

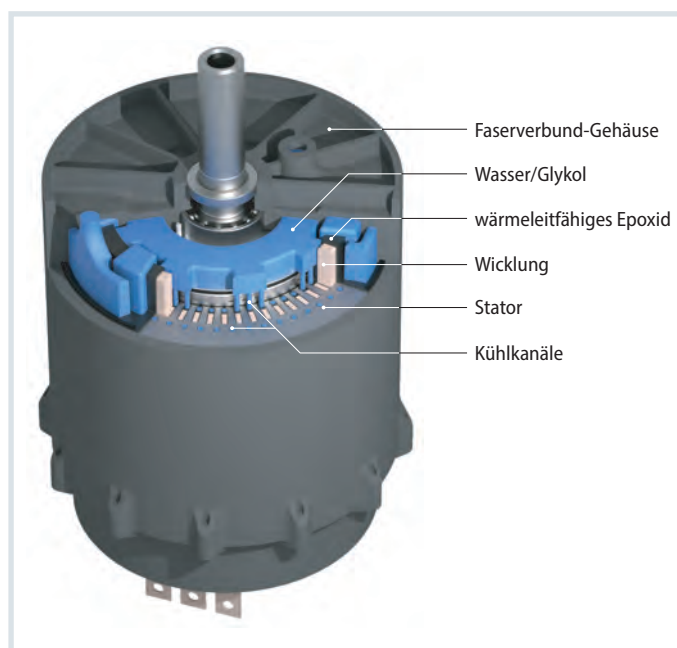
Kosteneffiziente Performancesteigerung von Elektromotoren und Batterien durch Kunststoff

Duroplastische Formmassen als Multitalent in der Elektromobilität

Duroplaste bieten dank hervorragender Eigenschaften in elektrischer Isolation und mechanischer Integrität vielversprechende Ansätze für leistungssteigernde Kühllösungen in elektrischen Antrieben. Erhöhte Funktionsintegration ermöglicht dabei eine optimale thermische Anbindung auf engstem Bauraum. Gleichzeitig können Anwender Leichtbaupotenziale erschließen und Sicherheitsanforderungen zuverlässig erfüllen.

PerKuel: „Performerter ressourcenschonender Kunststoff Elektromotor“ mit innen liegender Kühlung und Faserverbund-Gehäuse.

© Fraunhofer ICT



schonender Kunststoff Elektromotor“ wurde ein neuartiger wassergekühlter Elektromotor mit hoher Dauerleistungsdichte entwickelt (**Titelbild**). Die Wassermantelkühlung mit Aluminiumgehäuse, dessen energieintensive Herstellung ein hohes Treibhausgaspotenzial (Global Warming Potential, GWP) bedeutet, wird durch eine ressourcenschonende Faserverbund-Lösung ersetzt, wobei gleichzeitig die Kühlleistung verbessert wird [1].

Dies ist möglich, indem der Stator inklusive Hairpin-Wicklung im Transfer-Molding mit einem hoch wärmeleitfähigem Epoxid umspritzt wird (Typ: Sumikon A730E; Hersteller: Sumitomo Bakelite Europe (Ghent) NV). Einfache Formkerne bilden nun innen liegende Kühlkanäle direkt an den Verlustquellen des Motors. Die dünnwandige Epoxidschicht sichert die elektrische Isolation zwischen Kühlkanal und Kupferleitern, während eine relativ hohe Wärmeleitfähigkeit von $\lambda = 3 \text{ W/(m·K)}$ für eine sehr gute Wärmeabfuhr sorgt.

Die Kühlkanäle in der Stator-Nut und im Stator-Joch werden durch die Montage mit einem Phenolharz-Faserverbund-Gehäuse stirnseitig verschaltet und mit einer Wasser-Glykol-Mischung (50/50) als Kühlmedium durchströmt. Zusätzlich wird die Kühlfläche entlang der umspritzten Wickelköpfe in das Kühlkonzept integriert. Als Folge ist der PerKuel-Motor in der Lage, bei gleichem Bauraum 40% mehr Drehmoment zu liefern als der Referenzmotor mit Kühlhülse aus Aluminium, und erzielt eine um 65% höhere Dauerleistung, bevor er die Temperaturgrenzen erreicht (**Bild 1**).

Die homogene Kühlmittelverteilung wird durch eine komplexe Verteilstruktur im Gehäuse sichergestellt, die sich dank

Die Automobilbranche steht unter starkem Druck, elektrische Antriebe effizienter, kompakter und kostengünstiger zu gestalten. Dies erfordert funktionalisierte Leichtbaulösungen mit verbessertem Thermomanagement für hohe Leistungsdichten in Elektromotoren und Batterien. Außerdem nehmen mit steigender Spannung und Energiedichte die Herausforderungen an die Sicherheit zu. Duroplastischen Formmassen wohnt diesbezüglich ein großes Anwendungspotenzial inne, weil sie viele Eigenschaften in einem Materialsystem vereinen. Sie sind sehr gut zu verarbeiten und können über lange Fließwege für dünnwandige und komplexe Geometrien eingesetzt werden. In etablierten, serienfähigen Fertigungsverfahren wie Spritzgießen und Transfer-Molding lassen sich damit integrierte Bauteilkonzepte um-

setzen, die sowohl die Leistungsfähigkeit elektrischer Komponenten verbessern als auch den Materialeinsatz, Bauraum und Montageaufwand reduzieren.

Stator-Umspritzung für innen liegende Kühlung

Das Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT überträgt in aktuellen Forschungsprojekten die Kernkompetenzen des Polymer Engineerings strategisch auf neue Antriebstechnologien. Im Vordergrund stehen dabei einerseits wärmeleitfähige Epoxidharze, um Kühlkonzepte durch das Umspritzen elektrischer Leiter zu verbessern, und andererseits Phenolharze, um mechanisch robuste und feuerfeste Leichtbau-Gehäusestrukturen zu erzielen. Im Forschungsvorhaben „PerKuel – Performanter Ressourcen-

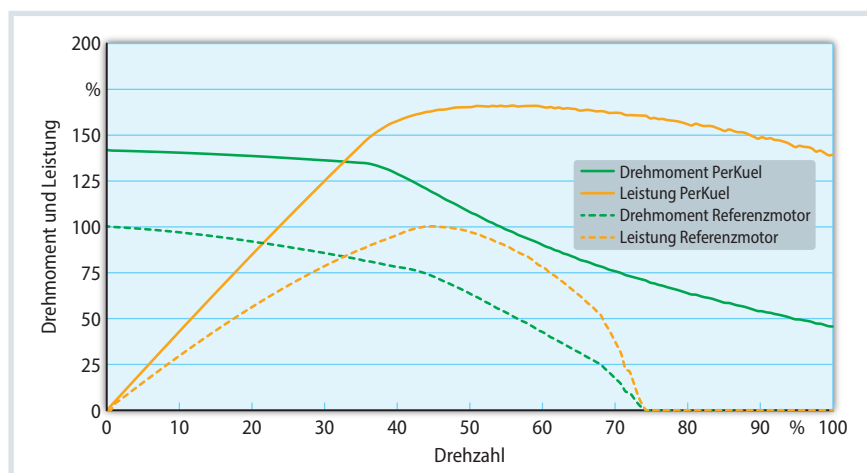


Bild 1. Drehmoment und Leistung über der Drehzahl: Der PerKuel-Elektromotor im Vergleich zum Referenzmotor mit Kühlhülse. Quelle: Fraunhofer ICT; Grafik: © Hanser

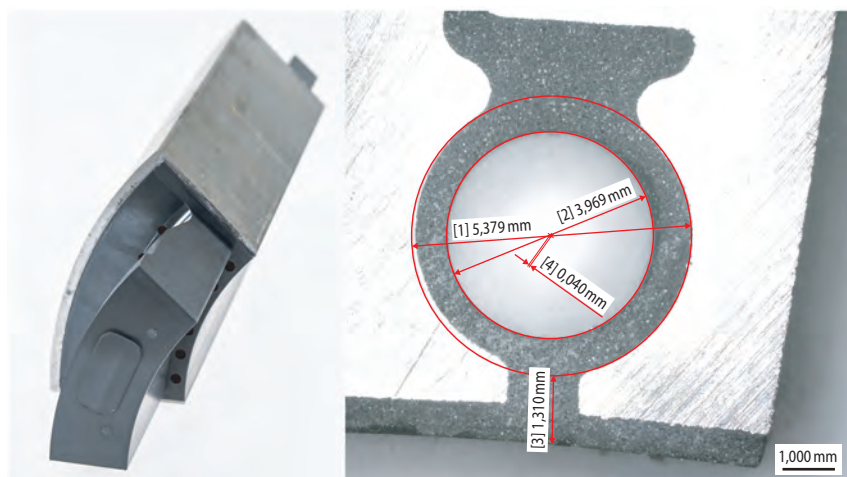


Bild 2. Umspritztes PerKuel-Motorteilsegment und Schliffbild mit Kühlkanal: [1] Durchmesser Stator-Nut; [2] Durchmesser Kühlkanal; [3] größte Wanddicke zum Luftspalt; [4] Abstand Mittelpunkt Nut/Kühlkanal © Fraunhofer ICT

der Gestaltungsfreiheit von Duroplasten direkt werkzeugfallend im Spritzgießverfahren herstellen lässt. Weiterhin dient die Umspritzung des Stators als mechanische Trägerstruktur, das heißt: In der Fertigung entfällt die zeitintensive Träufel-impregnierung der Wicklung. Auf diese Weise kombiniert das Konzept mehrere Funktionen in weniger Fertigungsschritten und verringert die Taktzeiten.

Nut-Umspritzung zur Isolation

Um die Kühlleistung weiter zu verbessern, kann das herkömmliche Isolationspapier mit seiner niedrigen Wärmeleitfähigkeit durch eine dünnwandige, im Transfer-Molding gefertigte Isolationsumspritzung ersetzt werden [2]. Dadurch entfallen das kostenintensive Falten und Einlegen des Papiers, außerdem können thermische

Vorteile genutzt werden. Die anschließend eingesetzte Hairpin-Wicklung wird für einen wassergekühlten Motor in einem zweiten Prozess mit einem günstigeren Material mit geringerer Wärmeleitfähigkeit umspritzt. Insbesondere für ölgekühlte Maschinen, wie sie immer häufiger auf dem Markt für performante Antriebe zu finden sind, bietet die Nut-Umspritzung allein mit einem hoch wärmeleitfähigen Epoxid einen vielversprechenden Ansatz, weil sie das Isolationspapier ersetzt und gleichzeitig den Rotorspalt abdichtet. Das Öl kann dann auf die Wicklung gespritzt und durch die Nut geführt werden, während der Rotor trotzdem trocken und verlustarm läuft.

Für eine kosteneffiziente Designanalyse am Fraunhofer ICT und einen Dichtigkeitsnachweis der Kühlkanäle wurden Teilsegmente umspritzt, die ein Achtel

des Motordesigns abbilden (**Bild 2**). Weiterhin wurden Versuche mit Einzelnut für die Nut-Isolation durchgeführt, um die Fertigungsgrenzen zu analysieren. Hierbei können Bauteile mit einer minimalen Wanddicke von 0,3 mm über eine Bauteillänge von 200 mm realisiert werden (**Bild 3**). Die Bauteile wurden auf der Transferpresse des Fraunhofer ICT gefertigt (Typ: DH 100; Hersteller: Boyke Technology).

Brandschutz in Traktionsbatterien

Duromere Formmassen ermöglichen es dank vielseitiger Materialvorteile, spezifische Herausforderungen elektrischer Antriebe zu bewältigen. Außer der Anwendung im Elektromotor, mit der eine funktionsintegrierte Wasserkühlung ermöglicht wird, erschließen sich auch im Bereich von Traktionsbatterien große Potenziale. Zusammen mit dem Hersteller duroplastischer Formmassen und Verbundwerkstoffe Sumitomo Bakelite Europe hat das Fraunhofer ICT das „Composite Battery Module“, ein Konzept für ein Batteriegehäuse mit Kunststoffeinsatz, entwickelt. In dem Projekt wurden bekannte Gehäusekonstruktionen für Batteriemodule in Elektrofahrzeugen evaluiert und Konstruktionsmethoden erforscht, um alle Vorteile von Verbundwerkstoffen auszunutzen und herauszustellen. Es wurde ein Prototyp hergestellt, um die Herstellmethode, das Kühlpotenzial und eine erweiterte Beständigkeit

Info

Text

Christian Stemmler, M.Sc., ist am Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT in Pfinztal im Bereich Polymer Engineering tätig und beschäftigt sich mit der Entwicklung elektrischer Motoren mit hoher Leistungsdichte und Verbundwerkstoffen für den Leichtbau; christian.stemmler@ict.fraunhofer.de
Leonard John, M.Sc., beschäftigt sich am Fraunhofer ICT im Bereich Angewandte Elektrochemie mit der Erforschung fortschrittlicher Batteriegehäuse; leonard.john@ict.fraunhofer.de

Literatur

Das Literaturverzeichnis finden Sie unter www.kunststoffe.de/onlinearchiv

Bild 3. Nut-Isolation mit Kantenschutz (links), Formkern (Mitte) und Nut-Querschnitt (rechts).

© Fraunhofer ICT

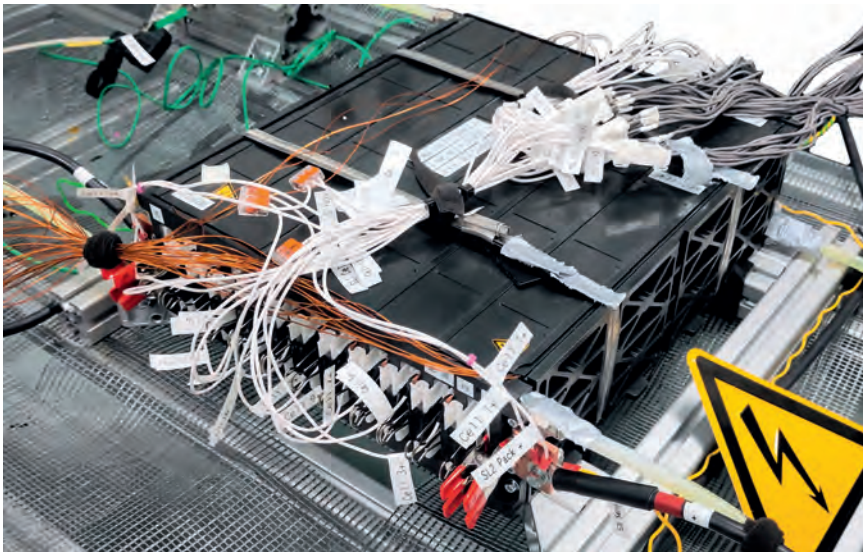
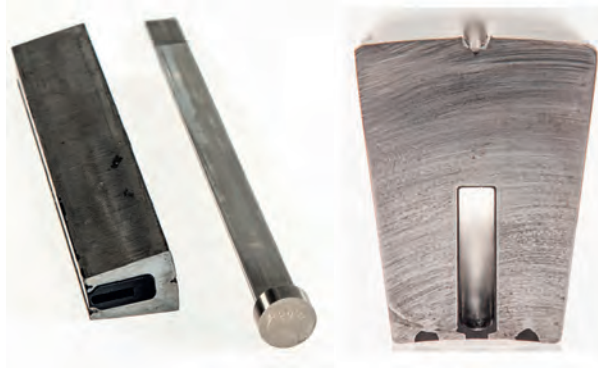


Bild 4. „Composite Battery Module“-Prototyp auf dem Prüfstand für thermische Untersuchungen.

© Fraunhofer ICT

gegenüber thermischem Durchgehen [3] zu verifizieren (**Bild 4**).

Im Design des Moduls werden einzelne Stacks aus vier Zellen von einer temperaturbeständigen C-förmigen Gehäuse-schale (Trennwand und zwei Seitenwände) auf Phenolharzbasis umschlossen. Durch Stapelung dieser Zellpacks wird das in mehrere Kammern unterteilte Modul aufgebaut (**Bild 5**). Der Phenolharz-Verbundwerkstoff (Typ: Vyncolit X655FR; Hersteller: Sumitomo Bakelite Europe) hält Temperaturen einer 2,2-kW-Flamme über zehn Minuten stand (betroffener Bereich $d = 25 \text{ mm}$). Im Fall des thermischen Durchgehens einer Zelle verhindern die Trennwände, dass brennende Gase in die angrenzenden Kammern gelangen.

Ein Entlüftungssystem, das im Batteriegehäuse an den Stirnseiten der Pouch-Zellen integriert wurde, führt entstehende Gase gezielt ab. Bei erhöhtem Druck öffnet das Gas dedizierte Sollbruchstellen in der Berstventil-Platte, die an der Kühlplatte integriert ist. Das Gas wird sicher

in den Ventingkanal abgeleitet, abgeschottet von den übrigen Zell-Stacks. Sowohl die Berstventil-Platte (Typ: Porophen GF7200L12; Hersteller: Sumitomo Bakelite Europe) als auch die Ventingkanal-Abdeckung (Typ: Vyncolit X655FR) bestehen aus Phenolharz. Die Gehäusestruktur des Moduls bietet eine serienfä-

hige, vor Brand schützende Leichtbaulösung, die auch für moderne Batteriezellen neue Möglichkeiten des Entlüftungsmanagements bietet und so zu einem „no TP“-Design (keine Zelle-zu-Zelle-Brand-Propagation) beiträgt.

Kühlkonzept für Zell-Ableiter

Kühlplatten am Batterieboden sind aufgrund des einfachen Designs für die Kühlung von Pouch-Zellen bis dato in konventionellen metallbasierten Gehäusen eine weit verbreitete Technologie. Das am Motor beschriebene Konzept einer innen liegenden Kühlung wurde für dieses Projekt aufgegriffen und nutzt den Bauraum direkt an den Batterietabs für eine Integration von zusätzlichen Kühlkanälen in der Traktionsbatterie. Die integrierte Kontakt- und Kühlplatte (Integrated Connection and Cooling Plate, ICCP) verbindet durch gemeinsame Umspritzung im Transfer-Molding-Prozess ein mäandrierendes Kühlrohr aus Aluminium entlang der Zell-Ableiter mit den Stromschienen (**Bild 6**). Die freibleibenden Oberflächen der Stromschienen werden mit den Zell-Ableitern kontaktiert.

Das Umspritzen wurde mit dem Epoxidharz-basierten-Verbundwerkstoff (Typ: Sumikon EME-G720E; Hersteller: Sumitomo Bakelite Europe) mit einer Wärmeleitfähigkeit von $\lambda = 0,9 \text{ W/(m·K)}$ und einer Wanddicke von $0,35 \text{ mm}$ umgesetzt. Dieser Werkstoff gewährleistet eine robuste Isolation und erreicht eine gute thermische Anbindung. Die Bauteile wurden durch Sumitomo Bakelite Europe auf einer Transferpresse gefertigt (Typ: UVK025; Hersteller: Maschinenfabrik Lauffer).

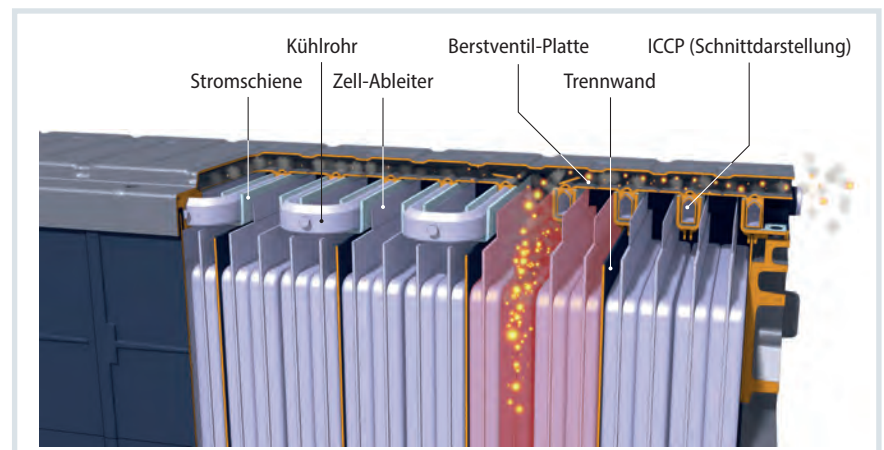


Bild 5. Schnittdarstellung des Moduls mit Bezeichnung der Komponenten. © Fraunhofer ICT



Bild 6. Umspritzte ICCP (Integrated Connection and Cooling Plate, links) und Schnittansicht durch eine umspritzte Stromschiene inklusive Kühlrohr. © Fraunhofer ICT

Dieses Kühlsystem kann zusätzlich zu Kühlstrukturen im Wannenboden installiert werden. In Versuchen konnte ein „Cell Cooling Coefficient“ (Zellkühlkoeffizient) nach [4] von 0,127 W/K beobachtet werden. Zusätzlich wird eine homo-

gene Temperaturverteilung über die Zellen erreicht. Dies ermöglicht bei kompakter Bauweise höhere Lade- und Entladeraten und kann die Zellalterung verlangsamen. Insgesamt erreicht das Leichtbau-Design mit Verbundwerk-

stoffen eine hohe Energiedichte von 250 Wh/kg auf Modulebene (mit 300-Wh/kg-Zellen).

Fazit

Der Einsatz duroplastischer Formmassen eröffnet in der Elektromobilität neue Wege, um Leistungsfähigkeit, Sicherheit und Wirtschaftlichkeit gleichzeitig zu steigern. Die Kombination aus hoher thermischer Stabilität, elektrischer Isolation und großer Gestaltungsfreiheit ermöglicht innovative, funktionsintegrierte Lösungen für verschiedene Antriebskomponenten. Damit leistet die Integration von Designs mit Duromeren einen entscheidenden Beitrag zur nächsten Generation leistungsdichter und kosteneffizienter elektrischer Antriebssysteme. ■