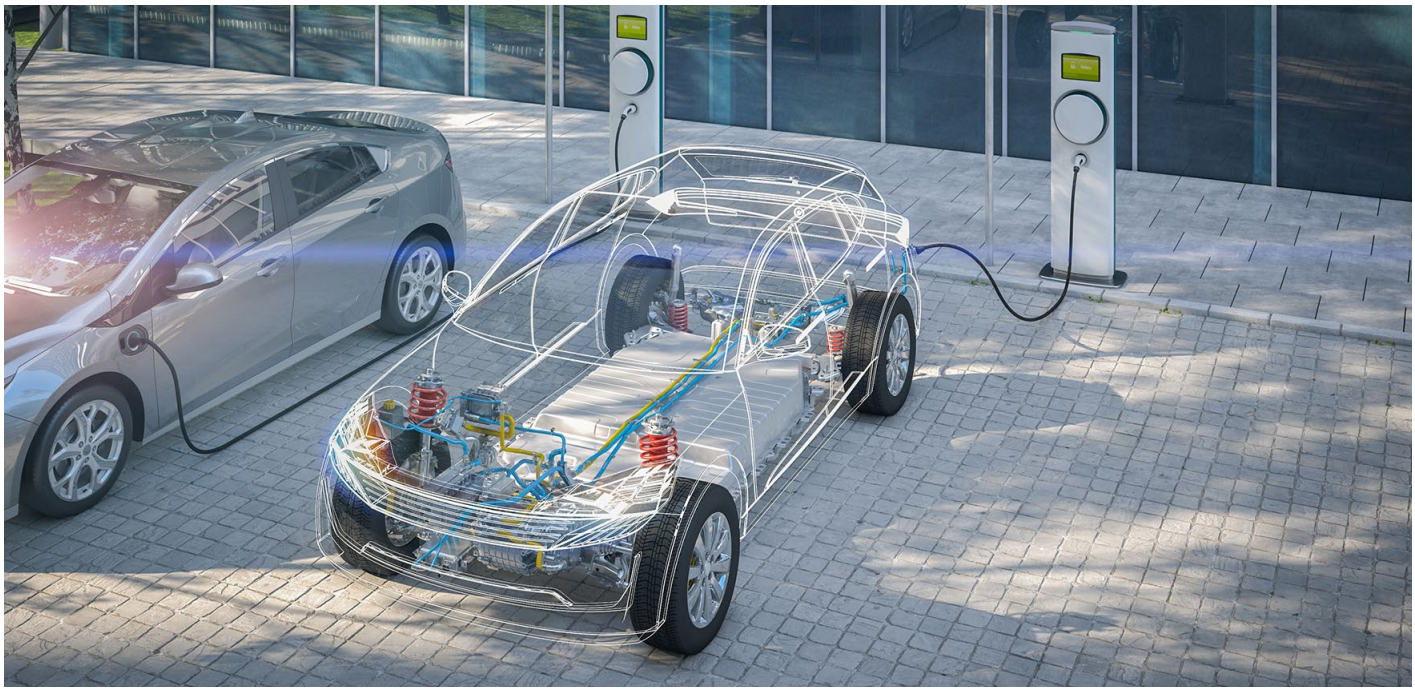
BCON+

Berührungssichere Schraubkontaktierung für Traktionsbatterien



AUTOREN

Alexander Ginsburg, TE Connectivity

Frank Kähny, TE Connectivity

Uwe Hauck, TE Connectivity

IN KÜRZE – EXECUTIVE SUMMARY

Mit der neuen BCON+ Hochvolt-Kontaktierung hat TE Connectivity (TE) eine flexibel einsetzbare, kompakte, robuste und berührsicher Lösung zur Verbindung der Module einer Traktionsbatterie sowie weiterer Hochvolt-Verbindungsstellen außerhalb der Batterie entwickelt.

Das BCON+ Verbindungssystem vereinigt die Vorteile einer reinen Stahl-Stahl-Schraubverbindung mit dem extrem niedrigen Durchgangswiderstand von Kupfer-Kontaktelementen. Das System ist berührsicher im nicht gesteckten als auch im kontaktierten Zustand und kann flexibel mit zahlreichen verfügbaren Leitern und Querschnitten verbunden werden.

1. HERAUSFORDERUNG ELEKTRIFIZIERUNG

Die Forderung nach der Dekarbonisierung des Verkehrssektors beschleunigt die Einführung von elektrifizierten Antriebssystemen. Im Elektrofahrzeug stellt die Traktionsbatterie die primäre Quelle für die Antriebsenergie dar, im Wasserstofffahrzeug hat sie immerhin eine wichtige Pufferfunktion für Hochlastphasen. Damit ist die Batterie das Herzstück der Elektrifizierung des Antriebsstranges. Solche Batterien bestehen aus vielen einzelnen Zellen, die jeweils zu Modulen zusammengefasst werden. Über die Kontaktierung dieser Module muss sämtliche elektrische Energie während der Betriebsarten Laden, Fahren und Rekuperieren sicher in die Batterie fließen beziehungsweise aus ihr entnommen werden können. Daher müssen Modulkontaktierungen unter sehr beengten Bauraumverhältnissen in der Lage sein, während eines Hochleistungsladezyklus minutenlang Dauerströme von bis zu 600 A zu führen, während sie in dynamischen Antriebsmodi deutlich höhere Ströme für Sekunden tragen können.

Außerdem stellt die Batteriemodulkontaktierung die physikalische Schicht für den Batterieschutz (Übertemperaturschutz), das Batterie-Management (Ladezustände, z.B. State of Charge, SoC) und das Cell-Balancing (Ladungsausgleich zwischen Zellen mit unterschiedlichem SoC-Niveau) bereit. Dazu ist eine dauerfeste Kontaktierung jedes einzelnen Moduls der Traktionsbatterie erforderlich. Diese Kontaktierung muss als hoch integriertes System nicht nur für die Lebensdauer des Fahrzeugs (typischerweise 300.000 km und zehn Jahre) ausgelegt sein, sondern auch so robust, dass vor allem Vibrationen und Temperatureinflüsse die mechanischen und elektrischen Eigenschaften der Kontaktierung über die Lebensdauer nicht unzulässig beeinflussen. Im Hinblick auf die Einhaltung normativer Vorgaben und der Verantwortung der OEM gegenüber ihren Kunden und den Werkstätten muss diese Kontaktierung zudem berührsicher sein, damit in einem Hochvoltsystem wie dem elektrifizierten (Nutz-) Fahrzeug keine Gefährdung durch hohe Spannungen und Ströme entsteht.

Die Berührsicherheit im kontaktierten und nicht gesteckten Zustand ermöglicht den sicheren Umgang mit den Batteriemodulen während der Montage der Batterie. Speziell im Falle einer während der Fahrzeuglebensdauer notwendigen Inspektion oder im Servicefall können Batteriemodulverbinder ohne die Bereitstellung von teuren Spezialwerkzeugen oder komplizierten Sicherheitsabläufen von geschulten Elektrofachkräften einfach und sicher gehandhabt werden.

TE Connectivity hat sein umfangreiches Wissen über automobilspezifische Kontaktphysik in der Kontaktierung von Kupfer- und Aluminiumleitern genutzt, um eine neue Anschlusslösung für Traktionsbatterien zu entwickeln. Dieses Schraubkontaktierungssystem mit dem Markennamen BCON+ erfüllt alle Anforderungen der anspruchsvollen Anwendung. Neu ist im Vergleich zu anderen existierenden Lösungen, dass die BCON+ Hochvolt-Kontaktierung eine Schraubverbindung ist, die einfach trennbar (Diagnose, Recycling) und zugleich berührsicher gemäß IPxxB nach ISO 20653 ist. Der mechanische Pfad (die Zugspannung der Stahl-Stahl-Verschraubung) der Schraubkontaktierung und der elektrische Pfad (niederohmige Kupfer-Kupfer-Verbindung) sind bewusst funktional voneinander getrennt, um eine sehr robuste und in der typischen Fertigungsumgebung gut handhabbare Kontaktierung zu schaffen.

Das Schraubkontaktierungssystem BCON+ ist zur Modulkontaktierung und für andere Übergabepunkte in diversen Anschlussfeldern einer elektrischen Leistungsarchitektur vielseitig und flexibel einsetzbar (*Bild 1*).

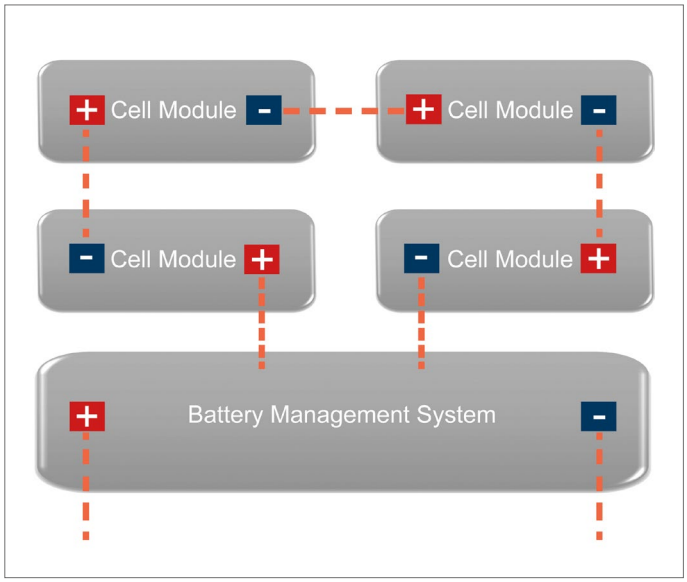


Bild 1: Schematische Darstellung der Modulkontaktierung in der Batterie.

2. ENTWICKLUNGSZIELE FÜR DIE BCON+ SCHRAUBKONTAKTIERUNG

Für die Kontaktierung von Batteriemodulen in einem elektrifizierten Fahrzeug gelten hohe Anforderungen. So war es das Ziel, sämtliche Leiter und Verbindungsstellen für dauerhafte Ströme von 400 A auszulegen (kurzzeitig bis zu 1200 A), Spannungen von bis zu 1000 V und eine korrekte Funktion bei Umgebungstemperaturen zwischen -40°C und bis zu +80°C sicherzustellen. Die gewählten Werkstoffe der Verbindung können bei bis zu 140°C betrieben werden. Die größte Herausforderung liegt

darin, einen sehr geringen Durchgangswiderstand an den einzelnen Kontaktstellen einzustellen, um eine zulässige Verlustleistung in unmittelbarer Nähe zu handelsüblichen Batteriezellen zu erreichen. So ist die BCON+ Kontaktierung für einen Durchgangswiderstand über das Verbindungssystem von <10 µΩ an jeder Verbindungsstelle ausgelegt. Um die Vibrationsbeständigkeit zu sichern, ist der Modulverbinder für Schärfegrad 3 (LV214, SG 3) ausgelegt. Es erfüllt die Umweltanforderungen für ungedichtete Systeme gemäß der bekannten herstellerbezogenen Prüfvorschrift LV215.

Ein solches Kontaktierungssystem muss sich sicher und einfach montieren lassen. Je nach Fahrzeug und Batteriekonfiguration muss es außerdem flexibel anpassbar sein. Dazu gehören die Kontaktierung unter unterschiedlichen geometrischen Randbedingungen sowie die Kontaktierung unterschiedlicher Leiterarten. Als Lebensdauerkomponente muss die Modulkontaktierung zudem die automobilspezifischen Vorgaben von 300.000 km Laufleistung bzw. 10 Jahren Nutzungsdauer und bis zu 25 Steck- und Schraubzyklen erfüllen. Da bei einem elektrifizierten Fahrzeug noch die Ladezeiten als Betriebszeit hinzukommen, sind die Anforderungen an die Robustheit zusätzlich bedingt durch die permanente Beaufschlagung mit der Ladeleistung gerade bei Batteriekomponenten überproportional hoch.

3. KURZBESCHREIBUNG DES BCON+ KONTAKTIERUNGSSYSTEM

Ein BCON+ Kontakt zur Verbindung von Batteriemodulen besteht auf der Schnittstellenseite zur Batterie aus Aluminium- und Kupferprofilen sowie aus flexiblen Leiterformen auf der Verbindungsseite, die über eine Stahl-Stahl-Schraubverbindung angeschlossen werden. Die eigentliche Zellkontaktierung erfolgt häufig über flache Al-Schienen, die im gezeigten Schema innerhalb der einzelnen Module die jeweils im Modul zusammengefassten Zellen kontaktieren (*Bild 2*).

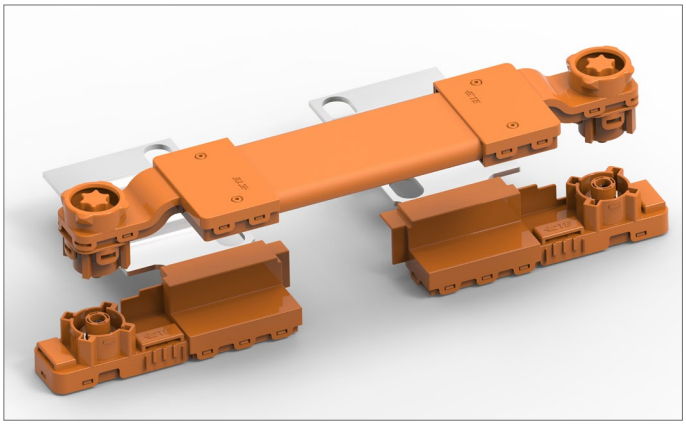


Bild 2: Der BCON+ Modulverbinder lässt sich flexibel in unterschiedlichen Geometrien und Konfigurationen nutzen.

Der Anschluss jedes Moduls an das Hochvoltnetz erfolgt über Schraubverbindungen mit massiven Kupfer-Flachkontakten (Cu-Busbars), in welche die Unterseite des galvanisch beschichteten Kupfer-Rundkontaktes mit einem stählernen Gewindeeinsatz aus einem vergüteten Werkstoff integriert ist. Das Gegenstück („Stecksockel“) des Kupfer-Rundkontaktes mit der gesteckten Schraube ist in ein ebenfalls massives Endstück einer Kupfer-Litzenleitung („Hochvoltkabel“) oder eines runden Massivleiters integriert *(Bild 2)*.

Bei der BCON+ Kontaktierung wird der Kontakt des Hochvoltkabels auf die Aufnahme des Kupfer-Flachkontaktes (Interface) aufgesteckt (*Bild 3*). Bei passender Codierung (= korrekt zugeordnete Verbindung) wird dabei eine Vorverrastung hergestellt, die das Kabel auf der Schiene festhält, so dass die anschließende Schraubmontage beidhändig und komfortabel erfolgen kann (auch über Kopf).

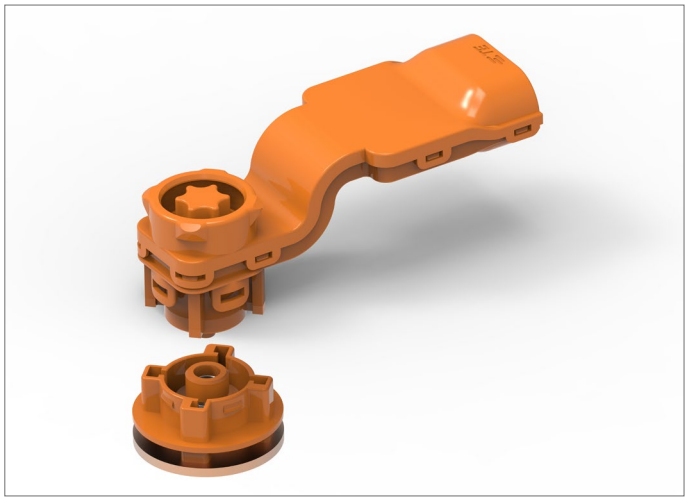


Bild 3: Stecksockel und Schnittstelle der BCON+ Kontaktierung werden gesteckt, verrastet und nachfolgend verschraubt.

Beide Kontakthälften sind von Gehäuseober- und unterschalen aus mit Glasfaser gefülltem Kunststoff umschlossen, die eine versehentliche Berührung spannungsführender Teile mit dem Finger verhindern (IPxxB = kein Kontakt bei Gegenständen >12 mm Durchmesser mit maximal 80 mm Länge). Der Flammschutz der Kunststoffteile entspricht standardmäßig HB, die Anforderung V0 ist ebenfalls möglich. Die Gehäuseform nutzt den verfügbaren Bauraum optimal aus (*Bild 4*) und gewährleistet unter beengten Bedingungen die erforderliche Sicherheit. Alle stromführenden Systembestandteile sind von einem Gehäuse umgeben und entweder mit einem Silikonmantel oder einem hochtemperaturfesten Glasfasergewebemantel umhüllt.

Die Verbindungen zwischen den Al-Schienen und den massiven Kupfer-Flachkontakten beziehungsweise die Verbindung zwischen Litzenleiter auf der Kabelseite und Kupfer-Flachkontakt werden mit einem stoffschlüssigen Verfahren erzeugt.

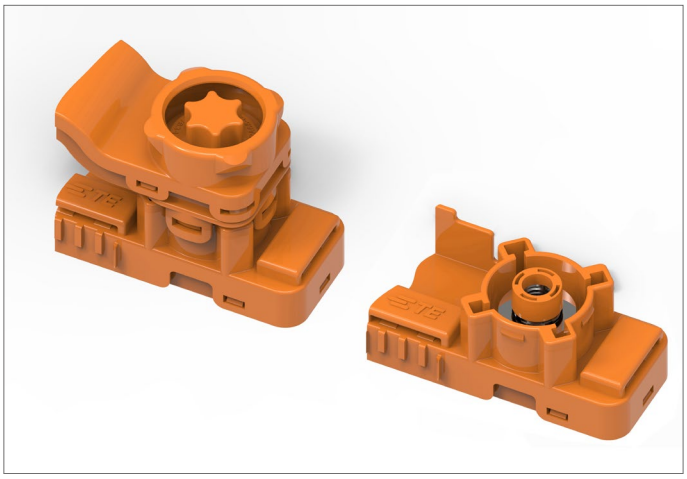


Bild 4: Kompakte BCON+ Schraubverbindung: links der verschraubte Zustand, rechts die Unterseite der Verbindung mit dem sichtbaren ringförmigen Kontakt und der Gewindehülse in der Mitte.

Die verliersichere M5-Schraube, mit der die ringförmigen Kupfer-Kontakte aufeinandergepresst werden, ist eine spezielle Entwicklung aus einem vergüteten Werkstoff. Der Kopf der Schraube ist mit Kunststoff umspritzt. Die Aufnahme des Anzugsmomentes erfolgt über das genormte Außensechsrundprofil. Die stählerne Schraube durchtaucht die beiden ringförmigen Kontakte mit flacher Stirnfläche und greift in der Gewindehülse im unteren Teil des BCON+ Schraubkontaktes ein *(Bild 5)*.

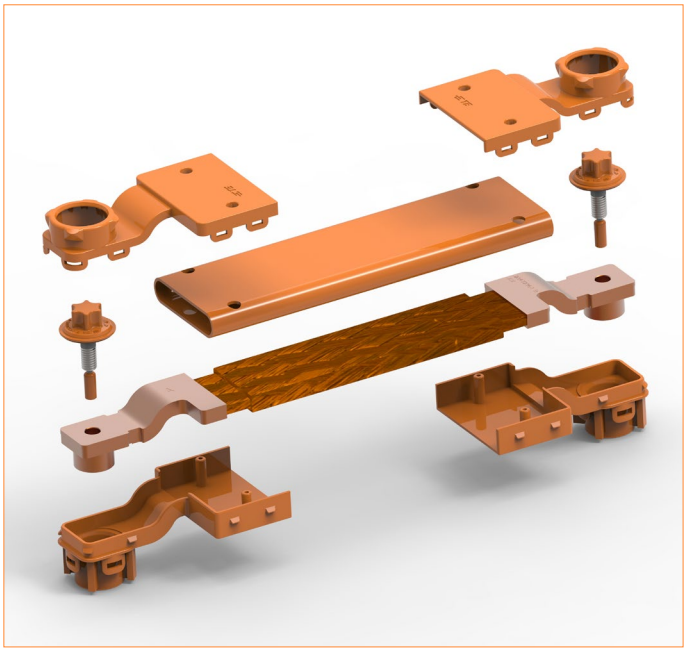


Bild 5: Explosionsdarstellung der BCON+ Schraubverbindung

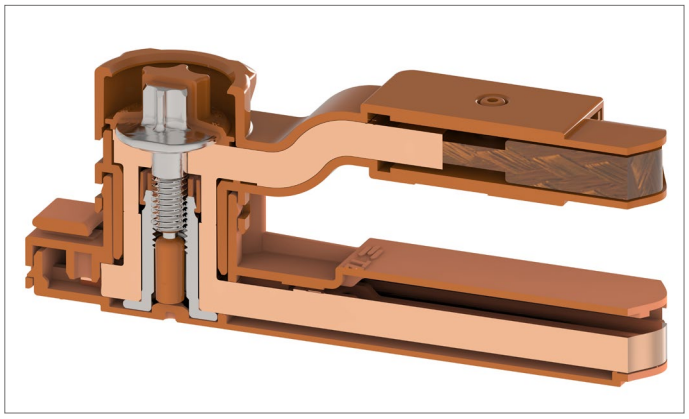


Bild 6: Funktionsprinzip einer Stahl-Stahl Schraubverbindung zur Erzeugung des Anzugsmomentes (N) sowie des davon getrennten elektrischen Pfades (A).

Durch diesen Aufbau erfolgt die mechanische Zugspannung rein in einem Stahl-Stahl-System und ist vollständig von der Funktion der elektrischen Verbindung auf dem von der mechanischen Vorspannung etablierten Kupfer-Kupfer-Strompfad getrennt (*Bild 6*).

Die massiven Kupfer-Flachkontakte gibt es in einer Vielzahl von Profilen als gerade und gewinkelte Ausführungen mit und ohne Kröpfung (= unterschiedlich hohem Versatz). Dadurch lassen sich unterschiedliche Kontaktierungssituationen lösen. Die Kontaktierung auf der Unterseite der Verbindung kann unterschiedlich kodiert bzw. in 90°-Schritten gedreht werden, um ein versehentliches Stecken und damit das Falschpolen von ähnlich aussehenden Verbindungskabeln auf dem Kupfer-Flachkontakt zu verhindern.

4. DETAILS DER KONTAKTIERUNG

Eine steckbare Kontaktierung hat im Zuge der Entwicklung keine ausreichend geringen Durchgangswiderstände gezeigt. Bei 400 A und der Vorgabe von <10 µΩ war eine Schraubverbindung erforderlich, um auch unter Vibrationseinfluss dauerhaft die nötige Qualität der elektrischen Verbindung zu erzielen. Dieses Ziel wird mit einer Schraubverbindung realisiert, die bei einem spezifizierten Anzugsmoment auf einer M5-Schraube die erforderliche hohe Kontaktnormalkraft erzeugt. Oberteil und Unterteil der elektrischen Verbindungsstelle bestehen aus galvanisch beschichtetem Kupfer (Cu) in einem Ringprofil mit flacher Stirnfläche. Durch diese Geometrie entsteht eine große flächige Übergangszone für den Strom.

Das Anzugsmoment der Schraube ist so definiert, dass bei niedrigen Temperaturen (bis zu -40° C) genügend Anzugsmoment verbleibt, um den erforderlichen geringen

Durchgangswiderstand beizubehalten, andererseits aber auch bei hohen Temperaturen (bis zu + 140° C) und der damit einhergehenden unterschiedlichen Materialausdehnung von Kupfer und Stahl die Kontaktierung im Bereich der elastischen Verformung bleibt. Umweltprüfungen gemäß LV 215 haben bestätigt, dass am Ende der Lebensdauer einer BCON+ Schraubverbindung das spezifizierte Wiederanzugsmoment erreicht wird, was eine sichere Funktion gewährleistet.

5. VERBINDUNGSSTELLEN UND ANSCHLUSSMÖGLICHKEITEN

Die bauraumoptimierte Stoßverbindung zwischen den massiven Kupfer-Flachkontakten und den jeweils gewählten elektrischen Leitern kann beispielsweise durch Widerstands-Stumpfschweißen mit Hartlot erzeugt werden. Der Schweißstrom erzeugt dabei im Bereich des Lotes aufgrund des höheren elektrischen Widerstands ein lokales Aufschmelzen der Verbindungselemente und beim Abkühlen eine anschließende stoffschlüssige niederohmige Stoßverbindung der Kontaktpartner. Bei Litzenkabeln wird das Kabelende vor dem Schweißen in einem gängigen Prozess kompaktiert.

Grundsätzlich ist auch der Anschluss durch eine überlappende Verbindung mittels gängiger Schweißverfahren möglich. Um den knappen verfügbaren Bauraum auszunutzen, fiel die erste Wahl jedoch auf eine Stoßverbindung. *Bild 7* zeigt einige Optionen der möglichen Leiterverbindungen. Der BCON+ Schraubverbinder ist für Leiter mit Querschnitten von 16 mm^2 bis zu 100 mm^2 ausgelegt.

Es lassen sich runde Massivleiter, Litzenleiter (rund und flach) sowie (gerade und gekröpfte) Cu-Flachkontakte kontaktieren. Befestigungsclips und Schutzhüllen gegen mechanischen Abrieb vervollständigen das Portfolio.

Wegen der extrem kompakten Abmessungen sind alle Bestandteile des Systems hochgradig aufeinander abgestimmt. Das gilt auch für die beiden ringförmigen Kontakte, die die elektrische Verbindung herstellen. Die ringförmigen Kontakte sind im Idealfall Bestandteil des Cu-Flachkontaktes, können jedoch auch als getrenntes Teil mit dem Cu-Flachkontakt verschweißt oder nur auf den Cu-Flachkontakt aufgelegt werden. Die Wahl der Ausführungstechnik wird durch die Forderung an den Durchgangswiderstand bestimmt. Genau wie die Cu-Flachkontakte sind die Kontaktringe aus massivem Cu. Der Kontaktbereich wird mit einer galvanischen Beschichtung aus Silber (Ag) über Nickel (Ni) überzogen. Dabei dient das Ni als Diffusionsbarriere, das Ag senkt einerseits den Durchgangswiderstand und erlaubt andererseits eine Lagerfähigkeit der Komponenten von bis zu einem Jahr nach der Fertigung (Anlaufschutz). Die Cu-Flachkontakte werden im Zuge der Fertigung definiert verfestigt. Mit den gekröpften Versionen der Cu-Flachkontakte lassen sich Hindernisse überspringen bzw. ein Versatz kann ausgeglichen werden.

6. AUSBLICK AUF WEITERES POTENZIAL

Der aktuell erreichte Durchgangswiderstand von <10 µΩ ist ein ausgezeichneter Wert, der sich aus einem größeren Anteil für die physikalisch unvermeidbaren Verluste durch den elektrischen Widerstand des Werkstoffes (rund 7 µΩ) sowie dem kleineren Anteil des Durchgangswiderstandes zwischen den beiden ringförmigen Kontakten (etwa 3 µΩ) zusammensetzt.

Für thermisch besonders anspruchsvolle Höchst-Performance-Applikationen, ist dieser Modulverbinder besonders geeignet und kann kundenspezifisch angepasst werden. Weitere Forderungen, wie z.B. Spritzwasserschutz, können ebenfalls durch entsprechende konstruktive Maßnahmen umgesetzt werden. Auch eine Skalierung der BCON+ Schraubkontaktierung für höhere oder niedrigere Ströme ist möglich.

7. ZUSAMMENFASSUNG

Innerhalb seiner engen Bauraumgrenzen ist das von TE Connectivity entwickelte BCON+ Schraubkontaktierungssystem ein hoch optimiertes, hoch funktionales, niederohmiges Schraubkontaktierungssystem, das eine zuverlässige Stahl-Stahl-Schraubverbindung etabliert und vollständig berührsicher ist. Die mechanische Zugspan-

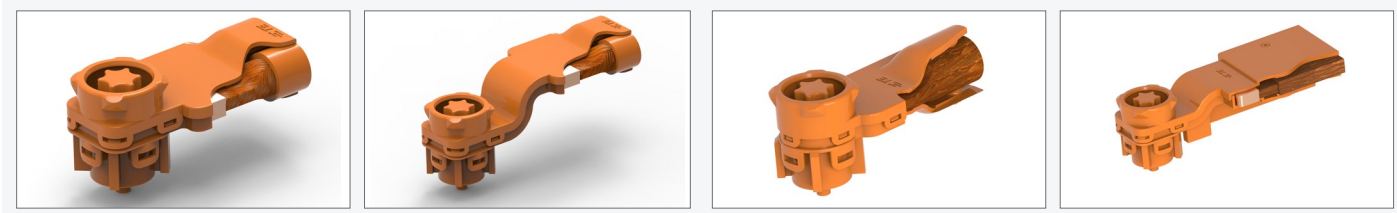


Bild 7: Realisierung von verschiedenen Geometrien und Leiteranbindungen an das BCON+ Kontaktsystem.

nung und die elektrische Schnittstelle sind dabei funktional voneinander getrennt. Der geringe Durchgangswiderstand in Verbindung mit der hohen Robustheit und Sicherheit macht die BCON+ Schraubverbindung zu einer zuverlässigen und sicheren Hochvolt-Kontaktierung sowohl für Batteriemodule als auch für andere Verbindungsstellen außerhalb der Batterie.

Durch die flexiblen Anschlussmöglichkeiten (Formen der Cu-Flachkontakte, Leiter-Optionen) lassen sich innerhalb nur eines Portfolios unterschiedliche Konfigurationen und geometrische Anforderungen der Kontaktierung erfüllen (Versatzausgleiche, Sprünge). Die Möglichkeiten der Kodierung sowie der in 90°-Schritten möglichen Drehung unterstützen eine sichere Montage. Auch das Vorverrasten der Schraubverbindung beim Stecken vereinfacht die Handhabung in der Produktion. Der Berührschutz gemäß IPxxB schützt Menschen während aller relevanten Lebensphasen des Fahrzeugs (Produktion, Wartung/Reparatur auch außerhalb ausgewählter Werkstätten, Recycling) vor dem Kontakt mit spannungsführenden Teilen.

FAZIT

Mit dem berührsicheren und kompakten Schraubkontaktierungssystem BCON+ steht für das Herzstück der Elektrifizierung – die Batterie – eine großserientaugliche, flexible und skalierbare Kontaktierungslösung zur Verfügung. Unter anderem macht der Berührschutz, sowohl im nicht gesteckten als auch im kontaktierten Zustand und die niederohmige elektrische Verbindung das BCON+ Kontaktierungssystem tauglich für die Anwendung in hohen Stückzahlen. Damit ist die BCON+ Modulverbindung eine Schlüsselkomponente für den sicheren Betrieb und die Handhabung von Hochvolt-Batteriesystemen.

ÜBER TE CONNECTIVITY

TE Connectivity ist ein weltweit führender Anbieter von Industrietechnologien im Wert von 13 Milliarden US-Dollar und ermöglicht eine sicherere, nachhaltige, produktive und vernetzte Zukunft. Unsere breite Palette an Verbindungs- und Sensorlösungen, die sich in den anspruchsvollsten Umgebungen bewährt haben, ermöglichen Fortschritte in den Bereichen Verkehr, industrielle Anwendungen, Medizintechnik, Energie, Datenkommunikation und für das Zuhause. Wir beschäftigen fast 80.000 Mitarbeiter, darunter mehr als 8.000 Entwicklungsingenieure, die mit Kunden in rund 150 Ländern zusammenarbeiten. Unsere Überzeugung ist auch unser Motto: EVERY CONNECTION COUNTS. Erfahren Sie mehr über uns auf **www.te.com** sowie LinkedIn, Facebook, WeChat und Twitter.

TE Connectivity Germany GmbH
Ampèrestraße 12-14
64625 Bensheim

www.TE.com

© 2020 TE Connectivity

BCON+, EVERY CONNECTION COUNTS, TE, TE Connectivity und TE connectivity (Logo) sind Marken, die Eigentum der TE Connectivity Ltd.-Gruppe sind oder von dieser lizenziert werden.
Andere hier aufgeführte Produkt- oder Firmennamen können Marken der jeweiligen Inhaber sein.

HAFTUNGSAUSSCHLUSS Auch wenn TE Connectivity (TE) bemüht ist, die Korrektheit der Informationen in diesem Beitrag sicherzustellen, übernimmt TE keinerlei Gewährleistung dafür, dass diese fehlerfrei, zutreffend, korrekt, verlässlich oder aktuell sind. TE behält sich das Recht vor, die in diesem Beitrag genannten Informationen jederzeit ohne Ankündigung zu ändern. TE weist ausdrücklich jegliche Gewährleistung hinsichtlich der in diesem Beitrag genannten Informationen zurück, einschließlich der implizierten Gewährleistung der Marktgängigkeit oder Eignung für bestimmte Zwecke. Die Maßangaben in diesem Beitrag dienen ausschließlich zu Referenzzwecken und Änderungen sind vorbehalten. Änderungen der Spezifikationen sind vorbehalten. Bitte fragen Sie TE nach den aktuellen Maßangaben und Designspezifikationen.