

## Die Evolution der Schweißautomatisierung in einfach programmierbaren Schweißzellen

Dürch **Tom Vrugteveen** - Technical Sales AWL

### 1.1 Schweißindustrie im Aufwind

Schweißen ist ein Handwerk, das umfassende Werkstoff- und Prozesskenntnisse erfordert. Schweißverbindungen sind unlösbar, und Fehler lassen sich nur schwer korrigieren oder verbergen. Die metallverarbeitende Industrie kämpft mit einem enormen Mangel an Schweißpersonal, unter anderem infolge einer Zunahme der Produktion, insbesondere der kundenindividuellen Massenproduktion, und des Ausscheidens vieler Schweißer aus dem Beruf.

#### 1.1.1. Steigende Nachfrage nach Metall Produkten

2020 hatte der weltweite Markt der Metallindustrie einen Umfang von 20,23 Milliarden Dollar (Fortune Business Insights, 2021). Bis zum März 2020 wurde für diesen Markt eine jährliche Wachstumsrate von 6,2 % prognostiziert (Grand View Research, 2020), was weitgehend dem in den vorigen Jahrzehnten erzielten Wert von 6 % entspricht (Total Materia, 2007). Der Markt hat in den letzten Jahren also ein relativ stabiles Wachstum erlebt. Es wurde erwartet, dass sich dieser Trend dank des Wohnungs- und Wirtschaftsbaus in asiatischen Ländern fortsetzen würde, aber dem machte das Virus einen Strich durch die Rechnung.

Ende 2019 wurden in China die ersten Coronafälle diagnostiziert. Kaum jemand hätte wohl erwartet, dass dies schließlich die ganze Welt auf den Kopf stellen würde. Das Virus breitete sich so rasant aus, dass vielerorts Lockdowns eingeführt wurden.

In vielen Ländern kamen Branchen, die als „nicht systemrelevant“ galten, völlig zum Erliegen. Unter den Folgen litt in der ersten Zeit auch die Fertigungsindustrie, darunter die Schweißindustrie.

Trotz der pessimistischen Prognosen hat die Metallindustrie von 2020 auf 2021 ein Wachstum von 3,6 % realisiert (Fortune Business Insights, 2021), und es wird erwartet, dass dieser Trend mit einem durchschnittlichen Wachstum von 4,6 % bis 2028 anhalten wird. In Europa und Amerika wird dies sogar aktiv gefördert. Im kleinen Maßstab wurde Produktionskapazität bereits wieder ins eigene Land verlagert, ein Prozess, der auch als „Reshoring“ bekannt ist. Diese Entwicklung war ursprünglich vor allem auf einen starken Anstieg der Löhne in Niedriglohnländern zurückzuführen, wurde aber durch die weltweite Pandemie mit ihren Auswirkungen auf die Lieferketten noch verstärkt.

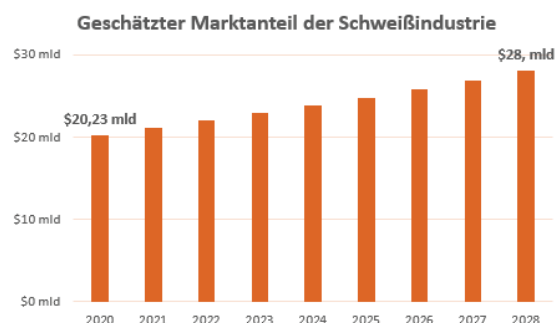


Abbildung 1:

Geschätzter Marktanteil der weltweiten Schweißindustrie, basierend auf Statistiken von Fortune Business Insights (2021).

### 1.1.2 Kundenindividuelle Massenproduktion

Seit der industriellen Revolution nahm der Umfang der Warenproduktion stetig zu. Dabei wurde im Interesse der Serienproduktion die Vielfalt des Warenangebots drastisch begrenzt. In den letzten Jahrzehnten entwickelte sich jedoch ein Trend hin zur personalisierten Produktion, die sich dennoch die Effizienz der Massenproduktion zunutze macht. Daraus entstand die kundenindividuelle Massenproduktion (Gandhi et al., 2014).

Diese Entwicklung vollzog sich zunächst in der Modeindustrie, griff aber schon bald auf die Automobilindustrie über. In den vergangenen Jahren folgten dann auch andere Märkte. Auch in der Schweißindustrie machte sich dieser Trend bemerkbar. So können beispielsweise inzwischen in verschiedenen Webshops schwarz pulverbeschichtete Tischbeine in allen denkbaren Formen und Größen bestellt werden.

Eine Voraussetzung für eine erfolgreiche kundenindividuelle Massenproduktion ist wie gesagt, dass der Effizienzvorteil der Massenproduktion nicht verloren gehen darf. Das heißt, dass die genannten Tischbeine in verschiedenen Größen bestellbar sein müssen, wobei aber die Maßhaltigkeit hoch sein muss und der Preis nicht wesentlich höher ausfallen darf. Die serienmäßige Produktion – also auf Vorrat – der Tischbeine kommt dann nicht in Betracht. Darum werden vor Ort Schweißer benötigt, die innerhalb annehmbarer Fristen hochwertige Maßarbeit liefern können.

Die kundenindividuelle Massenproduktion beschränkt sich aber nicht auf den Verbrauchermarkt, sondern ist auch im Business-to-Business-Geschäft auf dem Vormarsch. Das bereits erwähnte „Reshoring“ ist eine Erscheinung der letzten Jahre mit dem Ziel, die Lieferzeiten zu verkürzen und die Transportkosten zu senken, um so als europäisches oder amerikanisches Unternehmen im Weltmarkt wieder wettbewerbsfähig zu werden. Diese Rückholung der Produktion ins eigene Land vollzieht sich insbesondere im Maschinen-, Wohnungs- und Wirtschaftsbau, etwa wenn es um maßgefertigte Rahmen und Gestelle aus lasergeschnittenen Rohren, Profilen oder Blechen geht. Eine der Verbindungsmethoden, die dabei zur Anwendung kommen, ist das Schweißen, wodurch die Schweißindustrie noch stärker in Anspruch genommen wird.

### 1.1.3 Abgang von schweißpersonal

Die Schweißindustrie muss also eine steigende Nachfrage bewältigen. Der Markt wächst weiter, sogar trotz der weltweiten Pandemie. Da drängt sich die Frage auf, ob tatsächlich genügend Schweißer gefunden werden können, um diese steigende Nachfrage bedienen zu können. Die Economical Modeling Specialists International (EMSI) und die American Welding Society (AWS) prognostizieren für die kommenden Jahre einen zunehmenden Personalmangel. So wurde 2019 erwartet, dass in der nordamerikanischen Erwerbsbevölkerung bis 2023 ein enormer Fachkräftemangel von 375.000 Schweißern entstehen würde (Guerra, 2019). Schon vier Jahre zuvor hatte AWS den Mangel an Schweißpersonal für das Jahr 2024 auf 400.000 beziffert (Tasch, 2015). Das sind etwas mehr als 60 % der 609.000 Mitarbeiter, die 2019 in der nordamerikanischen Schweißindustrie beschäftigt waren (DataUSA, undatiert). Und angesichts der in den kommenden Jahren bevorstehenden zahlreichen Abgänge von Schweißmitarbeitern, die das Rentenalter erreichen, wird sich der Mangel AWS zufolge nur noch verschärfen.

2022 hat AWS die Daten erneut miteinander verglichen, um eine neue Einschätzung des Schweißermangels in der nahen Zukunft vornehmen zu können (AWS, 2022). Seit den Schätzungen im Jahr 2019 wurde in den amerikanischen Schweißerausbildungen jedoch viel getan. Dadurch ist der für 2026 erwartete Fachkräftemangel nun geringer als früher prognostiziert, mit 336.000 aber immer noch enorm. In den kommenden Jahren müssen also jährlich 84.000 Stellen besetzt werden, um den Mangel aufzuholen.



Abbildung 2:

Der erwartete Mangel an Schweißern in Nordamerika bis 2026, mit einer kurzen Erklärung der Ursache dieses Mangels, so AWS (2022).



Auch die Zahlen für Europa sind erschreckend. So sahen sich 2021 beispielsweise auch in den Niederlanden viele metallverarbeitende Unternehmen mit einem großen Mangel an Schweißpersonal konfrontiert (Geertsma, 2021). Das lässt sich vor allem an der Zahl der offenen Stellen ablesen; genau beziffern lässt sich der Mangel an Schweißern aber nicht. So veröffentlichen beispielsweise viele Unternehmen ihre Stellenangebote gleichzeitig in mehreren Online-Portalen, wodurch der Personalbedarf leicht zwei bis drei Mal höher erscheint als er in Wirklichkeit ist. Geertsma weist übrigens auch darauf hin, dass die verlangten Kompetenzen sehr vielfältig sind; so werden beispielsweise speziell Schweißer für MIG/MAG, WIG und Elektrodenschweißen gesucht.

In Belgien waren 2018 noch 449 Schweißstellen zu besetzen (Vercammen, 2019). Das erscheint auf den ersten Blick nicht sehr viel, aber der Mangel verschärft sich Jahr für Jahr, und die Folgen sind für die Industrie nun schon spürbar. So stand die Schweißmesse 2019 ganz im Zeichen der Förderung des Interesses für den Schweißerberuf, um dem steigenden Fachkräftemangel entgegenzuwirken.

In Deutschland wird nach Kräften versucht, qualifizierte Fachkräfte aus dem Ausland anzuwerben, um dem Personalmangel die Stirn zu bieten. Um die Nachfrage zu decken, müssten jährlich 400.000 qualifizierte Zuwanderer angeworben werden, so Detlef Scheele, Vorstandsvorsitzender der Bundesagentur für Arbeit, in einem Interview mit der Süddeutschen Zeitung (Hagelüken, 2021). Obwohl die Zahl der benötigten ausländischen Fachkräfte infolge der Coronapandemie sank, steht dies in keinem Verhältnis zum Umfang der Zuwanderung.

## 1.2 Automatisierung wirkt verstärkend

Obwohl die Zahlen uneinheitlich oder schwer interpretierbar sind, wird aus den Medien doch klar, dass die Schweißindustrie expandiert, die Techniken immer vielfältiger werden und ein spürbarer Mangel an Schweißpersonal herrscht – und dass dringend etwas dagegen getan werden muss. Das ist auf verschiedenen Wegen möglich, beispielsweise durch Investition in die Ausbildungen, um ein ausreichendes Angebot an Nachwuchskräften sicherzustellen, oder durch Anwerbung ausländischer Fachkräfte. Eine dritte Methode ist die Automatisierung durch herkömmliche oder kollaborative Industrieroboter.

### 1.2.1 Roboter in der Fertigungsindustrie

Seit General Motors in New Jersey 1961 den ersten Roboter von Unimate einsetzte (Automate, undatiert) ist die Zahl der Roboter laut International Federation of Robotics (IFR) bis 2020 auf über 3.015.000 angestiegen (2021a). Vor allem im letzten Jahrzehnt wurde ein starker Zuwachs verzeichnet: eine Verdreifung seit 2010, als in der Industrie 1.059.000 Roboter im Einsatz waren. 2020 wurden 384.000 Roboter integriert, davon allein in der Schweißindustrie 66.000.

#### 1.2.1.1 Große Serien, wenig Vielfalt

Roboter zeichnen sich im Markt durch Bewegungsfreiheit, Präzision, Geschwindigkeit, Kraft und Kontinuität aus. Bei regelmäßiger Wartung und Justierung können Roboter problemlos enorme Seriengrößen bewältigen. Ein Roboter ist ein Manipulator, der in der Regel mit fünf oder sechs separat beweglichen Achsen arbeitet. Dadurch können hinter der letzten Achse Geschwindigkeiten von mehreren Metern pro Sekunde erzielt werden. Um die Sicherheit des Bedienungspersonals zu gewährleisten, werden diese Roboter mit einem Zaun abgeschirmt. Innerhalb des Zauns wird in der Schweißindustrie oft ein Drehtisch installiert, der in der Mitte ebenfalls abgeschirmt ist. Auf beiden Seiten des Drehtischs können Produkte abgelegt werden, wodurch Roboter und Bediener zeitgleich arbeiten können: der Roboter schweißt auf der einen Seite des Tisches, während der Bediener auf der anderen Seite das geschweißte Produkt entnimmt und neues Ausgangsmaterial zuführt.

Zuvor müssen die Roboter programmiert werden, damit sie die gewünschten Bewegungen ausführen, Geräte ansteuern oder auf Sensoren reagieren. Fast jede Robotermarken hat ihre eigene Programmiersprache mit spezifischen Funktionen oder Eigenschaften. Dadurch ist die Roboterintegration ein aufwändiger Prozess, der mit hohen Investitionen einhergeht. Hinzu kommen die Kosten für die Sicherheitsvorkehrungen, Sensoren und Aktuatoren. Darum werden Robotersysteme in der Industrie meistens nur für die Produktion großer Serien eingesetzt.

#### 1.2.1.2 Roboter für vitalere Unternehmen

Unternehmen, die Prozesse ausführen, die sich für die Automatisierung eignen, müssen sich entscheiden, ob sie diesen Schritt tun. Die Automatisierung erfordert Investitionen, die sich auf Dauer auszahlen. Nicht nur der Umsatz erhöht sich, sondern es entstehen auch Arbeitsplätze.



Koch et al. (2019) wiesen in einer Studie unter spanischen Unternehmen nach, dass vor allem große und produktive Unternehmen von Robotern Gebrauch machen, während kleinere Unternehmen in denselben Branchen eher von der Robotisierung absehen. Die erste Gruppe verzeichnete in den ersten vier Jahren nach der Anschaffung eine Produktionssteigerung um 20 bis 25 %, während die zweite Gruppe dahinter zurückblieb. Auch der Personalbestand wuchs durch die Automatisierung: bei Unternehmen, die automatisierten, stieg die Zahl der Arbeitsplätze um 10 % an, während bei der Gruppe, die keine Roboter einsetzte, die Zahl der Beschäftigten sogar zurückging.

### 1.2.1.3 Paradoxe Auswirkungen der Robotisierung auf das Personal

Die Robotisierung kann sich auf die notwendige Qualifikation des Personals auf zwei völlig gegensätzliche Weisen auswirken. Da ein Teil der Prozesskenntnisse in den Roboter integriert wird, braucht die Roboterzelle nur noch mit neuen Werkstoffen oder Produkten bestückt zu werden. Dadurch werden die notwendigen Kompetenzen des Bedienungspersonals auf das Einlegen des Ausgangsmaterials in die Roboterzelle und die Herausnahme der Produkte reduziert (sofern die Kontrolle der Anwesenheit des Materials in der Maschine – und der korrekten Platzierung – durch Sensoren oder die Form der Spannwerkzeuge übernommen oder erzwungen wird). Wenn der Roboter weiterarbeitet, obwohl Teile falsch eingelegt wurden oder fehlen, können Ausschuss oder sogar Schäden am System die Folge sein.

Andererseits ist ein Roboter ein komplexes System, das auch komplexere Fähigkeiten erfordert, insbesondere wenn das Unternehmen damit auch selbst neue Prozesse automatisiert. Die benötigten Prozesskenntnisse müssen in Form von Code in den Roboter integriert werden, was sowohl Prozess- als auch Programmierkenntnisse erfordert. Um beispielsweise korrekt schweißen zu können, reicht es nicht aus, die Roboterpositionen in Code umzusetzen und in einen logischen Ablauf zu bringen, denn auch Parameter wie der Elektrodenwinkel, die Vorschubgeschwindigkeit und die Schweißdrahtzufuhr haben – neben vielen anderen – Einfluss auf die Qualität der Schweißnaht.

### 1.2.1.4 Kaum Robotisierung im KMU-Sektor

Das Robotersystem selbst ist teuer, aber darüber hinaus erfordert auch die Anpassung der Arbeitsplätze und der logistischen Prozesse gewisse Investitionen. Vor allem das stellt Malowski et al. (2021a) zufolge ein großes Hindernis dar, insbesondere für kleine und mittlere Unternehmen (KMU).

Linda Kool, Themenkoordinatorin für digitale Gesellschaft beim Rathenau-Institut, wies auch in einem Interview mit Malowski et al. bereits darauf hin, dass Investitionen hierdurch aufgeschoben werden oder sogar ganz unterbleiben. Das beeinträchtigt die Vitalität der Unternehmen auf dem Arbeitsmarkt.

Für den KMU-Sektor ist eine Robotisierung also wegen der hohen Kosten keine auf der Hand liegende Entscheidung, aber abgesehen davon ist es auch schwierig, geeignetes Personal zu finden – und im Betrieb zu halten. Unter den niederländischen Unternehmen wütet heute schon ein erbitterter Kampf um Roboterprogrammierer (van der Laan, 2022). Diese Fachkräfte sind schwer zu finden, aber fast noch schwerer zu binden, da viele Unternehmen nun händeringend nach Roboterschweißern suchen, um ihre Serienproduktion automatisieren zu können.

### 1.2.2 Cobots

Außer den traditionellen Robotern gibt es auch kollaborative Roboter, die sogenannten Cobots. Diese Art von Robotern bietet andere Eigenschaften und Anwendungsmöglichkeiten als traditionelle Roboter, birgt aber auch ein Paradox.

#### 1.2.2.1 Cobots und Roboter im Vergleich

2004 brachte der deutsche Roboterhersteller KUKA den ersten kollaborativen Roboter auf den Markt. Der Cobot LBR 3 war mit eingebauten Sensoren ausgestattet, die die Kräfte an den separaten Achsen auslesen konnten. So konnte intern berechnet werden, welche Kraft auf die Achsen einwirken muss, beispielsweise durch die eigene Schwerkraft des Arms, aber auch durch das Gewicht des vom Roboter ergriffenen Werkstücks. Wenn hier eine Abweichung festgestellt wird, kann der Roboter darauf reagieren: entweder durch Stillstand oder durch Ausführung einer Bewegung, bis nur noch die berechnete Kraft registriert wird.

Ursprünglich sollte mit dieser Reaktion die Sicherheit des Bedienungspersonals gewährleistet werden, ohne den Roboter mit einem Zaun abschirmen zu müssen. Das setzt jedoch voraus, dass die möglichen Folgen eine bestimmte Grenze nicht überschreiten können. Aus diesem Grund sind Cobots im Allgemeinen auch etwas langsamer und haben eine geringere Hebeleistung als traditionelle Roboter. Als größter Vorteil der Fähigkeit von Cobots, externe Kräfte wahrzunehmen, erwies sich jedoch die Tatsache, dass sich Cobots durch Druck steuern lassen. Sie können von Hand sozusagen in die gewünschte Position „geknetet“ werden, was die Programmierung von Positionen wesentlich vereinfacht.





Die Cobots der ersten Generation waren finanziell noch nicht interessant genug, da die damit erzielten Vorteile in puncto Arbeitssicherheit die höheren Kosten der Technologie noch nicht aufwogen. Spätere Generationen der Cobots, unter anderem von OMRON, wurden darum nicht mit Kraftsensoren ausgestattet, sondern mit einem System zur Registrierung des Stromverbrauchs der Servomotoren in den Achsen. Das machte die Systeme zwar etwas größer im Umgang, aber auch kostengünstiger – und damit wirtschaftlich attraktiver.

Auch die Benutzerschnittstelle wurde stark verbessert. Während der erste Cobot von KUKA noch auf herkömmliche Weise programmiert werden musste, wurde vor allem die Schnittstelle in den letzten Jahren so vereinfacht, dass das Bedienungspersonal schon nach wenigen Tagen Schulung mit dem Cobot arbeiten kann. In Kombination mit der kostengünstigeren Technologie leistete das dem Verkauf von Cobots enormen Vorschub. Allein im Jahr 2020 wurden bereits 22.000 Exemplare verkauft. Seit der Einführung der ersten Cobots im Jahr 2008 stieg ihr Anteil von null auf 5,72 % der 384.000 Roboter an, die 2020 weltweit verkauft wurden (IFR, 2021b).

### 1.2.2.2 Kleinere Serien mit größerer Vielfalt

Dank der Benutzerfreundlichkeit der modernen Cobots ist ihre Programmierung heute weniger kostenintensiv. Dadurch wird es attraktiver, auch die Produktion kleinerer Serien zu automatisieren. Das kommt auch der Vielfalt der herzustellenden Komponenten zugute: wenn die Programmlogik, etwa die Abfrage und Steuerung von Ein- und Ausgängen, erst einmal steht, kann das Programm relativ schnell auf die Produktion ähnlicher Produkte umgestellt werden. Der Cobot ist schließlich von Hand umpositionierbar und kleine Fehler haben für Cobots nicht sofort katastrophale Folgen, da sie schließlich so entworfen wurden, dass sie unvorhergesehene externe Kräfte wahrnehmen und darauf reagieren können.

### 1.2.2.3 Sicherheitsparadox

Die Bezeichnung und Benutzerfreundlichkeit der Cobots birgt allerdings ein Paradox, für das noch immer keine zufriedenstellende Lösung gefunden wurde. Dass die Cobots dank ihrer Fähigkeit, externe Kräfte wahrzunehmen, kollaborativ einsetzbar sind, bedeutet nicht, dass sie automatisch auf sichere Weise in alle Prozesse integrierbar sind. So darf ein Cobot zwar auf den Menschen einwirken, wobei diese Einwirkung aber je nach Körperteil, mit dem Kontakt entstehen kann, und der Art der Einwirkung – etwa Einklemmung oder Stoß – begrenzt ist.

Schweißen ist beispielsweise ein Prozess, dessen Automatisierung umfangreichere Sicherheitsvorkehrungen erfordert als der bloße Einsatz eines Cobots (Vrugteveen, 2020). So überschreitet ein Stoß durch die Schweißblanze leicht die maximal zulässige Einwirkung, ganz zu schweigen vom Schweißlicht, das in alle Richtungen auf die Anwesenden einwirken und eine Verblitzung der Augen verursachen kann. Und natürlich stellen auch die Ströme, die beim Schweißen von Metall verwendet werden, und die dabei entstehenden hohen Temperaturen eine Gefahr dar.

Wenn Cobots in risikoreicheren Prozessen eingesetzt werden sollen, müssen angemessene Sicherheitsvorkehrungen getroffen werden. Beispielsweise indem Prozesse lokal abgeschirmt oder durch ähnliche, weniger gefährliche Prozesse ersetzt werden. Beim Schweißen ist dies jedoch kaum möglich.

Dennoch wiegt die Benutzerfreundlichkeit der Cobots die Kosten für die Schweißindustrie auf. Die Schweißer können mit Cobots ihre Prozesskenntnisse einbringen, indem sie den Cobot manuell im richtigen Elektrodenwinkel an das Produkt heranführen.

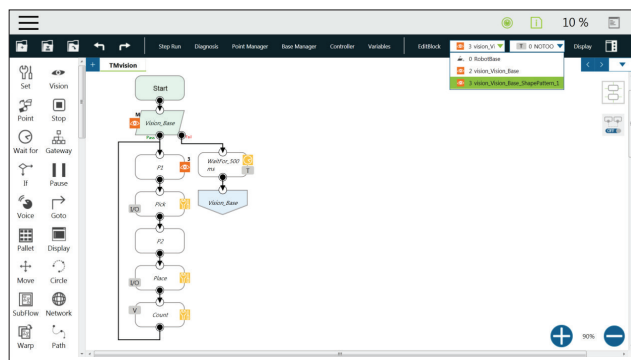
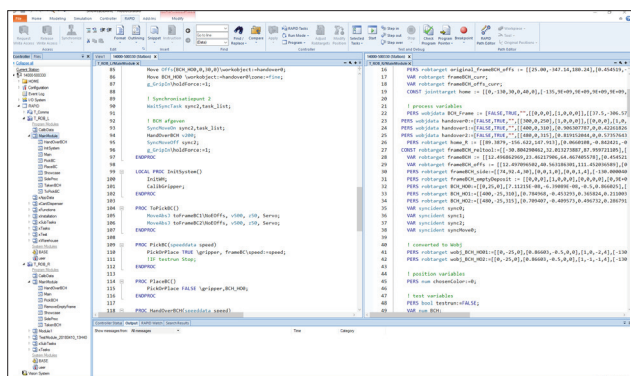


Abbildung 3: Beispiele für die Programmierung kollaborativer Roboter. Oben ein ABB YuMi, unten ein OMRON TM12 (OMRON, 2018, S. 117).



Die Schweißbewegung muss mit extremer Präzision – geradlinig oder kreisförmig – und mit sehr konstanter Geschwindigkeit und gleichbleibendem Elektrodenwinkel ausgeführt werden. Sofern die Abfrage der Sicherheitssensoren im Hintergrund gewährleistet bleibt, können diese Vorteile die Nachteile schon bald aufwiegen.

#### 1.2.2.4 Robots auf einem Schweißstisch

In der Schweißindustrie kommen Cobots vor allem auf Schweißstischen zum Einsatz. Das erfordert nur eine Investition in die Schweißgeräte und Schweißstische. In vielen Fällen kommt dabei die Sicherheit zu kurz. Oft sogar in einem Maße, dass es gefährlich wird, beispielsweise weil:

- der Cobot infolge der Programmierfreiheit mit der vorgegebenen Geschwindigkeit jede Bewegung ausführen kann. Der Art und dem Ausmaß der Einwirkung gemäß ISO/TS 15066:2016, der Sicherheitsnorm für kollaborative Roboter, wird dann keine Rechnung mehr getragen;
- der Beginn des Schweißprozesses durch den Cobot zwar mittels Signalleuchte oder -ton angegeben wird, wobei das Signal aber durch die Schweißhaube nicht sichtbar bzw. durch Otoplektiken nicht hörbar ist;
- eine Gefahr für den Schweißer entsteht, der neben dem Cobot arbeitet. Er muss dann den Cobot ausschalten, wobei der Schalter aber nicht immer an einer logischen Stelle angebracht ist.



Abbildung 4:

Eine häufige Art der Anwendung eines Cobots in der Schweißindustrie – ein Cobot auf einem Schweißstisch. Diese Variante von AWL ist mit einem Totmannknopf ausgestattet, wodurch die Sicherheit der anwesenden Personen gewährleistet ist.

Es sind auch Varianten lieferbar, bei denen die Sicherheit durch einen Totmannknopf oder Schweißschirme gewährleistet ist; nicht alle Unternehmen sind jedoch bereit, die damit verbundene höhere Investition zu tätigen.

Die preisgünstigste der beiden Möglichkeiten ist der

Totmannknopf, wobei der Bediener einen Schalter in der Hand hat, den er in drei Ständen ergreifen kann: mit offener Hand, mit vollständig geschlossener Hand oder in einer kontrollierten Mittelstellung. Der Cobot kann schweißen, solange der Schalter in Mittelstellung gehalten wird. Der Mechanismus basiert auf dem Kampf-oder-Flucht-Instinkt: im Falle einer Notsituation erschrickt der Bediener, wodurch er den Schalter entweder zusammendrückt oder loslässt.

Auch bei Anwendung von Lichtschranken muss ein Sicherheitsschalter verwendet werden. Der Cobot darf dann nur schweißen, solange die Lichtschranke geschlossen ist. Bei einer Unterbrechung der Lichtschranke muss der Cobot den Schweißvorgang sofort abbrechen. Die Investition ist zwar höher, aber dieses System bietet den Vorteil, dass der Bediener während des Schweißens des Cobots auch andere Handlungen ausführen kann. Der Cobot und der Bediener können sich wegen der geschlossenen Abschirmung niemals zugleich am Schweißstisch aufhalten.

#### 1.2.2.5 Mitarbeiter geben Cobots den Vorzug

Roboter – einschließlich Cobots – erhöhen die Vitalität eines Unternehmens. Die Mitarbeitenden geben den Cobots allerdings den Vorzug, wie eine Untersuchung ergeben hat (Meissner et al., 2020). Eine Roboterzelle bietet Chancen für Personal mit mittlerer bis hoher Qualifikation, denn diese Mitarbeiter können sich im Unternehmen unverzichtbar machen, wenn sie sich intensiv mit der Roboterprogrammierung befassen. Paul de Beer, Professor für Arbeitsbeziehungen an der Universität Amsterdam, betonte dies beispielsweise in einem Interview im Rahmen einer Untersuchung zu den Auswirkungen der Robotisierung auf die Arbeitsqualität (Malowski et al., 2020b).



Abbildung 5:

Eine Cobot-Schweißzelle. Diese Variante – der Cube von AWL – ist mit einem manuellen Drehtisch an der Vorderseite und einem Cobot innerhalb der Abschirmung ausgestattet.



### **Cobot auf dem Schweißstisch – die Cobot-Schweißzelle**

Roboter und Cobots eignen sich gleichermaßen für die Automatisierung von Schweißvorgängen. Roboter lohnen sich jedoch angesichts der notwendigen teuren Programmierung erst bei größeren Serien. Cobots sind einfacher zu programmieren, wodurch auch Serien mit größerer Vielfalt schneller lohnend produziert werden können. Da der Cobot nicht zeitgleich mit dem Bediener arbeiten kann und langsamer ist als ein Roboter, wird diese Option weniger lukrativ, je größer die Serie wird.

Zwischen kleinen und großen Serien liegt eine Lücke, in der ein Cobot eigentlich eine zu geringe Produktionskapazität pro Stunde bietet, während die Investition in einen Roboter noch zu teuer wäre. Eine ideale Lösung hierfür wäre eine Kombination beider Systeme: die Cobot-Schweißzelle.

#### **1.2.3.1 Kleine bis große Serien, geringe bis hohe Vielfalt**

Eine Cobot-Schweißzelle ist im Grunde eine Roboterzelle, die mit einem Cobot ausgestattet ist. Die Zelle besteht aus einer sicheren lichtdichten Abschirmung, die den Bediener vor Kollisionen mit dem Cobot und direktem Schweißlicht schützt und an der Vorderseite mit einem Drehtisch ausgestattet ist, an dem Bediener und Cobot zugleich an der Maschine arbeiten können. Dank des Cobots in der Zelle wird der arbeitsintensive Programmierprozess durch eine benutzerfreundliche Programmierung der Schweißpositionen ersetzt, die der Schweißer selbst erlernen kann.

Da die Cobot-Schweißzelle mit einem Drehtisch ausgestattet ist, können Bediener und Cobot zugleich an der Maschine arbeiten: auf der einen Seite des Drehtischs schweißt der Cobot die Komponenten zusammen, während der Bediener die fertigen Produkte entnehmen und neues Ausgangsmaterial zuführen kann. Die Zahl der Produkte, die in einer Cobot-Schweißzelle je Zyklus hergestellt werden können, ist dadurch oft fast doppelt so hoch wie bei einem Cobot auf einem Schweißstisch.

Die Flexibilität der Cobot-Schweißzelle bietet in mehreren Hinsichten Vorteile. Cobot-Schweißzellen sind Stand-alone-Lösungen mit einem Gewicht von nur anderthalb Tonnen, wodurch sie innerhalb der Fabrik mit einem Gabelstapler oder Deckenlaufkran frei transportierbar sind.

Der Drehtisch ist ein Schweißstisch auf einer drehbaren Achse.

Dank des Lochmusters im Tisch lässt sich schnell

eine Umrüstung auf ein anderes Produkt realisieren. Wenn bestimmte Produkte häufiger hergestellt werden müssen, können auch Formplatten mit Löchern an den Ecken hergestellt werden, die auf dem Tisch rasch ausgetauscht werden können. Sollte die Breite des Tisches nicht ausreichen, sind gewisse Erweiterungen möglich, indem an den Seiten oder an der Vorderkante des Drehtischs Spannblöcke befestigt werden. Dadurch kann ein rechteckiger Drehtisch im Format 1200 x 550 mm um nahezu einen halben Tisch mit einem Radius von 850 mm erweitert werden – die maximale Breite, bis zu der die Drehung im Wandpaneel noch vollzogen werden kann.

Die von einer Cobot-Schweißzelle unterstützte Produktvariation ist groß – größer noch als mit der einfachen Programmierung, die ein Schweißer vornehmen kann. Wenn ein Produkt häufiger hergestellt werden muss, kann das Programm bei Bedarf wieder aufgerufen werden. Zugleich bietet die Programmierung die Möglichkeit, den Tisch flexibel zu bestücken: dieselben Produkte auf beiden Seiten, verschiedene Produkte je Seite oder sogar mehrere Produkte auf jeder Seite.

#### **1.2.3.2 Wirtschaftlich rentabel**

Die vorgenannten Automatisierungslösungen lassen sich nach Kosten – von kostengünstig bis teuer – wie folgt anordnen:

- Cobot auf einem Schweißstisch
- Cobot -Schweißzelle
- Roboter-Schweißzelle

Eine Cobot-Schweißzelle ist wegen der benötigten zusätzlichen Hardware und Elektronik teurer als ein Cobot auf einem Schweißstisch. Die Hardware für Roboter-Schweißzellen ist manchmal preisgünstiger. Allerdings wird für die Arbeit mit einer Roboter-Schweißzelle Programmiererfahrung benötigt, die nicht immer selbstverständlich vorhanden ist. Es ist natürlich möglich, dieses Wissen zu beschaffen, aber nicht jedes Unternehmen kann sich das leisten. Eine Alternative wäre, den Produktionsprozess an einen externen Anbieter auszulagern, aber auch das erfordert oft hohe Investitionen, die den Preis einer Cobot-Schweißzelle übersteigen.

Als Referenzrahmen wird für die Cobot-Schweißzelle der Preis der Qube-Schweißzelle von AWL zugrunde gelegt (AWL, 2020). Im Interesse der Vergleichbarkeit wurde dieser Preis den Richtpreisen ähnlicher Alternativen anderer Systeme gegenübergestellt. Das heißt: derselbe Typ von Schweißstisch und Schweißgerät und – im Falle des Cobots auf dem Schweißstisch – demselben Typ von Cobot. Das führt zu den folgenden Richtpreisen:

- Cobot auf einem Schweißstisch – 65.000,00 €



- Cobot-Schweißzelle Qube von AWL – 100.000,00 €
- Roboter-Schweißzelle – 200.000,00 €

Wenn der Cobot auf einem Schweißstisch während einer gesamten Schicht je Arbeitstag eingesetzt wird, amortisiert sich die Anschaffung innerhalb von 26,3 Monaten. Die Amortisierung einer Investition in die Qube-Schweißzelle dauert bei derselben Nutzung 23,3 Monate. Die Amortisierungsdauer einer Roboterzelle bei derselben Nutzung muss in der Regel aber auf 36 Monate veranschlagt werden.

	Handschweißer	Cobot auf einem Schweißstisch	Cobot-Schweißzelle
Investition	0,00 €	65.000,00 €	100.000,00 €
Arbeitskraft	Handschweißer	Bediener	
Durchschnittliche Mitarbeiterkosten pro Stunde in den USA 2022	34,67 €	26,64 €	
Monatliche Amortisierung pro Schicht mit die Cobot-Schweißzelle im Vergleich zum Handschweißen	-	2.879,77 €	4.974,67 €
Amortisierungszeit bei 1 Schicht pro Tag	-	26,3 Monate	23,3 Monate
Amortisierungszeit bei 2 Schichten pro Tag	-	13,2 Monate	11,6 Monate

Tabelle 1: Berechnung der Amortisierungsdauer bei einer Investition in einen Cobot auf einem Schweißstisch und in eine Cobot-Schweißzelle im Vergleich zur Situation, dass bereits ein Handschweißer beschäftigt wird.

Die Amortisierungsdauer ist jedoch nur ein Teil des Vergleichs. Eine Qube-Schweißzelle ist durchschnittlich 45 % effizienter – und eine Roboter-Schweißzelle sogar 50 % – als ein Cobot auf einem Schweißstisch. Sowohl die Cobot- als auch die Roboter-Schweißzelle ist mit einem Drehtisch ausgestattet, wobei die Roboter-Schweißzelle aber in der Regel etwas schneller arbeitet. Das ist unter anderem den höheren Bewegungsgeschwindigkeiten des Roboters und der Einsparung von Zykluszeit dank der automatisierten Klemmwerkzeuge und Drehtische zu verdanken. Das bedeutet, dass eine Cobot-Schweißzelle im selben Zeitraum 45 % mehr Produkte fertigen kann als ein Cobot auf einem Schweißstisch.

Angenommen, dass mit einem Cobot auf einem Schweißstisch und einer Qube-Schweißzelle jährlich dieselbe Zahl von Produkten gefertigt wird, dann liegt der Break-even-Punkt, an dem der Qube kostengünstiger wird als ein Cobot auf einem Schweißstisch, bei 19,3 Monaten. Dieser Zeitpunkt liegt noch vor dem Amortisierungszeitpunkt des kostengünstigeren Cobot auf einem Schweißstisch. Der Grund für diesen Vorsprung des Qube ist dessen höhere Effizienz.

### 1.3 Schlussfolgerung

Die Schweißindustrie expandiert Jahr für Jahr, und das war sogar während der Pandemie der Fall. Es wird erwartet, dass sich dieses Wachstum in den kommenden Jahren fortsetzen wird. Außer dem Umfang nimmt infolge der Ausweitung der kundenindividuellen Massenproduktion auf Branchen außerhalb der Automobil- und Modeindustrie auch die Vielfalt der Schweißarbeiten zu.

### Kosten eines Schweiß-Cobots und einer Cobot-Schweißzelle im Vergleich zu einem Handschweißer mit einer Schicht pro Arbeitstag während 36 Monaten

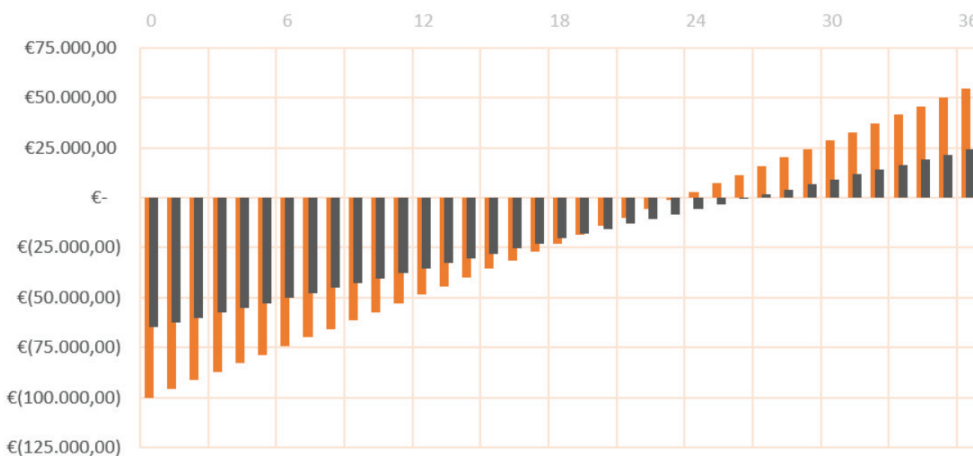


Abbildung 6: Amortisierungsdauer einer Investition in einen Cobot auf einem Schweißstisch (dunkelgrau) und einer Cobot-Schweißzelle (orange) im Vergleich zu einem Handschweißer. Vertikal: Kosten, horizontal: Dauer in Monaten nach der Investition.





Vorläufig gibt es jedoch nicht genügend Schweißfachkräfte, um dieses Wachstum und die steigende Diversifizierung zu bewältigen. Mehr noch: die Diskrepanz zwischen der Zahl der verfügbaren und der Zahl der benötigten Schweißer wird Jahr für Jahr größer, nicht nur infolge des starken Wachstums der Schweißindustrie, sondern auch, weil in den nächsten Jahren zahlreiche Fachkräfte das Rentenalter erreichen. Darum muss die Automatisierung vorangetrieben werden, damit mit derselben Zahl von Mitarbeitenden eine höhere Produktion realisiert werden kann. In der Schweißindustrie erfolgt die Automatisierung oft mittels Robotern. Diese sind in einer Zelle installiert und lohnen sich eigentlich nur für Produktionsserien mit Stückzahlen von Zehntausenden pro Jahr. Darüber hinaus ist die Investition nicht nur wegen der hohen Anschaffungskosten, sondern auch wegen der aufwändigen Programmierung nicht rentabel. Cobots sind einfacher programmierbar, wodurch sie für die flexible Produktion attraktiver sind. Die häufig eingesetzte Variante des Cobot auf einem Schweißstisch kann aber aus praktischen Gründen und mit Blick auf die Sicherheit nicht mit der Effizienz einer Roboter-Schweißzelle die gewünschten Produktionszahlen realisieren.

Eine Schweißzelle mit einem Cobot – auch als Cobot-Schweißzelle bekannt – vereint das Beste der beiden Lösungen. Der Cobot bietet die Möglichkeit, die Programmierung effektiv und einfach an unterschiedliche Produkte anzupassen. Die Schweißzelle mit Drehtisch arbeitet bis zu doppelt so effizient wie ein Cobot auf einem Schweißstisch.

Die Investition ist zwar etwas höher als bei einem Cobot auf einem Schweißstisch, aber wesentlich niedriger als bei einer Roboter-Schweißzelle – vor allem, wenn auch die Erfahrung, die für die Programmierung eines herkömmlichen Roboters benötigt wird, berücksichtigt wird. Angesichts der höheren Effizienz, die dem höheren Preis gegenübersteht, kann die Amortisierungsdauer bei einer Cobot-Schweißzelle sogar kürzer sein als bei einem Cobot auf einem Schweißstisch. Dadurch ist die Cobot-Schweißzelle die effizienteste und letztlich preisgünstigste Option, um die wachsende Nachfrage und den zunehmenden Diversifizierungsbedarf in der Schweißindustrie zu bewältigen. Darüber hinaus brauchen die Schweißfachkräfte hierdurch nicht mehr für serienmäßige Arbeiten eingesetzt zu werden – dies können Bediener übernehmen, nachdem der Schweißer die Programmierung für das Produkt mit seinen eigenen Kenntnissen selbst vorgenommen hat.

### Kontakt

Weitere Informationen über die Cobot-Schweißzelle: [awl.nl/qube](http://awl.nl/qube)

Haben Sie Fragen zu diesem Artikel? Auskunft erteilt:



Tom Vrugteveen

Technical Sales

[t.vrugteveen@awl.nl](mailto:t.vrugteveen@awl.nl)

LinkedIn: [Tom Vrugteveen](#)

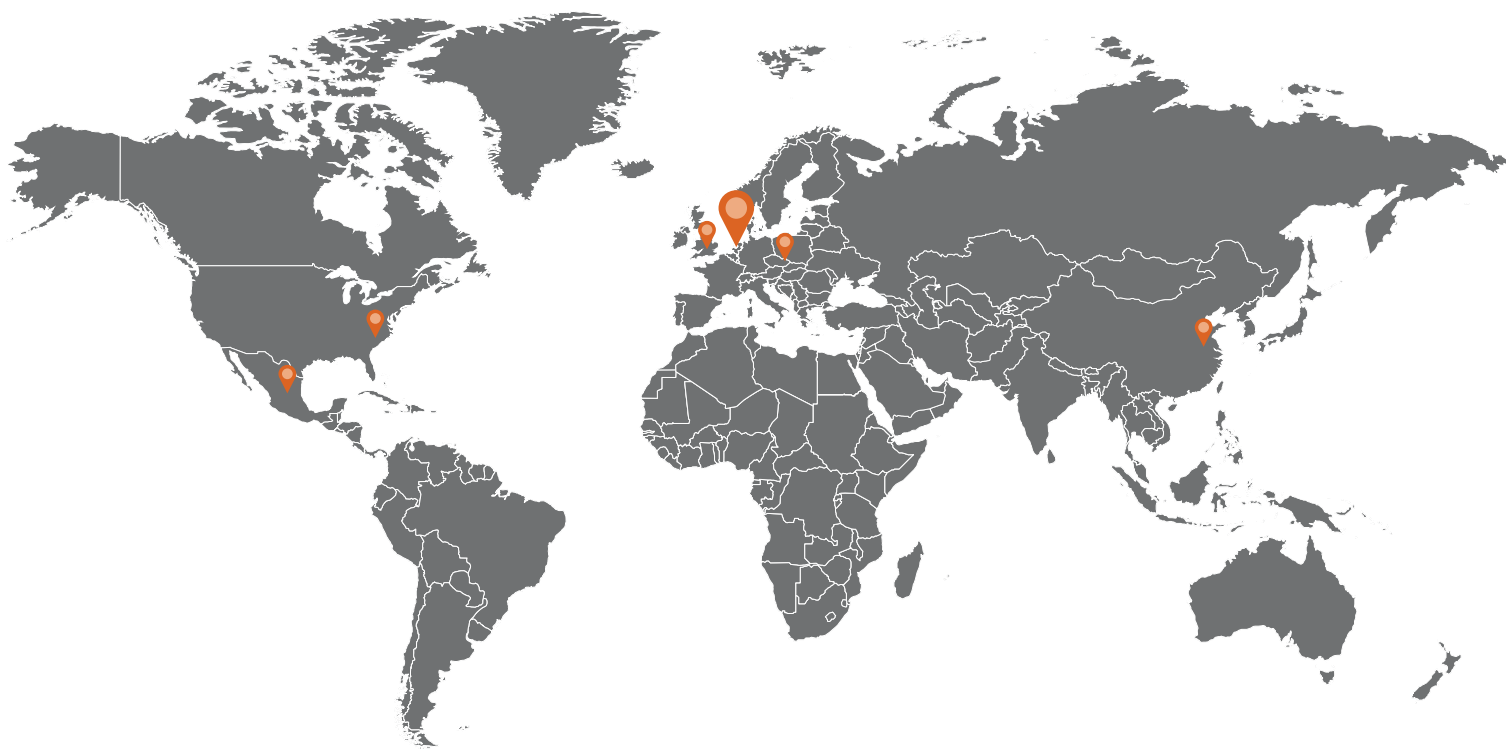
## 1.4 Literatur

1. Aquasol (undatiert) The Impact of COVID-19 on Welding. Am 07.04.2022 gefunden auf -> <https://www.aquasolwelding.com/impact-of-covid-19-on-welding>
2. Automate (undatiert). Unimate – The First Industrial Robot. Am 11.04.2022 gefunden auf -> <https://www.automate.org/a3-content/joseph-engelberger-unimate>
3. AWL (undatiert). Qube, brochure 2020. Am 20.01.2022 gefunden auf -> <https://www.awl.nl/Qube>
4. American Welding Society (2022). Shining a light on the welding workforce. Am 18.04.2022 gefunden auf -> <https://weldingworkforcedata.com/>
5. Burgering, C. (2021). Steun voor metaalprijzen in 2021. Am 7.4.2022 gefunden auf -> <https://www.abnamro.com/research/nl/onze-research/steun-voor-metaalprijzen-in-2021>
6. BusinessWire (14. Oktober 2015). Research and Markets: Global Welding Consumables Market 2015-2019. The Analysts Forecast the Market is Set to Grow at a CAGR of 5.5% in Terms of Revenue Over the Period 2014-2019.
7. DataUSA (undatiert). Welding, Soldering, & Brazing Workers. Am 11.04.2022 gefunden auf -> <https://datausa.io/profile/soc/welding-soldering-brazing-workers>
8. Fortune Business Insights (August 2021). Welding Market Size, Share & COVID-19 Impact Analysis, by Product Type, by Application and Regional Forecast, 2021-2028.
9. Gandhi, A., Magar, C., Roberts, R. (Februar 2014). How Technology Can Drive the Next Wave of Mass Customization.



10. Geertsma, P. (10. Desember, 2021). Groot tekort aan lassers in 2021. Am 11.04.2022 gevonden auf -> <https://www.technischwerken.nl/nieuws/groot-tekort-aan-lassers-in-2021/>
11. Grand View Research (März 2020). Welding Products Market Size, Share & Trends Analysis Report by Technology, by Product, by Application, by Region, and Segment Forecasts, 2020-2027.
12. Guerra, E. (22. Oktober 2019). National welding month: time to let everyone in on the secret. Am 15.04.2022 gevonden auf -> <https://awo.aws.org/2018/03/national-welding-month-time-to-let-everyone-in-on-the-secret/>
13. Hagelüken, A. (24. August, 2021). "Wir brauchen 400 000 Zuwanderer pro Jahr". Am 11.04.2022 gevonden auf -> <https://www.sueddeutsche.de/wirtschaft/zuwanderung-arbeitsmarkt-coronakrise-afd1.5390143?reduced=true>
14. IFR (28. Oktober 2021a). World Robotics 2021. P. 8, auf -> [https://ifr.org/downloads/press2018/2021\\_10\\_28\\_WR\\_PK\\_Presentation\\_long\\_version.pdf](https://ifr.org/downloads/press2018/2021_10_28_WR_PK_Presentation_long_version.pdf)
15. IFR (28. Oktober 2021b). World Robotics 2021. P. 12, auf -> [https://ifr.org/downloads/press2018/2021\\_10\\_28\\_WR\\_PK\\_Presentation\\_long\\_version.pdf](https://ifr.org/downloads/press2018/2021_10_28_WR_PK_Presentation_long_version.pdf)
16. Kemps, D. (2020). Trends & ontwikkelingen in de metaalproducten-industrie. Am 7.4.2022 gevonden auf -> <https://www.risicosinbeeld.nl/sectoren/industrie/metaalproducten-industrie/trends-ontwikkelingen-in-de-metaalproducten-industrie/>
17. Kocht, M., Manuylov, I., Smolka, M. (2019). Robots and Firms (Economics Working Papers 2019-5). Aarhus: Department of Economics and Business Economics, Aarhus University.
18. Malowski, R., Vlasblom, J.D., Rözer, J., Smit, A. (Februar 2021a). Robotisering en de kwaliteit van werk – een kennissynthese.
19. Malowski, R., Vlasblom, J.D., Rözer, J., Smit, A. (Februar 2021b). Robotisering en de kwaliteit van werk – een kennissynthese. P. 54.
20. Meissner, A., A. Trübswetter, A.S. Conti-Kufner en J. Schmidtler (2020). Friend or Foe? Understanding Assembly Workers' Acceptance of Human-robot Collaboration. In: acm Transactions on Human-Robot Interaction, jg. 10, nr. 1, p. 1-30 (<https://doi.org/10.1145/3399433>).
21. OMRON (2018). Software Manual TMflow. Original Instruction. Software Version: 1.68 [PDF]. p. 117. Am 6.5.2022 gevonden auf -> [https://assets.omron.eu/downloads/manual/en/v1/tm\\_flow\\_software\\_manual\\_installation\\_manual\\_en.pdf](https://assets.omron.eu/downloads/manual/en/v1/tm_flow_software_manual_installation_manual_en.pdf)
22. Tasch, B. (2. Juli 2015). The US welding industry is facing a big labor shortage. Am 18.04.2022 gevonden auf-> <https://www.businessinsider.com/the-welding-industry-is-facing-a-big-labor-shortage-2015-7?international=true&r=US&IR=T>
23. Total Materia (Maj 2007). The Welding Industry and Its Future. Am 07.04.2022 gevonden auf -> <https://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=CheckArticle&site=kts&NM=201>
24. Van der Laan, P. (14 januari, 2022). Metaalbedrijven vechten om robotprogrammeurs: 'Je moet niet gek opkijken als jouw werknemer wordt weggekaapt'. Am 11.04.2022 gevonden auf -> <https://www.ad.nl/werk/metaalbedrijven-vechten-om-robotprogrammeurs-je-moet-niet-gek-opkijken-als-jouw-werknemer-wordt-weggekaapt~acbebcf5/>
25. Vercammen, B. (2019). Lasbeurs moet tekort aan lassers oplossen. Am 11.04.2022 gevonden auf -> <https://www.hln.be/antwerpen/lasbeurs-moet-tekort-aan-lassers-oplossen~a7e762de/?referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F>
26. Vrugteveen, T. (2020). Veilige cobot, gevaarlijk proces. Vakblad Lastechniek, 9-2020, p.34-35.





 **AWL Automation S. de R.L. de C.V.**

Querétaro  
Mexico

+52 144 262 822 86  
info@awl.mx

 **AWL Automation LLC**

Spartanburg, SC  
USA

+1 864 541 0521  
info@awl.us

 **AWL-Techniek B.V.**

Harderwijk  
The Netherlands

+31 341 411 811  
info@awl.nl

 **AWL-Techniek CZ s.r.o.**

Napajedla  
Czech Republic

+420 577 112 789  
info@awl.cz

 **AWL Automation Welding and Cutting Equipment (Wuxi) Co., Ltd.**

Wuxi, Jiangsu  
China

+86 510 8356 0058  
info@cn.awl.nl

## OUR PARTNERS

 **ICS Robotics and Automation Ltd**


Southampton  
United Kingdom

+23 807 72 711  
info@ics-robotics.co.uk

 **MechDes Engineering**

Harderwijk  
The Netherlands

+31 341 27 70 70  
info@mechdes.nl

 **TT-Engineering**

Zwolle  
The Netherlands

+31 38 42 57 680  
info@tt-engineering.nl

