

# INDUSTRIE 4.0 IN DER SCHWEISSTECHNIK

## White Paper

Helmut Ennsbrunner, Jürgen Bruckner, Gerhard Posch

Fronius International  
2018

In Diskussionen über Fertigungstechnologien der Zukunft sind „Internet of Things“ und „Industrie 4.0“ sehr häufig benutzte Schlagwörter. Die gemeinsame Vision hinter diesen beiden, medial sehr präsenten Begriffen, ist im Grunde nichts anderes als jene lokale Daten, die durch die voranschreitende Digitalisierung in immer größeren Ausmaß zur Verfügung stehen, gemeinsam und in einem größeren Kontext nützen zu können. Werden Daten im Verbund mit anderen gesehen, können größere Zusammenhänge erkannt und davon Verbesserungen oder gar neue Features abgeleitet werden. Im Kontext von Fertigungstechnologie kann die Datengenerierung und -zusammenführung wertvolle Informationen z.B. über den Gesamtzustand einer Anlage liefern. Die Kenntnis des vollständigen Anlagenzustands erlaubt ganzheitliche Optimierungen die letztendlich in einer Steigerung der Produktivität resultieren und somit einen wirtschaftlichen Mehrwert für den Kunden darstellen.

Um nun diese IoT- bzw. I4.0-Vision Realität werden zu lassen, ist es notwendig jedem Ding (Thing) ausreichend Rechen- und Kommunikationsfähigkeiten (IKT) zu verleihen um lokale Vorverarbeitung und Kommunikation zu ermöglichen. Ein weiteres Ziel von Industrie 4.0 sind darauf aufbauende, hochflexible, autonom arbeitende und vernetzte Fertigungszellen zu realisieren. Alle, für die Fertigung notwendigen Informationen werden aus der Vernetzung mit zentralen Servern bezogen und spezielle Softwaresysteme managen die Logistik, die Produktion, die Produktionskontrolle und die Steuerung der Fertigungsmaschinen. Für die Vernetzung unterschiedlicher Standorte bietet sich die aktuell bereits flächendeckend verfügbare Cloud-Technologie an. Durch diese Maßnahmen im Bereich der Fertigungstechnologie können Bauteile ab Bestellung in kürzester Zeit gefertigt werden.

All diese Aktivitäten stellen auch die Schweißtechnik und dabei insbesondere die Entwickler von Schweißgeräten vor große Herausforderungen: Schweißlösungen müssen ebenfalls in digitaler Form zur Verfügung stehen und leistungsfähige Informations- und Kommunikationstechnologie, insbesondere auch für die Echtzeitanforderungen, müssen in die Schweißsysteme integriert werden. Des Weiteren sind maßgeschneiderte Softwarelösungen auf den Stromquellen und zentralen Servern erforderlich um Endkunden die effiziente Nutzung der neu gewonnenen Features zu ermöglichen. Ein weiterer, von Industrie 4.0 etwas vernachlässigter Punkt ist die Tatsache, dass die Vernetzung von Systemen auch immer Sicherheitsrisiken mit sich bringt. Dem entsprechend müssen auch moderne Konzepte hinsichtlich Daten- und Kommunikationssicherheit in den Netzwerken der Produktionsanlagen zur Anwendung kommen.

In Zukunft wird das virtuelle Schweißen sich von der Schweißerausbildung weg hin zu einem unumgänglichen Werkzeug entwickeln, welches es erlaubt die Fertigung von Einzelstücken in der virtuellen Welt vorweg abzusichern.

## 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 Begriffe, wenn es zu Diskussionen über Trends und Visionen in Bezug auf den nächsten Grad der Industrialisierung und der „Fabrik 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 in der digitalen Vernetzung aller technischen Geräte vom Computer über Smartphones bis hin zu Automobilen, Maschinen und Produktionsanlagen und in der Digitalisierung jeglicher Information liegt. Die Umwandlung analoger Objekte in digitale Abbilder, die sogenannte „Digitalisierung“, ist dafür eine zwingende Voraussetzung.

Das wirtschaftliche Potential liegt dabei weniger in lokalen Daten sondern in der intelligenten Auswertung, Analyse und vor allem Kombination der dadurch geschaffenen Datenmengen durch maßgeschneiderte Softwaretools im Bereich Supply-Chain, Fertigung, voraus-

schauende 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 ein digitales Kommunikationsnetzwerk bei Bedarf 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 drei 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 und Echtzeitanalyse großer Datenmengen und die Entwicklung von Vorhersagemodellen zur Qualitätssicherung innerhalb der Wertschöpfungskette.

Aktuell besteht noch eine große Diskrepanz zwischen der realen, physischen Welt und der digitalen, virtuellen Welt. So sind viele Eigenschaften von Produkten, wie Werkstoffverhalten, Abnutzungsgrad, aber auch Einsatz- und Umgebungsbedingungen noch nicht digitalisiert und stehen in der virtuellen Welt nicht standardmäßig zur Verfügung. Deswegen ist es auch ein Ziel von Industrie 4.0 alle möglichen Informationen über Produkte und Dinge zu digitalisieren, die aktuell noch nicht zur Verfügung stehen. Diese Information kann dann einer breiteren Gruppe von z. B. Softwaredienstleistern, Analytikern und Steuerungs- und Regelungsexperten über die permanente Vernetzung zur Verfügung gestellt werden, welche mit diesen Daten für den Produktnutzer einen Mehrwert, meist in Form von maßgeschneiderten Softwaretools, generieren können. Zukünftig wird somit nicht mehr der alleinige technische Vorteil des Produktes sondern vielmehr die Vernetzungsfähigkeit und der damit erhöhte Nutzen beim Kunden im Vordergrund stehen. Technische Produktinnovation werden zunehmend durch die Verschmelzung von unterschiedlichen Einzelsystemen über digitale Kommunikationskanäle und somit im Verbund realisiert werden.

Die Basis für IoT ist, wie bereits erwähnt, die digitale Transformation jeglicher Informationen und Wissen. In Produkten und Produktionsprozessen wird diese Digitalisierung von elektronischen Sensorsystemen, die physikalische Größen wie Temperatur, Abstand, Helligkeit, Feuchte, etc. auf digitale Signale abbilden, durchgeführt. Das Bedürfnis jegliche Information in digitaler Form

vorliegen zu haben, um daraus Mehrwert generieren zu können, wird somit den Bedarf an derartigen Sensorsystemen massiv erhöhen.

Bereits an dieser Stelle kann angemerkt werden, dass alle diese Aktivitäten eine Unmenge von Daten generieren, was wiederum innovative Lösungen bei der Datenverarbeitung und -speicherung bedingt. Eine vielversprechende Lösung dafür liegt in der Nutzung großer Datenverarbeitungszentren, welche weltweit über das Internet angesprochen werden können. Derartige Cloud-Systeme verfügen über praktisch frei skalierbare Ressourcen in Bezug auf Speicherkapazität und Rechenleistung. Des Weiteren werden diese Systeme professionell betreut und bieten dadurch eine hohe Verfügbarkeit. Aktuell wird von kommerziellen Endkunden von derartigen Systemen aber oftmals Abstand genommen, weil am ausreichenden Schutz der Daten vor unbefugtem Zugriff gezweifelt wird.

Eine weitere, noch zu lösende Herausforderung für die kommerzielle Nutzung von Cloud-Systemen steckt in der Kommunikationsgeschwindigkeit des Internets auf der Nutzerseite, da die Daten im Idealfall in Echtzeit generiert, gespeichert und verarbeitet werden müssen. Dies erklärt u.a. auch die aktuellen Bestrebungen von Staaten und Telekommunikationsunternehmen, die digitalen Netze auszubauen, um immer schnellere Datenübertragungsraten zu ermöglichen.

Neben ethischen und juristischen 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 I4.0 oder IoT-Produkt digitale Informationen erzeugt und kommuniziert, ist in Zukunft eine einheitliche und effiziente Standardisierung der Kommunikationsprotokolle notwendig. Diese Standardisierung muss nicht nur sicherstellen, dass der Datenaustausch im Produktionsnetzwerk oder über das Internet funktioniert, sondern, dass diese Kommunikation auch sicher erfolgt. Unter sicherer Kommunikation wird in diesem Zusammenhang Folgendes verstanden

- / die transportierten Daten erreichen den Empfänger zeitgerecht
- / die Daten dürfen nicht von Unbefugten modifiziert werden können
- / die Daten dürfen nicht von Unbefugten gelesen werden können.

Produktdaten sind besonders sensibel, weil sie Auskunft über alle mit dem Produkt in Verbindung stehenden Bereiche zulassen: Hersteller- und Nutzerinformationen, Herstellungsbedingungen, Qualität und Einsatzbedingungen. Im Grunde geht der Nutzer eines vernetzten I4.0-Produkts mit dem Hersteller

ein Vertrauensverhältnis ein, welches nicht aufs Spiel gesetzt werden darf. Eine missbräuchliche Verwendung der gewonnenen Daten muss mit allen zur Verfügung stehenden Mitteln unterbunden werden. Trotz dieser Herausforderung hinsichtlich Sicherheit birgt die Vernetzung der Produkte auch für die Hersteller eine riesige Chance. Diese können direkt das

Produkt- und Nutzungsverhalten beim Kunden beobachten und Erkenntnisse für neue Produktinnovationen ableiten – im Grunde eine Win-Win Situation. Zusätzlich müssen die Kosten für die Internetnutzung und die Nutzung der Softwaretools, welche automatisch oder auch autonom arbeiten, gering bleiben, da ansonsten die breite Akzeptanz bei den Nutzern fehlt.

## 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 Schweißanwendungen 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 leistungsfähiger Informations- und Kommunikationstechnologie und maßgeschneiderten Sensoren ausgestattet sein, damit alle fertigungsrelevanten Informationen digitalisiert werden können und das notwendige Echtzeitverhalten des Systems gegeben ist.
- / Die notwendige Speicherung großer Datenmengen erfordert leistungsstarke Netzwerkinfrastrukturen und ausreichend Speicherkapazitäten.

Konzepte für Daten- und Kommunikationssicherheit müssen erstellt und umgesetzt werden. Dadurch wird sich das Kerngeschäft eines Schweißstromquellenherstellers ändern:

- / Am Beginn der Schweißtechnikentwick-

lung stand die intensive Auseinandersetzung mit der direkten Umwandlung von elektrischer Energie aus dem Netz in geeignete Schweißströme und Spannungen. / In den 1990er Jahren rückte die vollständige Digitalisierung des Schweißprozesses und dessen digitale Regelung in den Fokus der Neuerungen.

- / Aktuelle Schweißsysteme besitzen ultraschnelle maschineninterne und externe Datenkommunikationskanäle, hochauflösende Echtzeitregelung, die Fähigkeit zur Speicherung großer Datenmengen, IT-Sicherheit und intelligente Mensch/Maschine bzw. Maschine/Maschine Kommunikation .
- / Zukünftige vollautomatische Schweißanlagen werden selbstständig und ohne menschliches Zutun die Fertigung neuer Teile organisieren und dabei auf den breiten Erfahrungsschatz in den zentralen Speichersystemen zugreifen.

Solange allerdings der Digitalisierungsprozess in der Schweißtechnik nicht vollständig abgeschlossen ist wird der Mensch weiterhin eine zentrale Rolle bei der Ermittlung von Schweißlösungen einnehmen. Dementsprechend ist der Kommunikationskanal zwischen Mensch / Schweißmaschine aktuell und auch zukünftig einer der wichtigsten Erfolgsfaktoren.

### DIGITALISIERUNG VON KNOW-HOW UND INFORMATION

Eine vernetzte, modulare Schweißzelle muss mit den richtigen Schweißparametern, entsprechenden Schweißzusätzen und Schweißhilfsmitteln, abhängig von der durch die Fertigungssteuerung zugeordneten Aufgabe, ausgestattet werden. Noch ist es der Schweißtechnologie jene Instanz, der die Verantwortung über die richtige Wahl der Schweißparameter innehat. Wenn diese Aufgaben zukünftig von intelligenten Softwaresystemen unterstützt werden sollen ist es notwendig, das vorhandene Wissen zu digitalisieren und automatisiert abrufbar zu machen. Darin steckt

wahrscheinlich die schwierigste Herausforderung von I4.0 in der Schweißtechnik, da das Wissen sehr schwer zu quantifizieren und damit auch kaum umfassend zu digitalisieren ist [6]. Für autonome Zellen ist aber das digitalisierte Wissen eine Grundvoraussetzung. Außerdem sind digitale Informationen über das Bauteil, den Schweißzusatz, das Schutzgas, etc. notwendig, um optimale Schweißparametersätze automatisch ermitteln zu können. An dieser Stelle muss die durchgängige Vernetzung der „smart factory“ greifen und alle Informationen zur richtigen Zeit zur Verfügung stehen.

## MODERNE SCHWEISSSTROMQUELLE

Moderne "I4.0 ready" Schweißsysteme bestehen aus mehreren, mittels Bussystemen vernetzten Mikroprozessoren und bilden somit intern bereits ein Netzwerk. Diese Architektur erlaubt es mit einer relativ geringen Anzahl an Basiskomponenten eine Vielzahl von Systemkonfigurationen zu realisieren.

Im Grunde sind derartige Stromquellen Cluster, die im Falle von MIG/MAG folgende Aufgaben bewältigen:

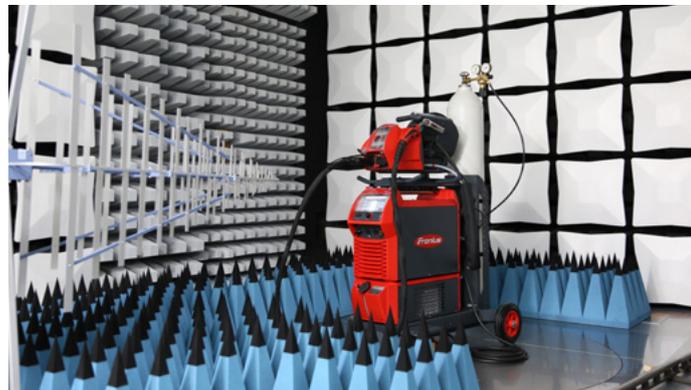
- / Verarbeitung von digitalen Schweißparameterkennlinien
- / Realisierung der daraus resultierenden, gewünschten Signalverläufe für Strom und Spannung am Lichtbogen
- / Schweißdatenerfassung und lokale Datenspeicherung aktueller Datensätze
- / Automatische Begrenzung der Schweißleistung in Abhängigkeit von der zulässigen Belastbarkeit der angeschlossenen Hardwarekomponenten
- / Bereitstellung von Vernetzungsmöglichkeiten für Kabelnetzwerke (z. B.: Ethernet), drahtlose Netzwerke (z. B.: Bluetooth) und Nahfeldkommunikation (z. B.: NFC)
- / Selbsterkennung und Selbstdiagnose der installierten Komponenten wie zum Bei-

spiel Schweißbrenner, Kühleinheit, Display und Drahtvorschub

Um diesen Anforderungen gerecht zu werden bestehen Schweißgeräte aus Transformatoren mit Ferritkernen, Leistungselektronikkomponenten, Kupferverkabelung für die Versorgung und Führung des Schweißstroms und verschiedenen elektronischen Steuerprints, die über digitale Interfaces verbunden sind. Somit ist eine Schweißstromquelle ein komplexes leistungselektrotechnisches Gerät, welches in jedem Betriebszustand weder sich noch benachbarte Systeme über elektromagnetischen Wechselwirkungen negativ beeinflussen darf. Zusätzlich muss die empfindliche Elektronik zuverlässig vor dem 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 eine große Herausforderungen in der Entwicklung moderner Schweißstromquellen darstellen, aber unbedingt erforderlich sind um für den Kunden die Funktionsfähigkeit des Systems sicher zu stellen.

**Bild 1:**  
*Prüfung der  
elektromagnetischen  
Verträglichkeit einer moderner  
Schweißstromquelle*



## DATENKOMMUNIKATION

Eines der Schlüsselworte bei „I4.0“ ist Kommunikation. Aber was bedeutet "Kommunikation" beim Schweißen? Im Falle moderner MIG/MAG-Stromquellen kann die notwendige, maschineninterne Kommunikation durch eine vereinfachte Rechnung abgeschätzt werden: Moderne Kurzlichtbogenprozesse, wie zum Beispiel CMT [7], arbeiten mit einer Tropfenablösefrequenz von bis zu 150 Hz, das bedeutet, dass ca. alle 7 msec ein Tropfen abgelöst wird. Um diese Tropfenablöse gezielt durch Veränderung von Strom und Spannung bestmöglich zu optimieren, ist es notwendig, 50-100 mal während

eines Tropfenablösezyklus regelungstechnisch einzugreifen. Das ergibt eine verbleibende Kommunikationszeit zwischen dem Lichtbogen und dem Steuerungscomputer von 30µsec. In dieser Zeit müssen physikalische Daten digitalisiert und über Echtzeitkommunikation zu den verschiedenen Mikroprozessoren im System geschickt werden.

Für die Datenverarbeitung und Regelung, die in harter Echtzeit erfolgen muss, verbleiben dann nochmals 30 µsec. Neben diesen extrem hohen Anforderungen an die Datenübertragungsgeschwindigkeit ist auch die Verarbeitung der großen Datenmengen,

die dadurch erzeugt werden, eine enorme Herausforderung. Aus diesem Grund ist auch zwischen der internen Datenkommunikation, auf welcher die gesamte Steuerungs- und Regeltechnik beruht und der externen Datenkommunikation über Intra- und In-

ternet, welche hauptsächlich zu Dokumentationszwecken herangezogen wird, zu unterscheiden. Beide Netzwerke erfüllen komplett unterschiedliche Anforderungen in Bezug auf Echtzeitverhalten und Datenübertragungsraten.

## AUSWAHL VON SCHWEISSPARAMETERN UND SCHWEISSDATENSPEICHERUNG

Das Ziel von I4.0 sind flexible, autonom arbeitende Fertigungszellen welche aus verschiedensten, aber eng vernetzten Einzelsystemen besteht. Um autonom arbeiten zu können muss die Fertigungszelle in der Lage sein die Rohteile des zu fertigenden Produkts und den Produktauftrag zu identifizieren. Bezogen auf dieses Bauteil werden dann die Einzelsysteme instruiert und im Falle des Schweißsystems die Schweißparameter übermittelt. Im laufenden Schweißvorgang werden diese kontrolliert und, wenn nötig, korrigiert. Dazu sind, wie bereits diskutiert, eine moderne Roboter-Schweißstromquelle mit leistungsfähigen Mikroprozessoren, Echtzeit-Datenkommunikation und entsprechende Regelalgorithmen notwendig.

Die vorgelagerte Auswahl eines Schweißprozesses und entsprechender Schweißparameterkennlinien in Abhängigkeit vom Grundwerkstoff, Blechstärke, Lagenaufbau und eventuell Spalte ist unabhängig von der Fertigungsschweißung und kann von einem Assistenzsystem z.B. als Cloud-Applikation übernommen oder zumindest unterstützt werden. Dieser Vorgang kann natürlich nur dann funktionieren, wenn das notwendige schweißtechnische Wissen entsprechend digitalisiert vorliegt.

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 aussagekräftigen 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 Internetanbindung nutzerseitig oft nicht ausreichend gegeben ist und auch das Thema Datensicherheit auf Cloud-Systemen nicht endgültig geklärt ist, können derartige Produktionsdaten auch lokal gespeichert und analysiert werden. Dafür bieten sich eigens konzipierte Serversysteme mit abgestimmter Systemperformance und intelligenten Auswertefunktionen an (Bild 2).



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

## DATENSICHERHEIT

Im Grunde ist der innovative Ansatz hinter I4.0 und IoT das zur Verfügung stellen von Daten über Produkt- oder Systemgrenzen hinweg um in einem

größeren Kontext bessere Lösungen für verschiedenste Aufgaben liefern zu können. Diese Analyse kann automatisiert durch Softwaresysteme oder

durch Domainexperten erfolgen. Für die Umsetzung dieses Ansatzes sind neben einem hohen Grad an Computerisierung der einzelnen Produktionsanlagen, deren Einbindung in lokale Netze, offene Netzwerkstrukturen und weltweit gültige Standards für Datenkommunikation, Datentransfer und Schnittstellen notwendig. Dadurch könnten letzten Endes aber auch über Produktionsanlagen sogenannte „Cyberangriffe“ 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 Security-Software gewährleistet werden kann.

## ERKENNUNG DER SCHWEISSBRENNERPOSITION

Es wird selten diskutiert, aber einer der Hauptflussfaktoren auf die Schweißnahtqualität ist der zeitliche Verlauf der Schweißbrenner-Positionierung relativ zum Bauteil entlang der Schweißbahn. Im Falle von automatisierten Roboterschweißanlagen kann die topographische Vermessung der Bauteiloberfläche und die Position des Schweißbrenners bereits zuverlässig durchgeführt werden. Dabei werden zumeist Laserscanner genutzt und die gewonnene Information für die Realisierung von adaptiven Schweißvorgängen, die auf Abweichungen in der Bauteiltopologie eingehen, verwendet. Dabei

können auch Abweichungen der realen Roboterbewegung von der Vorgabe, z.B. hinsichtlich Schweißgeschwindigkeit berücksichtigt werden. Bei manuellen Schweißaufgaben ist die Bestimmung der Position des Brenners während des Schweißvorgangs aufgrund der hohen Lichtbogenstrahlenbelastung, der hohen Temperaturen, der Schweißrauchentwicklung, der metallischen Oberfläche und der oft stark beschränkten Zugänglichkeit mit herkömmlichen Sensoren noch nicht in Serienanwendungen möglich.

## KOMMUNIKATION MENSCH / SCHWEISSMASCHINE

Die vollständig autonome arbeitende Schweißzelle, die eigenständig Schweißaufgaben lösen kann, ist sicherlich ein Ziel, welches durch die Verwendung von I4.0 Konzepten in greifbare Nähe rückt. Aufgrund der Komplexität der oben dargestellten Anforderungen wird deren Realisierung in Serienanwendungen aber sicher noch länger dauern. Somit werden der Schweißtechnologie und der Schweißer auch noch in den nächsten Jahrzehnten zentral für die Schweißqualität von komplexen schweißtechnischen Erzeugnissen verantwortlich bleiben. Das bedingt, dass die Kommunikationsmöglich-

keiten zwischen Mensch und Schweißmaschine auch weiterhin eine wesentliche Rolle spielen. Die aktuellen Tendenzen in der Entwicklung dieses Interfaces werden maßgeblich durch jene Geräte geprägt die der Schweißer auch in seinem privaten Umfeld verwendet. Smartphones und Tablets sind allgegenwärtig und können als Maßstab für die Reduktion von Komplexität für den Bediener herangezogen werden. Fähigkeiten wie Mehrsprachigkeit, Touchbedienung, Sprachsteuerung etc. bahnen sich bereits jetzt ihren Weg in die raue Werkstattumgebung. (Bild 3).

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



Getrieben durch 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 Sprachsteuerung ausgerüstet werden, über die mit der Stromquelle kommuniziert wird. Um dies realisieren zu können, ist es notwendig, dass der Helm drahtlos mit der Stromquelle verbunden werden kann. Neueste Ent-

wicklungen 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 herkömmlichen automatischen Verdunkelung bei schwachem 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 schweißt, ist es notwendig, im off-line Modus das Schweißprogramm zu erstellen, die Brennerbewegung zu definieren und zu überprüfen um unnötigen Ausschuss zu vermeiden. Diese Vorgangsweise ist speziell bei Einzelstückfertigungen unumgänglich. Dafür werden in Zukunft spezielle Softwaresysteme benötigt, welche in der Lage sind, den Schweißpro-

zess virtuell darzustellen. Als Basis für deren Entwicklung werden jene Software-Programme dienen, die bereits heute in der Ausbildung von Schweißer und Roboterprogrammierer herangezogen werden, um virtuell am Computer die korrekte Programmierung von Brennerhaltung und Bewegung am Roboter 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 wird in Zukunft die automatisierte, bedarfsgerechte Einzelteilfertigung von Bauteilen ermöglichen. 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 und Rüstzeiten maßgeblich beeinflusst sind, zu reduzieren, werden auch 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 erschmolzenem Metall einen de-

finierten 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 Geometriekomplexität wie zum Beispiel Lauftradschaukeln, 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