Anwendungen der Elektromobilität. Dabei werden Kunststoff-Pins gezielt mit Heißluft erwärmt und anschließend umgeformt, sodass stabile Nietköpfe entstehen, die hohe Haltekräfte gewährleisten (**Bild 1**). Besonders bei glasfaserverstärkten Thermoplasten, wie sie in Batterieelektrofahrzeugen (BEV) häufig eingesetzt werden, stellt das Ver-



Bild 1. Nietkopf vor und nach dem Heißluftnieten © BASF

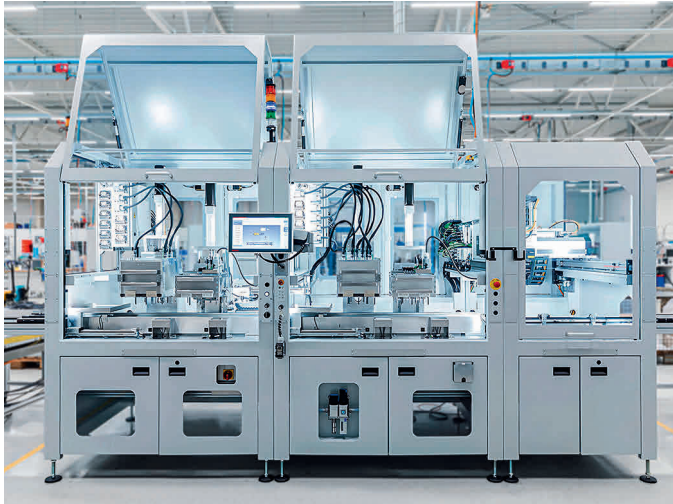
fahren eine zuverlässige Alternative zu herkömmlichen Fügeverfahren dar.

Vorteile des Heißluftnietens für BEV-Komponenten

Die erwähnten Kunststoffe verlangen nach einer Fügeverfahren, die mechanische Festigkeit, elektrische Isolation und thermische Stabilität sicherstellt. Verschrauben und Ultraschallnieten stoßen dabei oft an Grenzen (Versprödung, Spannbildung, geringe Prozesskontrolle). Das BHS-Hot-Air-Verfahren nutzt verschleißfreie Werkzeuge und erlaubt die lückenlose Prozessüberwachung jedes Nietpunkts (**Bild 2**). Sehr wichtig ist das für sicherheitskritische Komponenten wie Fahrerassistenzsysteme, elektronische Steuergeräte und Elektromotoren (**Bild 3**).

Das Verfahren zeichnet sich durch seine Energieeffizienz aus, benötigt verhältnismäßig wenig Luft und Strom und kommt ohne Schrauben aus. Pins werden bereits im Spritzgießen integriert, was die Montage vereinfacht und automatisierbar macht. Dabei entstehen dauerhafte Verbindungen, die nur durch Zerstörung lösbar sind. Gegenüber dem Ultraschallnieten vermeidet das Verfahren Vibrationen sowie Späne und Staub, die Elektronikkomponenten schädigen können. In BEVs wird es etwa in Batteriesteuergeräten eingesetzt, da es für

Bild 2. Vollautomatische BHS-Hot-Air-Anlage mit Prozesskontrolle © bdtronic



gratfreie Nietköpfe unabhängig von der Pinhöhe sorgt und somit technische Sauberkeit sowie Produktqualität sicherstellt.

Serienfertigung mit hoher Prozesssicherheit

Der Hersteller bdtronic begleitet Kunden von der Bauteilentwicklung bis zur Prozessoptimierung, empfiehlt Nietgeometrien und Prozessparameter und schafft auf diese Weise die Basis für wirtschaftliche Serienfertigung mit hoher Prozesssicherheit und geringen Gesamtbetriebskosten (TCO). Der Automobilzulieferer Aumovio nutzt beispielsweise weltweit das Heißnieten bei Sicherheitssensoren. Vorteile sind dem Unternehmen zufolge die Anpassungsfähigkeit an die Materialien, Toleranzen und Pinvolumina. „Bei unseren Sicherheitssensoren nutzen wir das Heißnieten und setzen Maschinen von bdtronic weltweit ein, um kundenspezifische Varianten flexibel zu fertigen. bdtronic ermöglicht die Anpassung an neue Materialien, Toleranzen und unterschiedliche Pin-Volumina und ist ein starker Partner von der Design- und Prozessentwicklung bis hin zur Serienfertigung“, berichtet Christian Braun, Senior Expert Operations and Technology Excellence bei Aumovio. Die Technologie liefert formschlüssige, leichte Verbindungen ohne Schrauben und reduziert den Ausschuss sowie die Betriebskosten. Die Anlagen von bdtronic werden in Deutschland nach europäischen Normen gefertigt.

Um die Eignung des Heißluftnietens auch für flammhemmende Kunststoffe zu prüfen, haben BASF und bdtronic im Technologiezentrum des Maschinenherstellers Materialien getestet und deren

mechanische Eigenschaften – insbesondere die erzielbaren Zugkräfte – analysiert (**Bild 4**). Folgende Materialien wurden untersucht (**Tabelle**):

- Ultradur B4331G6 HR: hydrolysestabilisiertes PBT, das sich für Steckverbinder

und Gehäuse eignet. Es erfüllt USCAR-Tests, bietet eine gute elektrische Isolation und eine hohe Spannungsfestigkeit.

- Ultradur B4450 G5: halogenfreies PBT, das UL94 V-0 ab 1,5 mm erreicht. Geeignet ist es für sicherheitskritische, dickwandige Bauteile. Die Formulierung des Materials ist für dünnwandige Teile optimiert, bietet aber auch bei dickwandigen Varianten wirtschaftliche Vorteile.
- Ultramid A3U44G6 DC und B3U42G6 DC: orange gefärbte PA66- und PA6-Typen für hochbelastete Hochspannungsanwendungen, die CTI 600 erreichen und auch nach thermischer Alterung weiterhin kriechstromfest und farbbeständig sind.
- Ultramid B3UGM210: wärmeleitfähiges PA6 (bis 1 W/mK) für Anwendungen mit hohem Wärmeaufkommen, etwa Beleuchtungen und Steuergehäuse.

Zusätzlich stehen weitere Materiallösungen auf Basis von PA6T/66, PA6T/6/I und PA9T zur Verfügung, die gezielt auf die



Bild 3. Vernietung von Leiterplatten mit dem BHS-Hot-Air-Verfahren © bdtronic

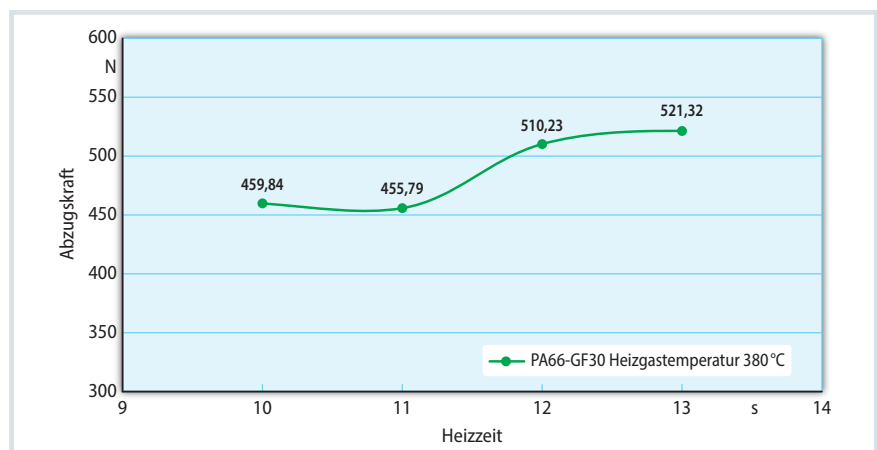


Bild 4. Erreichte Abzugskraft eines Nietpins mit dem Material Ultramid A3EG6 von BASF abhängig von der Heizzeit beim Nietvorgang Quelle: BASF; Grafik: © Hanser



Bild 5. Vernietete Leiterplatte in einer Battery Disconnect Unit © BASF

Anforderungen der Elektromobilität abgestimmt sind – mit Fokus auf Sicherheit, thermische Stabilität und Nachhaltigkeit.

Welche Kunststoffe eignen sich für das Heißnieten?

Alle getesteten Materialien lassen sich mit dem BHS-Hot-Air-Verfahren prozesssicher und zuverlässig verarbeiten. Die erzielten Nietverbindungen zeigen hohe Festigkeiten und technische Sauberkeit, weshalb die Materialien uneingeschränkt für das Heißluftnieten geeignet sind. Die Abzugskräfte können abhängig von der Nietdauer und Temperatur optimiert werden.

In einem Kundenprojekt wurde ein hydrolysestabilisiertes PBT für das Gehäuse eines Radarsensors eingesetzt. Abschirmblech, Leiterplatte und das Radom werden im Heißluftnietverfahren verbunden. Zunächst war eine Schraubverbindung geplant. Aufgrund der gewünschten technischen Sauberkeit und der Kosten wählte der Kunde das Nietverfahren. Die Nietpunktanordnung folgt Richtlinien von

bdtronic. Diese sehen vier Nietpunkte in den Gehäuseecken, ausgeführt direkt nach dem Aufbringen der Flüssigdichtung, vor. Während der ca. 24-stündigen Aushärtung darf die Temperatur 80 °C nicht überschreiten. Eine Simulation bei bdtronic bestätigte das. In Lebensdauertests nach üblichen Normen konnten alle Anforderungen erfüllt werden. Besonders effizient ist die Prozessintegration: Die Baugruppe wird so transportiert, dass die Nietpins unten liegen und gegen die Schwerkraft vernietet wird, wodurch ein Wenden entfällt und die Taktzeit von 15 s eingehalten werden kann.

kompakten Station mit mehreren Werkzeugen verarbeitet werden. Material und Verfahren werden auch in kompakten Leistungselektronikmodulen (DC-Wandler, Ladegeräte und Wechselrichter) eingesetzt.

Kombination mit PUR-Dichtungen

Eine denkbare Alternative zu Verschraubungen und Ersatz für das Laserschweißen von hochgefüllten Produkten mit schlechter Lasertransparenz ist eine Kombination von Heißnieten und geschäumter PUR-Dichtung. Vorteile des Verfahrens wären:

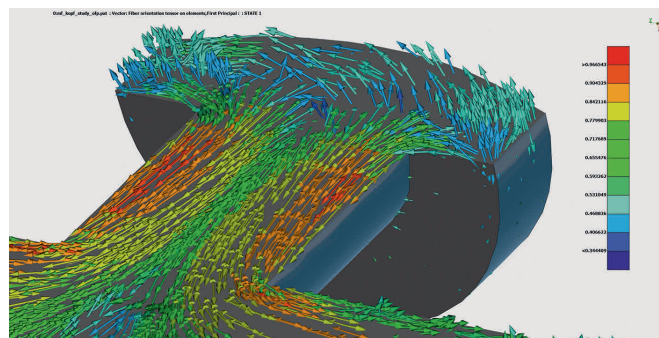


Bild 6. Berechnete Faserorientierung © BASF

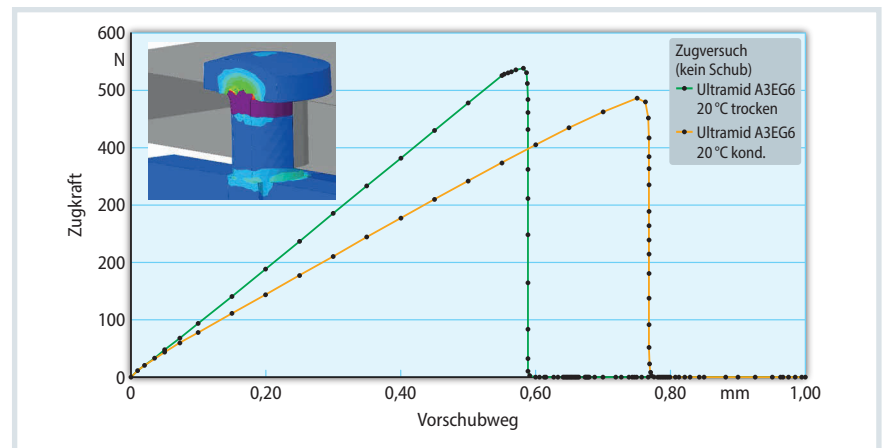


Bild 7. Berechneter Kraft-Weg-Verlauf in Richtung 0° (reiner Zug) Quelle: BASF; Grafik: © Hanser

Vorteile auf einen Blick

- Brandschutz und elektrische Isolation (hohe CTI-Werte)
- mechanische und thermische Stabilität bei glasfaserverstärkten Kunststoffen
- vibrationsfreie Nietverbindungen ohne Späne- und Gratbildung
- automatisierbar und energieeffizient (Pins im Spritzgießen, geringer Energiebedarf)
- serienreif
- reduzierte Ausschussraten

In einem weiteren Projekt wurden Stromschiene an einem Schaltring für den Stator eines Elektromotors befestigt. Ein erschwerender Faktor ist der begrenzte Platz für die Nietgeometrie bei hoher mechanischer Belastung. Ziel war es eine Haltekraft von ≥ 300 N pro Nietpunkt bei < 30 s Taktzeit zu gewährleisten. Von bdtronic wurde eine Simulation zur Optimierung von Pindurchmesser und Material durchgeführt. Mit Ultramid A3EG6 von BASF und einem Pindurchmesser von 3 mm wurden knapp 500 N Haltekraft erreicht. Anzahl und Anordnung der Nietpunkte wurden so angepasst, dass alle Verbindungen in einer

- Kosteneinsparung durch Wegfall zusätzlicher Verbindungselemente
 - verbesserte Abdichtung gegen Staub, Feuchtigkeit und Umwelteinflüsse
 - erhöhte Haltbarkeit durch belastbare, dauerhafte Verbindungen
 - hohe Flexibilität bei Materialauswahl und Bauteilgeometrie – auch für hybride Strukturen aus Kunststoff und Metall.
- Die Technologie eignet sich für viele Anwendungen – von kompakten Elektronikkomponenten bis hin zu großvolumigen Automobilbauteilen (**Bild 5**).

BASF bietet mit Ultrasim ein leistungsfähiges Simulationswerkzeug zur Bauteil-

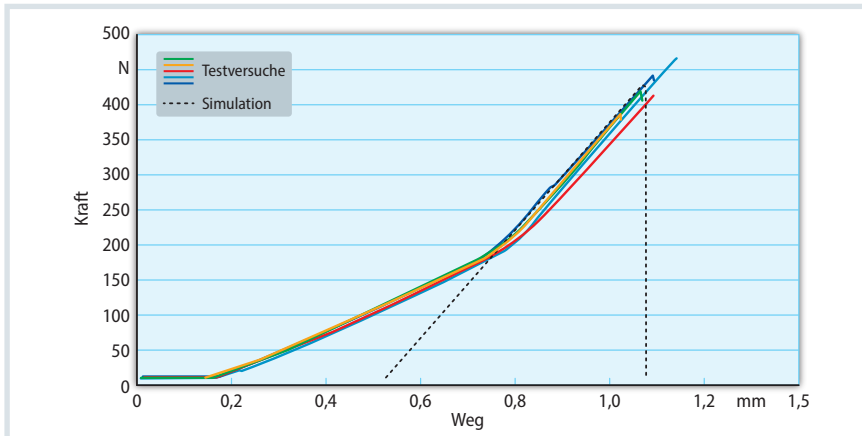


Bild 8. Gemessener Kraft-Weg-Verlauf in Richtung 0° (reiner Zug) Quelle: BASF; Grafik: © Hanser

Kurzzeichen	Hersteller	Handelsname	Farbe	Verarbeitung im BHS-Hot-Air-Verfahren
PBT-I-GF30	BASF	Ultradur B4331 G6 HR	orange	+
PBT-GF25 FR(17)	BASF	Ultradur B4450 G5 HR	orange	+
PA66-Blend GF30 FR(40)	BASF	Ultramid A3U44G6 DC	orange	+
PA6T/66 GF30 FR(40)	BASF	Ultramid T2340 G6 LS	schwarz	+
PA6-(GF10+M50) FR(61)	BASF	Ultramid B3UGM210 LS	schwarz	+
PA9T-GF30 FR(40)	BASF	Ultramid Advanced N3U42G6 LS	schwarz	+
PA66-GF30	BASF	Ultramid A3EG6	schwarz	+

Tabelle. Überblick über die in der Untersuchung getesteten Produkte Quelle: bdtronic

auslegung von Hochleistungskunststoffkomponenten. Das Tool prognostiziert präzise statische und dynamische mechanische Belastungen und ist besonders nützlich für anspruchsvolle Anwendungen wie sie in BEVs und autonomen Fahrzeugen häufig vorkommen. Kernvorteil ist die integrative Simulation: Faserorientierungen aus dem Spritzgießen (Anisotropie) werden homogenisiert und liefern richtungsabhängige Materialdaten an jedem Integrationspunkt eines FE-Modells. Auf diese Weise lassen sich Versagensmechanismen unter komplexen Lasten sehr präzise vorhersagen. Die Methodik umfasst inzwischen gekoppelte Feldprobleme (thermische Ausdehnung, Feuchteaufnahme, Ermüdung) und erlaubt in Verbindung mit Optimierungsverfahren die gezielte Auslegung von Bauteilen hinsichtlich Belastung, Lebensdauer und Fertigungsanforderungen.

Ultrasim lässt sich auch für die Auslegung von Heißluftnietverbindungen nutzen. Dabei bestehen vor allem zwei Herausforderungen. Nietverbindungen sind punktförmig und in der Simulation ohne ein 1D-Ersatzmodell aufwendig in der Modellierung. Zudem fehlen Materialdaten für den umgeformten Nietkunst-

stoff. Klassische Zugversuche liefern nur Daten für eine Belastungsrichtung, reichen also nicht für Aussagen zur Haltbarkeit unter unterschiedlichen Winkelbelastungen. Wünschenswert wäre eine winkelabhängige Versagensbeschreibung, idealerweise als benutzerdefiniertes Element.

Gute Übereinstimmung zwischen Experiment und Simulation

BASF und bdtronic führten deshalb einen Vergleich von Experiment und Simulation durch. Zentrales Ergebnis: Die durch Umformung erzeugte Faserorientierung im Schaft und Kopf des Niets ist entscheidend, aber schwer zu erfassen. Für die erste Simulation wird daher eine berechnete Faserorientierung angesetzt (**Bild 6**).

Der Vergleich von Experiment und Simulation zeigt gute Übereinstimmung, wenn die Nachgiebigkeiten im Messaufbau außen vor bleiben (**Bild 7 und 8**). Extrapoliert man mit der Steigung des letzten Abschnitts auf die Abszisse, dann ergibt sich näherungsweise der gleiche Kraft-Weg-Verlauf wie in der Simulation. Trotz eingeschränkter Genauigkeit erlaubt dieser Ansatz vorläufige simulatorische Aussagen

zur Tragfähigkeit genieteteter Verbindungen in Zugrichtung. Für eine belastungswinkelabhängige Versagenskurve sind jedoch weitere Untersuchungen notwendig. Dafür müssen quantitative Analysen der verbleibenden Kraftdifferenzen und ergänzende Prüfungen unter gemischten Zug- und Scherbedingungen zur experimentellen Validierung der werkstofflichen Beschreibung durchgeführt werden.

Fazit und Ausblick

Die Kombination von flammhemmenden BASF-Kunststoffen und dem Heißluftnietverfahren BHS Hot Air von bdtronic stellt eine zuverlässige, wirtschaftliche und prozesssichere Lösung für komplexe Kunststoffverbindungen in der Elektromobilität dar. Getestete Materialien erfüllen Anforderungen an Festigkeit, elektrische Isolation und thermische Stabilität und sind reproduzierbar sowie sauber verarbeitbar. Die enge Verzahnung von Material und Prozesstechnik ermöglicht gezielte Bauteiloptimierungen bereits in der Entwicklung. Ultrasim-Simulationen sichern Nietverbindungen ab und ermöglichen Optimierungen bei der Anzahl, Position und Geometrie der Pins. Nächste Schritte sind Tests an prototypischen Geometrien mit definierten Massen- und Lastprofilen, um die Grundlage für robuste, recyclinggerechte und wirtschaftliche Serienlösungen zu schaffen. ■

Info

Text

Anastasia Gerdt ist Prozessspezialistin Heißnieten bei bdtronic.

Anton Jäger arbeitet als Prozessspezialist Heißnieten bei bdtronic.

Regina Körner ist Teamlead Marketing bei bdtronic.

Yvonne Fischer arbeitet als Global Sales Director GB Plasma & Heißnieten bei bdtronic.

Xaver Hopfenspirger ist Kundenmanager Technische Entwicklung bei BASF.

Thomas Hohenstein arbeitet als Simulationsexperte Ultrasim bei BASF.

Patrick Frey ist Marketingmanager bei BASF.

Service

Weitere Informationen unter

www.basf.com

www.bdtronic.com