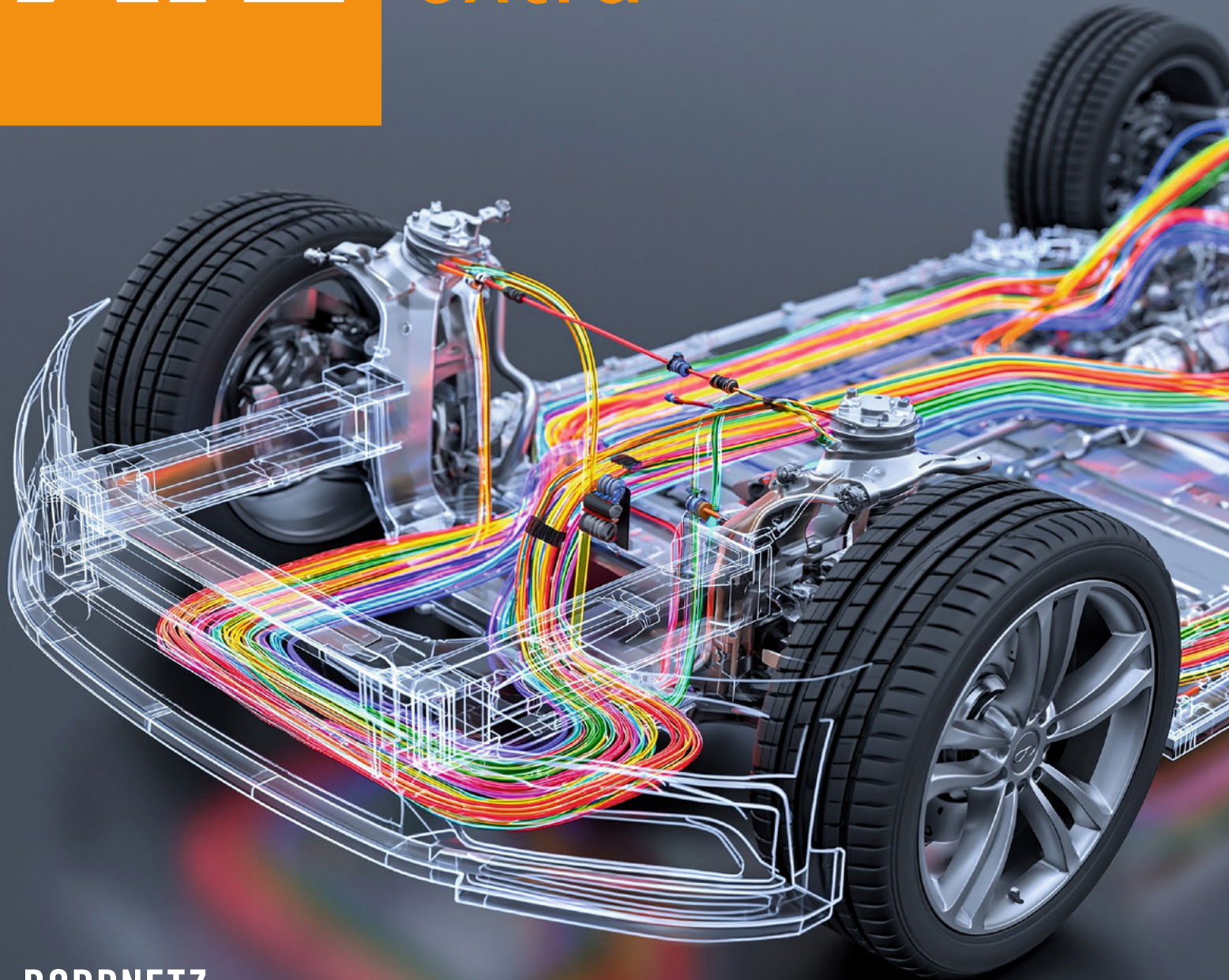


ATZ extra



BORDNETZ

Neues Verfahren zur sicheren Verbindung von Aluminium und Kupfer

 **KERN LIEBERS**

SMART SPRINGS & SMART PARTS



© Kern Liebers

Passives Laserstrahlschweißen von Aluminium und Kupfer

Mit steigender Zahl an Elektrofahrzeugen kommt bei stromleitenden Strukturen neben Kupfer vermehrt Aluminium zum Einsatz, getrieben durch Kostendruck und höhere Anforderungen an die Reichweite. So entstehen Verbindungspunkte zwischen Aluminium- und Kupferbauteilen, bei denen konventionelle Fügeverfahren durch eingeschränkte Schweißbarkeit an ihre Grenzen stoßen. Daher stellt Kern Liebers als systemischen Ansatz das passive Laserstrahlschweißen vor.

VERFASST VON



David Glatthaar, M. Sc.
ist Engineer Corporate
R&D Projects bei Kern
Liebers in Schramberg.



Jan Philipp, M. Sc.
ist Head of Corporate
R&D Projects bei Kern
Liebers in Schramberg.



**Dr.-Ing. Dipl.-Phys.
Benjamin Hertweck**
ist Senior Vice President
Corporate R&D bei Kern
Liebers in Schramberg.

Die voranschreitende Elektrifizierung von Fahrzeugen führt zunehmend zur Substitution von Kupfer (Cu) durch Aluminium (Al) in elektrischen Leitern und Verbindungselementen. Haupttreiber sind dabei insbesondere der steigende Kosten- und Gewichtsdruck [1]. In elektronischen Komponenten wie Elektromotoren, Steuergeräten, Leistungsrelais oder Leistungshalbleitermodulen bleibt Kupfer jedoch aufgrund seiner elektrischen, thermischen und Oberflächeneigenschaften in spezifischen Funktions-

bereichen weiterhin erforderlich. Das trifft auch auf Batteriesysteme zu, da dort aus elektrochemischen Gründen sowohl Kupfer als auch Aluminium als Elektrodenmaterial erforderlich sind. Daraus ergibt sich systembedingt die Notwendigkeit, beide Werkstoffe innerhalb eines Stromkreises nicht nur zuverlässig und dauerhaft, sondern auch mit kosteneffizienten Fertigungsverfahren zu verbinden. Der vorliegende Artikel zeigt das Potenzial des passiven Laserstrahlschweißens und dessen systemische Anwendung,

etwa bei der Anbindung von Stromschienen, Kontakten in der Leistungselektronik und bei der Zellkontaktierung.

HERAUSFORDERUNG CU-AL-KONTAKTIERUNG

Das Fügen dieser Materialkombination stellt eine besondere Herausforderung dar, **BILD 1**. Denn klassische thermische Fügeverfahren führen häufig zur Ausbildung spröder intermetallischer Phasen, die sich durch Materialvermischung im



BILD 1 Gegenüberstellung von Kupfer-Aluminium-Fügeverbindungen mit Defekten (links), mit intermetallischer Phase (Mitte) und ohne Übergangsphase (rechts) (© Kern Liebers)

Schmelzbad bilden. Diese Phasen beeinflussen sowohl die mechanischen Eigenschaften als auch die elektrische Leitfähigkeit der Verbindung negativ. Unter elektrischer und thermischer Betriebsbelastung sinkt die Langzeitzuverlässigkeit weiter ab [2]. Alternative Fügeverfahren stoßen dabei nicht selten an technologische oder geometrische Grenzen.

Vor diesem Hintergrund stellt das passive Laserstrahlschweißen einen vielversprechenden Ansatz dar [3]. Neuartige Laserstrahlquellen ermöglichen eine gezielte Energieeinbringung, sodass ohne vollständige Aufschmelzung beider Fügepartner intermetallische Phasen gezielt unterdrückt und elektrisch leitfähige Verbindungen realisiert werden können, **BILD 1** (rechts).

Zahlreiche automobile elektrische Systeme zeigen hohes Potenzial für die Verwendung von Aluminium. Typische Beispiele finden sich in Batteriezellen und

-modulen sowie in der Leistungselektronik. Im Betrieb stellen die thermischen Zyklen eine Herausforderung dar, da sie das Wachstum spröder Phasen begünstigen können. Dies kann langfristig zu einer Erhöhung des Übergangswiderstands sowie zu einer Beeinträchtigung der mechanischen Stabilität unter dynamischen mechanischen Belastungen führen [4]. Ziel ist es daher, Cu-Al-Verbindungen zu realisieren, die ohne oder nur mit einem Minimum an spröden Phasen auskommen. Diese werden dann den Anforderungen moderner elektrischer Systeme, wie Effizienz, Zuverlässigkeit und Lebensdauer, gerecht.

VORTEILE DES VERFAHRENS

Das passive Laserstrahlschweißen stellt in diesem Kontext keinen reinen Fertigungsprozess dar, sondern fungiert als systemischer Schlüsselfaktor, um Cu-Al-

Kontaktstellen beherrschbar auszulegen. Aus Systemperspektive ergeben sich daraus drei wesentliche Vorteile.

Erstens erlaubt das passive Laserstrahlschweißen eine anwendungs- und skalierungsübergreifende Nutzung entlang der elektrischen Architektur eines Fahrzeugs. **BILD 2** verdeutlicht die Einordnung entsprechender Kontaktierungen von der Baugruppen- über die Modul- bis zur Systemebene, wodurch mit einer einheitlichen Fügestrategie unterschiedliche Applikationen realisiert werden können. Das reicht von feinen Cu-Al-Kontaktierungen im Inneren einer Batteriezelle über Zellverbinder bis hin zu Stromschienen mit großem Querschnitt auf Modul- und Systemebene. Die einheitliche Prozesslogik ermöglicht es, sehr unterschiedliche Leiterquerschnitte zu beherrschen und den Aluminiumanteil über das gesamte Fahrzeug hinweg signifikant zu erhöhen. Prozess-

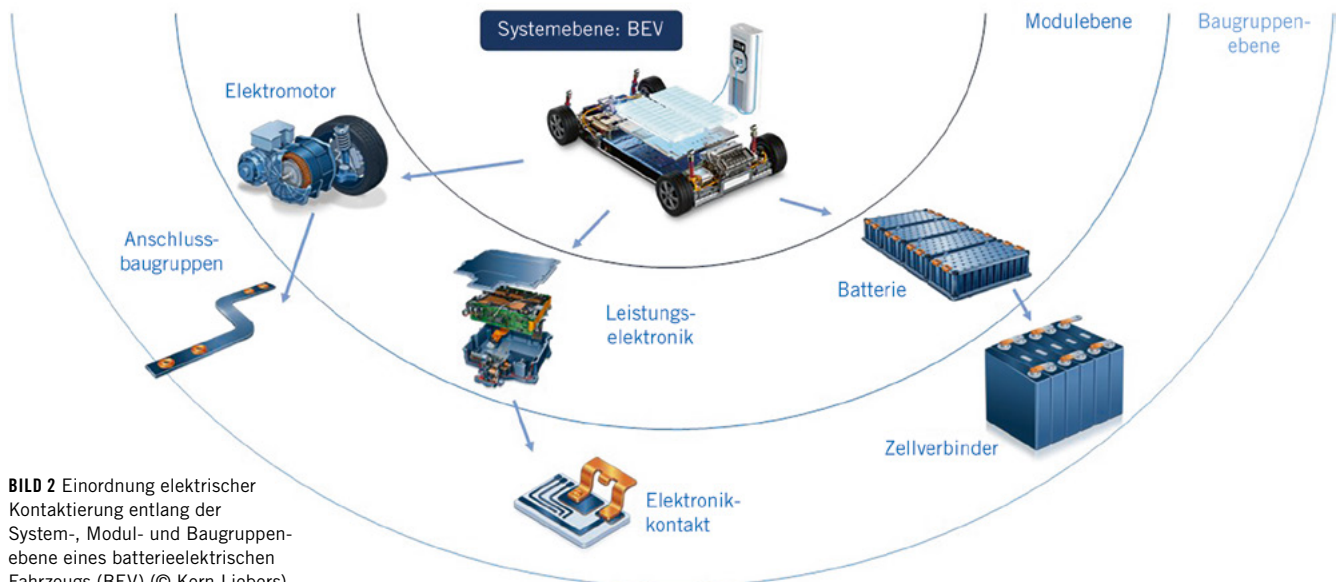


BILD 2 Einordnung elektrischer Kontaktierung entlang der System-, Modul- und Baugruppenebene eines batterieelektrischen Fahrzeugs (BEV) (© Kern Liebers)

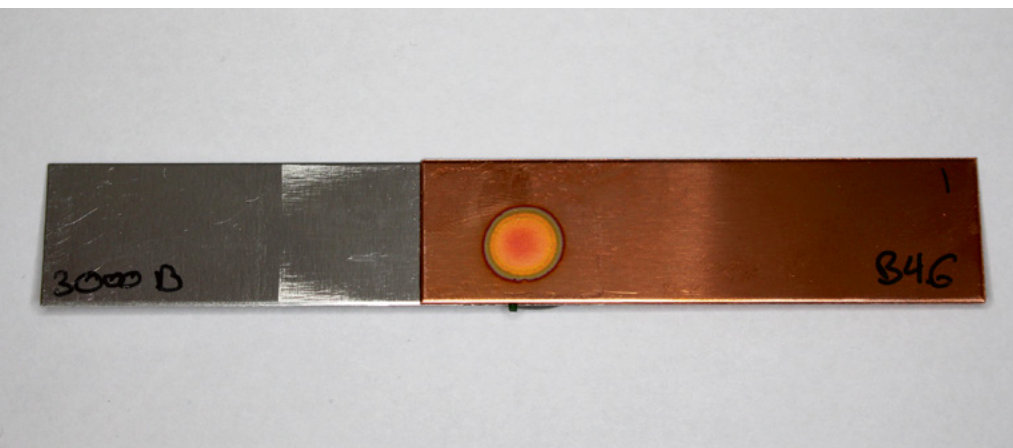


BILD 3 Durch passives Laserstrahlschweißen erzeugte Fügeverbindung mit sichtbarer Wärmeinflusszone (© Kern Liebers)

seitig können diese Anwendungen durch eine Skalierung des Prozesses realisiert werden, was die Industrialisierung signifikant vereinfacht.

Darüber hinaus eröffnet das Verfahren neue Freiheitsgrade im Design elektrischer Systeme. Wie in **BILD 3** gezeigt, lassen sich durch flächige, stoffschlüssige Kontaktierungen zwei Bleche ohne zusätzliche mechanische Verbindungselemente fügen. Der Verzicht auf Schrauben-, Klemmlösungen oder Nieten ermöglicht kompakte Kontaktstellen, wodurch sowohl der Bauraum als auch die Anzahl einzelner Systemkomponenten reduziert werden. Dies verschlankt Fertigungslinien und spart durch den reduzierten Bedarf an Teilen Kosten ein.

Zudem ist der Ansatz besonders gut für automatisierte Fertigungsumgebungen geeignet. Lasersysteme sind in der industriellen Produktion etabliert, gut regelbar und lassen sich zuverlässig in bestehende Fertigungslinien integrieren. Insgesamt trägt das Verfahren dazu bei, Cu-Al-Kontaktierungen von einem potenziellen systemischen Risikofaktor zu einer gezielt auslegbaren und beherrschbaren Systemschnittstelle zu machen.

GRUNDPRINZIP

Im Unterschied zu klassischen laserbasierten Fügeverfahren wird beim passiven Laserstrahlschweißen bewusst auf das Aufschmelzen der Fügepartner verzichtet. Wie in **BILD 4** schematisch dargestellt, erfolgt die Energieeinbringung über den Kupferwerkstoff, wo-

bei die eingebrachte Wärme aufgrund seiner hohen Wärmeleitfähigkeit zur Grenzfläche transportiert wird. Auf diese Weise kann sich zwischen Kupfer und Aluminium eine diffusionsbasierte Fügeverbindung ausbilden, ohne dass ein gemeinsames Schmelzbad entsteht.

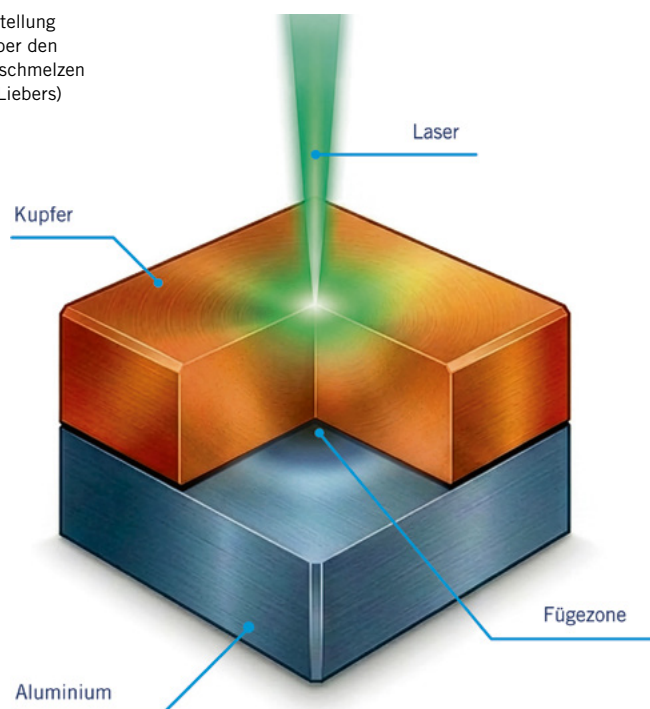
Aus systemischer Sicht ist dieser Ansatz insbesondere deshalb interessant, weil sich im Vergleich zum klassischen Laserstrahlschweißen die Bildung ausgeprägter intermetallischer Phasen deutlich reduzieren lässt. Moderne Laserquellen, beispielsweise mit

grüner Wellenlänge, ermöglichen dabei eine verbesserte Energieeinkopplung in Kupfer und tragen zu einer kontrollierten und stabilen Prozessführung bei. Das passive Laserstrahlschweißen stellt somit eine Ergänzung zu bestehenden Fügeverfahren dar, insbesondere für Anwendungen mit hohen Anforderungen an Kontaktqualität und Langzeitstabilität.

KONTAKTIERUNG VON HOCHSTROMANWENDUNGEN

Das vorgestellte Verfahren eignet sich insbesondere für hochstromführende Anwendungen wie Leistungselektronik oder Batteriemanagementsysteme. Aufgrund der sehr kontrollierten Energieeinbringung werden thermisch empfindliche Bauteile wie Halbleiter, Isolationsmaterial oder logische Bauelemente in der unmittelbaren Umgebung nicht beeinträchtigt. Wie in **BILD 5** schematisch gezeigt, lassen sich hochstromleitfähige Stromschienen direkt und materialschlüssig an Batteriemanagementsysteme anbinden. Sammelschienen in Batteriemodulen sowie die Anbindung leistungselektronischer Module oder Phasenkontaktierungen elektrischer Antriebe können dabei mit Aluminiumstromschienen ausgeführt werden und zuverlässig durch Schweißverbindungen realisiert werden.

BILD 4 Schematische Darstellung der Energieeinbringung über den Kupferwerkstoff ohne Aufschmelzen der Fügepartner (© Kern Liebers)



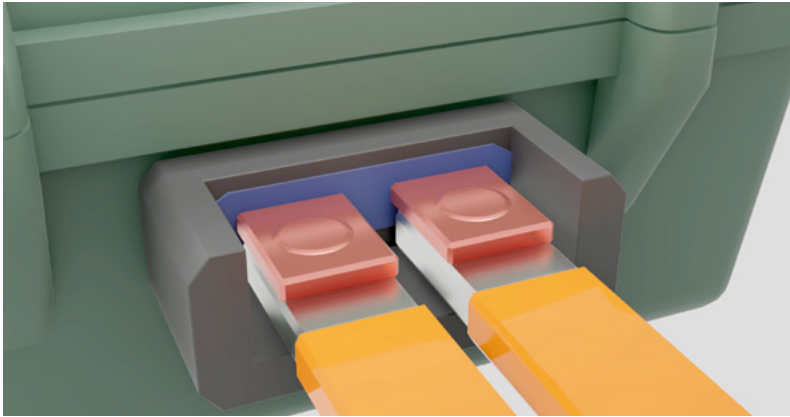


BILD 5 Schematische Darstellung einer Füge­stelle zur Anbindung hochstromleitfähiger Strom­schienen an Batteriemanagementsysteme (© Kern Liebers)

KONTAKTIERUNG IN BATTERIESYSTEMEN

In heute gebräuchlichen Lithium-Ionen-Zellen wird aus zellchemischen Gründen intern eine Kombination aus Kupfer und Aluminium eingesetzt. Während auf der Kathodenseite Aluminium als Stromsammel­verwendet wird, bestehen die entsprechenden Strukturen auf der Anodenseite aus Kupfer. Diese internen Stromsammel­, an denen die Elektrodenfolien kontaktiert sind, müssen aus dem Zellinneren herausgeführt und an externe elektrische Anschlüsse an-

gebunden werden. Auf Systemebene werden Batterieterminals sowie die weiter­führende Kontaktierung im Modul und Pack aus Gewichts-, Kosten- und Packaging-Gründen überwiegend aus Aluminium ausgeführt. Daraus ergibt sich insbesondere auf der Anodenseite zwangsläufig eine Cu-Al-Übergangs­stelle zwischen den internen kupfer­basierten Kontakten und den externen Aluminium-Terminals. **BILD 6** zeigt hieraus exemplarisch den Batteriedeckel einer prismatischen Lithium-Ionen-Zelle mit einem separat dargestellten Kupferstromsammel­ zur Anodenkontaktie-

rung sowie einem angeschweißten Aluminium-Tab, der den elektrischen Kontakt aus der Zelle herausführt.

Diese hochstromfähige und sicher­heitsrelevante Systemschnittstelle muss über die gesamte Lebensdauer hinweg niedrige Übergangswiderstände sowie eine hohe mechanische und thermische Stabilität gewährleisten. Das passive Laserstrahlschweißen bietet hierfür einen geeigneten systematischen Lösungsansatz und trägt zur Steigerung der Langzeitstabilität der Kontakt­stelle bei. Gleichzeitig eröffnet das Verfahren Freiheitsgrade, die Kontaktierung kompakt und funktionsintegriert auszu­legen, wodurch schlanke Gehäusekonzepte und eine effiziente Automatisierung unterstützt werden.

FAZIT

Anhand der dargestellten Beispiele wird deutlich, dass die Entwicklung neuer Füge­technologien für Cu-Al-Verbindungen als ein Schlüsselfaktor für den Einsatz von Aluminium in elektrifizierten Fahrzeugen betrachtet werden kann. Mit dem Werkstoff kann auf Fahrzeugebene signifikant Gewicht eingespart werden, was unmittelbar zu einer Effizienzsteigerung führt, bei gleichzeitig unveränderter Langzeitstabilität der einzelnen Fahrzeugkomponenten.

LITERATURHINWEISE

- [1] Ernst, M.; Heuermann, M.: Die wichtigsten Bordnetz-Trends. In: Elektronik automotive (2014), Nr. 14, S. 20-23
- [2] Petzoldt, F.; Bergmann, J. P.; Schürer, R.; Schneider, S.: Einfluss intermetallischer Phasen auf die Langzeitstabilität von ultraschallgeschweißten Kupfer-Aluminium-Kontakten. In: Metall 67 (2013), Nr. 11, S. 504-507
- [3] Bergmann, J. P.; Schrick, K.; Seibold, M.: Investigation on indirect laser welding of copper to aluminum. In: Procedia CIRP 124 (2024), S. 30-35. Online: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827124004190>, aufgerufen: 12.11.2025
- [4] Schneider, R.; Löbl, H.; Großmann, S.; Schoenemann, T.; Holdis, M.: Langzeitverhalten von Aluminium-Kupfer-Verbindungen in der Elektroenergie-technik. In: Metall 63 (2009), Nr. 11, S. 591-594

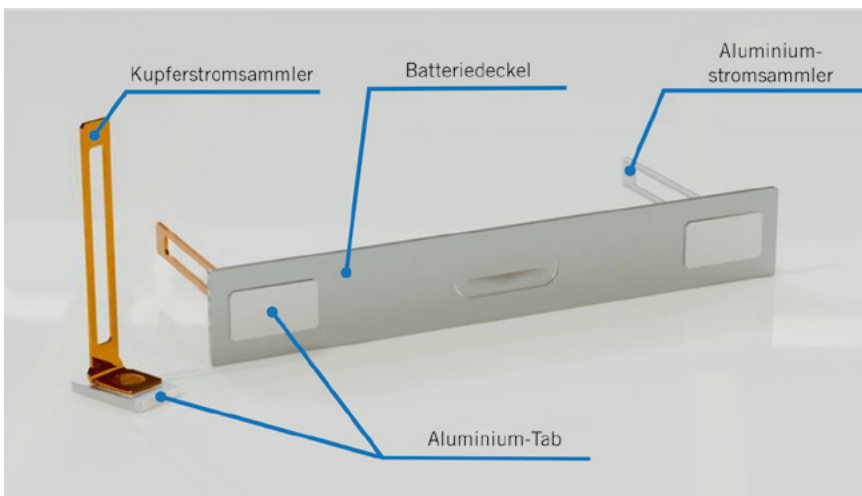


BILD 6 Batteriedeckel einer prismatischen Lithium-Ionen-Batterie mit separat dargestelltem Kupferstromsammel­ zur Anodenkontaktierung und angeschweißtem Aluminium-Tab (© Kern Liebers)

IMPRESSUM

Sonderausgabe 2026 in Kooperation mit KERN LIEBERS GmbH & Co. KG, Dr.-Kurt-Stein-Str. 35, 78713 Schramberg; Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, Postfach 1546, 65173 Wiesbaden, Amtsgericht Wiesbaden, HRB 9754, USt-IdNr. DE81148419

GESCHÄFTSFÜHRER:

Stefanie Burgmaier | Andreas Funk | Alexandra Dambeck

PROJEKTMANAGEMENT: Anja Trabus

TITELBILD:

© DigitalSpace | generated with AI | stock.adobe.com



SMART SPRINGS & SMART PARTS

A close-up photograph of a male technician in a dark blue uniform working on a precision machine. Several blue springs are visible, some attached to the machine and others hanging from above. The technician is looking down at his work with concentration.

Intelligenz im Detail. Weltweit die Nummer Eins.

KERN LIEBERS ist der **globale Marktführer** für smarte Präzision mit Intelligenz im Detail - bei allem was wir entwickeln und produzieren. Unsere Produkte kommen in extrem anspruchsvollen Anwendungen der **Mobilität, Energie- und Gebäudetechnik, Medizintechnik** sowie **Maschinen- und Anlagenbau**, und der **Konsumgüterindustrie** zum Einsatz.

Wir sind **Technologieführer** und setzen Maßstäbe in der Entwicklung und Produktion, wenn Präzision und Zuverlässigkeit zusammenkommen. Unsere Intelligenz im Detail übertrifft die Anforderungen unserer Kunden und bietet Ihnen verlässliche Funktion, wo sie zählt. Deshalb sind unsere Produkte weitaus mehr als nur technische Federn und Metallteile.

Sie sind unsichtbare Helden: Smart Springs und Smart Parts.

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

E-Mail info@kern-liebers.com
Phone +49 7422 511 - 0

