

---

# KI und Big Data in der Echtzeit-Qualitätskontrolle von Fügeprozessen

White Paper

# KI und Big Data in der Echtzeit-Qualitätskontrolle von Fügeprozessen

---

**Von Slobodan Glavaški**

CEO MultiMaterial-Welding

**und Martin Rhême**

Head of R & D MultiMaterial-Welding

**In Zusammenarbeit mit MM-Welding Bossard Team**

[www.bossard.com](http://www.bossard.com)

Alle Rechte vorbehalten © 2024 Bossard

Die erwähnten Empfehlungen und Hinweise sind im praktischen Einsatz durch den Leser hinreichend zu überprüfen und für deren Anwendung als geeignet zu erklären. Änderungen vorbehalten.



ASSEMBLY  
TECHNOLOGY  
EXPERT

## KI UND BIG DATA IN DER ECHTZEIT-QUALITÄTSKONTROLLE VON FÜGEPROZESSEN

# Einführung

---

Die Transportindustrie befindet sich inmitten eines massiven Wandels, und die Fahrzeuge der Zukunft unterscheiden sich grundlegend von denen der Vergangenheit. Evolutionäre Entwicklungen im Bereich des Leichtbaus, aber auch disruptive Trends wie die Elektromobilität oder das autonome Fahren, stellen die Automobilentwickler vor ganz neue Herausforderungen.

### **E-Mobilität und Leichtbau verändern die Transportbranche**

Im Hinblick auf die E-Mobilität stellt auch die Integration von Batterien neue Anforderungen an die Hersteller. Aufgrund ihres hohen Gewichts erfordern die Batterien Änderungen hinsichtlich Konstruktion, Design und verwendeter Materialien. Dasselbe gilt für den Leichtbau, der sowohl Elektro- als auch konventionelle Autos sicherer und nachhaltiger macht. Immer mehr Komponenten werden durch verschiedene Arten von leichten Materialien und Verbundwerkstoffen ersetzt. Infolgedessen werden den Entwicklern und Konstrukteuren neue Zwänge auferlegt, und die Komponenten und Bauteile müssen noch leichter und dennoch widerstandsfähiger sein. Darüber hinaus müssen die Kosten im Auge behalten werden. Die einzige Möglichkeit, mit dem Tempo der Entwicklungen Schritt zu halten und die effizientesten und sichersten Lösungen anzubieten, ist die konsequente Nutzung der durch die Digitalisierung gebotenen Werkzeuge. Untrennbar damit verbunden ist die Nutzung von digitalen Anwendungen in Form von Industrie-4.0-Lösungen.

### **Digitalisierung von Verbindungsprozessen**

Ein oft unterschätztes, aber wesentliches Verbindungsglied zwischen den verschiedenen, in diesen neuen Anwendungen eingesetzten Materialien ist die Verbindungstechnik. Die Sicherheit der Konstruktion hängt buchstäblich davon ab. Darüber hinaus muss der Fügeprozess schnell, effizient und kostengünstig erfolgen. Der in der Automobil- und Transportindustrie eingesetzte Materialmix stellt die Hersteller vor zahlreiche Herausforderungen bei der Auswahl der perfekten Verbindungstechnik: Die Lösungen müssen optimal auf die Eigenschaften der Materialien und die Bedürfnisse der jeweiligen Anwendung abgestimmt sein. Dies setzt voraus, dass die Verbindungstechnik mit dem Innovationsgrad der Materialien Schritt hält. Ein effizienter Ansatz, mit dem sichergestellt werden kann, dass die Verbindungstechnik den höchstmöglichen Standards entspricht, ist der Einsatz von Künstlicher Intelligenz (KI). Das Schweizer Unternehmen MM-Welding, ein Joint-Venture zwischen Bossard und SKion GmbH, hat eine Verbindungstechnologie-Plattform für Leichtbau- und Multimaterial-Konstruktionen entwickelt, die die Erkenntnisse der KI mit ihrer einzigartigen Verbindungstechnik kombiniert.

Bei der MM-Welding-Technologie handelt es sich um eine innovative Plattform für Verbindungstechnik, die Ultraschallenergie nutzt, um eine formschlüssige Verbindung in verschiedenen leichten Materialien zu schaffen. Mit Hilfe seiner Software SmartSolutions kann das Unternehmen zudem eine vollständige Qualitätskontrolle des Verbindungsprozesses gewährleisten, ohne dass zerstörende Prüfmethoden erforderlich sind.

## Fertigung und Künstliche Intelligenz (KI)

Die Digitalisierung von Fertigungsprozessen und die Umsetzung von Effizienzprogrammen gehören zu den aktuellen Top-Themen, die die Unternehmen der Transportbranche vorantreiben. Als ein für die Digitalisierung wesentliches Werkzeug hält KI auch Einzug in den Montagebetrieb.

KI hat einen grossen Einfluss auf die Fertigungsindustrie – mit dem klaren Ziel, die Produktion effizienter, flexibler und nachhaltiger zu gestalten. Die Beherrschung der Künstlichen Intelligenz im industriellen Bereich wird damit zu einem entscheidenden Faktor, um die Spreu vom Weizen zu trennen. Unternehmen, die sich nicht darauf einlassen, werden dazu verdammt sein, in der zweiten Liga zu spielen. Sie sollten also besser vorbereitet sein!

## Durch 100%ige Kontrolle und Rückverfolgbarkeit teure Rückrufaktionen vermeiden

Rückrufaktionen gehören zu den teuersten Vorfällen für Automobilunternehmen. Nicht nur wegen der enormen Kosten, die durch den Austausch defekter Teile verursacht werden. Auch die Rufschädigung des Unternehmens kann langfristig negative Folgen haben. Die einzige Möglichkeit, dies zu vermeiden, ist eine optimale Qualitätskontrolle. Im Gegensatz zu herkömmlichen Stichprobenkontrollen kann die Qualitätskontrolle mittels KI auf 100 % der produzierten Komponenten ausgedehnt werden. Auf diese Weise ist die MM-Welding auch in der Lage, eine vollständige Qualitätskontrolle des Verbindungsprozesses zu gewährleisten. So werden mit Hilfe von Algorithmen des Maschinellen Lernens nur Verbindungen akzeptiert und ausgeliefert, die bestimmte Qualitätskriterien erfüllen.

## Maschinelles Lernen: Know-how über Materialeigenschaften und Software liefert die besten Ergebnisse

Bei der MM-Welding wird Maschinelles Lernen verwendet – eine Untergruppe der Künstlichen Intelligenz. Algorithmen sind die entscheidende Grundlage für maschinelles Lernen: Im Fall der MM-Welding haben sich tiefe neuronale Netzwerke (Deep Neural Networks – DNN) als die präzisesten Prädiktoren erwiesen.

Das Maschinelle Lernen selbst ist ein aussergewöhnlich grosser und vielfältiger Bereich. Zur Vereinfachung kann er in 3 Hauptkategorien unterteilt werden: Überwachtes, Unüberwachtes und Bestärkendes Lernen. Beim Überwachten Lernen werden die Algorithmen mit etikettierten Daten trainiert, während unüberwachte Lerntechniken ohne Etikettierung funktionieren. Beim Bestärkenden Lernen werden virtuelle Agenten ausgebildet, um eine definierte Belohnungsfunktion zu optimieren.

Denken Sie als Beispiel für Überwachtes Lernen an die Bilderkennung. Hier werden gewaltige Datensätze, Millionen von Bildern, für das Training verwendet. Dabei müssen die Bilder mit Etiketten wie „Hund“, „Katze“, „Auto“ versehen werden, damit die in einem Bild enthaltenen Informationen (Pixel) einen Sinn ergeben. Während der Trainings- oder Lernphase lernt der Algorithmus relevante Zusammenhänge zwischen den Bilddaten (Pixeln) als Eingabe- und den Etiketten als Ausgabedaten. Nach dem Training kann der Algorithmus ein noch nie zuvor gesehenes Bild ohne Etikett betrachten und dessen Etikett auf der Grundlage der während der Lernphase gesammelten Erfahrungen vorhersagen.

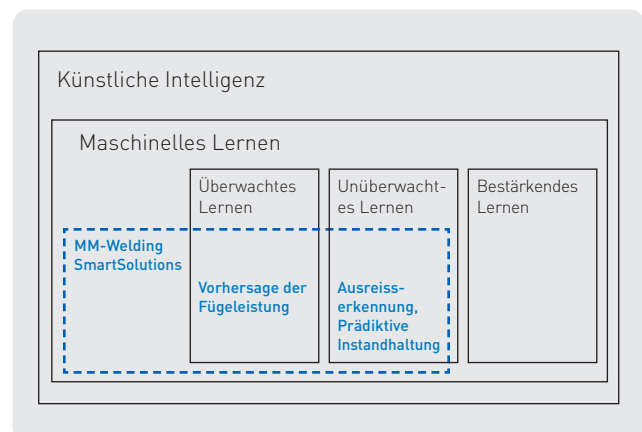


Abb. 1: Anwendungsbereiche der SmartSolution-Software von MM-Welding

Innerhalb des Überwachten Lernens kann man zwischen Regressions- und Klassifikationsaufgaben unterscheiden. Bei einer Regressionsaufgabe sind die Etiketten Zahlen auf einer fortlaufenden Skala, z. B. die Vorhersage der Temperatur von morgen auf der Grundlage gegebener Eingabedaten. Im Rahmen einer Klassifizierungsaufgabe werden die Etiketten hingegen in Kategorien eingeteilt, z. B. „Hund“, „Katze“, „Auto“ oder „positiv“, „negativ“.

Ein Beispiel für Unüberwachtes Lernen ist das Empfehlungssystem von einem der grössten Online-Versandhäusern. Dieses fasst Kunden in Gruppen mit ähnlichen Präferenzen zusammen, um massgeschneiderte Empfehlungen abzugeben. Für diese Aufgabe sind keine spezifischen Etiketten erforderlich; die Daten können direkt verwendet werden. Dies ist relevant, weil die Etikettierung von Daten häufig ein kostspieliger und langwieriger manueller Prozess ist, der sachkundiges Personal erfordert.

Ein Beispiel für Bestärkendes Lernen ist AlphaGo von DeepMind, das erste Computerprogramm, das den professionellen Go-Weltmeister besiegt hat. Die Zielfunktion, die optimiert wird, besteht darin, das Spiel zu gewinnen. So kann der Algorithmus durch das Spielen von Millionen von simulierten Spielen trainiert werden und seine eigenen Strategien danach optimieren, ob sie zu einem Sieg oder einem Verlust des Agenten führen.

Bei der MM-Weldung zeigen neben den DNN auch andere Techniken vielversprechende Ergebnisse. Traditionellere Algorithmen des Maschinellen Lernens wie Support Vector Machines oder Random Forest Ensemble Methoden können verwendet werden und führen zu einer sehr hohen Vorhersagegenauigkeit. Ein weiterer entscheidender Faktor sind die Daten. Es gibt ein Sprichwort: „Daten sind das neue Öl“. So ist ein Algorithmus nur so gut wie der Datensatz, der während der Trainingsphase verwendet wird. MM-Weldung hat dies frühzeitig erkannt und eine eigene Datenbank entwickelt, in der seit der Anfangsphase des Unternehmens im Jahr 2017 Daten gesammelt werden. Dadurch können wir unsere Algorithmen mit ausreichend Daten trainieren, was wiederum zu einer guten Leistung der Software führt.

## Wie man verschiedene Materialien effizient verbindet

Konventionelle Verbindungstechniken sind in erster Linie darauf ausgelegt, in gleichmässig strukturiertes Material einzudringen. Im Leichtbau werden dagegen Kombinationen aus porösen Materialien, wie Faserverbundwerkstoffe, Sandwichelemente und Leichtbauwerkstoffe, gefügt.

Die „Hohlräume“ in diesen Materialien – und damit die fehlende feste Masse des Materials – erschweren die Verwendung gängiger Verbindungssysteme oder machen sie sogar unmöglich. Die innovative MM-Welding-Technologie eröffnet Herstellern nun völlig neue Möglichkeiten bei der Verbindung poröser Materialien – von geschäumten Materialien bis hin zu Werkstoffen mit Wabenstruktur. Durch die Einführung der MM-Welding-Technologie in Befestigungs- oder Verbindungslösungen kann das Fügen von Elementen prozesssicher und in vielen Fällen ohne grosse Vorbereitung umgesetzt werden. Idealerweise sollte das Verbindungselement Teil des Trägermaterials werden.

## Kosteneinsparungen durch vollständige Automatisierung des Verbindungsprozesses

Beim MM-Welding-Prozess wird Ultraschallenergie verwendet, um thermoplastische Materialien teilweise zu verflüssigen und in Sekundenbruchteilen eine funktionelle und feste formschlüssige Verbindung mit einem anderen Material herzustellen. Um dies zu erreichen, werden thermoplastische Elemente – beispielsweise in stift- oder hülsenartiger Form – zur Verbindung von Bauteilen verwendet.

MM-Welding unterscheidet sich von den heutigen Ultraschall-Schweissanwendungen, die keine Verbindungselemente enthalten und in der Regel nicht zu mechanischen Formschlussverbindungen führen, und hat daher einen eigenen Anwendungsbereich. Das Verfahren kann insbesondere im Transportbereich für verschiedene Anwendungen, eingesetzt werden, zum Beispiel für:

- verschiedene Schaumstoffe (Polyurethan, expandiertes Polypropylen, usw.)
- Sandwich-Materialien
- Wabenstrukturen
- nicht-gewebte Materialien
- Kunststoff-Metall-Verbindungen
- inkompatible Kunststoff-Kunststoff-Verbindungen

Die MM-Welding Verbindungsmethode kann manuell oder automatisch durchgeführt werden, wodurch eine Gesamtprozesszeit erreicht wird, die häufig unter einer Sekunde liegt. Die verkürzte Prozesszeit, gemeinsam mit der Einfachheit und Zuverlässigkeit des Prozesses, bieten einen idealen Ersatz für viele derzeit verwendete Verbindungsmethoden. So werden durch den Einsatz der MM-Welding-Technik Kosteneinsparungen über den gesamten Produktionszyklus hinweg gewährleistet. Dank der Flexibilität der Verbindungslösungen können Konstrukteure zudem aus einer Vielzahl von Materialien wählen.

### Weitere Vorteile:

**Schnell:** Die Methode des MultiMaterial-Welding ist wesentlich schneller als alternative Verbindungstechnologien; sie ermöglicht eine effizientere Inline-Verarbeitung und macht eine Aushärtung überflüssig (Gesamtprozesszeit < 2 Sekunden)

**Stark:** Deutlich stärkere Bindungen als bei einigen anderen Verbindungsmethoden

**Flexibel:** Kann ohne Vorpositionierung zum Toleranzausgleich verwendet werden

**Sauber:** Saubere Verarbeitung, da weder zusätzliche Materialien noch eine Vorbehandlung der Oberflächen erforderlich sind; ausserdem entsteht kein Abfall

**Reproduzierbar/messbar:** Durch die statistische Kontrolle über den Prozess wird die Qualität der einzelnen Verbindungen garantiert

**Bewährte Technologie:** Die Technologie kommt in verschiedenen industriellen Prozessen und in anderen Branchen (z. B. der Medizin-, Möbel- und Automobilindustrie) zum Einsatz

MM-Welding ist jedoch kein konventionelles Unternehmen für Verbindungselemente, sondern kombiniert die Stärken seiner proprietären Verbindungstechnologien mit der Leistungsfähigkeit der Künstlichen Intelligenz, um seinen Kunden eine Echtzeit-Qualitätskontrolle der Produktion, Leistungsvorhersagen und mehr zu bieten. MM-Welding arbeitet mit Hardware und Software und kombiniert das Beste aus beiden Welten. So ermöglicht die Kombination aus MM-Welding und Künstlicher Intelligenz die Automatisierung des gesamten Verbindungsprozesses.

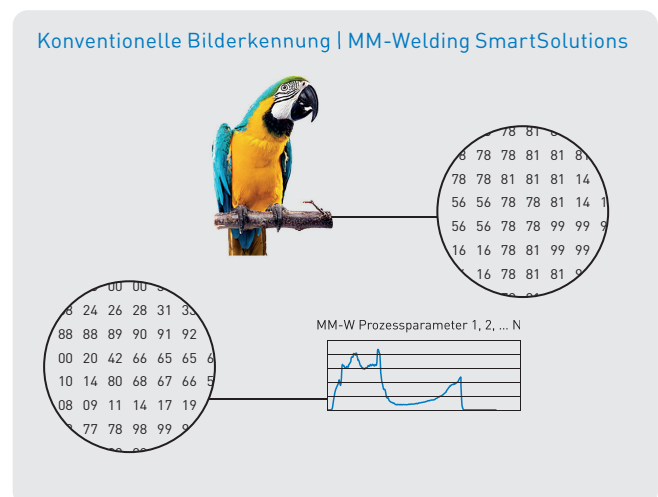


Abb. 2: Bildanalyse anhand von Pixel-Daten im Vergleich zur Prozessanalyse anhand von Prozessdaten

## SmartSolutions Software: Einfache und sichere Verarbeitung

Die SmartSolutions Software von MM-Welding wandelt Produktionsdaten in Echtzeit in aussagekräftige und umsetzbare Erkenntnisse für die Kunden um. Mit ihr ist eine Qualitätskontrolle von 100 % der produzierten Teile möglich und zerstörende Prüfungen werden überflüssig. Sie erfüllt in idealer Weise den Bedarf an vollständiger Rückverfolgbarkeit und Kontrolle in einem Industrie-4.0-Setup.

Die Anwendungen von MM-Welding SmartSolutions bauen auf Methoden des überwachten und unüberwachten Lernens auf. Für die meisten Anwendungen zur Leistungsvorhersage werden überwachte Lernmethoden angewandt. Als Eingabedaten werden von den Schweißmaschinen erfasste Sensorwerte des MM-Welding-Prozesses verwendet, z. B. Kraft, Energie und Geschwindigkeit über die Zeit. Als Ausgabe der Modelle wird die Fügeleistung verwendet, z. B. die Zugfestigkeit einer Verbindung. Ein Algorithmus wird trainiert, indem ihm ausreichend beispielhafte Eingabe- und Ausgabedaten zugeführt werden. Nachdem der Algorithmus entsprechend trainiert wurde, kann er in der Serienproduktion eingesetzt werden, um die Fügeleistung in Sekundenbruchteilen vorherzusagen, und zwar lediglich auf der Grundlage von Eingabedaten, die während des Prozesses erstellt und gemessen wurden. Damit wird eine prädiktive Qualitätskontrolle in Echtzeit für jeden während der Produktion entstandenen Verbindungspunkt möglich, ohne dass eine zerstörende Prüfung erforderlich ist.

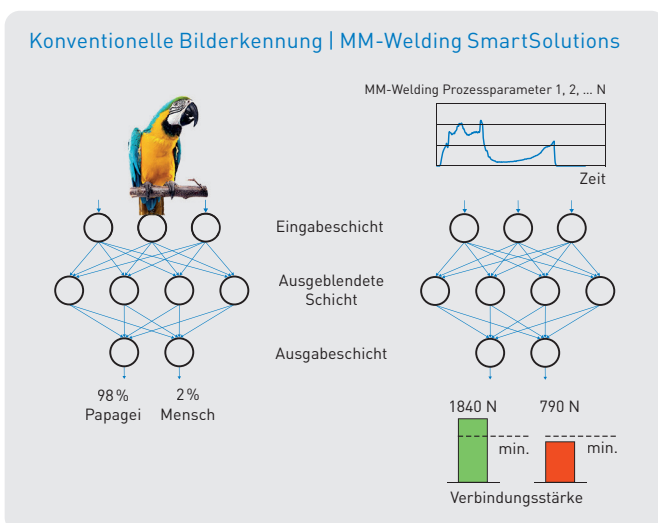


Abb. 3: Bilderkennung verglichen mit der Vorhersage des Prozessergebnisses

## Qualitätskontrolle der Produktion in Echtzeit

Der Schwerpunkt von SmartSolutions liegt auf Verbindungslösungen für Multimaterial-Mischungen und dem innovativen Einsatz der MultiMaterial-Welding-Technologie. Die Software SmartSolutions erschliesst das Potenzial grosser Datenmengen und Künstlicher Intelligenz für die Verbindungslösungen und ermöglicht somit eine Echtzeit-Qualitätskontrolle der Produktion, Festigkeitsvorhersagen und vieles mehr. Dabei erreicht MM-Weldings SmartSolutions eine sehr hohe Vorhersagegenauigkeit. Das bedeutet, dass die Verbindungsleistung sehr genau vorhergesagt werden kann.

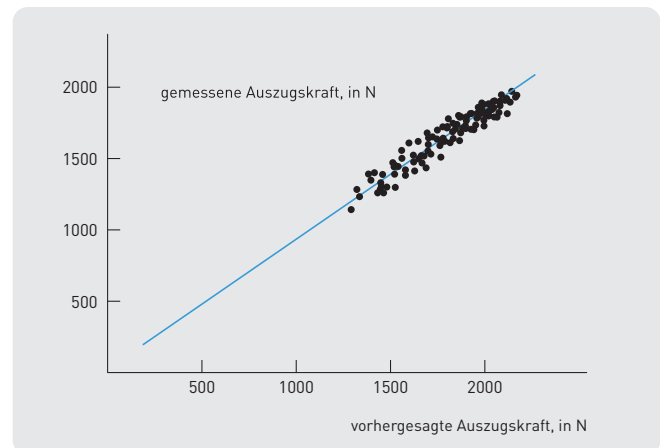


Abb. 4: Vorhergesagte verglichen mit gemessener Auszugskraft in N

Für ein Verbindungselement mit einer erforderlichen Leistung von 1500 N Auszugskraft wäre der Algorithmus beispielsweise in der Lage, den Wert innerhalb eines bestimmten Unsicherheitsbereichs vorherzusagen. Die Abbildung 4 zeigt diese Beziehung für eine bestimmte Anwendung. Auf der horizontalen Achse werden die vom SmartSolutions-Algorithmus vorhergesagten Werte angezeigt, während die vertikale Achse, die zur Validierung empirisch gemessenen realen Werte zeigt. Beachten Sie, dass diese Validierungsetiketten während der Trainingsphase nicht verwendet wurden und nur zur Beurteilung der Genauigkeit des Modells dienen. Sobald der Algorithmus validiert und seine Genauigkeit bewiesen wurde, können experimentelle Messungen vollständig vermieden werden.

## Kontinuierliche Weiterentwicklung

MM-Welding hat viele innovative Produkte im Portfolio, die den heutigen Herausforderungen in der Verbindungstechnik gerecht werden. Aufgrund der Entwicklung hin zu Leichtbau, Elektromobilität und Industrie 4.0 erfüllen konventionelle Lösungen nicht immer die Anforderungen. MM-Welding schliesst genau diese Lücke. Das Unternehmen bietet eine komplette Technologieplattform, von Verbindungselementen und Automatisierungslösungen bis hin zu Software für die Qualitätskontrolle von Prozessen. Als Ergebnis wird dem Kunden ein komplettes Lösungspaket zur Verfügung gestellt.

Ein weiteres sehr vielversprechendes Feld, das MM-Welding erforscht, ist der Einsatz von Autoencodern zur Ausreissererkennung. In diesem Fall nutzt das Unternehmen die Möglichkeiten des unüberwachten Lernens, um nicht-etikettierte Daten zu verwenden. Autoencoder verwenden eine gespiegelte DNN-Architektur. Dabei werden die Eingabedaten durch ein neuronales Netz zu einer kleineren Darstellung ihrer selbst verdichtet (Encoder) und dann durch ein weiteres neuronales Netz wieder in ihre ursprüngliche Form und Grösse erweitert (Decoder). Diese Architektur eignet sich sehr gut für die Ausreissererkennung, wenn die für das Training verwendeten Daten nur regelmässige Stichproben enthalten. Wird hingegen ein Ausreisser durch das Modell verarbeitet, schlägt die Rekonstruktion durch den Decoder wahrscheinlich fehl und ergibt einen hohen Fehler. Indem man

einen Schwellenwert für den Rekonstruktionsfehler festlegt, kann man Ausreisser identifizieren – also Proben, die von der Norm abweichen. In Produktionsumgebungen ist die Identifizierung von Schlechteilen, die aus einer Vielzahl potenziell unbekannter oder bisher nicht bekannter Gründe entstehen können, von entscheidender Bedeutung. Dieser Algorithmus hat daher ein hohes Potenzial für Qualitätsverbesserungen bei gleichzeitiger Kostensenkung.

MM-Welding erörterte zudem mit verschiedenen Partnern die Möglichkeit, die Qualitätskontrollsoftware SmartSolutions auf andere Bereiche als die proprietäre Technologie von MM-Welding auszuweiten. Ein offensichtlicher Kandidat sind konventionelle Ultraschall-Schweißanwendungen zwischen zwei Polymerteilen – seit Jahrzehnten bekannt und verwendet. Da ähnliche Maschinen verwendet werden, kann SmartSolutions direkt mit diesen Anwendungen eingesetzt werden, ohne gross angepasst werden zu müssen. Im Allgemeinen kann jeder Produktionsprozess, bei dem Zeitreihendaten erstellt werden, mit der Software SmartSolutions in Angriff genommen werden. Die Anwendungen scheinen endlos zu sein, und MM-Welding ist bestrebt, das Potenzial der Daten in verschiedenen Bereichen zu erschliessen.





Wenn Sie noch Fragen zum Thema MM-Welding haben,  
können Sie sich jederzeit direkt an uns wenden.  
Wir sind Ihnen gerne behilflich.  
Kontaktieren Sie uns unter: [www.bossard.com](http://www.bossard.com).



Die MultiMaterialWelding®-Technologie ist eine geschützte Technologie der MultiMaterial-Welding AG, Schweiz, und wird von Bossard AG lizenziert.



Die MultiMaterialWelding®-Technologie basiert auf der patentierten WoodWelding®-Technologie von WoodWelding SA und wird von der MultiMaterial-Welding AG, Schweiz, lizenziert.