

INNOVATIVE MSG-SCHWEISSVERFAHRENSVARIANTE HILFT BEI DER BEWÄLTIGUNG SCHWIERIGER AUFGABEN, TEIL 2



www.dvs-tv.de  
Nachrichtensendung 20/2011

# Steignähte leicht und sicher schweißen

Birger Jaeschke, Andreas Rimböck, Auenwald, Klaus Vollrath, Aarwangen/Schweiz

Das einwandfreie Schweißen von Steignähten erfordert spezielle Techniken, die nicht einfach zu beherrschen sind und zudem spezifische Anwendungs-nachteile haben. Die MSG-Verfahrensvariante „SpeedUp“ kann hier für Abhilfe sorgen. Nachdem sich Teil 1 des Beitrags mit dem Stand der Technik beim Steignachtschweißen sowie mit den Eigenschaften und Vorteilen der neuen Verfahrensvariante beschäftigte, belegt Teil 2 ihre Eignung für verschiedene Werkstoffe, den erreichbaren Geschwindigkeitsvorteil, einen ähnlichen Energieeintrag im Vergleich und die Automatisierbarkeit des Prozesses.

Der 1. Teil des Fachartikels beschrieb den bisherigen Stand der Technik beim Steignachtschweißen. In der Regel kommt entweder das Dreieckspendeln oder das Schweißen mit rutilhaltigen Fülldrahtelektroden zum Einsatz. Beide Varianten haben spezifische Anwendungsnachteile: Das Dreieckspendeln (in der Praxis auch als Tannenbaumschweißen bekannt) ist aufwendig und fehleranfällig, während das Schweißen mit rutilhaltigen Fülldrahtelektroden aufgrund höherer Zusatz-

werkstoffkosten und anderer Aspekte nur in bestimmten Bereichen bevorzugt zum Einsatz kommt.

Grundidee bei der Entwicklung der neuen Verfahrensvariante für das Metall-Schutzgasschweißen (MSG) war, den zu beobachtenden Prozessablauf beim Dreieckspendeln hinsichtlich seiner Wirkungseffekte auf die Schweißnaht zeitlich in geeignete Phasen aufzuteilen und diese nacheinander von der Schweißstromquelle anzusteuern. Für den

Schweißer ist hierbei besonders attraktiv, dass er dadurch nicht mehr die anspruchsvolle Dreiecksbewegung der Drahtelektrode auszuführen braucht. Sie wird durch eine einfache Aufwärtsbewegung ersetzt.

Vergleichende Videoaufnahmen der Schweißbrennerführungen mit einer Hochgeschwindigkeitskamera ergaben, dass die vom Brenner zurückgelegte Strecke pro Längeneinheit der Schweißnaht beim Dreieckschweißen aufgrund der Pendelbewegung zwölf Mal so lang ist wie bei „SpeedUp“. Dieser Prozess vereinfacht somit nicht nur die Arbeit des Schweißers, sondern senkt dabei gleichzeitig die Fehlermöglichkeiten. Die Auswertung von Bruchbildern zeigte, dass damit geschweißte Nähte qualitativ deutlich überlegen und praktisch fehlerfrei waren.

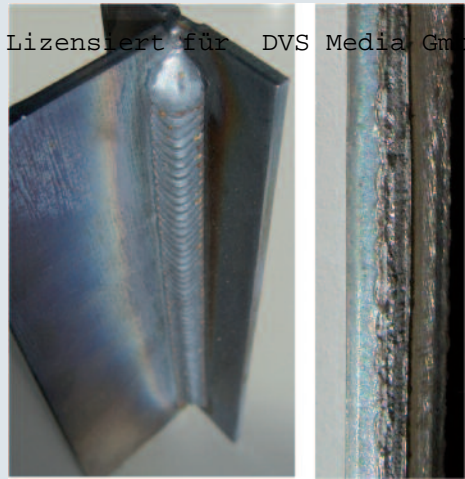
## Vorteile bei Baustahl und Chrom-Nickel-Stahl

Neben den bereits in Teil 1 vorgestellten Schweißuntersuchungen für Stahlblechdicken von 8 mm wurden die Eigenschaften der neuen Verfahrensvariante auch für andere Blechdicken analysiert. Für eine Stahlblechdicke von 5 mm zeigt **Bild 1** die Ergebnisse aus dem Verfahrenslabor des Herstellers. Das Nahtprofil und die flache Oberflächenstruktur sind für eine Steignaht außergewöhnlich gut, aber auch das Innere der Naht ist frei von sichtbaren Fehlern. Mit der neuen Variante lassen sich Steignähte auch an dünnen Blechen mit geringer Nahtdicke mit 1,2 mm dicken Drahtelektroden schweißen. Auch beim Schweißen an 3 mm dicken Stahlblechen (vollmechanisiert am Längsnahtfahrwerk) erweist sich die Verfahrensvariante als gleichmäßig prozesssicher (**Bild 2**).

Das MSG-Schweißen von vertikalen Nähten an nichtrostenden Chrom-Nickel-Stählen ist auf Grund des im Vergleich zu gewöhnlichen Stählen anderen Schweißbadverhaltens sehr problematisch. Der Versuch, beim gängigen Stahl 1.4301 (X 5 CrNi 18-10) Steignähte mit Dreieckstechnik oder ähnlichen Bewegungen im MSG-Verfahren zu schweißen, führt zum Zusammenlaufen des Schweißbads in der stark überhöhten Nahtmitte und im Gegensatz dazu zu seitlichen Bindefehlern

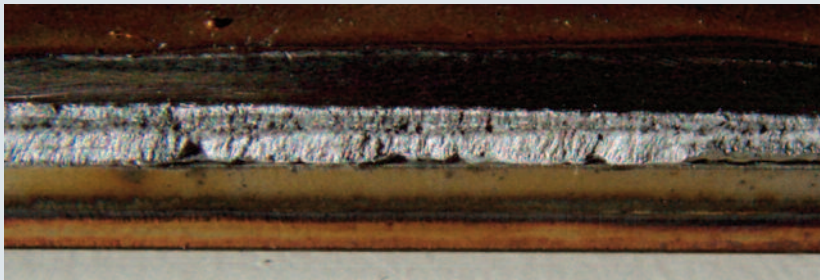


▲ Bild 1. Die Anwendungsstudie für die neue Verfahrensvariante zeigt eine Schweißnaht mit hoher Qualität (Stahl S235JR, Blechdicke 5 mm, Schutzgas 82% Ar + 18% CO<sub>2</sub>, Drahtelektrode G3Si1 mit 1 mm Durchmesser, Drahtfördergeschwindigkeit 4,4 m/min, Schweißgeschwindigkeit 20,3 cm/min, Schweißstrom 108 A, Schweißspannung 18,2 V, Streckenenergie 7 kJ/cm).



► Bild 2. Anwendungsstudie neue Verfahrensvariante (Stahl S235JR, Blechdicke 3 mm, Schutzgas 92% Ar + 8% CO<sub>2</sub>, Drahtelektrode G3Si1 mit 1,2 mm Durchmesser, vollmechanisiertes Schweißen)

▼ Bild 3. Edelstahl X 5 CrNi 18-10 (1.4301) (Blechdicke 4 mm, WIG-Schweißstab ER308 mit 1 mm Durchmesser), in Fallposition konventionell mit Impulslichtbogen (110 A, 22 V) geschweißt; die Schweißnaht war außen optisch in Ordnung, weist innen aber deutliche Bindefehler auf.

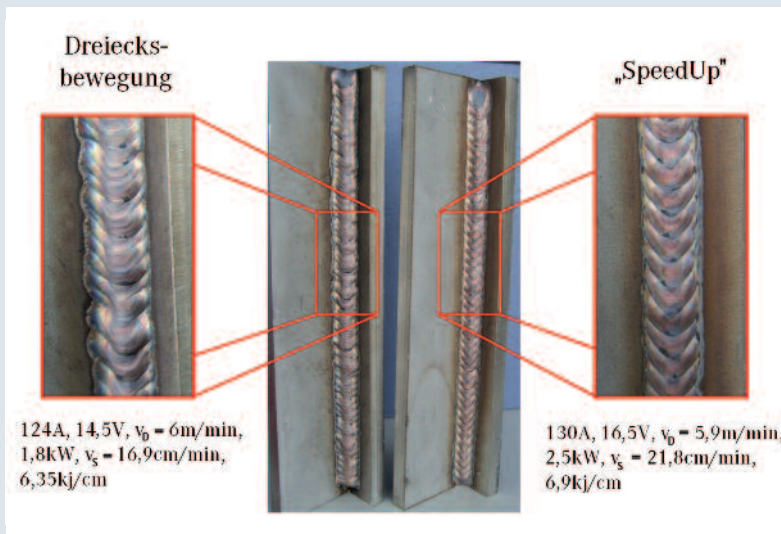


durch ablaufende Schmelze. Bei Chrom-Nickel-Stählen werden Vertikalnähte daher ab mittleren Blechdicken überwiegend mit Hilfe des deutlich langsameren Wolfram-Inertgasverfahrens geschweißt. Bei geringeren

Blechdicken wird gelegentlich die Fallnahttechnik (PG) mit Impulslichtbogen angewandt. Das kann im Einzelfall gutgehen, bietet in der Regel aber keine ausreichende Prozessstabilität (**Bild 3**).

## Vorteile der Verfahrensvariante „SpeedUp“ zum Schweißen von Steignähten

- Höhere Qualität
  - Die Einstellung der Schweißstromquelle ist für den Schweißer sehr einfach. Synergetische Programme für Baustahl, Chrom-Nickel-Stahl und Aluminium steuern über die Einstellung der Werkstoffdicke die optimale Parameterzusammensetzung.
  - Die Qualität der Nähte ist reproduzierbar hoch, unter anderem bedingt durch die unkomplizierte Brennerführung.
  - Es lassen sich Werkstoffe effektiv MSG-Steignachtschweißen, die so bisher kaum schweißbar waren (zum Beispiel Chrom-Nickel-Stahl).
  - Der Wärmeeinfluss auf das Werkstück kann durch Strichraupen und hohe Schweißgeschwindigkeit verringert werden.
- Höhere Produktivität
  - Die Herstellungskosten für Steignähte lassen sich durch Strichraupentechnik, hohe Schweißgeschwindigkeit sowie Einsparen von Zusatzwerkstoff und Schutzgas verringern.
  - Das Verfahren ist für vollmechanisiertes Schweißen von Steignähten besonders geeignet. Auf aufwendige Positionierungssysteme kann dadurch anwendungsbhängig komplett verzichtet werden.
- Verbesserte Umweltverträglichkeit
  - Die Rauchentwicklung ist viel geringer als beim Steignachtschweißen mit rutilhaltigen Fülldrahtelektroden.
  - Die neue Verfahrensvariante lässt sich durch ihre qualitativen und quantitativen Vorteile umwelt- und ressourcenschonend einsetzen.



▲ Bild 4. Probe einer Steignachtschweißung an Chrom-Nickel-Stahl mit Dreiecksbewegung im direkten Vergleich zur Schweißung mit der neuen Verfahrensvariante (Edelstahl X 5 CrNi 18-10 (1.4301), Blechdicke 8 mm, Schutzgas 98% Ar + 2% CO<sub>2</sub>, Drahtelektrode 1.4316 (ER308) mit 1 mm Durchmesser)



▲ Bild 5. Probe einer automatisierten Steignachtschweißung mit der neuen Verfahrensvariante (Edelstahl X 5 CrNi 18-10 (1.4301), Blechdicke 8 mm, Schutzgas 98% Ar + 2% CO<sub>2</sub>, Drahtelektrode 1.4316 (ER308) mit 1 mm Durchmesser)

Der Einsatz der neuen Verfahrensvariante ermöglicht hier eine wesentliche Effektivitätssteigerung, denn die Prozessführung erlaubt auch bei Chrom-Nickel-Stahl, das einfache Steignachtschweißen in Strichraupentechnik anzuwenden. An der Stromquelle müssen nur die Basisparameter für Grund- und Zusatzwerkstoff sowie Gas und die zu schweißende Blechdicke eingestellt werden, alle weiteren Parameter werden von der synergetischen Steuerung der Anlage selbstständig

bereitgestellt. Die Überlegenheit des Prozesses zeigt sich deutlich beim Vergleich dieser Naht mit einer von Hand durch Dreieckspendeln ausgeführten Steignachtschweißung an einem T-Stoß mit einer Blechdicke von 8 mm (Bilder 4 und 5).

#### Keine komplizierten Einstellungen

Aluminium kann ähnlich wie Stahl mit entsprechender Brennerbewegung bedingt im Sprüh- oder Impulslichtbogen als Kehlnaht

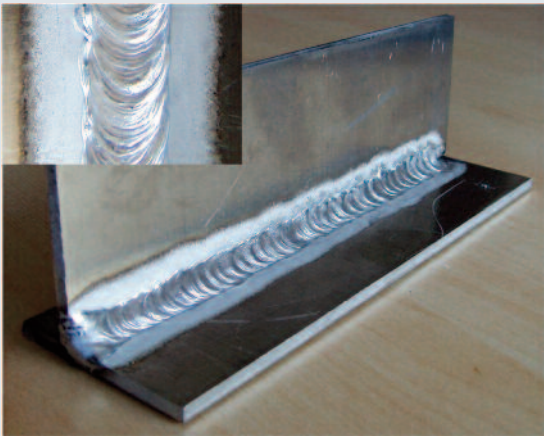
steigend geschweißt werden. Seit den 90er-Jahren ist es durch Schweißverfahren mit Intervalltechnik (zum Beispiel mit dem „TwinPuls“-Prozess von Lorch) möglich, Aluminiumsteignähte in Strichraupentechnik zu schweißen. Die korrekte Einstellung der Parameter für die Intervalltechnik bei einer bestimmten Schweißaufgabe (Frequenz des Energieintervallwechsels, zeitliches und energetisches Verhältnis der Intervalle zueinander, Einstellung der optimalen Lichtbogenlänge) erfordert jedoch viel Erfahrung und zeitlichen Aufwand für Probeschweißungen.

Im Vergleich hierzu bietet „SpeedUp“ durch seine voreingestellten und optimierten synergetischen Programme Vorteile, weil die komplizierten Parametereinstellungen entfallen. Je nach Erfordernis wählt die Verfahrensvariante im Hintergrund auch unterschiedliche Lichtbogentypen (Impulslichtbogen–Impulslichtbogen, Impulslichtbogen–Kurzlichtbogen oder Impulslichtbogen–Sprühlichtbogen) für die einzelnen energetischen Phasen aus, sodass sich eine breite Abdeckung der möglichen Schweißaufgaben auch bei Aluminium ergibt. Das Ergebnis einer Steignachtschweißung mit Brennerführung von Hand mit der neuen Verfahrensvariante an nur 3 mm dickem Aluminium zeigt Bild 6.

Es ist bekannt, dass bei Aluminium die Anwendung des Impulslichtbogens durch die erzwungene Wellenbewegung des Schmelzbads zum Ausgasen der Schmelze und damit zu einer verminderten Porenanfälligkeit beiträgt. Dieser Effekt wird bei der neuen Variante gezielt genutzt. Der gepulste Werkstoffübergang im hochenergetischen Intervall ist so eingestellt, dass eine gute Flankenbenetzung und eine sichere Wurzelerfassung erfolgen.

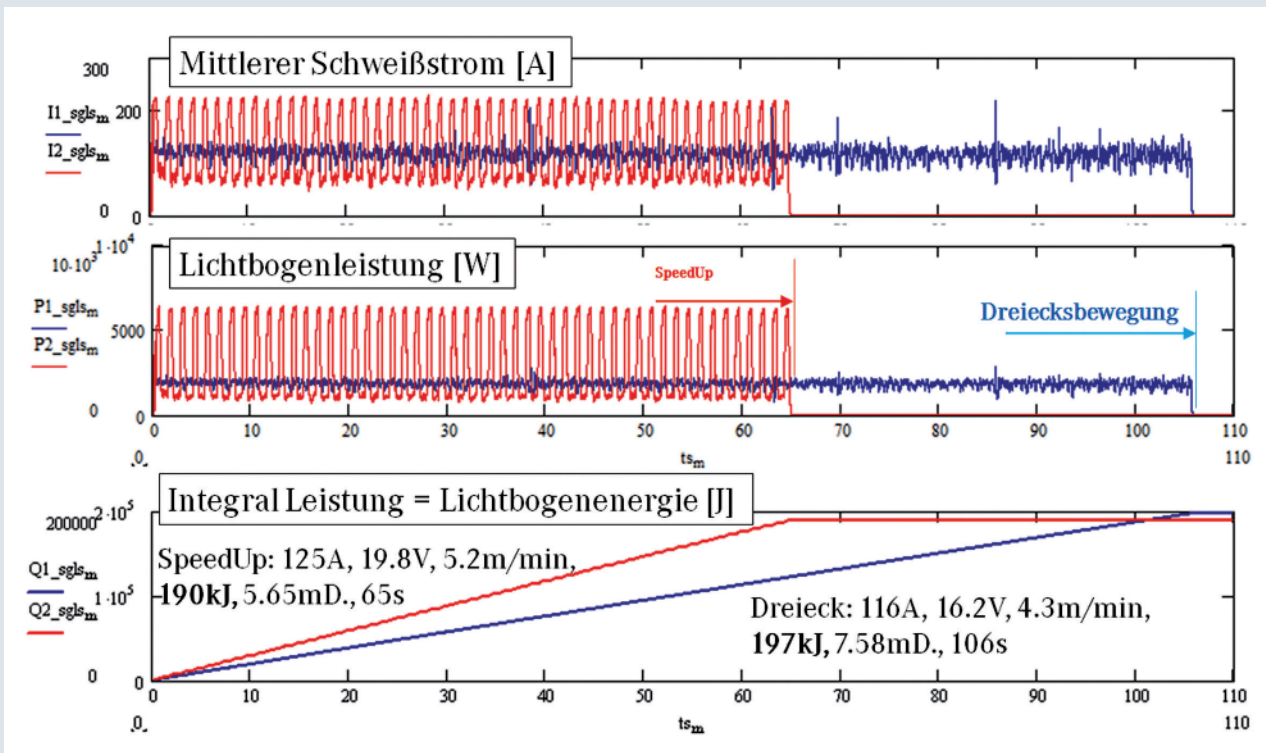
#### Energieeintrag und Schweißgeschwindigkeit

Die Grunddaten zur Einschätzung des „SpeedUp“-Prozesses hinsichtlich des Energieeintrags, insbesondere im Vergleich zur klassischen Schweißung mit Dreiecksbewegung des Brenners, wurden durch eine Reihe von Messungen an Baustahl, Chrom-Nickel-Stahl und Aluminium bei unterschiedlichen Blechdicken im Schweißbetrieb mit Brennerführung von Hand ermittelt (Bild 7). Hierbei ist zu berücksichtigen, dass eine 200 mm lange Schweißung mit der neuen Verfahrensvariante



◀ Bild 6. Probe einer Steignachtschweißung von Hand mit der neuen Verfahrensvariante (Aluminium, Blechdicke 3 mm, Schutzgas 100% Ar, Drahtelektrode AlSi5 mit 1,2 mm Durchmesser, Drahtfördergeschwindigkeit 4 m/min, Schweißgeschwindigkeit 42,6 cm/min, Schweißstrom 100 A, Schweißspannung 17 V, Streckenenergie 2,6 kJ/cm)

▼ Bild 7. Geglättete Verläufe von Strom, Leistung und elektrischer Lichtbogenenergie für das klassische Steignachtschweißen in Dreiecksbewegung (blau) im Vergleich zu der neuen Verfahrensvariante (rot) (Stahl S235JR, Blechdicke 8 mm, Schutzgas 82% Ar + 18% CO<sub>2</sub>, Drahtelektrode G3Si1 mit 1 mm Durchmesser, Länge der Schweißnähte 200 mm)



riante bereits nach 65 s abgeschlossen war, während mit der Dreiecksbewegung 106 s erforderlich waren. Zusätzlich war auch das Nahtvolumen bei der neuen Variante um rund 25% geringer. Beides unterstreicht die wirtschaftlichen Vorteile des Prozesses im Vergleich zur Dreieckstechnik.

Nach Auswertung vieler Messungen mit unterschiedlichen Werkstoffen (Baustahl, nicht rostender Chrom-Nickel-Stahl, Aluminium) und Wanddicken (2 bis 15 mm) zeigte sich, dass der Energieeintrag in das Werkstück insgesamt ziemlich ähnlich ist beim Dreieckschweißen und bei der neuen Variante. Dasselbe gilt auch für die mittlere Abschmelzge-

SCHWEISSTECHNIK UND MEHR

Probe Nr.	Material *	Verfahren	Strom (A)	Lichtbogen (in/mm)	Tastverhältnis (%)	Weiligkeit	Frequenz (Hz)	Schweißzeit pro Naht ** (s)	Einbrand (oben/unten) (mm)	a-Maß (mm)	Nahtbreite b (mm)	Bruchprobe a / ne
1	S235 schwarz	Standard	105	4,0	-	-	-	110	1,18 / 0,90	4,8	6,5	e
2	Material	Verfahren	Schweißzeit pro Naht [s]	Nahtdicke a-Maß [mm]	Empfohlenes a-Maß bei t=5mm => 0,7*5mm = 3,5mm							
3												0,85 / 0,70
4	S235	Standard	105	4,8								
14	CrNi	Standard	100	5,8								
15		SpeedUp	53	3,7								
16	CrNi	Standard	100	5,8								
17		Puls	72	5,2								
18	Alu	Standard	100	5,8								
18		SpeedUp	52	4								
5	Alu	Standard	100	5,8								
6		SpeedUp	25	3,5								
6	Alu	Standard	100	5,8								
6		Puls	29	4								
7	CrNi-Stahl	Puls	80	5,0	-	0	-	72	1,45 / 1,6	5,2	7,1	e
8	CrNi-Stahl	Speed up	90	9,1	30	0	2,0	52	0,5 / 1,2	3,9	5,3	e
9	CrNi-Stahl	Speed up	90	9,1	35	0	0,8	51	0,4 / 0,7	4,1	5,7	e
10	Aluminium	Speed up	110	5,0	30	-5	1,5	25	1,7 / 1,7	3,5	5,1	e
11	Aluminium	Puls	140	7,1	-	0	-	39	1,8 / 1,6	4,0	5,8	e

▲ Bild 8. Untersuchungsergebnisse der Schweißtechnischen Lehr- und Versuchsanstalt SLV Fellbach zum Steignachtschweißen mit der neuen Verfahrensvariante an 5 mm dicken Blechen im T-Stoß (Kehlnaht)

schwindigkeit. „SpeedUp“ ermöglicht in der praktischen Anwendung allerdings schmalere Nähte mit geringerer Nahtdicke als die Dreiecksschweißung, wodurch sich das Werkstück „kälter“ und „schneller“ schweißen lässt.

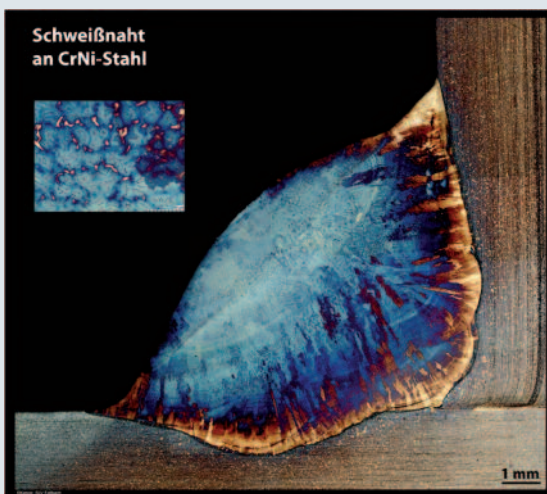
Unabhängig von den Untersuchungen im Versuchslabor des Herstellers hatte die Schweißtechnische Lehr- und Versuchsanstalt SLV Fellbach umfangreiche Steignachtschweißungen und -Untersuchungen für Baustahl, Chrom-Nickel-Stahl und Aluminium an 5 mm dicken Blechen durchgeführt (Bild 8). Als Fazit ergab sich, dass die Schweißung mit der neuen Variante generell bei allen Werkstoffen, insbesondere aber bei Baustahl und Chrom-Nickel-Stahl, schneller durchführbar ist als mit herkömmlichen Verfahren. Neben der bis zu doppelt so schnellen Bewältigung der Schweißaufgabe, wurde in diesem Rahmen für Chrom-Nickel-Stahl auch bestätigt, dass die Gefügestruktur des Nahtbereichs qualitativ vergleichbar ist mit einer Kehlnahtschweißung, die horizontal (Position PB) erfolgte (Bild 9).

Automatisierbarkeit grundsätzlich gegeben

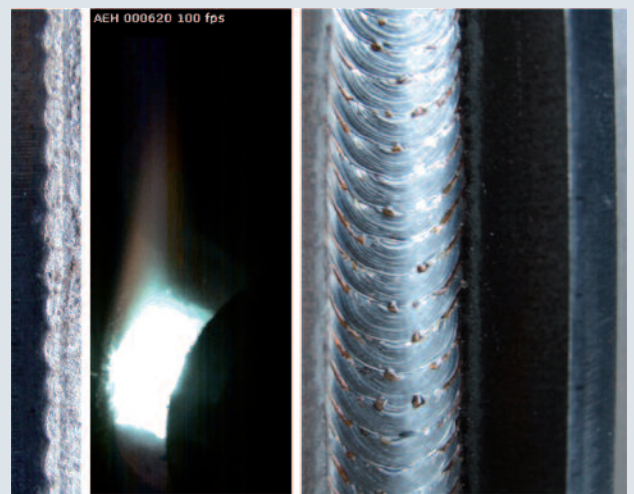
Um die Frage der Automatisierbarkeit der neuen Verfahrensvariante für das Steignachtschweißen zu untersuchen, wurde ein vertikales Längsfahrwerk mit Sichtfenster für die Brennerbewegung aufgebaut. Hierbei zeigte sich, dass die neue Variante sehr gut bei mechanisierter einfacher linearer Brennerfüh-

INFO Entwicklung der Intervalltechnik für Schweißstromquellen

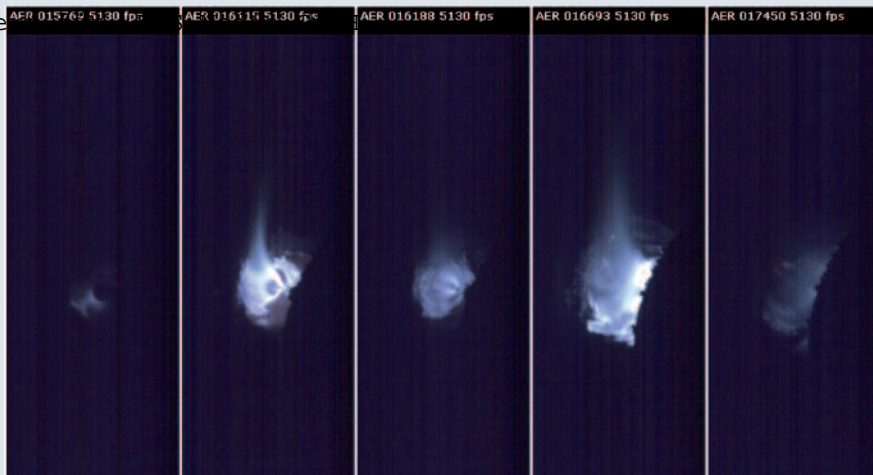
Grundsätzliche Untersuchungen zum Metall-Aktivgasschweißen von Steignähten in Intervalltechnik und mit Impulslichtbogen wurden bereits in [1] veröffentlicht. Mit der Schweißstromquelle „Saprom 5“ von Lorch und der Verfahrensvariante „TwinPuls“ standen seit der Messe „Schweißen & Schneiden“ 1993 dann auch in Deutschland Impulsschweißstromquellen zur Verfügung, die die Intervalltechnik grundsätzlich beherrschten. Hauptanwendungsgebiet des „TwinPuls“ (und später von Mitbewerbern eingeführter ähnlicher Verfahrensvarianten) war anfangs das Schweißen von Aluminium. Inzwischen gehört die Intervalltechnik für Schweißstromquellen der gehobenen Klasse zum Standard und findet bei Spezialisten Anwendung [2]. Neueste Ansätze, wie das „SpeedUp“-Verfahren von Lorch, kombinieren unterschiedliche Lichtbogentypen, um gezielt bestimmte Schweißaufgaben zu vereinfachen bzw. zu ermöglichen.



► Bild 9. Untersuchungsergebnisse der SLV Fellbach zur Fügestruktur des Nahtbereichs beim Steignachtschweißen mit der neuen Verfahrensvariante



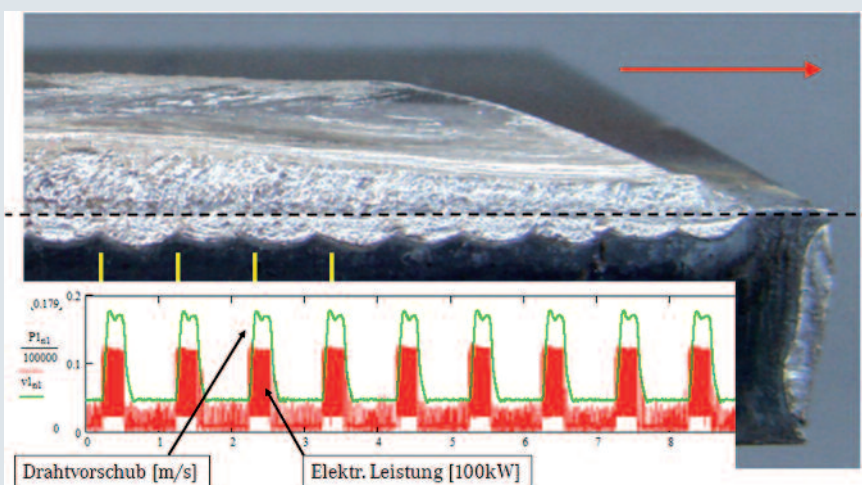
▲ Bild 10. Automatisierte Steignachtschweißung mit der neuen Verfahrensvariante (Stahl S235JR, Blechdicke 8 mm, Schutzgas 82% Ar + 18% CO<sub>2</sub>, Drahtelektrode G3Si1 mit 1,2 mm Durchmesser, Schweißgeschwindigkeit 18 cm/min)



▲ Bild 11. Automatisierte Steignachtschweißung mit der neuen Verfahrensvariante (Kenngrößen siehe Bild 10) – Detailaufnahmen verschiedener Zeitpunkte des Verfahrens, von links nach rechts: (1) Ende des niedrigerenergetischen Intervalls, (2) gepulste Führungstropfenablösung und (3) sekundärer Werkstoffübergang bei „SpeedPulse“ [3], (4) langer, breiter Lichtbogen zur Flankenerfassung, (5) Abschluss des hochenergetischen Intervalls (letzter Tropfen) und Beginn des niedrigerenergetischen Intervalls

rung einsetzbar ist (Bild 10). Durch Verwendung des modifizierten Impulsverfahrens „SpeedPulse“ [4] in einem Teil des Hochenergieintervalls konnte der wellenförmige Einbrand insbesondere bei Baustahl und Chrom-Nickel-Stahl sicher und gleichmäßig gestaltet werden (Bild 11). Eine weitere Darstellung des Einbrandverlaufs gemeinsam mit der elektrischen Lichtbogenleistung und dem Drahtvorschub als maßgebliche energetische Größen zeigt Bild 12. Die sichere Kantenerfassung des T-Stoßes ist deutlich erkennbar. Die allgemeine Automatisierbarkeit der neuen Variante ist grundsätzlich gegeben, sodass auch beim vollmechanisierten Schweißen mit und ohne Roboter Steignähte ohne Pendelbewegung möglich sind. Je nach Anwendung und Werkstück kann daher fallweise auf aufwendige Systeme zur Positionierung komplett verzichtet werden.

Das konventionelle Steignachtschweißen mit komplizierter und schlecht zu mechanisierender Brennerführung kann durch die neue Verfahrensvariante bei einer Vielzahl industrieller Anwendungen vorteilhaft abgelöst werden. Als Ergebnis intensiver Untersuchungen am Lichtbogen und der Entwicklung leistungsfähiger Steuerungs- und Regelungsstrukturen sowie von komplexer echtzeitfähiger Software ließ sich das Verfahren in die Regelungstechnik volldigital gesteuerter Schweißstromquellen integrieren und ist für Geräte der „P“- , „S“- und „S-SpeedPulse“-Serien von Lorch erhältlich (Bild 13).



▲ Bild 12. Bruchkante einer automatisierten Steignachtschweißung mit der neuen Verfahrensvariante (Kenngrößen siehe Bild 10)



Dr.-Ing. Birger Jaeschke, stellvertretender Bereichsleiter Forschung und Entwicklung, zuständig insbesondere für Lichtbogenphysik und Verfahrenstechnik, birger.jaeschke@lorch.biz,



Andreas Rimböck, Leiter Produktmanagement, andreas.rimboeck@lorch.biz, beide Lorch Schweisstechnik GmbH, Auenwald,



Klaus Vollrath, freiberuflicher Fachjournalist, Aarwangen/Schweiz, kvollrath@bluewin.ch.

► Bild 13. Die neue Verfahrensvariante ist für die MSG-Schweißstromquellen der „S“- und „P“-Serien für eine Vielzahl von Kombinationen von Grund- und Zusatzwerkstoff sowie Gas erhältlich. (Bilder: Lorch)



**Literatur**

[1] Welz, W.; u. a.: Intervallschweißen – eine Verfahrensvariante zum MAG-Steignachtschweißen. DVS-Berichte Band 131, S. 21 ff. DVS Media, Düsseldorf 1990.  
 [2] Habenicht, G.; u. a.: Metall-Aktivgasschweißen von Steignähten in Intervalltechnik mit Impulslichtbogen. Schweißen und Schneiden 46 (1994), Heft 2, S. 61 ff. DVS Media, Düsseldorf 1994.

[3] Jaeschke, B.: Der wirtschaftliche MSG-Lichtbogenschweißprozess durch moderne Schweißgerätetechnologien. DVS-Berichte Band 267, DVS Congress 2010, S. 328 ff. DVS Media, Düsseldorf 2010.  
 [4] Jaeschke, B.; u. a.: SpeedPulse – eine produktivitäts- und effizienzsteigernde Weiterentwicklung des MSG-Impulsschweißens. Schweißen und Schneiden 61 (2009), Heft 9, S. 548 ff. DVS Media, Düsseldorf 2009.