

Aluminium statt Kupfer? Die Verbindungstechnik entscheidet

Leichtbau und
Kostenreduktion für die
nächste Generation
elektrischer Bordnetze

Die Elektromobilität verlangt nach leichteren und kosteneffizienteren elektrischen Systemen. Aluminium bietet hierfür enormes Potenzial. Dennoch wird Kupfer in vielen Hochstromanwendungen weiterhin eingesetzt. Der Grund liegt nicht im Werkstoff selbst, sondern in der Zuverlässigkeit der Verbindungstechnik.

Aluminium bietet enormes Potenzial

Kupfer gilt aufgrund seiner hohen elektrischen Leitfähigkeit und guten Verarbeitbarkeit seit Jahrzehnten als Standardwerkstoff für Busbars und andere Hochstromanwendungen. Gleichzeitig stehen Fahrzeughersteller unter zunehmendem Druck, Gewicht und Materialkosten zu reduzieren.

Aluminium bietet hierfür erhebliche Vorteile. Gleichzeitig erhöhen steigende Rohstoffkosten und zunehmender Wettbewerbsdruck im Bereich Elektromobilität den Bedarf an kosteneffizienten Alternativen zu Kupfer. Aluminium besitzt ein deutlich geringeres Gewicht sowie signifikante Kostenvorteile.

Selbst unter Berücksichtigung angepasster Querschnitte lassen sich Gewichtsreduzierungen von rund 50 % und Materialkosteneinsparungen von 80 % realisieren, wie Abbildung 1 zeigt. Damit wird Aluminium zu einer attraktiven Alternative für zukünftige elektrische Energiepfade im Fahrzeug.

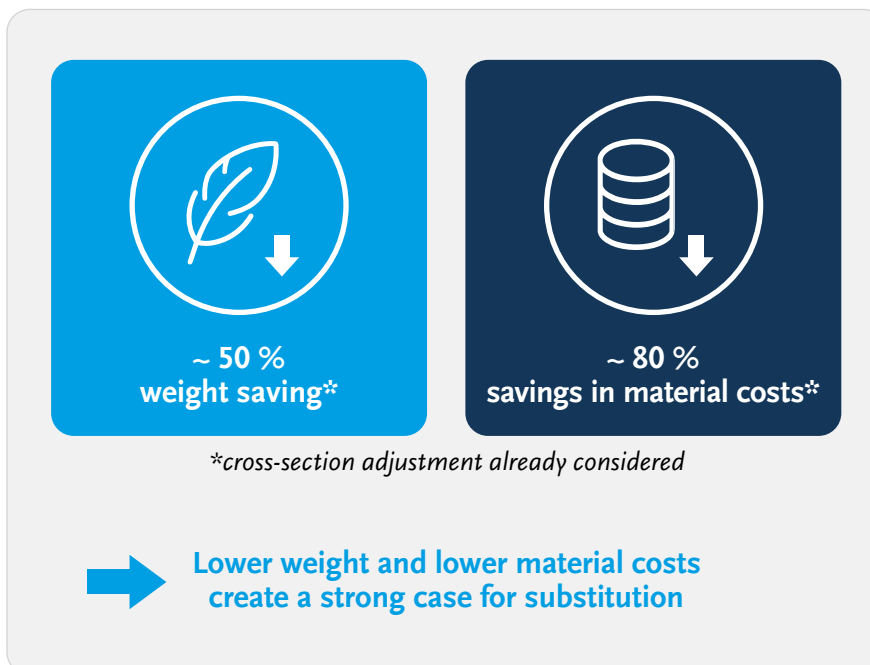
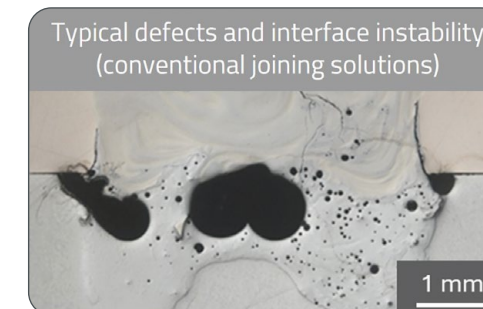


Abbildung 1:
Potenzial der Aluminiumsubstitution in Hochstromanwendungen
durch signifikante Gewichts- und Materialkostenvorteile.

KERN LIEBERS

KERN LIEBERS GmbH & Co. KG
Dr.-Kurt-Steim-Straße 35
78713 Schramberg

www.kern-liebers.com



Main Causes of the Reliability Gap at the Al-Cu Interface



Mechanical limitations

- Creep of aluminium under mechanical load
- Reduction of contact forces over lifetime



Material-related challenge

- Stable oxide layer
- Different melting behaviour
- Limited mutual solubility



Application-related loads

- Temperature cycles
- Current load
- Mechanical vibrations

Abbildung 2:
Ursachen der Zuverlässigkeitslücke an der Aluminium-Kupfer-Schnittstelle.
Werkstoffbedingte Einschränkungen, mechanische Belastungen und betriebliche Beanspruchungen erschweren den langfristig zuverlässigen Einsatz von Aluminium-Bauteilen

Die eigentliche Herausforderung liegt in der Verbindungstechnik

Die Materialsubstitution selbst stellt jedoch nicht die größte technische Hürde dar. In zahlreichen Anwendungen müssen Aluminiumleiter mit Kupferkontakten verbunden werden. Dies betrifft beispielsweise Batterieanschlüsse, Hochvoltverteiler oder verschraubbare Stromschienen. Genau an dieser Materialschnittstelle entstehen die entscheidenden Herausforderungen. Aluminium bildet innerhalb kürzester Zeit eine stabile Oxidschicht.

Gleichzeitig unterscheiden sich Kupfer und Aluminium erheblich hinsichtlich Schmelzverhalten und Werkstoffeigenschaften. Rein kraftschlüssige Verbindungen stoßen aufgrund des Kriechverhaltens von Aluminium an ihre Grenzen. Herkömmliche Schweißlösungen zeigen zudem häufig Schwächen hinsichtlich der Langzeitzuverlässigkeit unter thermischer Belastung.

Die Substitution von Kupfer durch Aluminium zur Steigerung der Kosteneffizienz scheitert heute nicht am Werkstoff, sondern an der zuverlässigen Verbindung zwischen beiden Materialien, wie in Abbildung 2 gezeigt.

KERN LIEBERS

KERN LIEBERS GmbH & Co. KG
Dr.-Kurt-Steim-Straße 35
78713 Schramberg

www.kern-liebers.com

Schließen der Zuverlässigkeitslücke

Genau an diesem Punkt setzt die Entwicklungsarbeit von KERN-LIEBERS an. Ziel ist nicht ausschließlich die Herstellung einer Verbindung zwischen Kupfer und Aluminium. Vielmehr muss die Verbindung auch nach tausenden Temperaturzyklen, mechanischen Belastungen und langjährigem Betrieb zuverlässig funktionieren.

Abbildung 3 zeigt die hierfür entwickelte Prozesskette, die mehrere Schritte mit einschließt: Die gezielte Vorbereitung der Aluminiumoberfläche, die lokale Applikation einer metallischen Zwischenschicht sowie ein speziell abgestimmtes Fügeverfahren. Ergänzend erfolgt die Validierung der Verbindungsqualität hinsichtlich ihrer Langzeitstabilität.

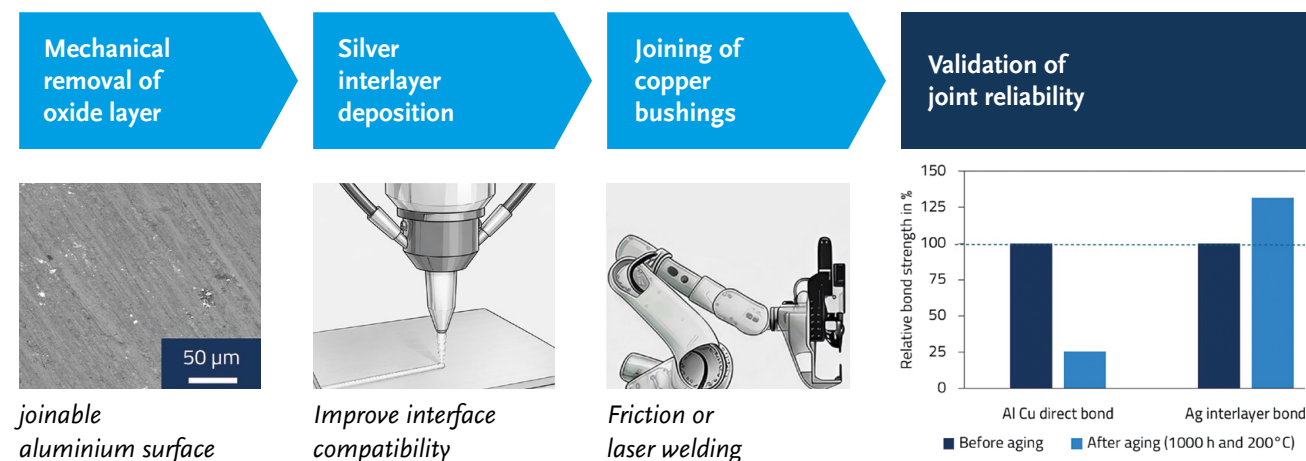


Abbildung 3:
Innovative Verbindungstechnik als Enabler der Aluminiumsubstitution.
Durch die gezielte Beherrschung der Materialschnittstelle wird der zuverlässige Einsatz von Aluminium in anspruchsvollen Hochstromanwendungen ermöglicht.

Durch diesen Ansatz wird die kritische Zuverlässigkeitslücke bestehender Lösungen adressiert und die technische Voraussetzung geschaffen, Aluminium auch in anspruchsvollen Hochstromanwendungen einzusetzen.

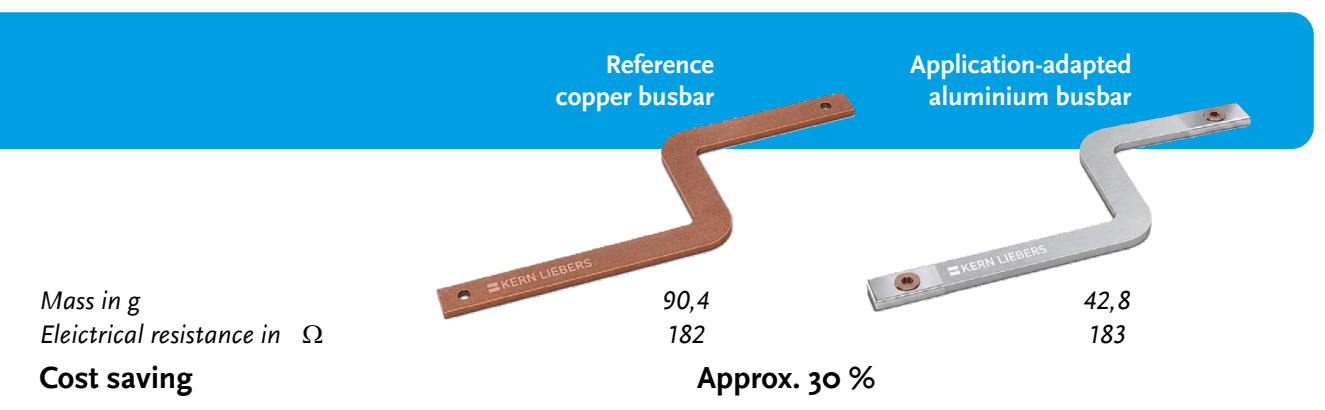
Vom Technologiebaustein zum serienfähigen Produkt

Entscheidend für eine industrielle Umsetzung ist nicht allein die Verbindungstechnologie, sondern ihre Integration in eine wirtschaftliche Produktionskette.

KERN-LIEBERS konnte die entwickelte Technologie bereits auf einen anwendungsnahen Busbar-Demonstrator übertragen (s. Abbildung 4). Dabei wurde die Geometrie gezielt für den Einsatz von Aluminium angepasst, um ein realistisches Substitutionsszenario abzubilden. Das Ergebnis zeigt, dass sich die elektrischen Eigenschaften auf dem Niveau einer Kupferlösung halten lassen, während gleichzeitig Gewicht und Materialeinsatz deutlich reduziert werden.

Die Technologie lässt sich dabei in bestehende Fertigungsumgebungen integrieren und baut auf vorhandenen Kompetenzen in den Bereichen Umformtechnik, Automation und Fügechnik auf.

Abbildung 4:
Die Gegenüberstellung von Technologiedemonstratoren aus Aluminium und Kupfer zeigt einen deutlichen Preis- und Gewichtsvorteil.



Verbindungstechnik als Enabler zukünftiger Fahrzeuggenerationen

Die Entwicklung zeigt exemplarisch, wie sich die Rolle moderner Produktionstechnik verändert. Nicht mehr allein der Werkstoff entscheidet über die Leistungsfähigkeit eines Produkts, sondern das Zusammenspiel aus Werkstoff, Konstruktion, Fertigungstechnologie und Industrialisierung.

Innovative Verbindungstechnik wird dadurch zum Enabler neuer Produktkonzepte. Sie ermöglicht den wirtschaftlichen Einsatz alternativer Werkstoffe und schafft die Voraussetzung für leichtere, kosteneffizientere und nachhaltigere elektrische Systeme.

Zuverlässige Aluminium-Kupfer-Verbindungen schaffen die Voraussetzung, die wirtschaftlichen Vorteile von Aluminium erstmals in anspruchsvollen Hochstromanwendungen nutzbar zu machen. Damit wird Verbindungstechnik vom Fertigungsschritt zum Enabler zukünftiger Hochvolt- und Energieverteilungssysteme.

Kontakt



Dr. Benjamin Hertweck
Senior Vice President
Corporate R&D

Tel.: +49 7422 511 483
benjamin.hertweck@kern-liebers.com