

# Reibschweißverbinder für das Energie-Bordnetz



© Robert Suvak | Dräxlmaier

Durch den Wandel hin zur Elektromobilität sind Leichtbaustrategien im Automobilbereich weiterhin von großer Bedeutung. Dies wirkt sich auch auf die Konstruktion von Energie-Bordnetzen aus, in denen zunehmend Aluminiumleiter zum Einsatz kommen. Mit einem innovativen Verfahrensansatz im Bereich der Kontaktierung von Aluminiumleitungen bietet Dräxlmaier eine interessante Alternative zu gängigen Fügeverfahren. Durch Reibschweißen wird dabei eine stoffschlüssige Verbindung erreicht.

## LEICHTBAU ALS MOTIVATION

Der Einsatz von Aluminium im Automobil zur Gewichtsoptimierung erhält insbesondere im Zusammenhang mit der dadurch möglichen Reichweitensteigerung von Elektrofahrzeugen einen hohen Stellenwert. Auswirkungen dieses Leichtbautrends zeigen sich auch beim Fahrzeug-Bordnetz: Während dessen Anschlusselemente aufgrund der elektrischen, mechanischen und chemischen Anforderungen an den Werkstoff oftmals weiterhin aus Kupfer oder verzinnem Kupfer gefertigt werden, gewinnen Aluminiumleitungen als Substitut von Kupferleitungen an Bedeutung.

Dieser Werkstoffwechsel ist aufgrund der unterschiedlichen Werkstoffcharakteristiken allerdings nicht einfach zu bewerkstelligen. Neben einem anderen Kriechverhalten von Aluminium weist auch die mechanische Belastbarkeit beider Metalle signifikante Unterschiede auf. So lässt sich Aluminium aufgrund seiner hohen Duktilität zwar plastisch gut verformen, besitzt aber zugleich eine geringere Festigkeit als Kupfer. Dies muss unter anderem bei der Verarbeitung von Einzelleitungen zu kompletten Bordnetzen sowie im Hinblick auf die Belastungen des Werkstoffs während der Lebensdauer eines Fahrzeugs berücksichtigt

werden. Im Gegenzug verspricht das Leichtmetall durch seine geringere Dichte eine deutliche Gewichtsersparnis.

## TECHNISCHE HERAUSFORDERUNGEN BEI DER KONTAKTIERUNG

Ein genauerer Blick auf die Charakteristiken von Aluminium verdeutlicht die Herausforderungen, die mit seinem Einsatz als Werkstoff verbunden sind: Aluminium neigt zur Bildung natürlicher Oxidschichten, die den Stromdurchgang beeinflussen können, und besitzt auf längere Zeiträume betrachtet eine hohe Kriechneigung im Mikrobereich. Letzteres

## AUTOREN



**Christoph Forstmeier**  
arbeitet im Bereich stoffschlüssige Verbindungstechnologie bei der Dräxlmaier Group in Vilsbiburg.



**Dr. Georg Völlner**  
ist verantwortlich für den Bereich stoffschlüssige Verbindungstechnologie bei der Dräxlmaier Group in Vilsbiburg.



**Peter Thoma, B. Eng. MBA,**  
arbeitet im Bereich Technologie- und Innovationsmanagement bei der Dräxlmaier Group in Vilsbiburg.



**Dipl.-Wirtsch.-Ing. Jan Reblin**  
ist verantwortlich für das Ressort Entwicklung Bordnetzsysteme bei der Dräxlmaier Group in Vilsbiburg.

ist vor allem für Crimp-Verbindungen ein limitierender Faktor: Da sich der lediglich kraftschlüssig verpresste Werkstoff mit der Zeit lockern kann, ist eine dauerhafte Anbindung mit ausreichender Qualität nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand möglich. Thermische Fügeverfahren versprechen zwar eine haltbarere Verbindung von Anschlusselement und Leitung, durch die unterschiedlichen Werkstoffe kommt es allerdings zu einer metallurgisch schwierig zu beherrschenden Mischverbindung. Die langzeitstabile Kontaktierung von Aluminiumleitungen stellt daher eine besondere Herausforderung dar.

Letztendlich ermöglichen derzeit nur wenige Fügeverfahren, Aluminium-Litzenleiter mit großem Querschnitt dauerhaft stoffschlüssig mit Anschlusselementen aus Kupfer zu verbinden. Dies sind unter anderem das Rotations-Reibschweißen und das Ultraschall-Schweißen. Die meisten dieser Verfahren sind jedoch komplex und benötigen oftmals Hilfsfügeteile wie Lötplättchen oder Stützhülsen. Zugleich ist eine zuverlässige Prozessüberwachung häufig nur eingeschränkt oder nur mit hohem Aufwand realisierbar.

### OPTIMIERUNG EINES BEWÄHRTEN VERFAHRENS

Die Dräxlmaier Group bietet für den Automobilbereich nun ein neuartiges, patentiertes Reibschweiß-Kontaktierungsverfahren an, das zusammen mit der Forschungs- und Entwicklungsgesellschaft Fügetechnik GmbH (FEF) entwickelt wurde, einer Ausgründung des Instituts für Schweißtechnik und Fügetechnik der RWTH Aachen. Besonders gut eignet sich die Methode für das Fügen von Kupfer-Anschlusselementen mit Aluminiumleitungen, es lassen

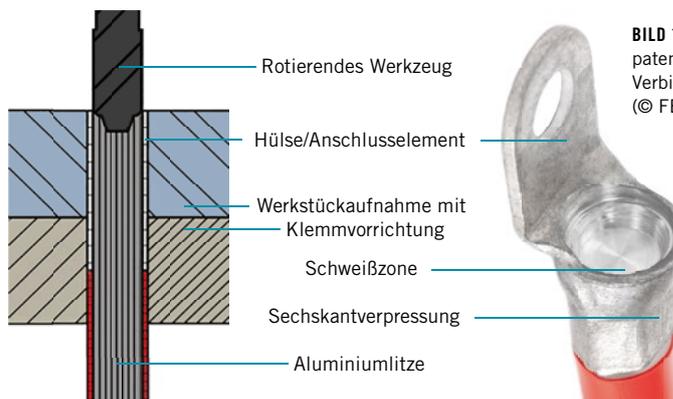
sich mit ihr aber grundsätzlich auch Elemente verbinden, die beide aus dem gleichen Werkstoff bestehen. Da mit dem Verfahren alle Leitungsquerschnitte ab 10 mm<sup>2</sup> verarbeitet werden können, deckt es im Gegensatz zu vielen auf dem Markt befindlichen Techniken einen breiten Anwendungsbereich ab und ermöglicht zugleich eine robuste und einfache Prozessführung ohne Hilfsfügeteile.

Vor Beginn des Reibschweißprozesses wird die Leitung zusammen mit einem Anschlusselement – beispielsweise einem konventionellen Quetschkabelschuh – in einer Werkstückaufnahme positioniert und zugleich verpresst, wodurch die beiden Fügepartner zueinander fixiert sind. Daran anschließend findet der eigentliche Kontaktierungsprozess statt. Im Gegensatz zum konventionellen Reibschweißverfahren entsteht die notwendige Reibenergie nicht durch die Relativbewegung der beiden Fügepartner, sondern durch ein verschleißfestes, rotierendes Werkzeug. Dieses wird in das offene Ende des hülsenartigen Anschlusselements mit den sich darin befindenden freiliegenden Litzen der Aluminiumleitung eingeführt, **BILD 1**.

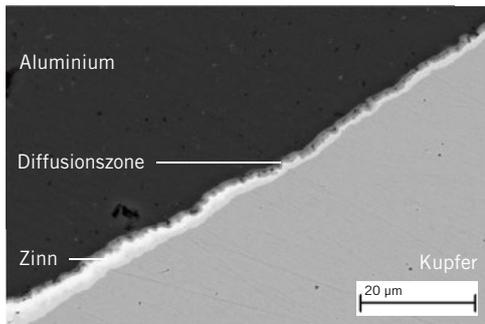
Aufgrund der Reibungswärme werden die Werkstoffe im Kontaktbereich bis knapp unterhalb des Schmelzpunkts erhitzt und dadurch plastifiziert, wodurch sie sich vermischen und ein neues Gefüge bilden. So werden Probleme durch Phasenübergänge vermieden, darunter Porenbildung, Heißrisse oder das Entstehen ausgeprägter intermetallischer Phasen. Zugleich haben leichte Fett- und Feuchtigkeitsrückstände keinen relevanten Einfluss auf den Fügeprozess oder die Verbindungsqualität.

### ZUVERLÄSSIGE ANBINDUNG DURCH STOFFSCHLUSS

Da der Schweißwerkzeug-Durchmesser üblicherweise größer als der Innendurchmesser des Anschlusselements ist, bilden sich nach dem Einsatz des patentierten Reibschweißverfahrens stark durchmischte Mikrostrukturen im Kontaktbereich von Litze und Anschlusselement aus. Diese tragen zur stoffschlüssigen Verbindung beider Bauteile bei, ohne dass es zu einer nennenswerten Entstehung hochhohmiger, intermetallischer Sprödphasenanteile kommt. Mittels metallografischer Untersuchungen oder durch ein Rasterelektro-



**BILD 1** Darstellung der patentierten Reibschweiß-Verbindungstechnik (© FEF | Dräxlmaier)



**BILD 2** Mikrostruktur des Fügebereichs einer Reibschweißverbinder-Probe unter dem Rasterelektronenmikroskop (© FEF | Dräxlmaier)

nenmikroskop sind die haltgebenden Diffusionszonen im Mikrometerbereich gut zu erkennen, **BILD 2**.

Durch die Reibungswärme sowie die notwendigen Prozesskräfte werden zudem die bestehenden Oxidschichten auf den Einzeladern der Litze aufgebrochen, wodurch sich ein fehlerfreies, dicht kompaktiertes Gefüge ausbildet, das von metallischen Bindungen geprägt wird. Kommen zusätzlich verzinnnte Anschlusselemente zum Einsatz, fungiert das schon bei vergleichsweise niedrigen Temperaturen schmelzende Zinn als Legierungsbestandteil lokal entstehender, mechanisch beständiger Aluminiumbronzen sowie als Lotwerkstoff.

Im Entwicklungsprozess des Reibschweißverbinders wurde die Verbindungsqualität zwischen Litze und Anschlusselement darüber hinaus mit einer Ausdrückprüfung untersucht. Dabei wird das Anschlusselement hinter der Verpresszone durchtrennt und die entstandene Schweißpille mechanisch herausgetrieben. Das Aluminium zeigt bei

diesem Versuch im Randbereich klar zu erkennende, kohäsiv geprägte Bruchzonen, die ein wesentlicher Indikator für eine hohe Anbindungsqualität sind.

Die stoffschlüssige Kontaktierung des Reibschweißverbinders hat gegenüber rein kraft- und formschlüssigen Methoden wie beispielsweise Crimp-Verbindungen entscheidende Vorteile: Neben einer üblicherweise deutlich höheren thermischen und elektrischen Alterungsbeständigkeit ist das neuartige Verfahren auch mechanisch besonders langzeitstabil.

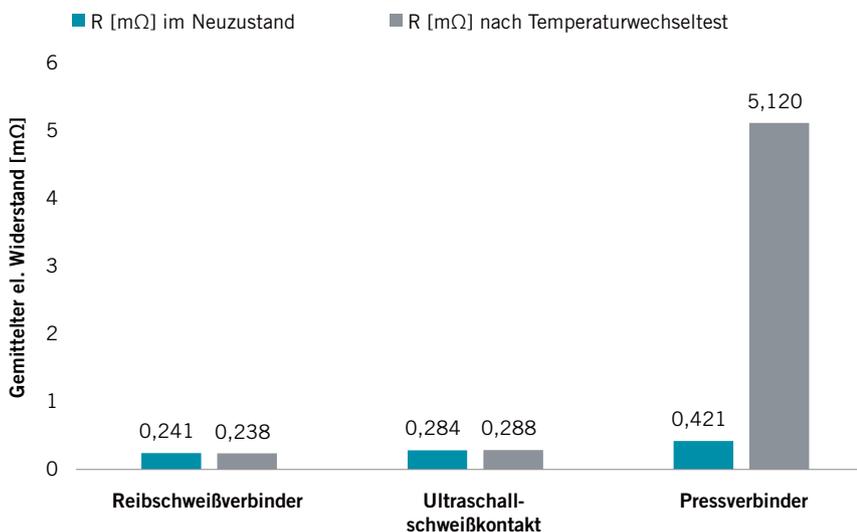
**HOHE ELEKTRISCHE LEITFÄHIGKEIT**

Gerade im Automobilbereich können Kontaktierungen erhöhten Temperaturen ausgesetzt sein, die beispielsweise im Motorraum eines Fahrzeugs entstehen. Um die Haltbarkeit von Kontakten unter diesen Bedingungen zu überprüfen, werden üblicherweise Temperatur-Wechseltests durchgeführt, die von Messungen des elektrischen Widerstands begleitet

werden. Kommen dabei Werkstoffe mit unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten wie beispielsweise Aluminium und Kupfer ( $\alpha_{Al} \approx 24,5 \cdot 10^{-6} K^{-1}$ ,  $\alpha_{Cu} \approx 17,7 \cdot 10^{-6} K^{-1}$  [1]) zum Einsatz, treten mechanische Spannungen auf. Diese können den Zusammenhalt von Leiter und Anschlusselement verringern und so zu einem erhöhten elektrischen Widerstand führen. Besonders starke Auswirkungen hat dieser Effekt bei lediglich form- oder kraftschlüssig kontaktierten Bauteilen, wie es etwa bei Pressverbindern der Fall ist. Da es sich beim Reibschweißverfahren jedoch um eine stoffschlüssige Verbindung zwischen Aluminium-Litzenleiter und Anschlusselement handelt, änderte sich bei Versuchen, die an die DIN EN 60068-2-14 [2] angelehnt waren, auch nach weit über 100 Temperaturzyklen nichts an der elektrischen Leitfähigkeit des Reibschweißverbinders. Darüber hinaus bietet er aufgrund der metallischen Anbindung aller Einzeldrähte des Leiters von Grund auf eine hohe elektrische Leitfähigkeit, die in Vergleichstests sogar die bekanntermaßen guten Eigenschaften von ultraschallgeschweißten Kontakten übertraf, **BILD 3**.

**OPTISCHE QUALITÄTSKONTROLLE**

Durch die freiliegende Fügezone besteht im Gegensatz zu anderen auf dem Markt befindlichen Reibschweißmethoden bei der von Dräxlmaier angebotenen Technik die Möglichkeit einer einfachen optischen Prüfung zur Qualitätssicherung. So weist eine visuell ebene Fügezone auf einen einwandfreien Prozessablauf hin.



**BILD 3** Elektrischer Widerstand verschiedener Kontaktierungsverfahren (© FEF | Dräxlmaier)

Bei konventionellen Reibschweißverfahren wird diese hingegen durch die Fügepartner verdeckt.

Zudem lässt eine optische Kontrolle auch Rückschlüsse auf den Zustand des eingesetzten Werkzeugs zu: Hat dieses die ideale Größe und ist es zugleich passend positioniert, ist die Gratbildung im Randbereich der Fügezone minimal.

## LEICHT UND ZUVERLÄSSIG

Die Nutzung von Aluminium statt Kupfer in Bordnetzen ist, wie eingangs erwähnt, ein wichtiger Baustein bei der weiteren Optimierung des Fahrzeuggewichts. Da der Leichtbau positive Auswirkungen auf die Reichweite von Elektrofahrzeugen hat, werden insbesondere bei diesen zukünftig noch deutlich mehr Aluminiumleitungen zum Einsatz kommen.

Im Vergleich zu bestehenden Kontaktierungsverfahren erleichtert das neue Verfahren die Verwendung von Aluminiumleitungen in Energie-Bordnetzen, da sie eine einfache Prozessführung ohne Hilfsfügeteile sowie die Möglichkeit einer leicht realisierbaren optischen Qualitätsprüfung bietet. Mehr noch: Sie gewährleistet zugleich eine hohe Zuverlässigkeit durch eine beständige Kontaktierung, wie sie im Zuge automatisierter Fahrfunktionen zunehmend gefordert wird.

### LITERATURHINWEISE

[1] Roos, E.; Maile, K.: Werkstoffkunde für Ingenieure – Grundlagen, Anwendung, Prüfung. 3. Auflage, Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag, 2008, S. 221-237

[2] DIN EN 60068-2-14. Berlin: Beuth-Verlag, 2010-04

## DANKE

Die Autoren bedanken sich insbesondere bei Dipl.-Ing. Marc Essers von der Forschungs- und Entwicklungsgesellschaft Füge-technik (FEF), dessen Arbeiten grundlegende Impulse für diesen Artikel gegeben haben, sowie bei Dipl.-Ing. Christoph Geffers (FEF) und Prof. Dr.-Ing. Uwe Reisinger (FEF) für die Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Reibschweißverbinder-Technik.



### READ THE ENGLISH E-MAGAZINE

Test now for 30 days free of charge:  
[www.atz-worldwide.com](http://www.atz-worldwide.com)

## Ihre Füge-technik-Experten im Automobilbau



## Fundiert, pragmatisch und flexibel

Zeigen Sie uns Ihre Herausforderung und wir finden eine Lösung. So einfach kann fügetechnische Expertise sein.

Profitieren Sie von unserer Erfahrung in der Automobilindustrie:

- Schweißen hochfester Stähle im Leichtbau
- Stahl-Alu-Mischverbindungen
- Ultraschallschweißen von elektrischen Leitungen in der E-Mobilität
- Klebeverbindungen für starken Halt im Material-Mix auch mit nichtmetallischen Werkstoffen wie CFK

Als Spin-off des Instituts für Schweißtechnik und Füge-technik der RWTH

Aachen basiert unsere Beratung auf einem soliden wissenschaftlichen Fundament. Dabei agieren wir schnell, flexibel, unabhängig und praxisorientiert.

### Ihre Vorteile:

- Entwicklung, Einführung und Optimierung von Fügeprozessen
- Breites und tiefes Know-how in allen Fügeverfahren
- Umfangreiche Erfahrung in der Automobilindustrie
- Stets am Puls der Spitzenforschung in der Schweiß- und Füge-technik

**FEF**  
Besser fügen.

FEF Forschungs- und  
Entwicklungsgesellschaft  
Füge-technik GmbH

Driescher Gässchen 5  
52062 Aachen

Telefon: +49 (241) 5 31 03 45-0  
[office@fef-aachen.de](mailto:office@fef-aachen.de)

[www.fef-aachen.de](http://www.fef-aachen.de)