

# Immer nur Theater mit dem Buckelschweißen?

Im Jahr 2019 wurden in Deutschland ca. 4,7 Millionen Fahrzeuge produziert. Für den Zusammenbau der sogenannten Rohkarosse werden dabei bis zu 400 Muttern und Schrauben an unterschiedliche Blechteile geschweißt. Die Standardtechnologie zum Schweißen von Verbindungselementen aller Art ist das Buckelschweißen (siehe Infokasten).

Rechnet man das nun auf einen der 220 Arbeitstage pro Jahr um, dann wird bei den Automobilherstellern und deren Zulieferern täglich ca. 8,5 Millionen Mal buckelgeschweißt. Man könnte also davon ausgehen, dass eine so häufig verwendete Fertigungstechnologie in jeder Hinsicht erforscht, standardisiert und normiert ist.

Das gilt aber tatsächlich zunächst nur für die Normteile und die Anforderungen an die Schweißverbindung. Dem Konstrukteur stehen hier umfangreiche Werksnormen der Automobilhersteller zur Verfügung. Dort wird nicht nur die Geometrie der freigegebenen Schrauben und Muttern beschrieben, sondern auch angegeben, welche Kräfte und Belastungen die Schweißverbindung aufnehmen muss und wie diese zu prüfen sind.

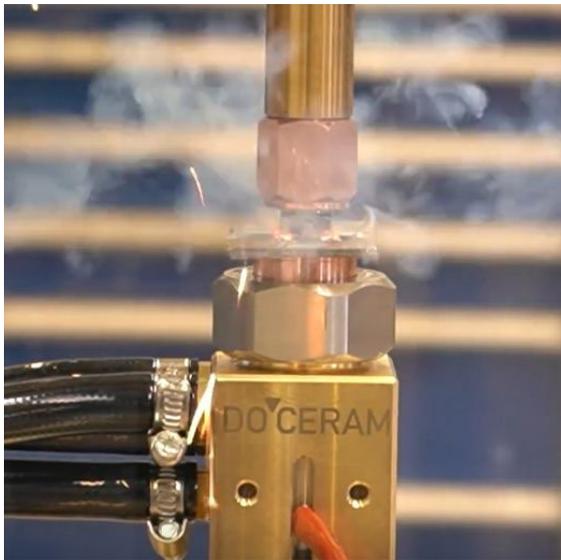


Abbildung 1: Buckelschweißen Mutter M8-DIN928



Abbildung 2: Buckelschweißmutter M8 nach DIN928

Ähnlich sieht das bei den Schweißverfahren (siehe Infokasten) aus. Diese sind in den Regelwerken und Normen (zum Beispiel des DVS) ausführlich klassifiziert und beschrieben. Man findet dort auch viele Informationen zum Umgang mit verschiedenen Blechen, Materialien und Beschichtungen. Hat man allerdings eine konkrete Anwendung und möchte

zum Beispiel wissen, was die Beste (meint hier vor Allem auch wirtschaftlichste) Technologie z.B. für eine Buckelmutter M8 nach DIN928 wäre, wird man keine allgemeingültigen Empfehlungen finden.

## Buckelschweißen

...ist ein Widerstands-Pressschweißverfahren, bei dem elektrischer Strom und Kraft den zu verbindenden Werkstücken durch meist ebene, großflächige Elektroden zugeführt werden.

Die Buckelform bewirkt die Stromkonzentration an der Fügestelle. Die Buckel werden durch die Elektrodenkraft und Widerstands-Erwärmung während des Schweißens auf Schmelztemperatur erhitzt, dabei weitgehend zurückverformt und es entstehen nicht lösbare Verbindungen.

Muss nun ein Prozessplaner für ein neues Produkt eine Buckelschweißanlage beschaffen, hat er kaum Anhaltspunkte, mit welcher Technologie und mit welchen Eigenschaften die Anlage ausgestattet sein sollte. Er kann sich dabei in der Regel nur auf die hauseigenen Erfahrungen stützen und wird die Anlagenart wählen, mit der man die besten Erfahrungen hat.

## Buckelschweißverfahren

In Abhängigkeit von der Art des Schweißstroms werden drei Verfahrensarten unterschieden:

- Einphasen-Wechselstrom 50Hz
- Mittelfrequenz 1000Hz
- Kondensator-Entladungsschweißen

Bei der Auswahl des richtigen Schweißverfahrens wird meist nur zwischen den Investitionskosten und den Anforderungen an die Prozesssicherheit abgewogen. Dabei wird oft übersehen, welchen Einfluss Konstruktion und Ausführung der Schweißvorrichtung auf den Prozess haben.

Sind aber für das neue ZB-Bauteil bisher nicht verwendete Blechmaterialien, Beschichtungen oder Muttern angefragt, kann er schon jetzt nicht mehr sicher sein, ob die geplante Anlage das Produkt dauerhaft in der geforderten Qualität fertigen kann.

Dabei werden die größeren Risiken aber noch durch die Erfahrungen der Schweißanlagenhersteller aufgefangen. Besser als in jeder Norm oder im Erfahrungsschatz des Konstrukteurs sind in den Schweißanlagen und Schweißstromsteuerungen das Wissen und die jahrzehntelange Erfahrung der Hersteller festgeschrieben. Die Standardprodukte sind ausgereift und bei kritische Anwendungen werden vor Auftragsannahme Schweißversuche durchgeführt.

Bei der Planung und Umsetzung einer Buckelschweißaufgabe wird allerdings kaum Augenmerk auf die Gestaltung der Schweißvorrichtung gelegt.

Mit Blick auf die immer unterschiedliche Geometrie der Bauteile, die Art und Anzahl der Anschweißteile und den Automatisierungsgrad gilt das Augenmerk des Konstrukteurs zunächst nur Kriterien wie geometrische Zugänglichkeit, Taktzeit und Ausbringung. Um dem Kunden garantierten Leistungen zu erreichen, werden dabei schnell Gestaltungsgrundsätze übersehen, die für einen stabilen Prozess notwendig sind (siehe Infokasten FMEA Buckelschweißvorrichtung).

### FMEA Buckelschweißen

Die Prozess-FMEA einer Buckelschweißaufgabe ist sehr umfangreich. Neben der eigentlichen Bauteilgeometrie, den Werkstoffen und Beschichtungen müssen vor allem die Einflüsse auf den Widerstandsverlauf betrachtet werden.

Eine Buckelschweißung gelingt nur, wenn der Schweißstrom sehr schnell sowohl gegen die ohmschen als auch die induktiven Widerstände ansteigt. Weil zu Maschine und Technologie oft Erfahrungen vorhanden sind, liegen die größten Risiken in der Gestaltung der Schweißvorrichtung.

Anders als zum Beispiel beim Lichtbogenschweißen unterliegen die Vorrichtungen beim Buckelschweißen einem nicht vermeidbaren und damit geplanten Verschleiß. Die Abnutzung der Elektroden durch Schweißkraft, Wärme, Schmutz, Spritzer und Abrasion muss so geplant werden, dass für eine akzeptable Periode (bei regulärer Produktion mindestens für die Dauer einer Schicht) die Schweißergebnisse stabil bleiben. Damit das gelingt, muss die Gestaltung des stromführenden Teils der Vorrichtung die Verschleißfestigkeit und damit die Standzeit der Elektrode unterstützen.



Abbildung 3: Schweißvorrichtung an Bauteil angepasst

### Was macht Buckelschweißen so schwierig?

Das ist eigentlich einfach zu beantworten: Auch wenn es nicht so aussieht, jede Buckelschweißvorrichtung ist ein

einfacher, elektrischer Stromkreis. Jedes Bauteil und besonders die Verbindungsstellen zwischen den Bauelementen haben darin einen spezifischen ohmschen Widerstand. Damit wird in jedem Bauteil elektrische Arbeit verrichtet; es wird Energie verbraucht.

Idealerweise sind Schweißvorrichtungen dann so aufgebaut, dass nahezu die ganze Energie an der Stelle des größten Widerstandes, nämlich dem Schweißbuckel verbraucht wird. Leitfähige Materialien, große Querschnitte und fest verschraubte Übergänge zwischen den Bauteilen der Schweißvorrichtung verringern die ohmschen Widerstände dieser Vorrichtungsbestandteile auf ein Minimum.



Abbildung 4: Elektrode mit Verschleißspuren

Unvermeidbar ist dagegen die Abnutzung der Elektroden an den Übergangflächen zu den zu schweißenden Bauteilen.

Vor allem die Kontaktflächen der Unterelektroden werden belastet. Neben den Rückständen aus verbranntem Öl, Beschichtungen (Zink u.ä.) und Verschmutzungen bleiben nach dem Schweißen oft Spritzer liegen und drücken sich beim nächsten Zyklus in das Kupfer. Mit jeder Schweißung verändert sich so der ohmsche Widerstand zwischen Elektrode und Bauteil.

Die Ermittlung von Schweißparametern erfolgt immer mit neuen, unverbrauchten Elektroden. Dabei werden die Parameter Schweißkraft, Schweißstrom und Schweißzeit so abgestimmt, dass der Schweißbuckel und die Gegenfläche auf dem Blech Schmelztemperatur erreichen.

Begleitend zum Parametrieren wird mittels Zugprobe die Festigkeit der Schweißnaht überprüft und Makroschliffe geben Auskunft über die Güte der Schweißverbindung.

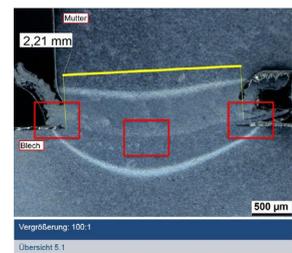


Abbildung 5 Schliffbild zur Bewertung einer Schweißung

Ist die Schweißung dann korrekt eingestellt, ergibt sich ein Prozessfenster, in dem die Schweißung sicher gelingt, aber nicht überhitzt.

### Und das eigentliche Problem ist:

Durch die im Fertigungsprozess verschleißenden Elektroden nimmt die Kontaktstelle zwischen Bauteil und Elektrode immer mehr Energie auf. Da die Menge der Energie im Sekundärkreis aber konstant ist, fehlt der Schweißstelle irgendwann so viel Energie, dass die Schweißtemperatur nicht mehr erreicht wird.



Abbildung 6: Bruchbild einer "kalten" Schweißstelle

Früher oder später versagt dann die Schweißverbindung. Oft können solche Fehler durch die Qualitätssicherung noch erkannt und abgefangen werden. Da man aber der Schweißung nicht von außen ansehen kann, ob sie noch hält, werden immer wieder fehlerhaft geschweißte Teile ausgeliefert.

Fällt die Schweißung dann erst während der Endmontage beim Kunden aus, entstehen schnell sechsstellige Folgekosten.

### Und was kann man dagegen tun?

Wie eingangs beschrieben, liegen wesentliche Prozessrisiken in der Gestaltung der Vorrichtung. Es müssen eine Vielzahl von Einflussfaktoren (siehe Infokasten) beachtet werden. Dabei hängt es regelmäßig nur von der Erfahrung des ausführenden Konstrukteurs ab, wie gut dies gelingt.

Wie das schon bei der Betrachtung für die Schweißanlagen- und -steuerungen galt, ist deshalb sicherer diese Erfahrungen in den Standardprodukten selbst festzuschreiben.

#### Einflussfaktoren

Beim Ausführen einer Buckelschweißung beeinflussen viele Faktoren die Schweißqualität. Für alle nachstehend aufgeführten sollte der Konstrukteur eine Antwort haben:

Lage und Ausrichtung der Schweißmutter – Größe der Kontaktflächen – Zentrierung zum Blechloch - Abdichtung gegen Schweißspritzer – Kühlung der Elektrode – spezifischer Widerstand der Elektrode – Reinigungs-luft – Elektrodenmaterial – sicheres Verschrauben im Halter – schneller Elektrodenwechsel – Entformung des Zentrierstiftes nach dem Schweißen – Führung von Schweißbolzen – Toleranzausgleich – Verschleißgrenze und zulässige Elektrodennacharbeit – usw.

**DOCERAM** ADVANCED CERAMIC SOLUTIONS Die DOCERAM GmbH aus Dortmund hat sich unter anderem auf die Herstellung von Bauteilen aus Ingenieurkeramik spezialisiert.

Schon früh wurde erkannt, dass die Entwicklung speziell auf die Anforderungen der Widerstandsschweißtechnik abgestimmter Keramik-Bauteile nur ein Baustein für eine prozesssichere Schweißvorrichtung ist. Deshalb hat man schon vor 20 Jahren begonnen, einen Baukasten aus Standardelementen zum Widerstandsschweißen zu entwickeln.

Ein Meilenstein dieser Entwicklung wurde 2020 mit der Bereitstellung des gesamten Sortiments zum in einem vom Marktführer CADENAS gehosteten CAD-Portal markiert.

Auf dieser Seite (<https://doceram.partcommunity.com>) sind alle für Maschinenbau und Blechverarbeitung benötigten Bauteile aus Ingenieurkeramik aufgelistet und die technischen Informationen sowie die CAD-Modelle stehen in allen Formaten zum Download bereit.

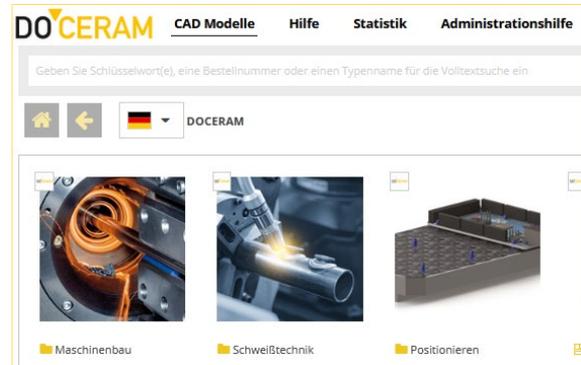


Abbildung 7: Startseite CAD-Portal

Darüber hinaus kann man sich aber mittels einfach zu bedienender Konfiguratoren einbaufertige Komplettelektroden erstellen. Scheinbar erhält man damit nur die Geometrie zum Einbau der Elektrode in eine Gesamtvorrichtung. Tatsächlich ist dies aber eine komplette Lösung, welche die Erfahrung hunderter Einsatzfälle mitbringt.



Abbildung 8: Komplettelektrode für Mutter M10

Mit dieser Kombination aus CAD-Service für den Maschinen- und Vorrichtungsbau und erprobter Lösung für die Fertigung beim Endanwender hat sich DOCERAM ein Alleinstellungsmerkmal erarbeitet.



Ganz besonders deutlich wird das beim einem Premiumprodukt in der Widerstandsschweißtechnik. Mit der neu entwickelten Modul-Master-Pro® stellt DOCERAM ein Produkt vor, welches in dritter Generation alle Anforderungen an eine Buckelschweißvorrichtung beachtet. Darin sind die Erfahrungen von mehr als 500 bereits im Einsatz befindlichen Systemen verarbeitet.

Im Folgenden soll dargestellt werden, welche Erfahrungen damit gemeint sind und wie es Anwendern gelungen ist, mittels der ModulMaster® komplexe Aufgabenstellungen zu lösen.

## Die Menge macht's!

Die Elektromobilität stellt die Automobilhersteller und deren Zulieferer vor neue Herausforderungen im Karosserie-Rohbau. So hatte die Gestamp Griwe Haynrode GmbH die Aufgabe, zwei Bleche großflächig und exakt im Abstand von einem Millimeter zu verkleben.

Üblicherweise würde man nun in einem der Bleche entsprechende Flächen im Stanzwerkzeug ausprägen. Da das Bauteil aber aus pressgehärtetem 22MnB5+AS150 besteht, lässt sich das nicht ohne weiteres auf diese konventionelle Weise umsetzen.

Das Engineering im Werk Haynrode ist auf die Herstellung von warmumgeformten, pressgehärteten Bauteilen spezialisiert und man hat schnell erkannt, dass hier eine alternative Lösung entwickelt werden muss.



Abbildung 9: Buckelschweißvorrichtung mit ModulMaster

Man hat zur Lösung dieser Aufgabe deshalb spezielle Distanzscheiben entwickelt, bei welchen sich der Buckel komplett abschweißen lässt und damit ein gleichbleibender Abstand zwischen beiden Blechen garantiert werden kann. Die Schwierigkeit besteht allerdings darin, solch präzise Strukturen auf warmumgeformte und mit AISi-beschichtete Bauteile zu schweißen.



Die ARO Welding Technologies GmbH aus Gersthofen bei Augsburg hat dafür eine spezielle Schweißvorrichtung entwickelt und dies mit einer Kondensator-Entladungsschweißanlage kombiniert.

Durch den Aufbau von insgesamt 12 ModulMaster-Stiftzieheinheiten auf einer CNC-verfahrbaren Schweißvorrichtung ist jederzeit die genaue Lage und Positionierung der Distanzscheiben garantiert.

Automatische Zuführer gewährleisten das lagerichtige Einlegen und die Keramikstifte in den ModulMaster sorgen für die zentrische und isoliert Zentrierung.



Abbildung 10: KE-Schweißanlage mit Zuführung

Für eine einfache Entnahme der Bauteile hat ARO die Vorrichtung dann noch um eine Nest-Frei-Funktion ergänzt. Alle Keramikstifte werden gezogen und das fertige Produkt wird ausgeworfen. Was zunächst als eine aufwendige Lösung erscheint, ist nur die konsequente Beachtung der schon erläuterten Einflussfaktoren und damit ein gelungenes Beispiel für eine fertigungsgerechte Konstruktion.

## Da schaut dann keiner mehr hin!

Bedingt durch ihre Größe und Konstruktion lassen sich Karosseriebaugruppen oft nur automatisiert fertigen. Nicht nur muss man die Bediener von Schweißanlagen vom Handling schwerer Bauteile entlasten, sondern man muss auch Reklamationen durch falsches Einlegen verhindern.

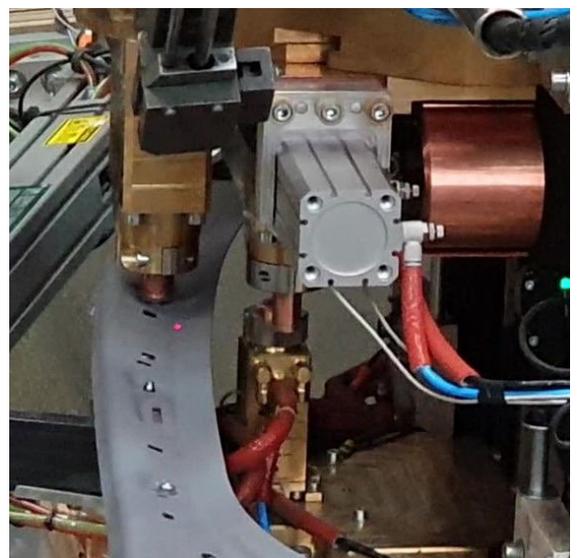


Abbildung 11: Automatisiertes Buckelschweißen

Das gilt ganz besonders für Bauteile, die mit mehreren Muttern oder Schrauben bestückt werden müssen. Oftmals haben diese dann ähnliche Außenkonturen und einem Bediener könnte gar nicht zugemutet werden, die korrekte Bestückung zu 100% zu überwachen.



Auf die Lösung solcher Automatisierungsaufgaben hat sich die Kienberger Automation GmbH spezialisiert.

Kurze Produktzyklen, kleine Stückzahlen und viele Varianten verlangen nach flexiblen Fertigungszellen. Das fängt beim Einlegen und Erkennen der Karosserie-Bauteile an und setzt sich bei der Zuführung und Platzierung der Anschweißteile fort.

Kienberger hat dafür entsprechende Lösungen entwickelt. Bauteile werden direkt aus dem Behälter (Bin-Picking) oder von einem Gurtband genommen. Die Bauteile können auf dem Band frei positioniert werden. Kameras erkennen die konkrete Lage und melden die Position an den Handlingsroboter. Dieser nimmt die Bauteile auf und führt sie zur Buckelschweißanlage.

Flexible Zuführsysteme mit Scara- oder Sechssachsrobotern wählen die richtige Mutter oder Schraube aus und legen diese in Schweißposition.

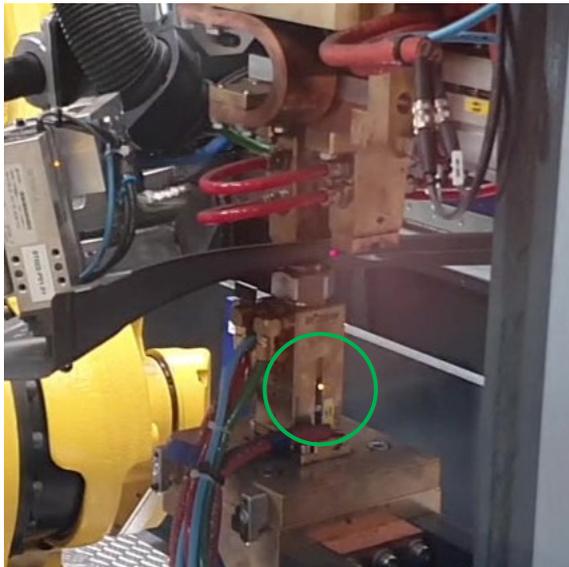


Abbildung 12: Bauteil in Schweißposition eingelegt → Mutterkontrolle i.O.

Vor und während des Schweißprozesses wird nun genau die Position und Lage der Muttern oder Bolzen überwacht. Dazu setzt Kienberger die DOCERAM ModulMaster Stiftzieheinheiten ein. Mittels Wegmesssensor wird vor Freigabe der Schweißung kontrolliert, ob die richtige Mutter in der richtigen Lage auf die richtige Stelle geschweißt wird und dabei zentrisch zum Loch im Blechteil platziert ist.

Die Schweißung wird ausgelöst und die, in den Schweißanlagen integrierte Qualitätssicherung überwacht den Prozess.

Wenn schließlich die Roboter die fertigen Bauteile in den entsprechenden Behälter ablegen, ist sichergestellt, dass alle Muttern oder Bolzen in der benötigten Qualität angeschweißt sind. Und das Ganze obwohl oder vielleicht, gerade weil da niemand mehr hinschaut.

## Das Bessere ist der Feind des Guten!

Die Standardisierung von Produkten hat eine Vielzahl von Vorteilen. So werden eben nicht nur Erfahrungen festgeschrieben, sondern damit ist auch die Basis für die Weiterentwicklung der Produkte gelegt.



Die Gatzsch Schweißtechnik GmbH aus Attendorn hat schon früh diesen Zusammen-

hang erkannt und auf eine konsequente Standardisierung gesetzt. So ist die Firma Gatzsch der erste Anlagenhersteller, der seine Produkte den Kunden zum freien Download in einem CAD-Portal zur Verfügung stellt.

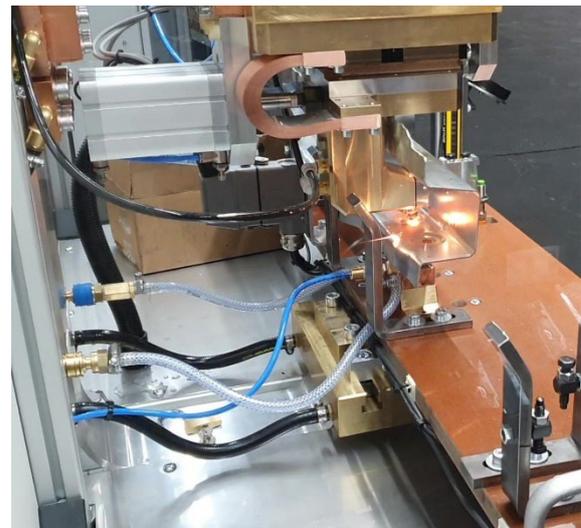


Abbildung 13: Schweißanlage in Aktion

Die Basis für einen Standard entsteht, wenn man die Erfahrungen aus einer Vielzahl von Projekten sammelt und basierend darauf die eigenen Produkte verbessert.



Aus diesem Grund war man bei Gatzsch auch in der Lage einer Anfrage aus dem Automotive Center Südwestfalen (acs) zu folgen. In einem

Verbundprojekt unter dem Titel „Prozesssicheres Kurzzeit-Widerstandsschweißen von Fügeelementen auf pressgehärtete Stähle mit Mittelfrequenztechnik“ (ProWiS) soll untersucht werden, ob man zu den aktuellen genutzten Verfahren eine Alternative findet.

Beim Buckelschweißen pressgehärteter Stähle kommt es vor allem auf kurze Schweißzeiten und eine hohe Stromdichte an. Diese Anforderungen erfüllt im Moment nur das Kondensator-Entladungsschweißen (KES). Das ACS

untersucht nun, ob sich durch eine spezielle Ansteuerung von Mittelfrequenzinvertern ähnliche Parameter erreichen lassen. Ziel ist es nicht nur Investitionskosten zu sparen, sondern vor allem die sensiblen Prozesse beim Schweißen von Baugruppen aus pressgehärteten Stählen zu stabilisieren.

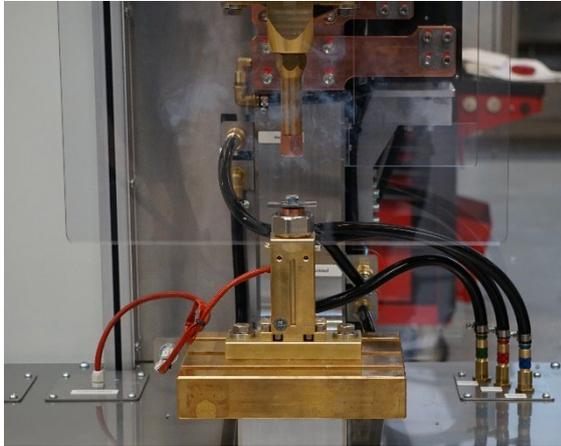


Abbildung 14: Gatzsch-Schweißanlage am ACS

In Voruntersuchungen wurde dann ermittelt, dass die Gatzsch Anlagen über sehr gute, elektrische Eigenschaften verfügen. Die speziellen Aluminium-C-Gestelle dienen bei diesen Anlagentyp nicht nur der Aufnahme der Presskräfte, sondern sorgen mit ihrem großen Querschnitt für eine ausgezeichnete Stromübertragung und eine geringe Impedanz.

Diese Eigenschaft verspricht, zum Erreichen des Entwicklungsziels einen essenziellen Beitrag zu leisten. Es wird außerdem vermutet, dass Veränderungen bei Ausladung und Polplattenabstand der Schweißanlage bauartbedingt nur einen geringen Einfluss auf die elektrischen Eigenschaften haben. Damit ließe sich dann die neue Kurzzeit-Schweißtechnologie flexibel in unterschiedliche Anlagenkonzepte übertragen.

Konsequenterweise setzt man für die Versuche nicht nur auf die ModulMaster-Stiftzieheinheiten, sondern verwendet eine komplette Vorrichtung zusammengesetzt aus DOCERAM-Standard-Komponenten.

Das Projekt soll bis zum Jahresende 2022 abgeschlossen sein und man darf gespannt sein, ob sich hier neue Möglichkeiten für das Schweißen pressgehärteter Stähle ergeben. Erste Zwischenergebnisse zeigen jedenfalls, dass die Anpassung der Inverter-Regelung sehr kurze Schweißzeiten zulässt und sich die gewünschten Effekte für die Schweißqualität nachweisen lassen.

## Was kommt als nächstes?

Im Rahmen des acs-Projektes hat DOCERAM unter dem Namen ModulMaster-Pro auch die nächste Generation der Stiftzieheinheit vorgestellt. Diese Weiterentwicklung hatte vor allen zum Ziel den Anwendungsbereich für diese Einheiten zu erweitern.

Durch ein neues Design und eine Vergrößerung der elektrischen Querschnitte können die ModulMaster jetzt auch für KE-Anwendungen über 100kA Schweißstrom und für MF-Schweißungen mit Strömen über 65kA und langer Einschaltdauer eingesetzt werden. Hier ein Überblick über die neuen und die verbesserten Eigenschaften:

- Das Grundgehäuse wurde im Querschnitt auf 50x50mm vergrößert und damit die Stromleitfähigkeit erhöht.
- Die internen Kühlkanäle wurden erweitert und damit die aktive und passive Wärmeableitung verbessert.
- Die Kontaktfläche der Wechselelektrode wurde für eine bessere Stromübertragung und Wärmeableitung vergrößert. Gleichzeitig wurde die Geometrie vereinfacht.
- Zur Aufnahme höherer Schweißströme und Kräfte wurde die Überwurfmutter auf Schlüsselweite 46 vergrößert.
- Am Korpus wurden Bohrbilder M6 eingebracht, um dem Anwendern das direkte Befestigen weiterer Vorrichtungs-elemente zu ermöglichen.



Abbildung 15: ModulMaster-Pro

Die neuen Systeme können ab dem 2. Quartal 2022 bestellt werden.

DOCERAM GmbH, 03/2022<sup>©</sup>

Quellenangaben:

*Wir bedanken uns bei der:*

- *ARO-Welding Technologies GmbH, Gersthofen*
- *acs-Automotive Center Südwestfalen GmbH, Attendorn*
- *Gatzsch Schweißtechnik GmbH, Attendorn*
- *Gestamp Griwe Haynrode GmbH, Haynrode*
- *Kienberger Automation GmbH, Thierhaupten*

*für die bereitgestellten Informationen und Fotografien.*