

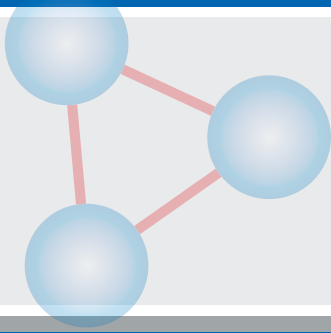
Whitepaper: Prozesssteuerung *Virtuelle Maschine* (VM)

# Whitepaper

## Prozesssteuerung *Virtuelle Maschine* (VM)

für die Steuerung von **komplexen** Prozessen im Bereich

- Manuelles und automatisiertes Punktschweißen
- Manuelles und automatisiertes Lichtbogenschweißen
- Automatisierte thermische Beschichtung  
(Lichtbogendrahtspritzen, Plasmabeschichten u.a.)



# Zusammenfassung

Das vorliegende Whitepaper erläutert die Vorteile der allgemeinen Prozesssteuerung *Virtuelle Maschine* (VM), die in Maschinen und Anlagen der ELMA-Tech GmbH zum Einsatz kommt.

In drei wesentlichen Anwendungsbereichen werden mit dieser Steuerungstechnologie absolut hochwertige Ergebnisse erzielt, die unseres Wissens mit Wettbewerbstechnologien nicht erreicht werden können:

- **Anwendungsbereich Punktschweißen**

Vollautomatisches Punktschweißen ohne jegliche vorherige Parametereinstellungen durch den Anwender

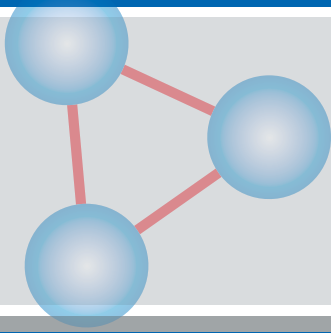
- **Anwendungsbereich Lichtbogenschweißen**

Das Schweißverfahren **DC-Puls** bietet grundsätzlich die Möglichkeit von sehr hohen Prozessgeschwindigkeiten mit allen Vorteilen der DC-Puls-Technologie.

Beste Schweißergebnisse und Prozesseigenschaften beim Schweißverfahren **AC-Puls** (AC/DC Wechselstromschweißen) im Bereich von thermosensitiven Werkstoffen durch niedrigste Energieeinträge. (ELMA-Tech Prozessbezeichnung: **COLD ELMARC**).

- **Anwendungsbereich Lichtbogendrahtspritzen**

Anstelle der Verwendung von festen, unveränderlichen Kennlinien setzen ELMA-Tech Stromquellen auf völlig frei veränderbare Strom-/Spannungskurven. Hiermit ist die flexible Einstellung von Spritzparametern für optimierte Haftung und extrem feine Spritzgefüge möglich, die zu Beschichtungen von hoher Qualität und insgesamt hohen Beschichtungsstärken führen.



# Sachlage

## **Stochastische Ereignisse - eine Anforderung an die Steuerung komplexer Prozesse**

Komplexe Schweißprozesse oder auch Prozesse des thermischen Spritzens jeglicher Art, ob hand- oder robotergeführt, müssen sehr exakt und flexibel gesteuert werden.

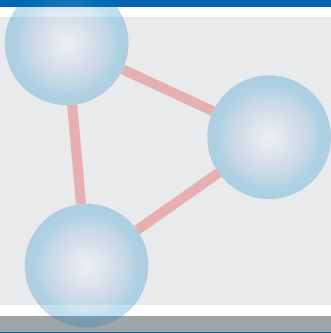
Physikalische Parameter wie z.B. die Materialart der zu schweißenden oder zu beschichtenden Stoffe, Materialstärken, Strom, Spannung, Drahtvorschub, Elektrodenkräfte, Beschichtungsstärken, Zusatzstoffe, Prozessgasfluss und Zeit müssen hierbei in ganz unterschiedlichen Anwendungsfällen und auch unterschiedlichen Technologien jeweils optimal aufeinander abgestimmt werden.

Hierbei reichen die Anforderungen etwa im Lichtbogendrahtspritzen bis hin zur extrem individuellen und feinnuancierten Prozessführung. Gleichzeitig muss bei industriellen Anwendungen generell die ständige Reproduzierbarkeit exakt dieser komplexen Prozesse (Prozesssicherheit) gegeben sein.

## **Das Problem der Steuerung solcher Prozessarten**

Die in diesen Prozessen auftretenden physikalischen Größen wie Strom und Spannung eines elektronischen Generators zu steuern ist schwierig, da diese auf Grund der Komplexität bzw. Freiheitsgrade des Prozesses nicht exakt deterministisch bestimmbar sind - sie sind in einem bestimmten Rahmen deshalb stochastische (zufallsbeeinflusste) Ereignisse.

Eine Prozessführung mit feststehenden Kennlinien liefert im besten Fall immer nur Durchschnittswerte und kann nicht auf stochastische Änderungen in einzelnen Prozessphasen reagieren. Man könnte sagen, dass fixierte Kennlinien keine „feinfühlig“ und individuell anpassbare Führung von Prozessen erlauben.



# Lösung

Eine detaillierte Erklärung der Virtuellen Maschine kann an dieser Stelle nicht erfolgen. Grob vereinfachend kann man sagen:

Die einzelnen Prozesszustände beim Schweißen oder beim thermischen Spritzen werden in diskrete Zeiteinheiten oder Segmente unterteilt. Ein Grundgedanke ist dabei das Segmentieren eines Prozesses mit Anfang und Ende in einzelne Bereiche (Anfahren, stationärer Bereich, Beenden), ein anderer, innerhalb eines Segments auf Prozessbesonderheiten mit Austausch der Generatorcharakteristik reagieren zu können.

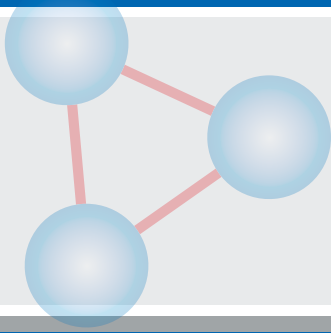
Über ein Rechnersystem sollen diejenigen Parameter, die das statische und dynamische Generatorverhalten definieren, beliebig oft und schnell ausgetauscht werden, damit für identifizierbare Prozessphasen ein jeweils optimal geeigneter Generator bereitgestellt werden kann.

Dieser Unterteilungsprozess in kleinste Zeiteinheiten wird entsprechend den Erfordernissen der jeweiligen Schweißaufgabe bis zum Abschluss des Schweißvorgangs wiederholt.

Die in der Virtuellen Maschine umgesetzte Statik- und Dynamiksteuerung wertet diese sich schnell ändernden Prozesszustände aus. Hierbei handelt es sich um Abläufe, die sich im Tausendstel Sekundenbereich abspielen. Die Virtuelle Maschine reagiert auf jeden unterschiedlichen Zustand im Bereich ihrer Zyklusfrequenz von 20 kHz, also innerhalb von 50 Mikrosekunden.

Die Grenze der Reaktionszeit von 50µs ergibt sich bereits aus den technischen Möglichkeiten, geändertes Wirken des Generators über Anschlussleitungen auf den Prozess durchzusetzen. Jede Leitung zwischen Generator und Senke (Prozess) hat induktive Anteile, die eine höhere Rotationsgeschwindigkeit des Slave-Prozessors nicht erforderlich machen, da eine Durchsetzung oberhalb 10 kHz ohnehin nicht gelingen kann.

Mit einer solchen Struktur kann nicht nur der Generatorcharakter neu definiert werden, vielmehr lassen sich auch alle weiteren und peripheren Steuerungen z. B. von Servoventilen bei Schweißzangen oder Drahtvorschüben bei Lichtbogen-Prozessen durchführen.



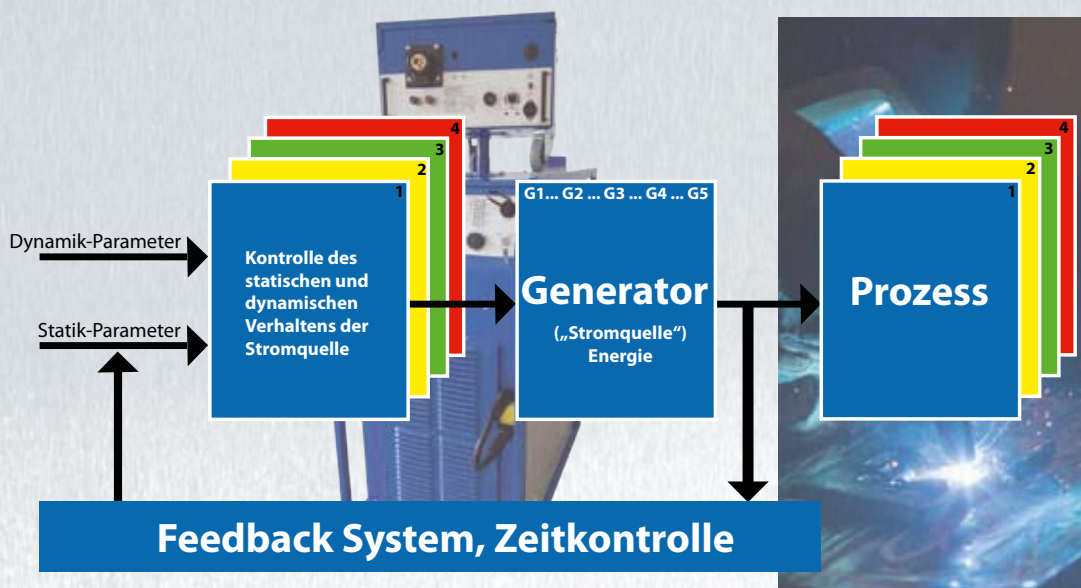
## Whitepaper: Prozesssteuerung *Virtuelle Maschine* (VM)

### Vorteile von mit *Virtueller Maschine* (VM) gesteuerten Generatoren

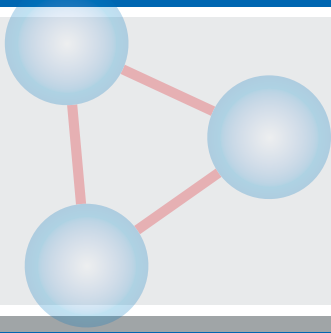
Im Gegensatz zu konventionellen Generatoren mit bauartbestimmter statischer und dynamischer Charakteristik lassen sich elektronische Generatoren abhängig von der momentanen Prozessphase oder des momentanen Prozesszustands beliebig - und entsprechend dem dadurch auch wachsenden Prozessverständnis - optimal in ihrem momentanen Charakter ausbilden.

Hierfür benötigte Parameter sind Bestandteil einer Datenbank, in der diese als wachsendes Expertenwissen eingespeist werden. Durch das Wirken des Administrator-Rechners der VM werden diese Parameter dem Programmvektor (des Slave-Rechners der VM) zur Ausführung verfügbar gemacht.

### Schematische Darstellung des Prinzips der Prozesssteuerung *Virtuelle Maschine*

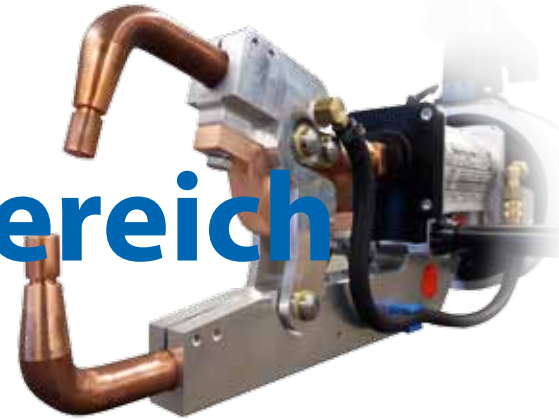


Für jeden unterschiedlichen Status des Prozesses wird ein spezieller Generator eingestellt, realisiert über ein je spezifisches statisches und dynamisches Verhalten dieses Generators. Die hierzu notwendigen Parameter bezieht die Steuerung aus einer Datenbank, in der diese Parameter als wachsendes Expertenwissen (Schweißprogramme) abgespeichert worden sind.



# Anwendungsbereich

## Punktschweißen



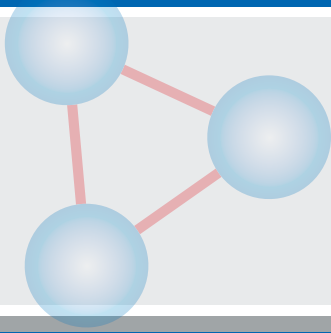
Im Jahr 2008 stellt ELMA-Tech, nach mehrjähriger Entwicklungszusammenarbeit mit Opel, die erste Punktschweißanlage mit einer **vollautomatischen Steuerung des Punktschweißprozesses** vor. Die Baureihen dieser Maschinen bzw. Punktschweißzangen erhalten ab diesem Zeitpunkt den Namenszusatz „VISION“.

Zwei maßgebliche Entwicklungen führen zu diesem auf dem Weltmarkt bis heute einzigartigen Steuerungstypus:

- Die Entwicklung der Prozesssteuerung *Virtuelle Maschine* (VM)
- Die Entwicklung eines Meßsystems, das es erlaubt, physikalische Parameter direkt an den Elektrodenkappenspitzen von Punktschweißzangen virtuell zu messen

Das von der Virtuellen Maschine abgearbeitete Prozessmodell verfolgt vier zu unterscheidende Aufgaben zur **Durchführung einer qualitativ hochwertigen Punktschweißung**:

- Test des Anfangszustandes durch gezielten Energieeintrag. Unterscheidung zwischen Totalisolation, Teilisolation und idealen Anfangsbedingungen. Erkennen von Blechdicken und Stahlsorten.
- Herbeiführen einer Erstlinsenbildung durch Einbringen eines gezielten Energieeintrages. Im häufigsten anzutreffenden Falle einer Teilisolation wird durch das Einbringen eines gezielten Energiebetrages eine Annäherung der zu verschweißenden Bleche im Fügebereich herbeigeführt.
- Durchführung des eigentlichen Schweißprozesses (Strom-Zeit-Programm). Hierbei wird kontinuierlich der eingebrachte Energiebetrag aufsummiert, um bei Erreichen einer Sollenergie den Schweißprozess zu beenden.
- Ermittlung konstruktionsbedingter oder sich aus dem Fügeverlauf selbst ergebender Nebenschlüsse und Nachsetzen der darin umgesetzten und dem eigentlichen Punkt verloren gegangenen Energie.



## Whitepaper: Prozesssteuerung *Virtuelle Maschine* (VM)

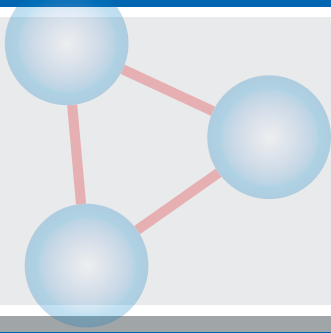
Das Programm der Virtuellen Maschine erkennt also den Zustand der zu fügenden Teile, insbesondere, ob Teilkontaktierungen durch Strukturkleber, Lackreste, Oxidation oder Verschmutzungen vorliegen und stellt sich über die Programmlogik so ein, dass eine Schweißung mit hohem Qualitätsstandard erfolgt.

### Vorteile

- Keine Parameterfindung mehr notwendig:
  - Automatische Regelung des Energieeintrages
  - Automatische Blechstärkenerkennung
  - Automatische Materialerkennung
  - Automatische Nebenschlusserkennung
  - Automatische Energienachführung
- Keine Schweißprobenerstellung im Vorfeld mehr notwendig
- Hochfeste Stähle erkennen und schweißen
- Unterschiedliche Materialien ohne Parametereinstellung in einem Schweißvorgang durchschweißen
- Problemlos bis zu 10 mm Gesamtblechstärke schweißen
- Alu-Schweißen von Dünnsblechen bis zu 3 mm (Karosserieinstandsetzung)
- Effektiver Energieeinsatz (soviel Energie wie nötig für ein optimales Ergebnis)
- Schweißparametersicherung und Qualitätssicherung beim Punktschweißen  
Mit der SpotQS Viewer – Software werden Schweißparameter fahrzeugspezifischer Punktschweißverbindungen aufgezeichnet und ausgewertet. Die Parameter sowie das Schweißergebnis können nach Beendigung einer Schweißaufgabe auf einen USB-Stick geschrieben werden.

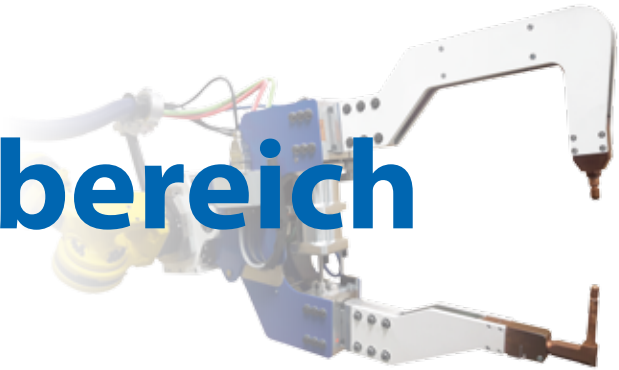
**Plug & Weld**

Detaillierte Informationen zur Arbeitsweise des Automatikmodus VISION finden Sie auf unserer Website unter:  
<https://www.elmatech-gmbh.de/index.php/de/leistungsspektrum/steuerungstechnologie/automatikmodus-vision>



# Anwendungsbereich

## Punktschweißen in der Automation



ELMA-Tech setzt ein Konzept um, bei dem der Roboter die Zange an die Stelle des zu schweißenden Punktes positioniert und dann die Verantwortung allein an Zange und Schweißsteuerung (*Virtuelle Maschine*) abgibt. Diese führt die folgenden Schritte aus:

- Schließen der Zangenarme mit automatischer Balancierung (Floatbetrieb)
- Kraftaufbau und Erfassen der Gesamtblechdicke
- Kalkulation der einzubringenden Punktenergie
- Starten des Schweißvorgangs mit phasenabhängiger Generator-Charakteristik
- Energiegeführter Schweißprozess und Beenden des Prozesses mit der kalkulierten Punktenergie
- Ermitteln der Stahlqualität (normal / hochfest)
- Nachwärmen entsprechend der ermittelten Stahlqualität
- Qualifizierung des Prozessverlaufs
- Öffnen der Zange (7. Achse-Funktion)
- Deaktivieren der Zangenbalance
- Ausgabe des Fortschaltkontakts FK an den Roboter

**Einfachste Roboteranbindung  
durch Handshake zwischen  
Roboter und VM-Steuerung!**

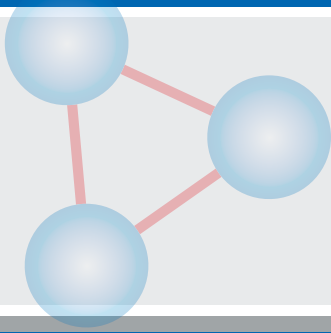
Bislang wurden vom Roboter Haupt- und Ausgleichszylinder und über die Schweißsteuerung der Strom gesteuert. Dazu mussten diese Systeme mit ihren jeweiligen eigenen Steuerkomponenten untereinander über den Roboter vernetzt werden.

Eine solche Quer-Vernetzung entfällt bei der ELMATECH Steuerung durch die dort eingesetzte Virtuelle Maschine (VM) mit Vollautomatik für den Schweißprozess und den Zangenausgleich.

Die ELMATECH-Steuerung mit VM übernimmt ganzheitlich die Funktionssteuerung sämtlicher Zangenkomponenten: dies beinhaltet die Messtechnik zur Erfassung der Gesamt-Blechdicke, die elektrische Prozessführung, die Weg- und Kraftsteuerung des Hauptzylinders und die Balance-Steuerung des Ausgleichszylinders.

Hierzu wurden Haupt- und Ausgleichszylinder mit Messsystemen ausgerüstet, so dass beide Zylinder zusammen mit der Steuerung pneumatische Servosysteme bilden. Für den Hauptzylinder bedeutet dies die punktgenaue Positionierung vor und nach der Schweißung in kürzest möglicher Zeit. Einen Vorhub durch besonderen mechanischen Aufbau des Hauptzylinders gibt es nicht mehr. Der Zylinder ist dadurch denkbar einfach und betriebssicher geworden.





# Anwendungsbereich

## Lichtbogenschweißen

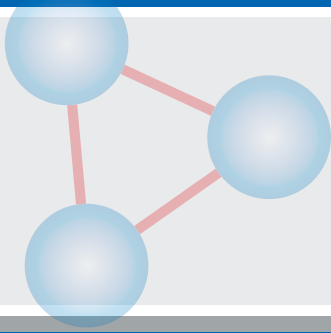


Der Kern der Technologie ist die mittels der *Virtuellen Maschine* (VM) **frei steuerbare Stromquelle**. Diese besitzt im wesentlichen folgende Merkmale:

- Die Charakteristik der Stromquelle (Strom- oder Spannungsquelle) kann je nach Prozesszustand frei gewählt und mit einer Frequenz von 20 kHz verändert werden. Ermöglicht wird dies durch einen fortschrittlichen Aufbau der Stromquelle, die keine konventionellen Widerstände besitzt, sondern diese lediglich so simuliert, wie sie der Form der Strom- und Spannungscharakteristik entsprechen.
- Die *Virtuelle Maschine* ist die Steuerung der Stromquelle. Die VM bewertet aus den zur Verfügung stehenden Prozessparametern alle 50µs den Zustand des Schweißprozesses neu und stellt die Stromquellencharakteristik auf für diesen Prozesszustand optimale Parameter ein.

### Allgemeine Vorteile

- Während konventionelle Stromquellen i.d.R. feste Werte für ihre inneren elektrischen Widerstände und Induktivitäten haben, kann die Stromquelle von ELMA-Tech beliebige Werte annehmen. Damit kann der Prozess zu jedem Zeitpunkt optimal geführt werden, wogegen es mit der konventionellen Technologie nur einen wirklichen optimalen Arbeitspunkt gibt.
- Die Regelgeschwindigkeit ist mit 20 kHz außerordentlich hoch. Somit können auch schnell ablaufende Prozesse (**Plasma, WIG, MIG-MAG, UP**) gezielt gesteuert werden.
- Die Programmierung der Virtuellen Maschine erfolgt hoch standardisiert und modularisiert. Die einzelnen definierten Prozesszustände werden in Form von Datenbanken hinterlegt und die jeweils einzustellenden Werte für die Stromquelle linear interpoliert.
- Aufgrund der fehlenden, inneren elektrischen Widerstände ist der **Wirkungsgrad bei 95 %**, während konventionelle Stromquellen deutlich darunter liegen. Dies bedeutet somit auch einen deutlich geringeren Stromverbrauch.



## DC-Pulsschweißen

MIG-/MAG-Schweißverfahren haben sich zunächst für das Schweißen unlegierter und niedrig legierter Baustähle bestens bewährt. Dank der Impuls-Lichtbogentechnik konnten in der Folge auch beste Prozesseigenschaften für das Fügen von Aluminiumlegierungen und hochwertigen Baustähle erreicht werden.

Ein wesentliches Merkmal der ELMA-Tech Impuls-Lichtbogentechnik ist der optimal gesteuerte, regelmäßige Werkstoffübergang, der von der Prozesssteuerung *Virtuelle Maschine* in allen Phasen ideal entsprechend der Prozessparameter geregelt wird.

Generelle Ziele für diese Prozessart definieren sich in einer sicheren und maximalen Spaltüberbrückung, in höheren Schweißgeschwindigkeiten und für thermosensitive Werkstoffe in einem möglichst niedrigen Energieeintrag.

### Prozessphasen im Impulsschweißen

- Zündphase
- Grundstromphase mit verminderter Energiezufuhr:  
Stabilhaltung des Lichtbogens  
Vorwärmung der Werkstückoberfläche
- Hauptstromphase:  
Tropfenablösung durch exakt definierten Stromimpuls  
Kurzschlussvermeidung  
Vermeidung einer Tropfenexplosion  
Keine Schweißspritzer

### Vorteile

- Hohe Prozessgeschwindigkeiten  
(besonders in automatisierten Anwendungen)
- Geringstmöglicher Energieeintrag
- Positiver Einfluss auf Lichtbogendruck und Einbrandverhalten
- Verbesserte Tropfenablösung
- Gesteigerte Abschmelzleistung
- Reduzierte Schweißbadtemperatur
- Reduzierte Einbrandtiefe bei höherer Abschmelzleistung
- Hervorragende Spaltüberbrückung

#### VM-geregelte Vorgabeparameter

Statik Pulsphase  
Leerlaufspannung  
Kennlinienneigung

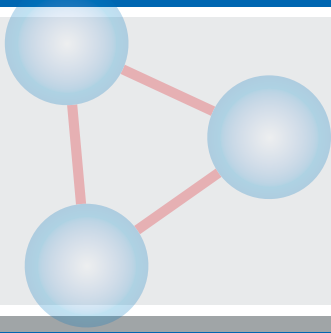
Statik Grundphase  
Leerlaufspannung  
Kennlinienneigung

Dynamik Grund / Puls / Grund  
Zeitfunktion Stromanstieg  
Zeitkonstante Stromanstieg  
Zeitfunktion Stromabfall  
Zeitkonstante Stromabfall

Zeitparameter  
Pulszeit  
Grundzeit

Statik Kurzschlussphase  
Leerlaufspannung  
Kennlinien-Neigung

Dynamik Kurzschlussphase  
Zeitfunktion Stromanstieg  
Zeitkonstante Stromanstieg  
Zeitfunktion Stromabfall  
Zeitkonstante Stromabfall



### AC-Pulsschweißen („kalter“ Schweißprozess COLD ELMARC)

Prozessbesonderheiten beim AC-Pulsschweißen liegen zum einen in der beeinflussbaren Veränderung der Energiebilanz im Verhältnis von Draht / Schmelzbad; zum anderen kann es in Abhängigkeit von der Polarität zu unterschiedlichen Lichtbogencharakteristika kommen.

Generelle Ziele für diese Prozessart definieren sich in einer sicheren und maximalen Spaltüberbrückung, in höheren Schweißgeschwindigkeiten und für thermosensitive Werkstoffe in einem möglichst niedrigen Energieeintrag (ideal z.B. für Aluminium besonders in geringen Materialstärken unter 1 mm).

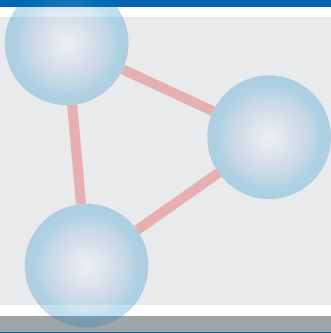
#### Vorteile

- Geringster Energieeintrag
- Positiver Einfluss auf Lichtbogendruck und Einbrandverhalten
- Verbesserte Tropfenablösung
- Gesteigerte Abschmelzleistung und Schweißgeschwindigkeit
- Reduzierte Schweißbadtemperatur
- Reduzierte Einbrandtiefe bei höherer Abschmelzleistung
- Hervorragende Spaltüberbrückung



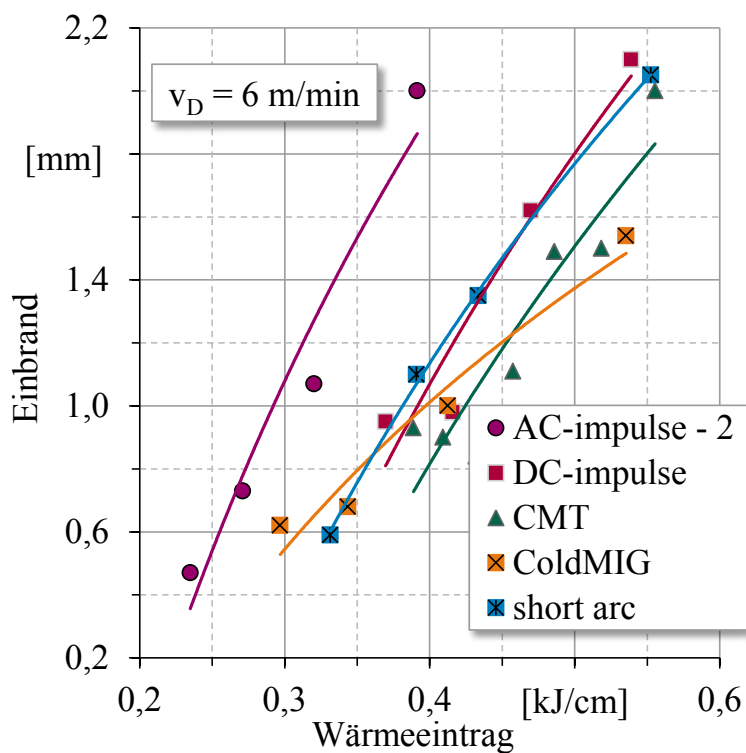
Aluminium: 1,2 mm  
Spaltüberbrückung: 4 mm





### Geringster Wärmeeintrag beim Aluminium-Lichtbogenschweißen

In einer Untersuchung\* der Technischen Universität Chemnitz werden verschiedene Wettbewerber-Prozesse mit dem ELMA-Tech Wechselstrompulsschweißen verglichen.



„Mit AC-Puls-Schweißen ist [ein] stabiler Schweißprozess mit wenig Spritzern beim Fügen von Aluminium möglich.“

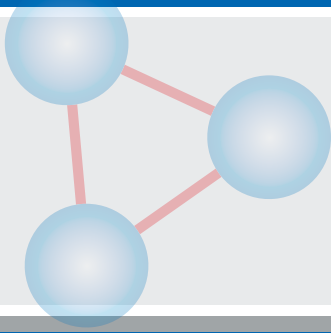
„Wärmeeintrag beim Schweißen mit AC-Puls geringer als bei CMT“

„Daher einsetzbar zum Schweißen dünner Aluminiumbleche (< 1 mm)“.

zit. aus den Ergebnissen der Studie

\*

Technische Universität Chemnitz, Fakultät für Maschinenbau, Institut für Werkzeugmaschinen und Produktionsprozess, Professur für Umformendes Formgeben und Fügen: „Vergleich von MSG-Standard- mit Wechselstrom-Puls-Schweißen für Leichtbauwerkstoffe“, Verf. Dipl.-Ing. Stefan Brumm, 19.06.2015.



Whitepaper: Prozesssteuerung *Virtuelle Maschine* (VM)

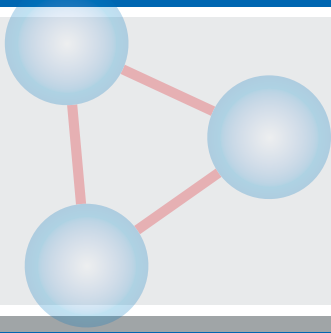
# Anwendungsbereich

## Lichtbogendrahtspritzen, Plasmabeschichten

Für verschiedenste anspruchsvolle Applikationen in den Anwendungsfeldern Lichtbogendrahtspritzen und Plasmabeschichten liefert ELMA-Tech die Prozesssteuerung *Virtuelle Maschine* (VM), sowie darüber geregelte sekundärgetaktete Hochleistungsstromquellen im Leistungsbereich bis zu 3000 A.

Ziele in diesen Anwendungsfeldern sind je nach Anwendungsfall z.B. vollständig individualisierte Spritzprozesse mit höchster Prozesssicherheit (100 %), optimierte Haftfestigkeiten, feinste Spritzgefüge, hohe Schichtstärken oder auch erwünscht höhere Schichtporosität (letzteres etwa bei der Beschichtung von Zylinderlaufflächen in Verbrennungsmotoren).





### Generelle Vorteile des Einsatzes der VM-Prozesssteuerung im Lichtbogendrahtspritzen

Alle optimalen Spritzparameter für die unterschiedlichsten Spritzwerkstoffe sind über die Experten-datenbank bereits voreingestellt. Spritzparameterveränderungen sind während des Spritzvorganges möglich.

Feinere Spritzschichten bei gleichzeitig geringerem Zerstäubergasdruck bedeuten eine merkliche Kostenreduzierung. Höhere Haftwerte werden auch ohne die Verwendung teurer Spritzwerkstoffe erreicht.

- Spritz- / Beschichtungsstromquellen sind mit einer Zyklusgeschwindigkeit von 50  $\mu$ S komplett neu in Statik und Dynamik konfigurierbar

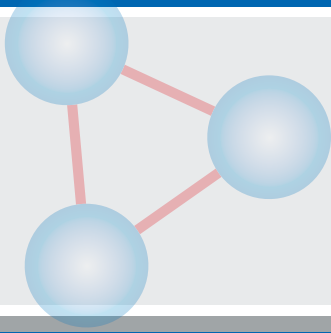
(Statik und Dynamik liegen bei herkömmlichen Stromquellen hingegen im Aufbau und der Kopplung von Transformator und Drossel und sind dadurch in der Hardware unveränderbar festgelegt und entsprechend unflexibel.)

- Völlig frei veränderbare Strom-/Spannungskurven
- Wahlweise Konstantspannungs- oder Konstantstromregelung
- Neuartige softwaregestützte Zünd- und Spritzverfahren
- Gleichmäßiger Schichtauftrag
- Geringe thermische Belastung des Substrats

- Anpassbarkeit der Segmentstruktur des Prozesses

Eine typische Segmentstruktur ist z.B.:  
LICHTBOGEN START: Lichtbogenentstehung  
ZUENDEN: Lichtbogenübernahme  
SPRITZEN: Spritzsegment  
SPRITZEN-ENDE: Tropfenablösung, Freibrand

- Stabiler, konstanter Lichtbogen selbst bei einer Leistung von lediglich 10 Ampere garantiert



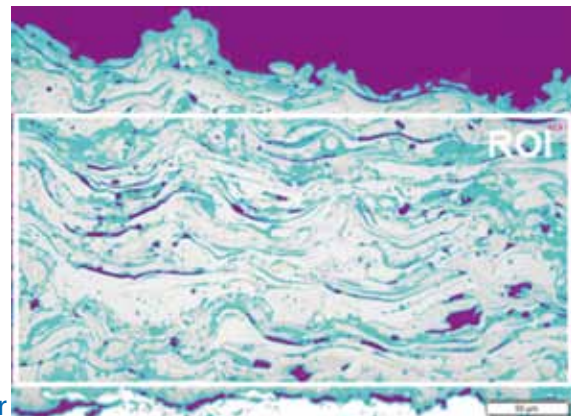
### Lichtbogendrahtspritzen (LDS) mit gepulstem Gleichstrom (DC-Puls)

Gegenüber anderen thermischen Spritzverfahren ist die Inhomogenität und Porosität der erzeugten Schicht beim Einsatz von LDS meist höher. Wie schon erwähnt, ist Schichtporosität in manchen Applikationen sehr erwünscht. Eine dabei zu erfüllende Anforderung liegt in der Voraussetzung, dass die Poren im gesamten Querschnitt aber auch gleichmäßig verteilt vorliegen. Nicht gleichmäßig ausgebildete Schichten sind dagegen zu vermeiden.

Die Ursache für nicht einheitliche Schichteigenschaften liegt im stochastischen Abschmelzvorgang der Drahtelektroden im Lichtbogen. Aufgrund unterschiedlicher Lichtbogenansätze an Anode und Kathode werden die Drähte unsymmetrisch abgeschmolzen. Hinzu kommt, dass die Lichtbogenlänge bei konventionellen LDS-Stromquellen nicht konstant ist.

Der Einsatz von LDS mit DC-Puls unter einer Prozesssteuerung mit Virtueller Maschine bietet folgende Vorteile:

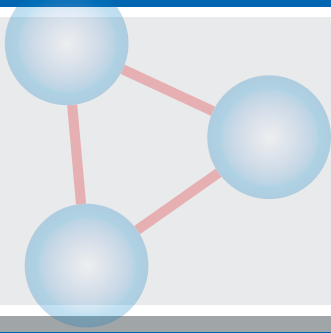
- Erhöhung der Abschmelzleistung / Auftragsrate
- Reduzierung der Wärmebelastung des Substrats durch Absenkung der Prozesstemperatur
- Erzeugung homogener sowie porenminimierter Schichten
- Gezielte sowie gesteuerte Partikelablösung
- Geringere Prozessemissionen



Erste Ergebnisse\* entsprechender wissenschaftlicher Begleitforschung belegen inzwischen die sehr guten Verfahrensergebnisse beim Einsatz des DC-Pulsprozesses auch im Lichtbogendrahtspritzen.

„Durch die Variation der Spritzparameter im gepulsten LDS-Verfahren mit einer Prototypanlage und der Spritzpistole von OSU-Hessler konnten eine stabile Prozesscharakteristik und verbesserte Beschichtungsergebnisse gegenüber konventionellem LDS nachgewiesen werden.“

\* Abstract „Lichtbogendrahtspritzen mit gepulstem Gleichstrom“ (Autoren: D. Landgrebe, S. Brumm, S. Kunze, S. Weis) TU Chemnitz, Institut für Werkzeugmaschinen und Produktionsprozesse; Westsächsische Hochschule Zwickau, Institut für Produktionstechnik, Professur Füge- und Beschichtungstechnik. 2018. (noch nicht publiziert). Die durchgeführten Arbeiten werden aktuell durch das BMWi im Rahmen eines ZIM-Kooperationsvorhabens gefördert.



# Fazit

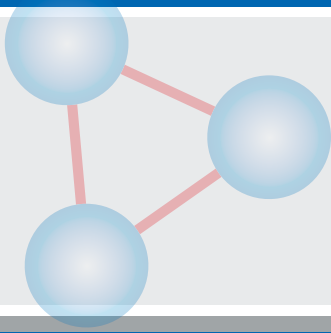
Die Prozessregelung *Virtuelle Maschine* (VM) kann als das wesentliche technologische Herzstück der Schweiß- und Beschichtungstechnik von ELMA-Tech betrachtet werden. Sie wird in der inzwischen 3. Generation (VM3) weltweit ausschließlich von ELMA-Tech eingesetzt und begründet den technologischen Spitzenplatz, den ELMA-Tech in der Schweiß- und thermischen Spritztechnik heutzutage einnimmt.

Gegenwärtig finden sich über 5.000 VM-Anwendungen weltweit in der Automotive-Industrie und in anderen Industriebereichen wie z.B. im Stahlgroßrohrbau und Maschinenbau.

Das einzigartige Steuerungskonzept der VM optimiert durch Prozesssegmentierung in Kombination mit innovativen Stromquellen die Führung unterschiedlicher Prozesse in den oben beschriebenen Anwendungsfeldern auf einem absolut hohen Qualitätsniveau.







# Rechtliche Hinweise

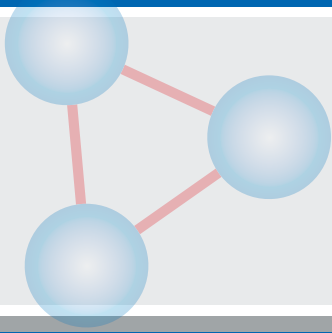
Die Prozesssteuerung *Virtuelle Maschine* basiert auf der im Patent DE 32 00 086 C3 (05.01.1982, Puschner, P.) offenbarten und auch heute noch gültigen Technologie zur Synthetisierung von statischem und dynamischem Verhalten elektronischer Generatoren für schweißtechnische Anwendungen und setzt die darin beschriebene technische Lehre in einzigartiger Weise um.

Mit der fortschreitenden Entwicklung der Mikroprozessor-Technologie konnte im Jahr 1997 erstmals die bereits 1992 in der Struktur geschaffene Virtuelle Maschine unter dem Arbeitstitel „Konzept 2000“ mit einer Zyklusfrequenz von 2 kHz und nur wenige Jahre später mit 20 kHz umgesetzt werden.

Die Prozesssteuerung Virtuelle Maschine und die darin laufenden Prozessprogramme unterliegen weltweit dem Urheberrecht mit dem daraus ausfließenden rechtlichen Schutz. Einziger Lizenzgeber ist die ELMA-IVG mbH in Aachen, Deutschland.

Aktuell werden die *Virtuelle Maschine* in ihrer Hardware, ihrem Basisprogramm und den für die unterschiedlichen Verfahren erforderlichen Prozess-Programmen weltweit ausschließlich von der ELMA-Tech GmbH in Morsbach, Deutschland, und deren Kooperationspartner Lachmann & Rink GmbH, Freudenberg, Deutschland, weiter entwickelt und vertrieben.

**VM structure and programs, all rights reserved, licensed by ELMA-IVG mbH, Aachen.**  
© Prof. Dr.-Ing. Peter Puschner, 1997.



# Unternehmen

Im Bereich der Plasma-, Lichtbogen- und Widerstandstechnologie steuert die ELMA-Tech GmbH ihre in Deutschland produzierten Schweißmaschinen mit ihrer mikroprozessorbasierten Steuerung „Virtuelle Maschine“ (VM) und erzielt damit vor allem hinsichtlich Fügequalität, Prozesssicherheit und Energieeffizienz konkurrenzlose Ergebnisse beim Kunden.

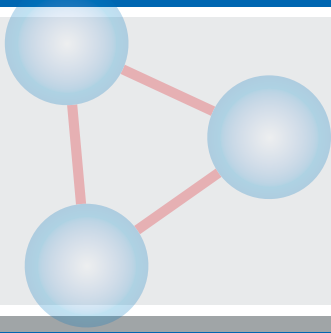
Diese automatische Multifunktions-Schweißprozess-Steuerung ermöglicht insbesondere vollautomatisches Widerstandspunktschweißen ohne jegliche Parameter-Voreinstellungen. Die zielstrebige Weiterentwicklung in der Widerstands-Schweißtechnik mit dem Einsatz einzigartiger virtueller Technologien im Bereich der Mess- und Generatortechnik ermöglicht sowohl die sichere Verschweißung der heute im Automobilbau üblichen hochfesten Stähle als auch von Aluminium-Dünnscheiben.

Alle Punktschweißanlagen der ELMA-Tech sind ausgestattet mit vollautomatischen hand- oder robotergeführten Punktschweißzangen in X-, C- und innovativer V-Anordnung, entwickelt und konzipiert für die Fertigungslinien der Automobilwerke.

Das Leistungsprofil umfasst darüber hinaus selbstgefertigte Hightech-Schweißstromquellen für die Lichtbogenschweiß- und Beschichtungstechnik (Lichtbogendrahtspritzen). Ergänzt wird das Portfolio durch Zubehör wie Kfz-Reparaturzangen, Stosspunker und diverse andere Systemkomponenten.

Kunden der ELMA-Tech GmbH kommen aus dem Bereich Industrie und Automotiv (Automobilhersteller, Zulieferer, Fahrzeug- und Karosseriebau), sowie aus dem Bereich Kfz-Werkstätten.





# Kontakt

## **Anschrift**

ELMA-Tech Gesellschaft für innovative Schweiß- und Beschichtungstechnologie mbH  
Wisseraue 1  
D - 51597 Morsbach, NRW

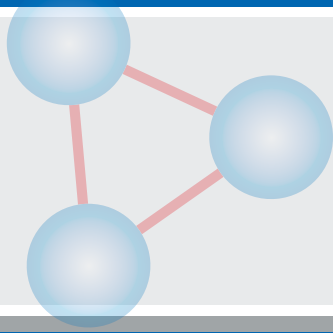
Telefon: +49 (0)2294 9990-0  
Fax: +49 (0)2294 9990-55  
E-Mail: [info@elmatech.de](mailto:info@elmatech.de)

[www.elmatech-gmbh.de](http://www.elmatech-gmbh.de)

<https://www.facebook.com/elmatechgmbh>

<https://www.youtube.com/channel/UCLnDOOvD5xXPi-Dh4K5Cwxg>

<https://www.linkedin.com/company/elma-tech-gmbh/>



# Ansprechpartner

## Ansprechpartner

### Technologie VM

Prof. Dr.-Ing. Peter Puschner  
Wisseraue 1  
D - 51597 Morsbach, NRW

Telefon: +49 (0)2294 9990-70  
@ p.puschner@elmatech.de

Office:  
Mo - Di 9.00 - 15.00 Uhr

## Ansprechpartner

### Vertriebsleitung

Erhard Krahm  
Wisseraue 1  
D - 51597 Morsbach, NRW

Telefon: +49 (0)2294 9990-21  
@ e.krahm@elmatech.de

Office:  
Mo - Fr 8.00 - 17.00 Uhr

## Ansprechpartner

### Vertrieb Thermisches Beschichten

Jan Morgenschweis  
Wisseraue 1  
D - 51597 Morsbach, NRW

Telefon: +49 (0)2294 999049  
@ j.morgenschweis@elmatech.de

Office:  
Mo - Fr 8.00 - 17.00 Uhr

## Ansprechpartner

### Vertrieb Lichtbogentechnologie

Mehmet Yildiz  
Wisseraue 1  
D - 51597 Morsbach, NRW

Telefon: +49 (0)2294 9990-44  
@ m.yildiz@elmatech.de

Office:  
Mo - Fr 8.00 - 17.00 Uhr

## Ansprechpartner

### Vertrieb Punktschweißtechnologie

Stefan Funk  
Wisseraue 1  
D - 51597 Morsbach, NRW

Telefon: +49 (0)2294 999049  
@ s.funk@elmatech.de

Office:  
Mo - Di 8.00 - 17.00 Uhr