

# Der wirtschaftliche MSG-Lichtbogenschweißprozess durch moderne Schweißgerätetechnologien

Dr.-Ing. Birger Jaeschke, Lorch Schweißtechnik GmbH, Auenwald, Deutschland, 22.01.2014

Einhergehend mit leistungsfähiger digitaler Steuerungstechnik und reaktionsschnellen Inverterschaltungen in der Schweißstromquelle sowie fortschrittlicher Labor-Messtechnik zur Bewertung der Effekte im MSG-Schweißlichtbogen schreitet die Entwicklung neuer MSG-Schweißprozessvarianten weiter voran.

Mit den "Speed"-Verfahren [1] werden wesentliche Impulse für Anwender gegeben, die Wirkungen dieser und ähnlicher Schweißprozess-Verfahrensvarianten wirtschaftlich vorteilhaft zu nutzen.

## 1 Einleitung

Nach der Durchsetzung der MSG-Impulstechnik waren die letzten Jahre geprägt durch die hierzu vergleichsweise rasche Einführung einer Vielzahl weiterer neuer MSG-Prozessregelvarianten. Eine wesentliche Ursache dafür war, dass die steuerungstechnisch hohen Anforderungen der MSG-Impulstechnik zu einer digitalen Revolution bei den Schweißgerätesteuerungen allgemein führten. Die so geschaffene technische Basis, zusammen mit den spezialisierten Labor-Messmitteln in den Entwicklungsabteilungen der Schweißgerätehersteller, befruchtete weitere verfahrenstechnische Entwicklungen. Für diverse Praxisanwendungen wurden so spezifische prozess- und arbeitstechnische Vorteile erzielt. Dieser für den Anwender positive Trend setzt sich weiter fort. In der „Software“ der Steuerungen steckt, wenn auch nicht ausschließlich, ein Großteil des schweißprozesstechnischen Vermögens der Maschine; und dieses Vermögen – richtig eingesetzt – zahlt sich für den Anwender in wirtschaftlichen Vorteilen aus.

## 2 Der Lichtbogen ganz allgemein

Der Lichtbogen an sich ist energetisch gesehen ein „Verbraucher“ bzw. technologisch gesehen Teil einer Energiewandlungskette. Er wandelt die elektrisch eingebrachte Energie hauptsächlich um in Wärmeenergie, elektromagnetische Strahlungsenergie (sichtbares Licht, IR- und UV-Strahlung), aber auch über Kraftwirkungen in kinetische Energie (Bewegungsenergie des flüssigen Materials). Der Lichtbogen „sieht“ von der Schweißstromquelle nur den Schweißstrom, d.h. die Anzahl und Geschwindigkeiten der frei beweglichen Elektronen, die ihn pro Zeit und Volumeneinheit durchströmen, die teilweise

wieder gebunden werden (Rekombination) und teilweise wieder erzeugt werden (Emission). In Abhängigkeit von komplexen physikalischen Wechselwirkungen fällt dabei über ihm eine erforderliche Potenzialdifferenz ab, die messbare Lichtbogenspannung. Aufgabe der Schweißstromquelle ist es nun, den Lichtbogenstrom (d.h. den Schweißstrom) und damit auch mittelbar die Lichtbogenspannung (Schweißspannung) gezielt so in Stärke und Polarität zu steuern, dass technologisch gewünschte Effekte für eine wirtschaftliche Anwendbarkeit erreicht werden.

## 3 Die moderne Schweißstromquelle

Das wesentliche Merkmal moderner Schweißstromquellen besteht darin, dass vielfältige programmierbare Freiheitsgrade in der Prozessführung existieren.

Die Anlagenstruktur kann dagegen grundsätzlich bezüglich Art, Anzahl und Anordnung von Bedienelementen und Anzeigen, den Eigenschaften der Prozesssteuerung und des Leistungsteils sowie verfahrensspezifischer Baugruppen differieren. Das Leistungsteil und andere leistungselektronische Schaltungen sorgen für die Potenzialtrennung von Netzversorgungspotenzial und Schweißstromkreis sowie für die steuerbare Umwandlung der elektrischen Netzversorgungsleistung in schweißprozessstechnisch nutzbare Größen von Strom und Spannung. Die Prozesssteuerung erfasst Lichtbogenstrom und Lichtbogenspannung, ermittelt aus diesen Messungen prozessrelevante Kriterien und steuert/regelt den Schweißprozess entsprechend den Führungsparametern der übergeordneten Steuerung. Die Peripherie-Steuerung übernimmt Teile der Schweißablaufsteuerung, des Informationsmanagements und steuert Zusatzkomponenten, wie z.B. Gas-

Kühl- und Zusatzwerkstoffzufuhr-Management sowie die Nutzerschnittstellen. Das spezifische Schweißzubehör wie Brenner usw. bildet das Umfeld der Schweißstromquelle.

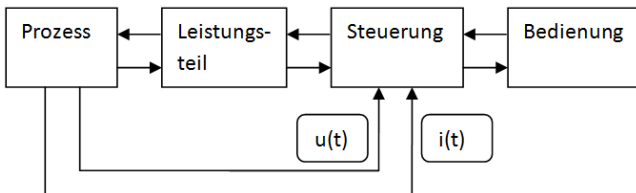
Was hat nun der Endanwender von einer modernen Schweißstromquellenstruktur?

Zum Ersten ermöglicht diese die Führung hochentwickelter Prozessvarianten, welche die steigenden qualitativen und wirtschaftlichen Anforderungen erfüllen.

Zum Zweiten kann der Anwender durch die Upgrade-Fähigkeit von Software auch zukünftig am technischen Fortschritt teilhaben und sichert so seine Investition ab.

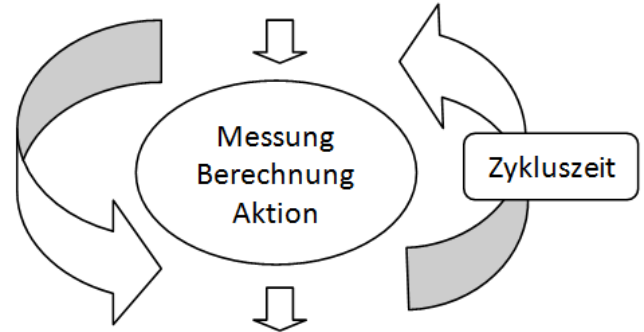
#### 4 Aufbau einer modernen digital gesteuerten Schweißstromquelle

Eine digital gesteuerte Schweißstromquelle besteht aus einem getakteten Leistungsteil (Schaltnetzteil), welches aus der Betriebsstromversorgung die für den Schweißprozess nötigen Pegel von Strom und Spannung liefert. Eine übergeordnete Steuerung steuert und kontrolliert das Leistungsteil. Der Schweißprozess ist durch die elektrischen Zeitverläufe von Strom  $i(t)$  und Spannung  $u(t)$  gekennzeichnet, welche von der Steuerung gemessen werden und zu bestimmten häufigen Zeitpunkten in numerische Zahlenwerte umgewandelt (digitalisiert) werden. Die Steuerung arbeitet auf digitaler Ebene durchgängig mit numerischen Zahlenwerten, wie ein Computer. An die Steuerung sind Kommunikationsschnittstellen zur Bedienung angeschlossen. Die Steuerung ist damit das „Herz“ der Schweißstromquelle und die Eigenschaften werden überwiegend von der Software bestimmt.



Die digitale Steuerung verarbeitet überwiegend zyklisch, d.h. regelmäßig zu bestimmten Zeitpunkten, alle Eingangsgrößen (Messwerte, Kommunikationssignale) und reagiert mit durch die Software definierten Aktionen. Die kleinste Zykluszeit der Steuerung ist z.B. bei der Lorch S-Serie, deren Leistungsteil eine Taktfrequenz von 80kHz aufweist, 12.5µs, d.h. die Steue-

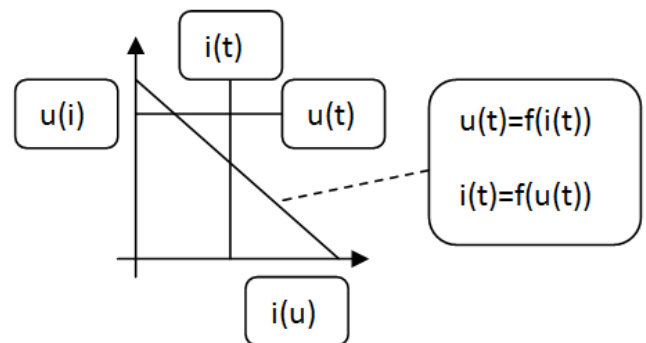
rung ist damit in der Lage, vor jedem neuen Leistungsteiltakt die erforderlichen Regel- und Steueraktionen zu berechnen und mit dem Leistungsteil sofort umzusetzen. Aus Effizienzgründen laufen jedoch nicht alle Funktionen der Steuerung mit dieser hohen Zyklusfrequenz, z.B. die Abfrage von Bedienhandlungen.

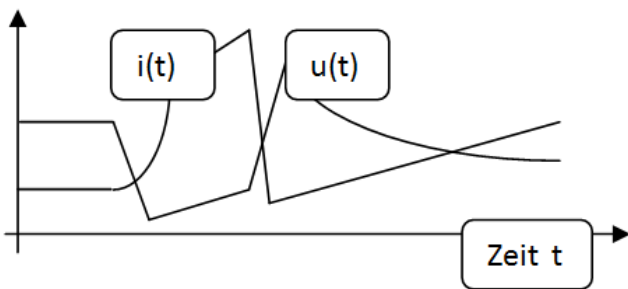


Volldigital gesteuerte Schweißstromquellen können rein auf der Ebene der numerischen Mathematik und numerischen Regelungstechnik den Schweißprozess führen. Bei der Lorch S-Serie schließt dies die Regelung des getakteten Leistungsteils mit ein. Daher können sowohl Konzepte der Strom- oder Spannungsregelung, als auch Mischformen (beliebige statischen Kennlinienneigungen) realisiert werden. Dies ist gleichzeitig zeitlich veränderlich möglich, so dass vielfältige Prozesssteuerungs- und Regelungsfunktionen allein durch Software festgelegt werden können.

Beispiele für durch Software definierte Eigenschaften:

- Dynamische Nachbildung der Drossel und U-I-Kennlinienneigung der klassischen Schweißstromquellentechnik
- Sektorsteuerung (zeitliche Steuerung der Werte von Strom oder Spannung)
- Ereignisdetektion und Ereignisreaktion





Ablaufstrukturen (z.B. Petri-Netz-Konzept), das Datenmanagement (Parametermanagement, Parameterdatenbank) u.a.m. werden nach Konzepten der modernen Informationstechnologie entwickelt und umgesetzt.

Wo sind eigentlich die Grenzen dieser Entwicklung? Neben den natürlich vorhandenen physikalischen Grenzen des Leistungsteils, Strom und Spannung nicht in beliebiger Höhe, Genauigkeit und Dynamik liefern zu können, existieren ähnliche Grenzen der digitalen Steuerung hinsichtlich Rechenleistung, Speicherkapazität u.a.

Die zunächst jedoch wesentlichste Begrenzung ist der Mensch selbst, in seinem Vermögen, diese komplexen technischen Möglichkeiten sinnvoll zu nutzen. Die einfache Bedienbarkeit (Human Machine Interface) ist hier ein einleuchtender Punkt. Ein anderer Punkt ist die erforderliche funktionale Widerspruchsfreiheit bei der Einstellung von Parametern und der Wirkung physikalischer Effekte. Letztendlich muss im Zuge der Softwarepflege auch die Frage beantwortet werden, wie weitere Verbesserungen, welche auch zu anderen prozess-technischen Eigenschaften führen können, vom Anwender aufgenommen werden und was an Information und Schulung hierfür erforderlich ist.

Alle Lorch Speed-Prozesse basieren auf der Nutzung einer leistungsfähigen digitalen Schweißstromquellensteuerung und sind das Ergebnis der Zusammenarbeit von Anwendungstechnikern, Schweißern, Physikern, Mathematikern, Elektronikern und Programmierern.

## 5 Was ist wirtschaftlich?

Diese scheinbar einfache Frage führt bei tieferer Betrachtung auf ein weites Feld von möglichen Einflussfaktoren, die sich in ihrer nüchter-

nen wirtschaftlichen Abwägung auch noch sehr stark von Fall zu Fall unterscheiden können. Nur den Anschaffungspreis der Schweißstromquelle zu berücksichtigen und davon auszugehen, diese sei „mit jeder anderen“ in ähnlicher Leistungsklasse austauschbar, ist eine beliebte Verhandlungstaktik vermeintlich cleverer Einkäufer. Produktionsprozesse und die Wertschöpfung des Anwenders lassen sich so aber nicht optimieren. In Europa ist die Zeit, die für das Schweißen einer Verbindung benötigt wird, ein wesentlich höherer Kostenfaktor, als Schutzgas, Zusatzmaterial, Stromkosten und die Abschreibungskosten des Schweißgerätes zusammen.

Um die Produktionskosten zu senken wird in der Regel angesetzt bei:

- der Reduzierung von Vor- und Nacharbeiten
- Beschleunigung des Schweißprozesses
- Verringerung des eingebrachten Materials
- Einsparung aufwendiger Positioniervorgänge.

Wie werden diese Aspekte durch moderne MSG- Lichtbogenschweißprozesse unterstützt? Zur Beantwortung dieser Frage lohnt es sich, deren Entwicklungstendenzen zu betrachten.

## 6 Entwicklungsrichtungen moderner MSG-Lichtbogenprozesse

### Die Weiterentwicklung der Kurzlichtbogen-Technik

Die bekannte klassische Kurzlichtbogentechnik, bei der das schmelzflüssige Material von der abschmelzenden Elektrodenspitze während des Kurzschlusses übergeht, nutzt eine geeignete Abstimmung von unregelmäßigem Trafo, induktiver Drossel und Drahtvorschubgeschwindigkeit, damit ein regelmäßiger und stabil nutzbarer Schweißprozess entsteht. Mit der Technologie der Inverterstromquellen entstand eine grundsätzliche Entwicklungsrichtung der vielfältigen Optimierung und Parametrisierung dieser Komponenten, die elektronisch oder programmalgorithmisch von der Steuerung „simuliert“ wurden, wobei aus Sicht des Lichtbogens einfach eine besonders gut an die Gegebenheiten angepasste Trafo-Ausgangskennlinie und „elektronische“ Drossel den Prozess optimierten. Das Ganze wurde mit einer synergetischen (und auch adaptiven) Steuerung verbunden, damit der Nutzer sich nicht mit der Einstellung

von zahlreichen speziellen Einzelparametern plagen muss. Die zyklische Abfolge von Kurzschluss, Stromanstieg, Lichtbogenwiderzündung, Stromabfall und Warten bis zum nächsten Kurzschluss blieb dabei jedoch erhalten.

Eine zweite Entwicklungsrichtung stellte den „klassischen“ Prozess in Frage und zielt darauf ab, einzelne Sektoren des Kurzlichtbogenprozesses geschickt so zu steuern, dass die nachteilige Explosion und Schockwelle bei der Wiederzündung des Lichtbogens nach dem kurzschlussbehafteten Werkstoffübergang, welche zu unerwünschten Spritzern führt, gemindert wird. Hierzu wird der Strom im Kurzschluss noch vor dem Wiederzünden des Lichtbogens deutlich abgesenkt. Die so dem Prozess nicht zugeführte Energie kann nach Wiederzündung des Lichtbogens durch einen „Boost“-Impuls wieder gesteuert zugeführt werden, so dass der Wärmeeintrag gezielt beeinflusst wird.

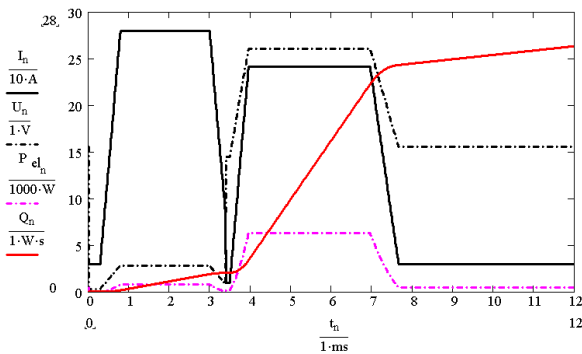


Bild 0: Periodische Modellverläufe von I, U,  $P_{el}$ , Q eines sektorgesteuerten Kurzlichtbogenprozesses

In Bild 0 ist modellhaft der Verlauf von Strom I, Spannung U, elektrischer Lichtbogenleistung  $P_{el}$  und der elektrisch umgesetzten kumulierten Energie Q beispielhaft dargestellt. Es ist erkennbar, dass der Impuls (in der Mitte der Zeitachse dargestellt) einen wesentlichen Anteil an der Energiebilanz hat. Somit ist eine wesentliche energetische Steuerbarkeit des Prozesses gegeben.

Eine besonders für das Wurzelschweißen optimierte Variante des sektorgesteuerten Kurzlichtbogenprozesses wird von Lorch als **SpeedRoot** angeboten und gepflegt. Obwohl der Anwender einerseits den Komfort einer einfach über Draht/Material/Gas-Parameter einstellbaren synergetischen Steuerung mit den bekannten Führungsparameter "Drahtvor-

schubgeschwindigkeit" oder "Spannung" genießen kann, besteht weiterhin die Möglichkeit der einfachen Anpassung des Prozesses an besondere Erfordernisse der Schweißung durch Veränderung des Lichtbogenimpulses. Dessen Ausbildung ist durch den Anwender als Korrekturwert an die spezifische Schweißaufgabe durch Bedienung an der Maschine vor und während des Schweißens anpassbar [7]. Damit eröffnen sich Möglichkeiten, weniger Wärme in den Nahtbereich zu bringen, das Grundmaterial weniger aufzuschmelzen, dünnere Bleche zu schweißen, Spalte zu überbrücken, u.a.m.

Eine Prozesssteuerung dieser Art ist auch besonders geeignet, um energiereduzierte („kalte“) Schweißvorgänge zu führen, die neben Dünnblech-Anwendungen auch bei z.B. Wurzelschweißungen wegen ihrer guten Spaltüberbrückungseigenschaften angewendet werden können. Diese synergetische Prozessführung wird von Lorch als Verfahrensvarianten **SpeedRoot** und **SpeedCold** angeboten.

### Die Weiterentwicklung der Sprühlichtbogen-Technik

Eine wesentliche Entwicklungsrichtung zielt auf Modifikationen des Sprühlichtbogens zu einem konzentrierteren Verhalten und einem energetisch möglichst frühen Einsetzen (um den Übergangsbereich „von oben“ zu verkürzen). Dies wird durch spezielle Regelungstechnik erreicht, bei der zum einen die „innere“ Lichtbogenlängenregelung verstärkt wird und zum anderen der Werkstoffübergang angeregt wird. Die Wirkung der gezielten Anregung eines feintropfigen Werkstoffübergangs ist zum Beispiel bei **SpeedArc** an einem ungewohnten charakteristischen Lichtbogensgeräusch auszumachen.

Der fokussierte Lichtbogen und der konzentrierte Werkstoffübergang sorgen für eine höhere Energiedichte und einen höheren Lichtbogen-Druckpunkt tief in das Schmelzbad hinein. Vorteilhaft ist dies bei engen Fugen und geringem Nahtöffnungswinkel (40°). Es muss weniger Material eingebracht werden.

Dies alles macht MSG-Schweißen bis zu 30% schneller. Der modifizierte Sprühlichtbogen kann auch kürzer gehalten werden, so dass sich auch eine geringere Lichtbogen-Spannung einstellt. Dies bewirkt einen besseren energeti-

schen Prozesswirkungsgrad. Der kurze Lichtbogen holt Energieeffizienz heraus und weniger Streckenenergie wird eingebracht.

Diese Sprühlichtbogen-Technik zielt vor allem auf „konzentrierter“ und „schneller und mehr“.

Weiterentwicklung der Impulslichtbogen-Technik

Der gesteuerte Impulslichtbogen wurde seit den 1960er Jahren immer weiter entwickelt und bietet gerade im mittleren Leistungsbe- reich große Vorteile. Der Bereich des klassi- schen Übergangslichtbogens wird vollständig abgedeckt. Im unteren „kalten“ Leistungsbe- reich konkurriert der Impulslichtbogen durch sein fast spritzerfreies Verhalten, flachere Rau- pen und tieferen Einbrand mit dem Kurzlicht- bogen, im oberen Leistungsbereich erreicht er moderate, für viele Anwendungen ausreichende Abschmelzleistungen, die durch klassische Sprühlichtbogenprozesse jedoch übertroffen werden.

Der gesteuerte Impulslichtbogen ist dadurch charakterisiert, dass während der Impulsphase der Lichtbogenstrom die kritische Stromstärke zum Sprühlichtbogen deutlich überschreitet, so dass von der schmelzenden Drahtelektrode eine Tropfenablösung durch den elektromagne- tischen Pincheffekt hervorgerufen wird. Allge- meiner Konsens bezüglich des Impulslichtbo- gens war die Aussage, dass „ein Tropfen pro Puls“ von der abschmelzenden Drahtelektrode in das Schmelzbad spritzerfrei übergehen soll. Die Grenze der Abschmelzleistung für einen gegebenen Drahtdurchmesser ist beim konven- tionellen Impulslichtbogen durch eine obere Pulsfrequenz bedingt, bei der die Zeit zwischen den Impulsen nicht mehr richtig ausreicht, um zwischen gesteuerter oder sprühlichtbogenartig ungesteuerter Tropfenablösung durch ein hin- reichend tiefes Stromniveau zu unterscheiden. Der Prozess entartet, geht aber nicht in einen sauberen reinen Sprühlichtbogen über. Der Schweißer sagt: „der Draht ist an seiner Gren- ze“.

Die Grenze der Abschmelzleistung wurde inzwi- schen nach oben verschoben: durch die Wei- terentwicklung des Impulslichtbogens zum **SpeedPulse** [2].

Grundgedanke ist, dass zunächst ein hoher Stromimpuls einen primären Tropfen, einen

Führungstropfen, von der Drahtelektrode ab- löst. Durch den Ablöseprozess des Führungs- tropfens wird von der Drahtelektrode schmelz- flüssiger Werkstoff entfernt. Damit liegt vom Ansatz her erst einmal ein normaler Impuls- lichtbogen vor. Der primäre Führungstropfen löst im Gegensatz zum klassischen Impulslicht- bogen jedoch einen weitergehenden sekundä- ren Werkstoffübergang aus, der anschließend gesteuert beendet wird, um die Charakteristik des Impulslichtbogens im wesentlichen zu be- lassen. Der gesamte Vorgang lässt sich an- schaulich am besten damit beschreiben, dass weiterer Werkstoff scheinbar durch den primä- ren Führungstropfen „hinterhergezogen“ wird (vgl. **Bild 1**). Dies verbessert den Prozesswir- kungsgrad und führt zu einer höheren Ab- schmelzleistung.

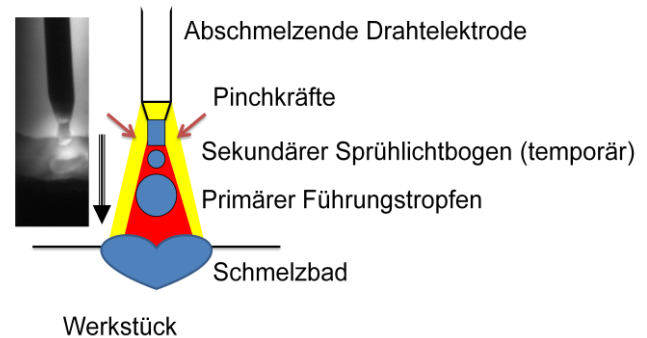


Bild 1: Grundprinzip vom SpeedPulse

Zur Untersuchung des Zusammenhanges von Abschmelzleistung und eingebrachter elektri- scher Leistung wurden genaue Messungen vor- genommen, bei denen die in den Lichtbogen eingebrachte elektrische Leistung durch eine echte Leistungsmessung (als unmittelbare Mul- tiplikation des gemessenen Lichtbogenstromes mit der gemessenen Lichtbogenspannung in sehr kleinen Zeitabständen) genau bestimmt wurde. Auf Grund der hohen Pulsströme würde nämlich eine Berechnung der Leistung aus den Ergebnissen einer normalen Mittelwert- oder Effektivwertmessung von Strom und Spannung zu fehlerhaften Leistungswerten führen.

Die Ergebnisse der Messungen bei Stahl sind in **Bild 2** dargestellt. Die Steigerung der Ab- schmelzleistung mit SpeedPulse gegenüber dem klassischen Impulsschweißen setzt unge- fähr in der oberen Hälfte des nutzbaren Lei- stungsbereiches für den 1,2mm G3Si1-Draht und M21 an und wird mit zunehmender einge- brachter elektrischer Lichtbogenleistung immer deutlicher.

Abschmelzgeschwindigkeit G3Si1, 1,2 mm, 82/18  
LORCH S5

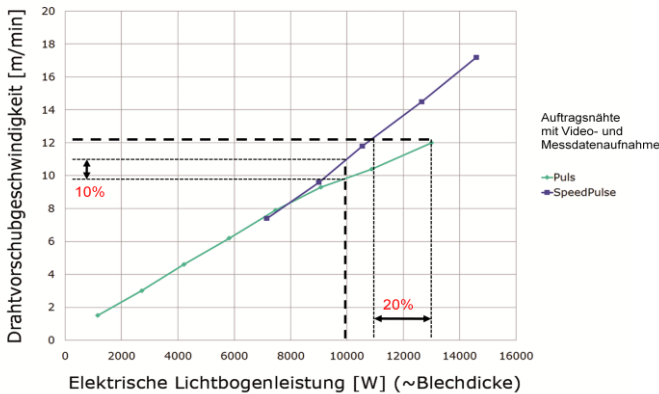


Bild 2: Vergleich SpeedPulse vs. Standard-Puls

Es ist erkennbar, dass bei einer (von der Schweißstromquelle eingebrachten) elektrischen Leistung von ca. 10kW der klassische Impulslichtbogen etwa 10m/min Draht abschmilzt, der SpeedPulse hingegen bereits 11m/min, also immerhin 10% mehr. Umgekehrt kann man erkennen, dass für eine geforderte Abschmelzgeschwindigkeit von 12m/min der klassische Impulslichtbogen 13kW benötigt, der SpeedPulse-Lichtbogen hingegen mit 10,5kW auskommt, also auch wiederum mit ca. 20% weniger elektrischer Leistung. Zum einen bedeutet dies eine vorteilhafte Verringerung der eingebrachten Streckenenergie beim Schweißen, zum anderen sind die Stromverbrauchskosten geringer. Diese Aussage wird auch durch praktische Erkenntnisse gestützt, wo nach der Umstellung des Schweißprozesses vom klassischen Impulsschweißen auf SpeedPulse teilweise deutlich erkennbar geringere Anlauffarben bei Schweißen von Edelstahl entstanden, aber auch, dass weniger Verzug von Werkstücken auftrat.

Für den Schweißer wird mit zunehmender Leistung optisch der SpeedPulse-Lichtbogen immer spitzer und konzentrierter. Die mit einer Hochgeschwindigkeitskamera aufgenommenen Ansichten in **Bild 3** zeigen für Stahl die Tropfenablösung des SpeedPulse und des klassischen Impulsschweißens in der Kehlnaht, aufgenommen aus der Perspektive des Schweißers. Die höhere Drahtvorschub- und Schweißgeschwindigkeit bleibt dadurch auch beim handgeführten Schweißen für den Schweißer noch gut beherrschbar. In den Ansichten ist auch bereits erkennbar, dass der SpeedPulse durch die konzentriertere Form des Lichtbogenzentrums während der temporären Sprühlichtbo-

genphase sich tiefer in die Schmelze eingräbt, der Einbrand wird deutlich tiefer. Dies wird auch in **Bild 4** deutlich.

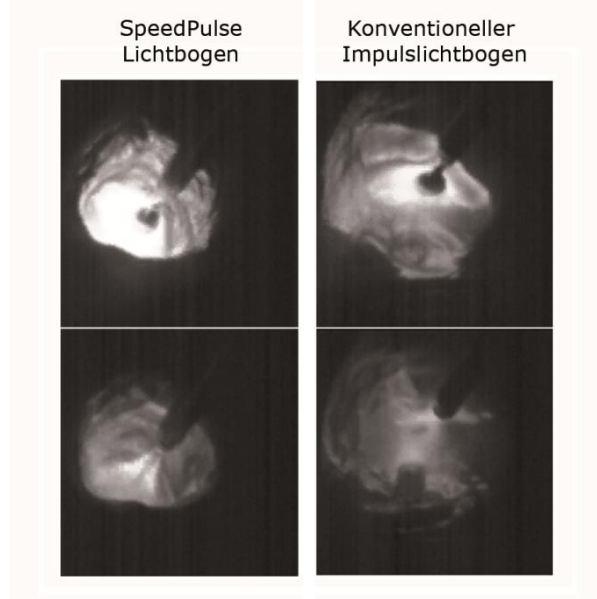


Bild 3: Lichtbogenansichten im Vergleich

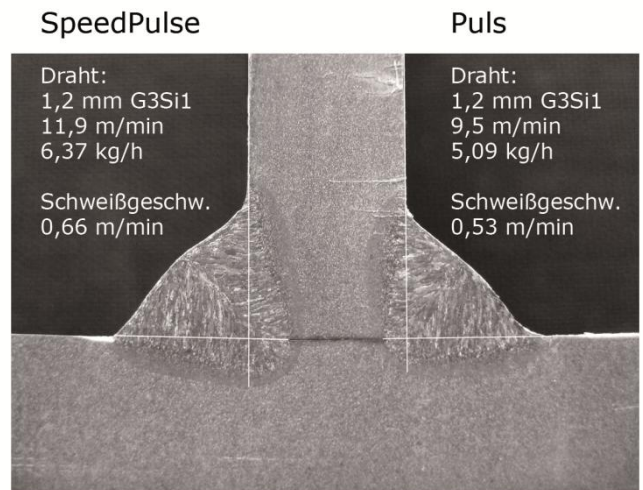


Bild 4: Der Einbrand im Vergleich

Der SpeedPulse-Lichtbogen erlaubt also zunächst grundsätzlich eine höhere Drahtvorschubgeschwindigkeit (bzw. eine höhere Abschmelzleistung). Aber ist dieses Merkmal auch in den Vorteil einer tatsächlich höheren Schweißgeschwindigkeit umsetzbar? Dies ist eindeutig zu bejahen, da beim SpeedPulse auch ein besonders konzentrierter Lichtbogen vorliegt, der einen tieferen guten Einbrand erzeugt und eine sichere Wurzelersfassung auch bei höheren Schweißgeschwindigkeiten ermöglicht. Weiterhin kann beim SpeedPulse der Lichtbogen sehr tief gehalten werden, so dass die Gefahr von Einbrandkerben vermindert ist. Somit stellt diese Kombination der positiven

Merkmale des SpeedPulse sicher, dass in der Praxis wirklich ein schnelleres Schweißen bei hoher Qualität möglich ist.

Nicht nur beim eigentlichen Schweißvorgang sind Vorteile zu sehen, sondern auch in vor- und nachgelagerten Bereichen. Dadurch, dass ausreichend schnelle Pulsprozesse auch das Impulslichtbogenschweißen von Stahl wirtschaftlich interessant machen, kann in der Praxis das Schweißen im spritzerbehafteten Übergangslichtbogenbereich vermieden werden. Dadurch kommt es zu erheblichen Produktivitätssteigerungen durch Einsparung von Nacharbeit. [3]

Die Vorteile des SpeedPulse im Überblick:

- besserer Prozesswirkungsgrad
- höhere Abschmelzleistung
- tieferer Einbrand
- kürzerer Lichtbogen (Vermeidung von Kerben)
- geringere Schallemission (-10dBA bei Stahl)
- alle Vorteile des Impulslichtbogens bleiben erhalten.

Obwohl die Modifikation der Impulslichtbogen-Technik zum SpeedPulse in die Richtung „schneller ohne heißer“ zielt, wurde er inzwischen erfolgreich auch in Anwendungen eingesetzt, wo eine geringe Beeinflussung bzw. auch geringe Aufmischung des Grundmaterials durch eine hohe Schweißgeschwindigkeit im Vordergrund steht.

#### Entwicklungsrichtung: MSG- Intervallschweißen

Die Überlegung liegt nahe, die verschiedenen MSG-Lichtbogentechniken zyklisch zu verwenden, und zwar sowohl in unterschiedlicher energetischer Höhe, als auch untereinander vom Typ alternierend.

Zunächst ein kleiner historischer Exkurs: Grundsätzliche Untersuchungen zum MAG-Schweißen in Intervalltechnik und mit Impulslichtbogen wurden bereits in [4] veröffentlicht. Mit der Schweißstromquelle SAPROM C5 und der Verfahrensvariante **TwinPuls** von Lorch standen seit der Messe „Schweißen und Schneiden 1993“ dann auch in Deutschland Pulsschweißstromquellen zur Verfügung, welche die Intervalltechnik grundsätzlich beherrschten. Hauptanwendungsgebiet des TwinPuls (und später eingeführter ähnlicher Verfahren) war anfangs das Schweißen von

Aluminium. Inzwischen gehört die Intervalltechnik für Schweißstromquellen der gehobenen Klasse zum Standard und hat bei Spezialisten vielfältige Anwendung gefunden [5].

Im praktischen Einsatz sind beim MSG-Schweißen die schweißtechnisch gut beherrschbaren Wannen- oder Horizontalpositionen oft nicht realisierbar. Andere Positionen, insbesondere vertikale Schweißnähte, stellen jedoch erhöhte Anforderungen an den Verfahrensablauf, da Erdanziehungskräfte auf das flüssige Material des Schmelzbades wirken.

Beim Schweißen von vertikal steigenden Kehlnähten (PF), insbesondere im Blechdickenbereich ab 5mm, wird der Effekt der Schmelzbadabstützung durch bereits erstarrtes Schweißgut genutzt.

Oft ist eine besondere Elektrodenbewegung (Dreiecksbewegung) erforderlich, um das nötige Gleichgewicht bezüglich der Einbringung von schmelzflüssigem Schweißgut und Wärmeenergie einerseits und der Schmelzbadabstützung durch erstarrtes Material und dem Schweißfortschritt (Schweißgeschwindigkeit) andererseits zu halten. Auf Grund der Komplexität dieser Bewegung besteht eine erhöhte Gefahr von Schweißnahtfehlern. Hilfreich kann beim MSG-Steignachtschweißen auch eine durch erstarrende Schlacke gebildete Schmelzbadabsicherung sein, wobei hierfür überwiegend rutilhaltige Fülldrähte verwendet werden. Dabei treten jedoch unerwünschte Nebeneffekte gegenüber Massivdrahtelektroden auf, wie deutlich stärkere Rauchemission. Ebenso verändert sich die Wirtschaftlichkeitsrechnung durch höhere Drahtkosten, weiterhin ist das Arbeiten im erforderlichen Sprühlichtbogenbereich bei dünneren Blechstärken nicht mehr einsetzbar. Generell nehmen die Schwierigkeiten beim Schweißen von Steignähten mit geringerer Blechstärke zu. Die teilweise oder vollständige Automatisierung von Schweißaufgaben, die Steignähte erfordern, ist aus den genannten Gründen sehr problematisch.

Bei Betrachtung der zu Grunde liegenden technischen Probleme hierfür gelangt man zu der Erkenntnis, dass ganz einfach Widersprüche vorliegen (vergl. **Bild 5**). Für die Wurzel erfassung/Kantenerfassung wird ein (1) heißer, kurzer, konzentrierter Lichtbogen benötigt; für die Erfassung der seitlichen Blechflanken wird (2) die Energie auf den Flächen benötigt; und damit das schmelzflüssige Material nicht nach

unten wegläuft, muss es durch bereits erstarrtes Material aufgehalten werden, was eine (3) entsprechende Abkühlung erforderlich macht.

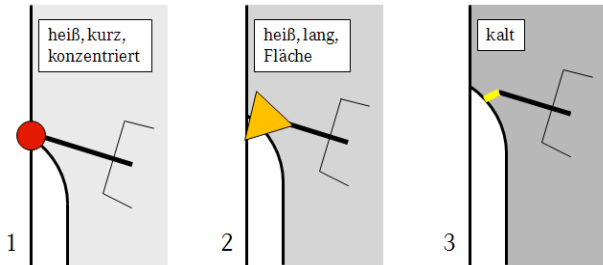


Bild 5: Konträre Anforderungen beim MSG-Steignachtschweißen

Die Idee ist nun, alles geeignet zeitlich nacheinander von der Schweißstromquelle zu steuern, während der Schweißer oder die automatisierte Brennerführung nur eine einfache Aufwärtsbewegung auszuführen braucht. In der Praxis ist bei modernen MSG-Inverter-Stromquellen bereits durchaus eine Art „Intervalltechnik“ mit diversen unterschiedlich wirkenden Parametern einsetzbar. Nur wer findet sich außer den Anwendungsspezialisten des Herstellers in der Parametervielfalt zurecht. Ist eine derartige Steuerung dann für die jeweilige Aufgabe wirklich optimal im Feld einstellbar?

Auf der Messe „Schweißen und Schneiden 2009“ wurde das innovative Verfahren **SpeedUp** vorgestellt, welches das MSG-Schweißen von Steignähten unter Berücksichtigung obiger Überlegungen deutlich vereinfacht und verbessert. Konsequenterweise wird hierzu die anspruchsvolle Dreiecksbewegung der Drahtelektrode durch eine einfache Aufwärtsbewegung (Strichraupentechnik) ersetzt [6].

Die Prozessführung der Schweißstromquelle steuert alle notwendigen Parameter für den neuen MSG-Prozess, so dass der Nutzer mit einer sehr einfachen Einstellung eines einzigen synergetischen Führungsparameters – nämlich der zu Grunde liegenden Blechdicke – diese Verfahrensvariante wirklich in der täglichen Arbeit nutzen kann.

Beim SpeedUp werden hoch- und niederenergetische Prozessintervalle zyklisch abgewechselt, um ein ausgewogenes Aufschmelzen der Wurzel, Einbringen des Zusatzwerkstoffes, Binden der Flanken und Stützen des Schmelzbad durch Erstarrung von Material im niederenergetischen Intervall zu erreichen.

Das hochenergetische Prozessintervall bewirkt den sicheren Einbrand und bringt Abschmelzleistung.

Das niedrigerenergetische Prozessintervall sorgt für das notwendige Abkühlen der Schmelze und füllt Material nach, vgl. **Bild 6**.

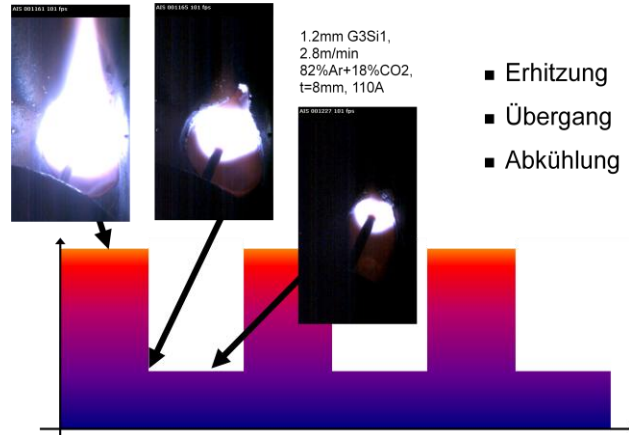


Bild 6: Unterschiedliche energetische Intervalle des SpeedUp

Die Wirkung dieses Verfahrens und die erreichbare Qualität der Nähte wurden für normalen Stahl, Cr-Ni-Stahl und Aluminium untersucht. Es zeigte sich, dass die genau auf das zu schweißende Material und die Blechdicke abgestimmte energetische Intervallsteuerung einen sauberen gleichmäßigen Einbrand, eine sehr gute Flankenbenetzung und ein gleichmäßiges gutes Nahtbild erzeugt. Dies ist sowohl handgeführt als auch mit einfacher automatisierter Aufwärtsführung möglich (**Bild 7**).

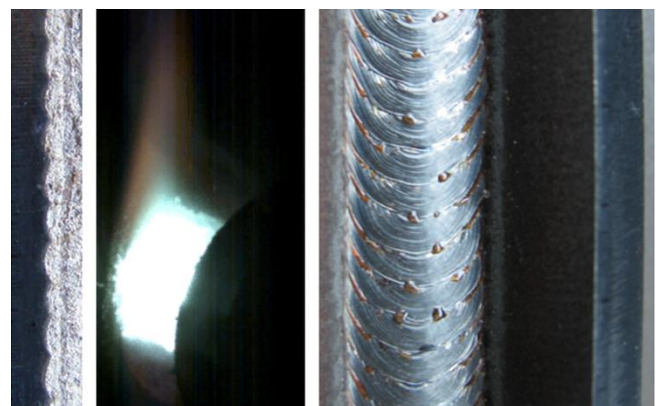


Bild 7: Qualitativ hochwertiges automatisiertes Schweißen von 8mm S235JR, 1,2mm G3Si1, M21 mit SpeedUp

Mit SpeedUp ist sogar Cr-Ni-Stahl steigend schweißbar, was bisher mit MSG in der Dreieckstechnik kaum möglich war. Einen Eindruck hierfür gibt Bild 8. Die Blechdicke betrug 4mm, Drahtdurchmesser 1,2mm, Drahtvorschubge-



schwindigkeit 4,7m/min, mittlerer Schweißstrom 104A, Lichtbogenenergie 5kJ/cm, Schweißgeschwindigkeit 20cm/min, die Naht wurde handgeführt geschweißt.

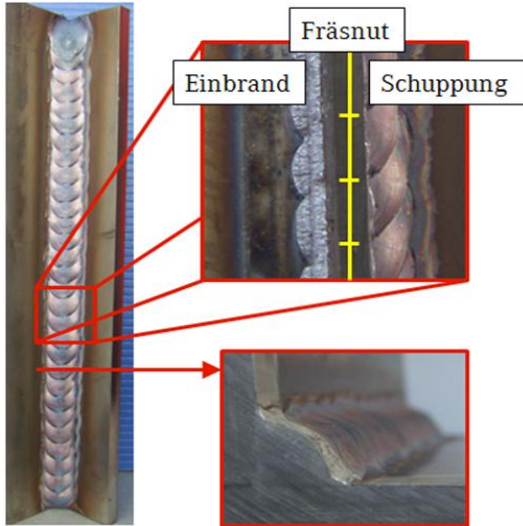


Bild 8: SpeedUp an 4mm 1.4301+ 1.2mm 1.4316.

Untersuchungen zu den energetischen Verhältnissen zeigten, dass der Gesamtwärmeeintrag und die mittlere Abschmelzleistung des SpeedUp zunächst nicht sehr viel anders sind als beim Standard-Schweißen.

Die Schweißgeschwindigkeit ist auf Grund erzielbarer geringerer Nahtdicke jedoch deutlich höher.

Dieser Effekt ist gerade bei Blechen dünner als 6mm ausnutzbar, da Steignähte in Dreiecks-technik hier gewöhnlich eine deutlich höhere Nahtdicke als erforderlich auftragen.

Durch die erreichbare höhere Schweißgeschwindigkeit ist das eingetragene Wärmeprofil für hitzeempfindliche Werkstoffe ebenfalls günstiger.

Zur Untersuchung der Geschwindigkeitsvorteile wurden von der SLV-Fellbach unabhängige Untersuchungen an einigen gleichartigen 5mm dicken Proben durchgeführt. Die Geschwindigkeitsvorteile sind unterschiedlich, zum Teil jedoch sehr deutlich.

Material	Verfahren	Schweißzeit	Nahtdicke
Stahl	Standard	105 s	4,8 mm
	SpeedUp	53 s	3,7 mm
CrNi-Stahl	Standard	100 s	5,8 mm
	SpeedUp	52 s	4,0 mm
Aluminium	Standard	29 s	4,0 mm
	SpeedUp	25 s	3,5 mm

Im Rahmen der Entwicklung dieses Verfahrens wurden die digitalen Schweißgerätesteuerungen entsprechend angepasst. In der internen Datenbank sind alle erforderlichen Parameter bereits optimiert für breite Anwendungsbereiche synergetisch abgespeichert. Der Anwender braucht lediglich der Steuerung mitteilen, welche Materialdicke er schweißen möchte, und die Maschine ist auf die Schweißaufgabe „Kehlnaht steigend mit SpeedUp“ eingestellt.

Die Vorteile des SpeedUp im Überblick:

- einfach und sicher für Stahl, CrNi-Stahl und Aluminium
- schnell und materialsparend
- automatisierbare Strichraupentechnik
- gutes Nahtbild
- günstiges Wärmeprofil
- besonders für Steignaht, aber auch für Überkopfschweißungen geeignet.

Die Entwicklungsrichtungen von MSG-Intervallschweißtechniken wie dem TwinPuls, oder insbesondere jetzt auch des neuen SpeedUp, sind also „speziell“. Für den in diesen Bereichen tätigen Anwender ist das besonders interessant, weil die wirtschaftlichen Vorteile sich sofort erschließen.

## 7 Zusammenfassung

Moderne Schweißgerätetechnologien haben die Entwicklung von neuen Verfahrensvarianten des MSG-Schweißens weiter vorangetrieben. Neben der erreichbaren höheren „inneren“ Qualität der Nähte und der einfachen Nutzung ergeben sich klare wirtschaftliche Vorteile für den Anwender.

Es ist auch aus Ingenieurssicht immer wieder erstaunlich, was aus dem Lichtbogen „als Werkzeug“ noch alles herauszuholen ist.

Die beschriebenen Schweißprozesse SpeedPulse, SpeedArc, SpeedUp, SpeedRoot und SpeedCold stehen mit ihren spezifischen Vorteilen in den entsprechend ausgestatteten Schweißgeräten der P- und S-Serie von Lorch zur Verfügung.

## 8 Literatur

Diese Fachdokumentation wurde zum Teil erstmalig veröffentlicht durch: B. Jaescke:

Der wirtschaftliche MSG-Lichtbogenschweißprozess durch moderne Schweißgerätetechnologien. DVS-Berichte Band 267, DVS Congress 2010, S. 328 ff. DVS Media, Düsseldorf 2010.  
Eine weitere Teilveröffentlichung liegt vor mit:  
B. Jaeschke: Steigerung der Wirtschaftlichkeit des Metall-Schutzgas-Schweißens durch moderne Schweißgerätesysteme. Jahrbuch Schweißtechnik 2013, S. 179-188, ISBN 978-3-87155-609-8, DVS Media, Düsseldorf 2012

MSG-Lichtbogenschweißprozesse und deren Verständnis. DVS-Berichte Band 275, DVS Congress 2011, S. 250 ff. DVS Media, Düsseldorf 2011.

Zur Vertiefung der Information wird folgende Lorch Fachdokumentation empfohlen:

- B. Jaeschke: Zusammenhänge bei der Messung, Steuerung und Regelung moderner MSG-Lichtbogenschweißprozesse und deren Verständnis, Y00.0030.0-00.PDF

Weitere Literaturstellen:

[1]; [www.masters-of-speed.de](http://www.masters-of-speed.de)

[2]: Jaeschke, B., u.a.: SpeedPulse – eine produktivitäts- und effizienzsteigernde Weiterentwicklung des MSG-Impulsschweißens, Fachzeitschrift Schweißen und Schneiden 61 (2009), Heft 9, S. 548ff. DVS-Verlag, Düsseldorf 2009.

[3]: Vollrath, K., u.a.: Impulslichtbogenverfahren steigert die Produktivität beim Stahlschweißen, Maschinenmarkt 3/2010, S. 40ff. Vogel Business Media GmbH & Co. KG., Würzburg 2010.

[4]: Welz, W., u.a.: Intervallschweißen – eine Verfahrensvariante zum MAG-Steignachtschweißen. DVS-Bericht 131, S. 21/27. DVS-Verlag, Düsseldorf 1990.

[5]: Habenicht, G., u.a.: Metall-Aktivgasschweißen von Steignähten in Intervalltechnik mit Impulslichtbogen, Fachzeitschrift Schweißen und Schneiden 46 (1994), Heft 2, S. 61ff. DVS-Verlag, Düsseldorf 1994.

[6]: Jaeschke, B.; Rimböck, A.; Vollrath, K.: Steignähte leicht und sicher Schweißen. Der Praktiker 5/2011, S. 190 ff. DVS Media, Düsseldorf 2011.

[7] Jaeschke, B: Zusammenhänge bei der Messung, Steuerung und Regelung moderner