

# INDUSTRIE 4.0 IN DER SCHWEISSTECHNIK

## White Paper

Gerhard Posch, Jürgen Bruckner, Helmut Ennsbrunner

Fronius International  
2017

In Diskussionen über Fertigungstechnologien der Zukunft sind “Internet of Things” / “Industrie 4.0” sehr häufig benutzte Synonyme. Die Vision, wofür diese Begriffe stehen, ist klar: Die aktuell stattfindende Digitalisierung führt dazu, daß nun sehr viele Daten zur Verfügung stehen, aber der Nutzen noch sehr begrenzt ist. Werden diese Daten aber im Verbund mit anderen gesehen und von zusätzlichen Experten analysiert und interpretiert, dann lassen sich daraus wertvolle Informationen gewinnen, welche letztendlich auch zu einem wirtschaftlichen Mehrwert für den Kunden beitragen. Um einen bestmöglichen Nutzen zu generieren, ist es aber auch notwendig, jedem Ding (Thing) die Rechen- und Kommunikationsfähigkeiten (IKT) eines aktuellen PCs zu verleihen. Das übergeordnete Ziel von Industrie 4.0 sind darauf aufbauende, hochflexible, autonom arbeitende Fertigungszellen. Alle für die Fertigung notwendigen Informationen werden aus der Cloud bezogen, speziell entwickelte Software, managen die Logistik, die Produktion, die Produktionskontrolle und die Steuerung der Fertigungsmaschinen. Dadurch können Bauteile auf Bestellung in kürzester Zeit, zum Teil auch generativ, gefertigt werden.

Dies stellt aber auch das Schweißen und die Entwicklung von Schweißgeräten vor große Herausforderungen: Schweißparameter mussten digitalisiert und leistungsfähige Mikroprozessoren müssen integriert werden. Desweiteren wird maßgeschneiderte Software das Schweißergebnis nachhaltig beeinflussen. Es kommen aber auch große Herausforderungen an die Schweißgerätehersteller: Neben Hochgeschwindigkeitsdatenübertragung und Kommunikationsfähigkeit innerhalb der Maschine und vor allem auch nach Außen und höchste Ansprüche an Daten- und Cybersicherheit wird das virtuelle Schweißen ein unumgängliches Werkzeug werden, um die digitale Information in ein reales Produktionssystem zu bringen und über Plausibilitätschecks und intelligente Steuerungen eine reibungslose Fertigung zu gewährleisten.

## INTERNET OF THINGS & INDUSTRIE 4.0

Was werden die wesentlichen technischen Entwicklungen in den nächsten Jahrzehnten sein und wie werden sie unser Leben beeinflussen?

Eine spannende Frage, die aber kaum zu beantworten ist. “Internet of Things (IoT)” und “Industrie 4.0 (I4.0)” sind derzeit wahrscheinlich die am häufigsten benutzten technischen Begriffe, wenn es zu Diskussionen über Trends und Visionen in Bezug auf den nächsten Grad der Industrialisierung und der “Fab-

rik der Zukunft” kommt. IoT und I4.0 sind dabei als Synonyme für die weltweite technische Weiterentwicklung zu sehen, welche basierend auf dem heutigen Wissensstand in den nächsten Jahrzehnten Realität werden könnte [1, 2]. Bei genauerer Analyse dieser Visionen wird es offensichtlich, daß der revolutionäre Ansatz auf der digitalen Vernetzung aller technischen Geräte vom Computer über smartphones bis hin zu Automobilen, Maschinen und Produktionsanlagen und in der Digitalisierung jeg-

licher Information liegt. Die Umwandlung analoger Daten in digitale Signale, die sogenannte "Digitalisierung" ist dafür eine zwingende Voraussetzung. Das wirtschaftliche Potential liegt dabei in einer intelligenten Auswertung, Analyse und Umsetzung der dadurch geschaffenen Datenmengen durch maßgeschneiderte Softwaretools im Bereich Supply-Chain, Fertigung, vorausschauende Instandhaltung und in der Einbindung des Kunden in die Wertschöpfungskette. Einsparungspotentiale von bis zu 70% werden dabei prognostiziert [3]. Voraussetzung dafür ist allerdings, dass diese Daten über eine digitale Plattform, dem "internet" in Echtzeit zur Verfügung gestellt werden.

Die digitale Verbindung von physischen Objekten wie Produktionswerkzeuge und Maschinen mit der virtuellen Welt wird dabei als der wesentlichste Innovationstreiber gesehen. Im wesentlichen handelt es sich um 3 Schlüsselemente, welche für den wirtschaftlichen Vorteil verantwortlich sind [3]:

- / Die Einbindung von IoT und digitalen Dienstleistungen in die gesamte Wertschöpfungskette
- / Der Wandel in der Maschinenentwicklung von mechatronischen zu cyber-physikalischen Systemen um ein umfassendes, industrielles Netzwerk zu ermöglichen
- / Datenermittlung, Echtzeitanalyse großer Datenmengen und die Entwicklung von Vorhersagemodellen zur Qualitätssicherung innerhalb der Wertschöpfungskette

Aktuell besteht noch eine große Diskrepanz zwischen Realität und Virtualität. So sind viele Eigenschaften von Produkten, wie Farbe, Form, Werkstoffverhalten, Benutzungsgrad, aber auch Einsatz- und Umgebungsbedingungen noch nicht digitalisiert und stehen in der virtuellen Welt nicht zur Verfügung. Deswegen ist das Ziel von IoT alle möglichen Informationen über Produkte und Dinge zu digitalisieren und einer breiteren Gruppe von zum Beispiel Softwaredienstleistern, Analytikern und Steuerungs- und Regelungsexperten über das Internet zur Verfügung zu stellen, welche damit für den Benutzer einen Mehrwert, meist in Form von intelligenter Software, generieren können.

Zukünftig wird daher nicht mehr der alleinige technische Vorteil des Produktes sondern vielmehr der durch spezielle Software erhöhte Nutzen beim Kunden im Vordergrund stehen – die technische Produktinnovation wird, wenn sie nicht digitalisiert ist, in den Hintergrund rücken und vom Benutzer nicht als solches mehr wahrgenommen werden.

Die Basis für IoT ist die digitale Transformation jeglicher Informationen und Wissen. Dadurch wird aber auch die Entwicklung von elektronischen Sensorsystemen zum digitalen Messen und Analysieren von Produktionsprozessen, physikalischen Zuständen, Oberflächen und Bewegungen des Objektes während des gesamten Lebenszykluses vorangetrieben. Damit werden in weiterer Folge eine Unmenge von Daten generiert, was wiederum innovative Lösungen bei der Datenspeicherung bedingt. Die Lösung liegt in einer weltweiten Vernetzung unzähliger Speichermedien, der sogenannten "Cloud". Eine noch zu lösende Herausforderung dabei ist die Kommunikationsgeschwindigkeit des Netzes, da die Daten in Echtzeit generiert, gespeichert und verarbeitet werden müssen. Dies erklärt auch die aktuellen Bestrebungen von Staaten und Telekommunikationsunternehmen, die digitalen Netze auszubauen, um immer schnellere Datenübertragungsraten zu ermöglichen.

Neben ethischen Aspekten, die eine umfassende Datengenerierung, Speicherung und Analyse in Bezug auf die Nutzertransparenz mit sich bringt, sind noch weitere wesentliche Punkte zu berücksichtigen:

Da jedes Produkt digitale Informationen erzeugen wird, ist eine einheitliche und effiziente Standardisierung in Bezug auf Senden, Übertragen und Empfangen von Daten notwendig und alle Komponenten benötigen einen Mikroprozessor, zumindest aber ein Sender/Empfängersystem (zum Beispiel RFID) und eine einfach aufzubauende, aber auch sichere Verbindung zum Internet. Zusätzlich müssen die Kosten für die Internetnutzung und die Nutzung der Softwaretools, welche automatisch oder aber auch autonom arbeiten, gering bleiben, da ansonsten die breite Akzeptanz bei den Nutzern fehlt.

Mit der Forderung nach einheitlichen EDV-Standards tritt aber ein weiteres Thema in den Vordergrund: die Daten- und Cybersicherheit. Die generierten Daten sind sensibel, da sie Auskunft über alle mit dem Produkt in Verbindung stehenden Bereiche zulassen: Hersteller- und Nutzerinformationen, Herstellbedingungen, Qualität und Einsatzbedingungen. Informationen, welche auch mißbräuchlich verwendet werden könnten. Es werden neue Datensicherheitskonzepte benötigt, um zum einen die Forderung nach offenen, ultraschnellen Netzwerken zu erfüllen und zum anderen die Daten vor einer mißbräuchlichen Verwendung zu schützen. Dies stellt speziell für "traditionelle" Hersteller, welche die technische Produktinnovation im Fokus haben, eine enorme Herausforderung dar.

# INDUSTRIE 4.0 & SCHWEISSEN

Die konsequente Umsetzung von I4.0 hat auch einen entscheidenden Einfluß auf die "Fabrik der Zukunft", welche sich zu einer "Smart Factory" weiterentwickeln wird [4, 5]. Damit eine "Smart Factory" mehr oder weniger ohne menschliche Interaktion funktionieren kann, müssen in bezug auf Schweißen einige Kriterien erfüllt werden:

- / Das schweißtechnische Wissen muß digitalisiert und so aufbereitet sein, daß ein Computer ähnlich richtige Entscheidungen treffen kann, wie ein erfahrener Schweißtechnologe.
- / Das Schweißequipment muß mit leistungsfähigen Mikroprozessoren und den verschiedensten Sensoren ausgestattet sein, damit jegliche Information digitalisiert werden kann.
- / Die Forderung nach Echtzeit-Datenverarbeitung verlangt einen besonderen Fokus auf die Datenkommunikationsgeschwindigkeit.
- / Die notwendige Speicherung großer Datenmengen erfordert offene Netzwerkstrukturen, um ausreichend Speicherkapazitäten zu realisieren und eine effiziente Datenanalyse zu ermöglichen.

/ Konzepte für Daten- und Cybersicherheit müssen erstellt und umgesetzt werden.

Dadurch wird sich das Kerngeschäft eines Schweißstromquellenherstellers ändern: War es zu Beginn der Schweißtechnik die intensive Auseinandersetzung mit der Umwandlung von elektrischer Energie aus dem Netz in geeignete Schweißströme und Spannungen, so ist heute die vollständige Digitalisierung des Schweißprozesses und dessen intelligente Regelung im Fokus der Entwicklungen. Zukünftig werden ultraschnelle maschineninterne und externe Datenkommunikation, hochauflösende Echtzeitregelung, Speicherung großer Datenmengen, Cybersicherheit und intelligente Mensch/Maschine Kommunikation die beherrschenden Themen in der Stromquellenentwicklung sein.

Solange allerdings der Digitalisierungsprozeß in der Schweißtechnik nicht vollständig abgeschlossen ist, spielt der Mensch noch die zentrale Rolle beim Schweißen und die Kommunikation Mensch / Maschine wird ein zentrales, nicht zu vernachlässigendes Thema bleiben.

## DIGITALISIERUNG VON KNOW-HOW UND INFORMATION

Eine vernetzte, modulare Schweißzelle muß mit den richtigen Schweißparametern, mit den entsprechenden Schweißzusätzen und Schweißhilfsmitteln, abhängig von der durch eine Mastercontrol-Einheit zugeordneten Aufgabe, ausgestattet werden. Noch ist es der Schweißtechnologe, der aktuell die Verantwortung über die richtige Wahl der Schweißparameter inne hat. Wenn diese Aufgaben zukünftig von der "Cloud" übernommen werden sollen, dann ist es notwendig, sein Wissen zu digitalisieren und daraus wissensbasierte Systeme und neuronale Netzwerke zu entwickeln. Wahrscheinlich die

schwierigste Herausforderung von I4.0, da das Wissen sehr schwer zu quantifizieren und damit auch kaum umfassend zu digitalisieren ist [6]. Für autonome Zellen ist aber das digitalisierte Wissen, auf welches die Mastercontrol-Einheit zugreifen kann, eine Grundvoraussetzung. Weiters sind digitale Informationen über Art und Abmessung des Schweißzusatzes, des Schutzgases, der Nahtgeometrie, der Nahtposition und der Schweißgeschwindigkeit notwendig, um optimale Schweißparametersätze "autonom" auswählen zu können.

## MIKROPROZESSORGESTÜTZTE SCHWEISSSTROMQUELLE

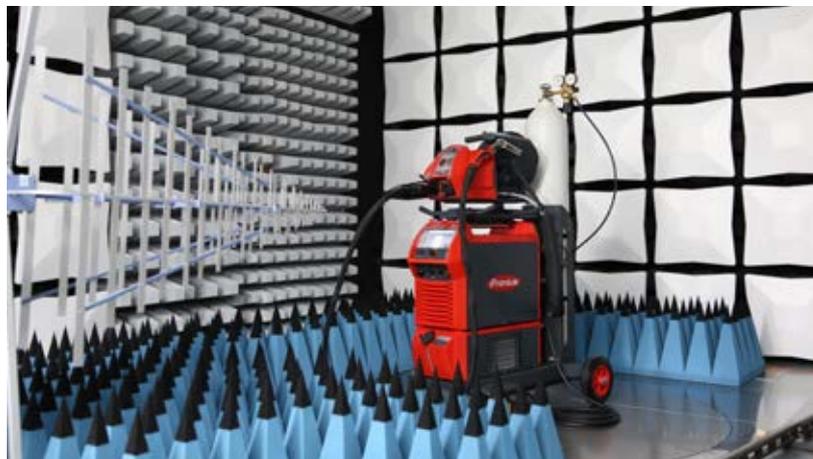
"I4.0 ready" Maschinen sind mit einem Mikroprozessor ausgestattet. Die Prozessorleistung ist dabei auf die Aufgaben, welche die Maschine auszuführen hat, abgestimmt. Beim MIG/MAG Schweißen wird der Computer dabei folgende Aufgaben übernehmen:

- / Verarbeitung von digitalen Schweißparameterkennlinien
- / Kontrolle der Schweißparameter und algorithmenbasierte Regelung
- / Schweißdatenerfassung und lokale Datenspeicherung aktueller Datensätze

- / Automatische Begrenzung der Schweißleistung in Abhängigkeit von der zulässigen Belastbarkeit der angeschlossenen Hardwarekomponenten
- / Bereitstellung aller möglichen Netzwerkfunktionen für Kabelnetzwerke (z. B.: Ethernet), drahtlose Netzwerke (z. B.: Bluetooth) und Nahfeldkommunikation (z. B.: NFC)
- / Selbsterkennung und Selbstdiagnose der installierten Komponenten wie zu Beispiel Schweißbrenner, Kühleinheit, Display und Drahtvorschub

Die Schweißgeräte enthalten dadurch aber auch immer mehr empfindliche elektronische Bauteile. Dies setzt aber auch voraus, daß die Schweißstromquelle, ein an sich sehr komplexes leistungselektrotechnisches Gerät, in jedem Betriebszustand keine negativen elektromagnetischen Wechselwirkungen verursacht. Zusätzlich muß die empfindliche Elektronik zuverlässig vor einem sehr rauen, schmutzigen und staubigen industriellen Umfeld geschützt werden. Um dies zu gewährleisten, sind innovative fertigungstechnische Konzepte notwendig, die auch in aufwendigen Funktionstests (Bild 1) überprüft werden müssen. Aufgaben, welche vielleicht zu den größten Herausforderungen in der Entwicklung moderner Schweißstromquellen zählen.

**Bild 1:**  
Elektromagnetische  
Kompatibilitätsprüfung moderner  
Schweißstromquellen



## DATENKOMMUNIKATION

Eines der Schlüsselworte bei "I4.0" ist "Kommunikation". Aber was bedeutet "Kommunikation" beim Schweißen?

Für das MIG/MAG Schweißen kann dies durch eine vereinfachte Rechnung abgeschätzt werden:

Moderne Kurzlichtbogenprozesse, wie zum Beispiel CMT [7], arbeiten mit einer Tropfenablösefrequenz von bis zu 150 Hz, das bedeutet, das ca. alle 7 ms ein Tropfen abgelöst wird. Um diese Tropfenablässe gezielt durch Veränderung von Strom und Spannung bestmöglich zu optimieren, ist es notwendig, 50-100 mal während eines Tropfenabläsezyklus regelungstechnisch einzugreifen. Das ergibt eine verbleibende Kommunikationszeit zwischen dem Lichtbogen und dem Steuerungscomputer von 30 µs. In dieser Zeit müssen physikalische Daten digitalisiert und zum Mikroprozessor geschickt werden.

Für die Datenverarbeitung und Regelung, die in harter Echtzeit erfolgen muss, verbleiben dann nochmals 30 µs.

Neben diesen extrem hohen Anforderungen an die Datenübertragungsgeschwindigkeit ist auch die Verarbeitung der großen Datenmengen, die dadurch erzeugt werden, eine enorme Herausforderung. Stromquellenhersteller positionieren den Regelungscomputer, den "master mind", aus diesem Grund nahe an den Lichtbogen und können dadurch die maschineninterne Kommunikationsgeschwindigkeit deutlich erhöhen. Aus diesem Grund ist auch zwischen der internen Datenkommunikation, auf welcher die gesamte Steuerungs- und Regeltechnik beruht und der externen Datenkommunikation über Intra- und Internet, welche hauptsächlich zu Dokumentationszwecke herangezogen wird, zu unterscheiden, da unterschiedliche Anforderungen an die Datenübertragungsraten bestehen.

## AUSWAHL VON SCHWEISSPARAMETERN UND SCHWEISSDATENSPEICHERUNG

Das Ziel von I4.0 sind flexible, autonom arbeitende Fertigungszellen. Ein Computer gibt dabei je nach Anwendungsfall bezogen die Schweißparameter vor, kontrolliert sie im laufenden Betrieb und korrigiert, wenn nötig. Dazu sind, wie bereits diskutiert, ein leistungsfähiger Mikroprozessor, Echtzeit-Datenkommunikation und entsprechende Regelalgorithmen notwendig.

Die Auswahl eines Schweißprozesses und entsprechender Schweißparameterkennlinien in Abhängigkeit vom Grundwerkstoff, Blechstärke, Lagenaufbau und Spalte ist unabhängig von der Fertigungsschweißung und kann vorab von einem Wissensmanagement in der "Cloud" übernommen werden, vorausgesetzt, dass das notwendige schweißtechnische Wissen entsprechend digitalisiert wurde. Da Schweißen jedoch auch nach Normdefinition ein "spezieller Prozeß" ist und zur Lösung der fägetechnischen Aufgabenstellung komplexes Wissen benötigt wird, wird es noch lange dauern, bis entsprechende Wissensmanagementsysteme etabliert sind.

Schweißdatenspeicherung wird aber für den Anwender bereits jetzt zunehmend interessanter – nicht nur zur Dokumentation, sondern auch zur Datenanalyse in Bezug auf mögliche Fehlstellen in der Schweißverbindung und zum intelligenten, vorausschauenden Verschleißteilmanagement. Da allerdings noch nicht genau evaluiert ist, in welcher Detailgenauigkeit die Daten für die Erstellung von aussagekräftige Algorithmen vorliegen müssen, ist aktuell ein starkes Bestreben von seiten der Anwender vorhanden, die Daten so hochauflösend wie möglich aufzuzeichnen und zu speichern. Da die dafür notwendige Hochgeschwindigkeitsdatenverbindung in die "cloud" zur Datenspeicherung derzeit nicht gewährleistet werden kann, muß noch ein zusätzlicher Hardware-Speicher mit intelligenten Auswertefunktionen in die digitale Arbeitsumgebung der Schweißstromquellen integriert werden (Bild 2).



**Bild 2:**  
*Fronius WeldCube –  
intelligentes Schweißdaten-  
Management*

## DATENSICHERHEIT

Der innovative Ansatz hinter I4.0 und IoT ist das zur Verfügung stellen und das Teilen der Daten mit einem größeren Expertenkreis, welcher in der Lage ist, die Daten umfassender zu analysieren und zu interpretieren, um dadurch für den Anwender einen möglichst großen Nutzen zu erzielen. Dazu sind neben einem hohen Grad an Computerisierung der einzelnen Produktionsanlagen, deren Einbindung in lokale Netze auch offene Netzwerkstrukturen und weltweit gültige Standards für Datenkommunikation, Datentransfer und Schnittstellen notwendig. Dadurch könnten letztendlich aber auch über Pro-

duktionsanlagen sogenannte "Cyberangriffe" durch Übertragen von Computerviren auf die lokalen Firmennetze erfolgen. Aus diesem Grund muß der Maschinenhersteller, aber auch der Anwender, sich sehr intensiv mit dem Thema "Cybersicherheit seiner Produktionsanlagen" auseinandersetzen und spezielle Schutzvorrichtungen installieren. Fronius-interne Studien haben gezeigt, daß die beste Sicherheit gegenüber einem Hackerangriff nur durch eine Kombination von elektronischem Hardware-Schlüssel und spezieller Software gewährleistet werden kann.

## ERKENNUNG DER SCHWEISSBRENNERPOSTION

Es wird selten diskutiert, aber einer der Haupteinflussfaktoren auf die Schweißnahtqualität ist die Position des Schweißbrenners zur Naht und die Schweißgeschwindigkeit. Mit der Kenntnis der momentanen Lage des Brenners im Raum und der Topographie der Naht könnten Brenneranstellwinkel und Nahtfüllstrategien über spezielle Software autonom geregelt werden. Während die topographische Vermessung der Naht mittlerweile durch Video, Laser oder Ultraschall realisierbar ist, ist die Bestimmung der Position des Brenners während des Schweißens aufgrund der hohen Lichtbogenstrahlenbelastung, der hohen Temperaturen, der Schweiß-

rauchentwicklung und der oft stark beschränkten Zugänglichkeit mit herkömmlichen Sensoren noch nicht möglich. Dies wäre allerdings eine grundlegende Voraussetzung für die autonome Schweißzelle. Durch die Automatisierung ist es möglich die Position des Brenners durch Rückschlüsse z. Bsp. aus der Roboterarmbewegung zu beschreiben. Die Realschweißgeschwindigkeit kann direkt vom Roboter übernommen werden, was Speziell bei kurzen oder stark gekrümmten Nähten sehr wichtig ist, da die Realgeschwindigkeiten aufgrund vom Roboterbeschleunigungs- und Bremsverhalten nur bedingt mit den Sollvorgaben übereinstimmen.

## KOMMUNIKATION MENSCH / SCHWEISSMASCHINE

Die autonome Schweißzelle ist sicherlich ein erklärtes Ziel, aufgrund der Komplexität der oben dargestellten Anforderungen wird deren Umsetzung aber sicher noch länger dauern. Der Schweißer wird daher auch in den nächsten Jahrzehnten für die Schweißqualität verantwortlich bleiben und die Kommunikationsmöglichkeiten zwischen Mensch und Schweißmaschine werden dabei eine wesentliche Rolle spielen.

Diesbezüglich werden die Geräte, welche der Schweißer in seinem privaten Umfeld verwendet, wie zum Beispiel smart phones oder tablets, als Maßstab herangezogen werden: Mehrsprachigkeit, touch panels und Sprachsteuerung werden integriert sein müssen –mit der zusätzlichen Forderung, daß sie auch in einem viel rauheren Werkstättenumfeld einwandfrei funktionieren (Bild 3).

**Bild 3:**  
*Mehrsprachige, industrieerprobte touch panels zur Bedienung von Schweißstromquellen*



Getrieben durch die neuesten Entwicklungen in der Telekommunikation wie der google – Brille oder der Microsoft HoloLens, kommt auch der Schweißhelm immer mehr in den Fokus als Kommunikationsplattform zwischen Mensch und Maschine. Den Wunsch, daß Schweißparameter im Schutzglas des Helms angezeigt werden, gibt es schon länger. Zusätzlich könnte der Helm aber auch mit einer Sprach-

steuerung ausgerüstet werden, über welche mit der Stromquelle kommuniziert wird. Um dies realisieren zu können, ist es notwendig, daß der Helm "wireless" mit der Stromquelle verbunden werden kann. Neueste Entwicklungen machen bereits eine derartige Verbindung Helm / Stromquelle möglich. Über diese Verbindung sendet die Stromquelle Informationen über den Status des Lichtbogens zum Helm.

Dieser nutzt diese, um entsprechend die automatische Verdunkelungsfunktion des Schutzglases zu steuern. Damit wird ein Nichtansprechen der her-

kömmlichen automatischen Verdunkelung bei bei schwachen oder verdecktem Lichtbogen verhindert (Bild 4).



**Bild 4:**  
*Gezielte Steuerung der automatischen Verdunkelung des Sichtschutzglases des Schweißhelms mittels Wireless-Verbindung Helm / Stromquelle*

## VIRTUELLES SCHWEISSEN

Bevor die "autonome I4.0-Schweißzelle" an einem realen Bauteil schweiß, ist es notwendig, im off-line Modus das Schweißprogramm zu erstellen, die Brennerbewegung zu definieren und zu überprüfen. Dazu wird spezielle Software benötigt, welche in der Lage ist, den Schweißprozess virtuell darzustel-

len. Als Basis für deren Entwicklung werden Software-Programme dienen, welche bereits heute in der Ausbildung von Schweißer und Roboterprogrammierer herangezogen werden, um virtuell am Computer die korrekte Brennerhaltung und Bewegung zu trainieren (Bild 5).



**Bild 5:**  
*Fronius Virtual Welder - Virtuelles Schweißertraining für manuelles und robotergesteuertes Schweißen*

## GENERATIVE FERTIGUNG - METAL ADDITIVE MANUFACTURING

Die konsequente Umsetzung des I4.0 Konzeptes führt zur Fertigung von Bauteilen auf Bedarf. 3D Konstruktionsdaten werden zur "Fabrik der Zukunft" geschickt, der Fertigungsprozeß wird daraufhin unmittelbar angestoßen und das fertige Produkt durch optimierte Logistikketten umgehend retourniert. Um die Fertigungszeiten, welche auch durch Wartezeiten auf Vormaterialien maßgeblich beeinflusst sind, zu reduzieren, werden generative Fertigungsverfahren immer interessanter. Diese "additive manufacturing" Technologien erzeugen komplexe Bauteile durch gezieltes Abschmelzen von speziellen Pulvern oder Drähten. Im Falle von generativen Verfahren, welche metallische Bauteile herstellen können, werden Laser-, Elektronenstrahl- und Lichtbogenprozesse verwendet, um durch einen exakt abgestimmten "Lage auf Lage"-Aufbau von erschmolzenen Metall einen definierten Körper zu schaffen.

Sehr komplexe, kleinere Bauteile können dabei über den Laser/Pulver-Prozeß realisiert werden [8], für größere Bauteile mit geringeren Anforderungen an die Formkomplexität treten aber aufgrund wirtschaftlicher Aspekte drahtbasierte Lichtbogenverfahren in den Vordergrund. Untersuchungen haben gezeigt, daß speziell bei diesen Anwendungen der CMT ("Cold Metal Transfer") – Prozeß ein überaus leistungsfähiges Verfahren darstellt. Dieser digitalisierte MIG/MAG-Prozeß, welcher durch eine zusätzliche hochfrequente mechanische Vor- und Zurückbewegung einen extrem niederenergetischen und nahezu spritzerfreien Werkstoffübergang gewährleistet [7], ermöglicht die wirtschaftliche Herstellung von größeren Bauteilen mit zwar etwas geringerer Geometrie Komplexität wie zum Beispiel Laufradschaufeln, aber mit Werkstoffeigenschaften, welche jenen von typischen Schweißgütern entsprechen [9].

---

### LITERATUR

- [1] Ashton K.: „That Internet of Things Thing“; RFID Journal, 07/2009
- [2] Wischmann S., et al.: „Industrie 4.0. Volks- und betriebswirtschaftliche Faktoren für den Standort Deutschland. Eine Studie im Rahmen der Begleitforschung zum Technologieprogramm AUTONOMIK für Industrie 4.0.“; Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Berlin, 2015
- [3] Bauernhansl T., Krüger J., Reinhart G., Schuh G.: „WGP-Standpunkt Industrie 4.0“; WGP e.V., 2016
- [4] A. Roser: „Trumpf baut in Chicago Demofabrik für Industrie 4.0“; Trumpf GmbH; 06/2016
- [5] H. Waltl: „Modulare Montage spart Zeit und Kosten“; AUTOMOBIL PRODUKTION 11/2016
- [6] Berger W., Posch G.: „Aspekte der Werkstoffauswahl und Entwicklung eines computergestützten Auswahlsystems / Aspects of material selection and development of a computerbased selection system“; Doctor thesis, TU Graz, 1997
- [7] Fronius Int.: „Current Welding Practice: CMT Technology“, DVS Media GmbH, Düsseldorf (2014); ISBN 978-3-945023-36-5
- [8] Petrat T., Graf B., Gumenyuk A., Rethmeier M.: „Laser-Pulver-Auftragschweißen zum additiven Aufbau komplexer Formen“; DVS-Berichte 315, DVS Media GmbH, Düsseldorf (2015); ISBN: 3-945023-46-7
- [9] Posch G., Chladil K., Chladil H.: „Material properties of CMT-metal additive manufactured duplex stainless steel Blade-like geometries“; Weld World, DOI 10.1007/s40194-017-0474-5

**Fronius International GmbH**  
Froniusplatz 1  
4600 Wels  
Österreich  
Telefon +43 7242 241-0  
Telefax +43 7242 241-953940  
sales@fronius.com  
www.fronius.com