

■ Abb. 1: Schweißen von Batterie-Modulen.

EFFIZIENTE LASERSCHWEISS-LÖSUNGEN FÜR DIE PRODUKTION ZYLINDRISCHER BATTERIEZELLEN

Die E-Mobilitätsbranche befindet sich im Spannungsfeld zwischen rasant wachsendem Volumen und technologischer Komplexität. Insbesondere die Fertigung von zylindrischen Batteriemodulen (vgl. Abb.1) erfordert hochflexible, skalierbare und präzise Prozesslösungen. Dabei hat sich das Laserschweißen – und hier insbesondere das Remote-Laserschweißen – als Schlüsseltechnologie etabliert.

Wandel des Prozess-Designs: Von 'Cell-to-Module' zu 'Cell-to-Pack' und 'Cell-to-Chassis'

Frühere Designansätze, wie Cell-to-Module (C2M), wurden zunehmend von innovativeren Architekturen wie Cell-to-Pack (C2P) und Cell-to-Chassis (C2C) abgelöst. Beide Konzepte verzichten auf die klassische Modulebene, wodurch Bauteilanzahl und Produktionskosten reduziert werden. Im **C2P-Konzept** werden Batteriezellen direkt zu einem Pack zusammengeführt. Dies erhöht die Energiedichte und senkt den Materialeinsatz, bringt jedoch Herausforderungen bzgl. Reparaturfähigkeit, Crash-Sicherheit und Temperatur-Management mit sich.

C2C geht noch einen Schritt weiter: Die Integration der Zellen erfolgt direkt in das Fahrzeugchassis. Dies bietet maximale Raumausnutzung, erfordert aber höchste Präzision in Planung und Fertigung. Beide Ansätze verlangen nach hochpräzisen Fertigungsprozessen – insbesondere im Bereich der Zellkontaktierung mittels Laserschweißen.

Technologische Herausforderungen beim Busbar-Schweißen

Ein zentraler Prozessschritt in der Batterieproduktion ist das Fügen von Busbars – meist dünne Kupfer- oder Aluminiumbänder – mit Hilfe von Lasern hoher Strahlqualität

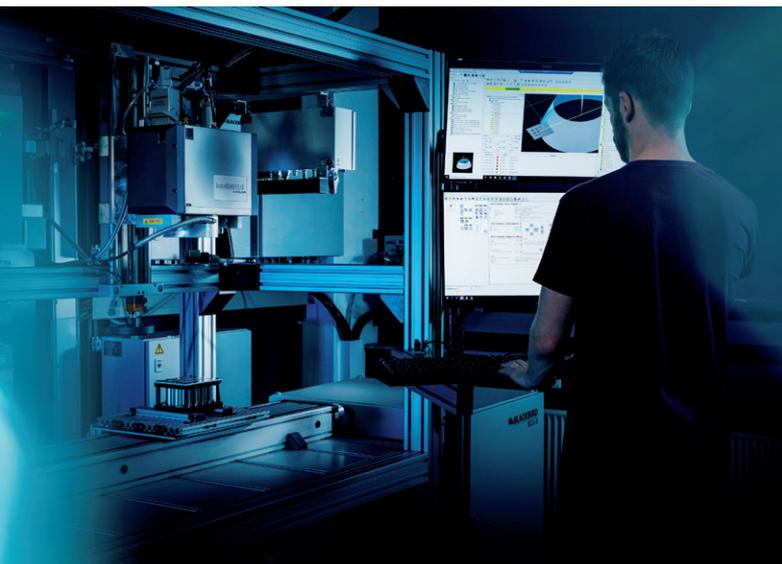


Abb. 2: Produkt-Lösung für On-the-Fly Busbar-Schweißen von zylindrischen Batteriezellen.

und geringer Fokusbereich. Die gängige Wahl fällt auf Singlemode-Laser, die jedoch spezielle Herausforderungen mit sich bringen: Der Prozess reagiert empfindlich auf geringe Fokusverschiebungen. Bei eingebetteten Batteriezellen führen selbst kleine Höhenabweichungen der Kontaktpunkte zu deutlichen Unterschieden im Energieeintrag, was die Reproduzierbarkeit des Schweißergebnisses erschwert.

2D-Scan-Systeme stoßen hierbei an ihre Grenzen. Um die notwendige Präzision und Geschwindigkeit zu erreichen, haben sich für diese Anwendungen 2.5D- und 3D-Scan-Systeme bewährt. Diese erlauben nicht nur eine adaptive Fokuseinstellung, sondern auch die Abdeckung großer Scan-Felder – essenziell bei komplexen Zelllayouts und geometrischen Streuungen der Kontaktpunkte.

Skalierbarkeit als Schlüsselkriterium: Produktlösung für zuverlässige Prozesse

Die Umsetzbarkeit in den industriellen Maßstab entscheidet über den wirtschaftlichen Erfolg. Nur wenn die Prozesslösungen reproduzierbar, robust und skalierbar sind, lassen sich Qualität und Durchsatz langfristig in Einklang bringen. Blackbird hat eine modulare Systemlösung (siehe Abb. 2) entwickelt, die optimal auf die genannten Anforderungen abgestimmt ist.

Die Laser-Scanner der Schwesterfirma SCANLAB wie z. B. **intelliWELD-Systeme** sind in Varianten mit f-Theta-Linse oder Vorfokus-Optik verfügbar und überzeugen durch hohe Dynamik und präzise Fokusanpassung. Kombiniert mit der **ScannerControlBox (SCB)** – einem platzsparenden, energieeffizienten Controller – ergibt sich ein leicht integrierbares Gesamtsystem für moderne Produktionsumgebungen.

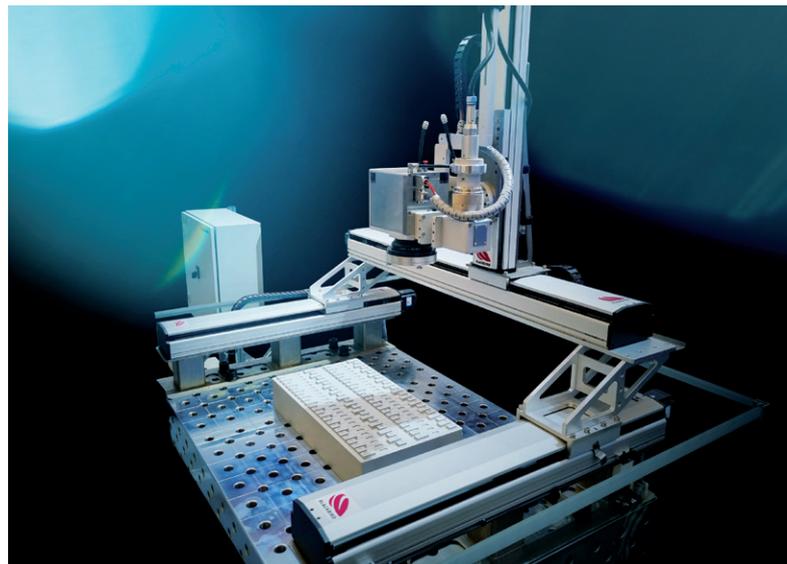


Abb. 3: Gantry-Layout zum OTF-Schweißen von Batterie-Modulen.

Die **RobotSyncUnit (RSU)** Anwender-Software fungiert als zentrale Schnittstelle zur Maschinen- und Robotersteuerung und ermöglicht benutzerfreundlich und intuitiv die individuelle Parametrisierung jeder einzelnen Schweißnaht, inklusive Überwachung sicherheitsrelevanter Prozessgrößen.

OTF – Industriestandard mit Innovationspotenzial

Bereits 2008 initiierte Blackbird die Entwicklung des **On-the-Fly (OTF)** Schweißens – einem synchronisierten Prozess, bei dem das Laserschweißen während der Bewegung des Werkstücks oder des Scanners erfolgt. Dieses Verfahren maximiert die Laser-On-Zeit und erhöht dadurch signifikant die Prozesseffizienz.

Heute gilt OTF als industrieller Benchmark für effizientes Remote-Laserschweißen. Die Herausforderung liegt darin, trotz hoher Dynamik und Geschwindigkeit die Schweißnahtposition exakt einzuhalten. Herkömmliche Roboterhandling-Systeme scheitern hier oft an mangelnder Wiederholgenauigkeit. Daher entwickelte Blackbird ein neues Maschinenkonzept.

Kern dieses Konzepts ist ein durch zwei Achs-Systeme betriebenes Setup in Abb. 3 gezeigt als Gantry-System. Dieses erlaubt eine hochgenaue Bahnführung des Scanners und dessen Synchronisation in Echtzeit. Der Prozess wird über Hardware-Trigger (z. B. Lichtschranken) initiiert.

Die Position des TCP (Tool Center Point) wird über Encoder-Signale kontinuierlich überwacht, wobei eine Schweißung nur erlaubt wird, wenn reale und berechnete Position übereinstimmen. Dies ermöglicht einen kontinuierlichen Fertigungsprozess – ideal für hohe Stückzahlen und kurze Taktzeiten.

Präzisionsnachführung durch Vision-Systeme und OCT

Um Nahtpositionen trotz Bauteiltoleranzen exakt zu erfassen, stehen bei Blackbird grundsätzlich zwei Technologie-Pakete zur Verfügung.

Zum einen das **Vision-on-the-Fly-Paket**, bei dem eine smarte Kamera in Echtzeit Bauteilkonturen erkennt und Korrekturdaten berechnet. Die entstehenden Offset-Koordinaten und Fokusberechnungen werden zur Laufzeit in das aktive Scanner-Programm eingespeist. Besonders bei zylindrischen Zellen mit Höhenabweichungen ist dies entscheidend, da Singlemode-Laser durch ihre hohe Strahlqualität und die damit verbundene empfindliche Reaktion auf Fokusberechnungen eine präzise Fokussierung erfordern.

Zum anderen kann mittels **Optischer Kohärenztomographie (OCT)** vor dem Schweißprozess die reale Zellhöhe präzise erfasst und zur dynamischen Anpassung der Fokusberechnung verwendet werden. So wird auch bei geometrischen Abweichungen eine konstant hohe Schweißqualität sichergestellt. Ergänzend dazu ermöglicht OCT eine **prozessbegleitende Nahtinspektion**, bei der die Schweißnaht direkt nach Erstarrung der Schmelze überprüft wird. Dies ist besonders vorteilhaft bei komplexen Geometrien wie spiralartigen Überlappverbindungen im Busbar-Schweißen. Die Kombination aus präziser Höhenmessung und integrierter Qualitätsprüfung stärkt die Prozesssicherheit und unterstützt eine zuverlässige, kontinuierliche Serienfertigung. Ein besonderer Vorteil der Blackbird OCT-Lösung besteht darin, dass vor Sprüngen keine Wartezeit entsteht. Insbesondere bei Prozessen, die über 1000 Schweißnähte aufweisen, erweist sich dies als signifikant vorteilhaft.

Fazit

Die beschriebenen Lösungen erlauben eine hochpräzise, skalierbare und effiziente Umsetzung der Zellkontaktierung im Kontext moderner Batteriearchitekturen. Blackbird hat sich seit Jahren als technologisch führender Partner für die E-Mobilitätsfertigung etabliert und unterstützt weltweit Kunden im Automobilbereich mit der Lösung individueller Herausforderungen in automatisierten Fertigungsumgebungen.

Autor:
Ralf Nürnberg
Leiter Produktmanagement
Blackbird Robotersysteme GmbH
Carl-Zeiss-Str. 5
85748 Garching
Tel.: +49 89 307 484-700
E-Mail: info@blackbird-robotics.de
www.blackbird-robotics.de



ROBUSTE MESSTECHNIK MAXIMALE ABSORPTION

70K-W Ultra-High-Power Sensor

Hochleistungslaser einfach messen

Der Sensor misst Laserleistungen bis 70 kW präzise und zuverlässig. Das System ist ideal in der Entwicklung von Hochleistungs-Faserlasern oder Directed Energy-Systemen sowie zur Messung von Laseranlagen in Schweiß- und Schneidprozessen.

- Misst Leistungen von 2 kW bis 70 kW
- Großer Spektralbereich von 900 nm bis 1100 nm und 10,6 µm
- 130 mm Apertur
- Sehr geringe Rückreflexion von <0,5%
- Ethernet- und RS232-Schnittstellen
- Geeignet für vertikale und horizontale Messungen



For more information visit
www.ophiropt.com