

INNOVATIVE MSG-SCHWEISSVERFAHRENSVARIANTE HILFT BEI DER BEWÄLTIGUNG SCHWIERIGER AUFGABEN, TEIL 1



# Steignähte leicht und sicher schweißen

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

Für den Schweißer ist die Schwerkraft Segen und Fluch zugleich. In Wannens- und Horizontalpositionen hält sie das Schweißbad meist da, wo es erstarren soll, doch bei Steignähten muss er sich etwas einfallen lassen, um es am Abfließen zu hindern. Das einwandfreie Schweißen solcher Nähte ist schwierig. Mit „SpeedUp“ steht für Schweißstromquellen der „S“- und „P“-Serien von Lorch jetzt eine MSG-Verfahrensvariante zur Verfügung, die den Schweißer in Zwangspositionen – insbesondere bei Steignähten – optimal unterstützt.

Beim Metall-Schutzgasschweißen (MSG-Schweißen) stellen vertikale Nähte den Schweißer vor besondere Herausforderungen, weil das Schweißbad die Neigung hat, nach unten abzufließen. Bei Kehlnähten kann er gegebenenfalls versuchen, diese mit relativ hoher Geschwindigkeit von oben nach unten (Position PG) zu legen, wobei das flüssige Schmelzgut von oben in den Lichtbogenbereich hin-

neindrängt. Das ist jedoch häufig nicht zulässig und empfiehlt sich zudem nur bei geringen Wand- und Nahtdicken.

In der Regel entscheidet man sich daher meist für das steigende Schweißen (Position PF). Insbesondere bei größeren Blechdicken (über 5 mm) versucht man dabei, das Schmelzbad durch bereits erstarrtes Schweißgut abzustützen. Dies erfordert häufig eine besondere

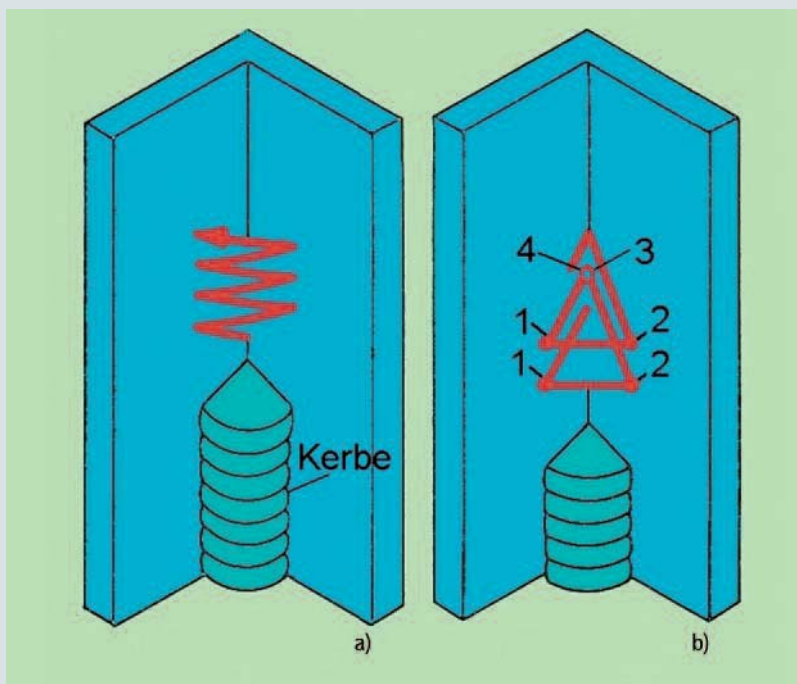
Brennerführung, das sogenannte Dreieckspendeln, um das nötige Gleichgewicht zwischen der Einbringung von schmelzflüssigem Schweißgut und Wärmeenergie einerseits und der Schmelzbadabstützung durch erstarrtes Schweißgut und dem Schweißfortschritt andererseits zu halten (Bild 1). Durch diese in der Praxis auch als „Tannenbaumschweißen“ bekannte Brennerführung erhöht sich jedoch das Risiko von Schweißnahtfehlern.

Eine andere Variante, die jedoch nur bei geeigneten Stahlwerkstoffen anwendbar ist, besteht in der Schmelzbadabsicherung durch schnell erstarrende Schlacke. Die hierfür überwiegend verwendeten rutilhaltigen Fülldrahtelektroden haben jedoch gegenüber Voll-drahtelektroden unerwünschte Nebeneffekte wie deutlich stärkere Rauchemissionen und höhere Drahtkosten. Zudem erfordert dies das Arbeiten im Sprühlichtbogenbereich, was bei dünneren Blechen kaum möglich ist. Generell gilt, dass Steignähte umso schwieriger zu schweißen sind, je dünner die zu verbindenden Teile sind.

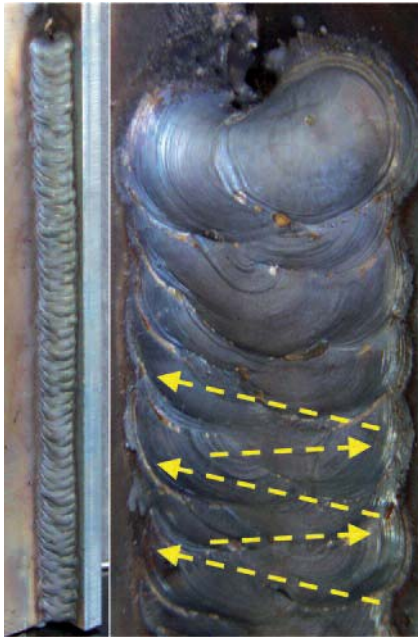
Aus den genannten Gründen ist auch die teilweise oder vollständige Mechanisierung von Schweißaufgaben, die Steignähte erfordern, bisher insgesamt sehr problematisch, weshalb dort in der Regel auf aufwändige Systeme zur Werkstückpositionierung zurückgegriffen wird.

## Stand der Technik: Dreieckspendeln

Üblicherweise wird beim Steignachtschweißen so vorgegangen, dass man versucht, das Schweißbad durch bereits erstarrte Nahtbereiche nach unten zu stützen. Dazu vollführt man eine spezielle Pendelbewegung und wandert dabei mit fortschreitender Erstarrung immer weiter nach oben. Diese Dreieckstechnik ist nichts für Ungeübte. Im Extremfall wird versucht, das Gleichgewicht zwischen Einbringung und Erstarrung von schmelzflüssigem Werkstoff durch Pendeln schlicht so zu steuern, dass die resultierende Stützung des Schmelzbad die Naht oberflächlich schließt. Diese einwandfrei wirkende Oberfläche kann jedoch Fehler wie eine unzureichende Erfassung der Wurzel des T-Stoßes völlig verdecken (Bilder 2a und 2b). Besonders unangenehm

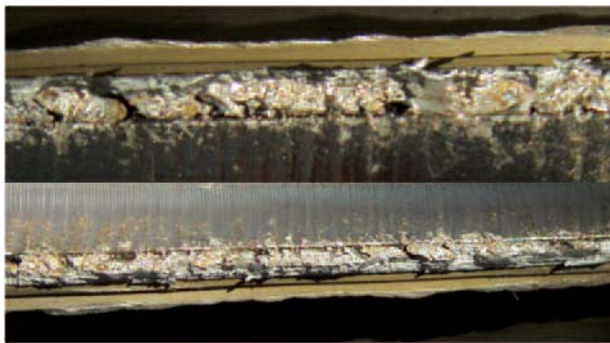


▲ Bild 1. Empfehlungen zur Brennerführung beim Steignachtschweißen: a) ungünstig, b) richtig



◀ Bild 2a. Einfach gependeltes Steignachtschweißen: einwandfrei wirkende Nahtoberfläche mit angedeuteter Brennerbewegung (Stahl S235JR, Blechdicke = 8 mm, Schutzgas 82% Ar + 18% CO<sub>2</sub> (M21), Drahtelektrode G3Si1 mit 1 mm Durchmesser); ...

▼ Bild 2b. ...die katastrophale Qualität zeigt sich nach Einfräsung und Bruch

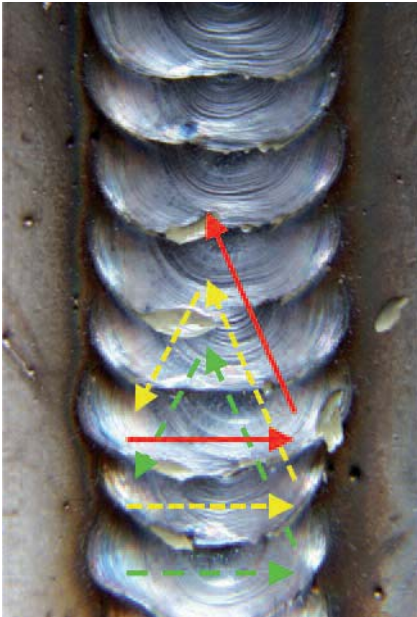


Ist bei solchen Fehlern, dass sich Kehlnähte nicht so einfach röntgen oder mit Ultraschall untersuchen lassen, was die Möglichkeiten einer Qualitätssicherung erheblich einschränkt.

Doch selbst bei sorgsamer Brennerführung gemäß der üblichen Schweißausbildung bleibt die Gefahr von Fehlern noch groß. Selbst sorgfältig ausgeführte Nähte können Bindefehler im Einbrandprofil und einen stark wellenförmigen Einbrandverlauf aufweisen. Zudem ist die erreichbare Schweißgeschwindigkeit relativ gering, da der abgeschmolzene Zusatzwerkstoff durch die raumgreifende Brennerbewegung auf einen verhältnismäßig großen Nahtquerschnitt verteilt wird.

Im Vergleich mit einer horizontalen Kehlnaht entsteht durch die relativ langsame Dreiecksbewegung bereits in der ersten Lage ein großer Nahtquerschnitt. Wird die Naht hierdurch dicker als erforderlich – üblicher Richtwert ist das 0,7-fache der Mindestwanddicke –, so geht dies zudem ins Geld, da der zusätzlich aufgebrachte Zusatzwerkstoff in der Regel keinen weiteren positiven Einfluss auf die Festigkeit der Schweißverbindung hat. Weiterhin ist zu prüfen, wie es mit der Wärmeeinbringung oder Streckenenergie aussieht und ob ein größerer Verzug des Werkstücks zusätzlich Probleme verursachen könnte.

Wichtigste Voraussetzungen für das Steignachtschweißen sind eine entsprechende Qualifizierung des Schweißers sowie regelmä-

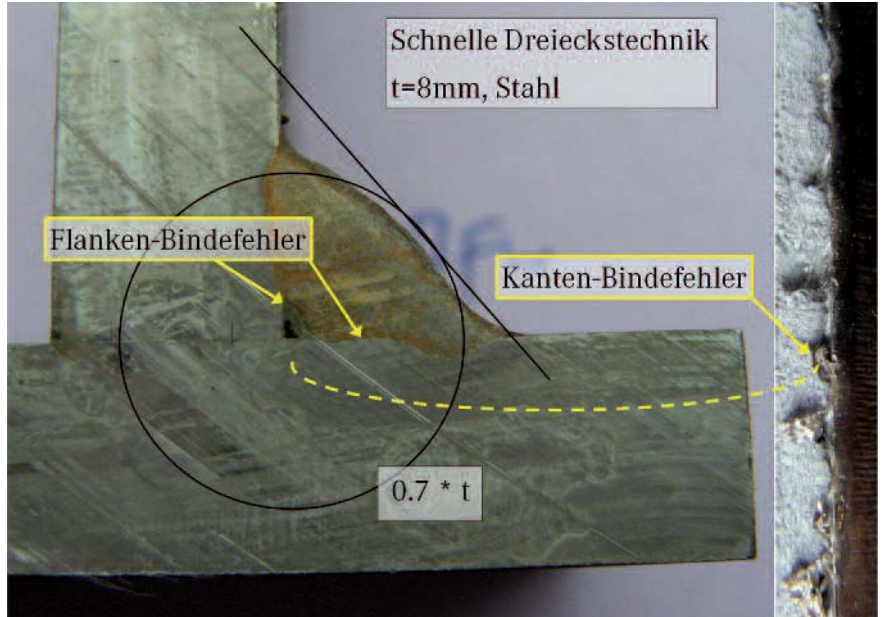


▲ Bild 3. Zu hastig geschweißte Steignaht (Dreieckstechnik) (Stahl S235JR, Blechdicke 8 mm, Schutzgas 82% Ar + 18% CO<sub>2</sub> (M21), Drahtelektrode G3Si1 mit 1 mm Durchmesser) ...

ßige Übung. Unerfahrene Mitarbeiter machen gerade bei dieser Technik häufig Fehler (Bild 3 und 4).

**Eine Alternative: rutilhaltiger Fülldraht**

Als Alternative hierzu kann man sich auch für die Verwendung rutilhaltiger Fülldrahtelektroden entscheiden. Ihre schnell erstarrende Schlacke bildet eine Badstütze, sodass



▲ Bild 4. ...und die in dieser Naht im Schliiff erkennbaren Bindefehler

im Sprühlichtbogen einfach hochziehend geschweißt werden kann. Dank hoher Abschmelzleistung ist die Produktivität bei zugleich guter Nahtqualität (Bild 5) hoch, weshalb diese Art des Steignachtschweißens in speziellen Anwendungsbereichen – wie dem Großschiffsbau – auch eine ökonomisch vorteilhafte Option ist. Dennoch sind auch nachteilige Kostenfaktoren zu beachten. Fülldraht kostet selbst bei großen Abnahmemengen zwei- bis dreimal so viel wie Massivdraht, zudem sind je nach Zusatzwerkstoffwahl gege-

benenfalls auch höhere Schutzgasmengen erforderlich. Außerdem ist das Entfernen der Schlacke ein zusätzlicher Arbeitsgang und damit Kostenfaktor, was in entsprechenden Überlegungen berücksichtigt werden sollte.

Zu den wesentlichen Nachteilen des Verfahrens gehört auch eine intensive Rauchbildung, sodass die Arbeiten nur im Freien oder an gut belüfteten Arbeitsplätzen durchgeführt werden können. Zudem ist im Sprühlichtbogenbereich zu arbeiten, was die Untergrenze der Blechdicke bei Stahl auf etwa 6 mm begrenzt. Zwar lässt sich diese Grenze mit der Entwicklung dünnerer Fülldrähte sowie spezieller Fülldrahtrezepturen auf bis zu 4 mm nach unten verschieben, doch bleibt die Wirtschaftlichkeit gerade im Bereich dünnerer Bleche ein kritischer Faktor.

**„SpeedUp“ – ein neues Konzept**

Eine nähere Analyse der beim pendelnden Steignachtschweißen auftretenden technischen Anforderungen zeigt, dass eigentlich gegensätzliche Bedingungen zu erfüllen sind. Für die Erfassung der Wurzel bzw. Kante muss der Lichtbogen heiß, kurz und konzentriert sein, während bei der Erfassung der seitlichen Blechflanken die Energie verteilt auf die Flächen wirken muss. Und für die Stützung des Schweißbads durch bereits erstarrtes Schweißgut ist dort eine entsprechende Abkühlung erforderlich. Die Grundidee bei der Entwicklung von „SpeedUp“ war nun, den Prozess zeit-



1,2 mm Union RV 71 (Böhler), 8,6 m/min, 260 A/27 V, 82 % Ar + 18 % CO<sub>2</sub>, t = 8 mm S235JR

◀ Bild 5. Mit rutilhaltiger Fülldrahtelektrode geschweißte Steignaht



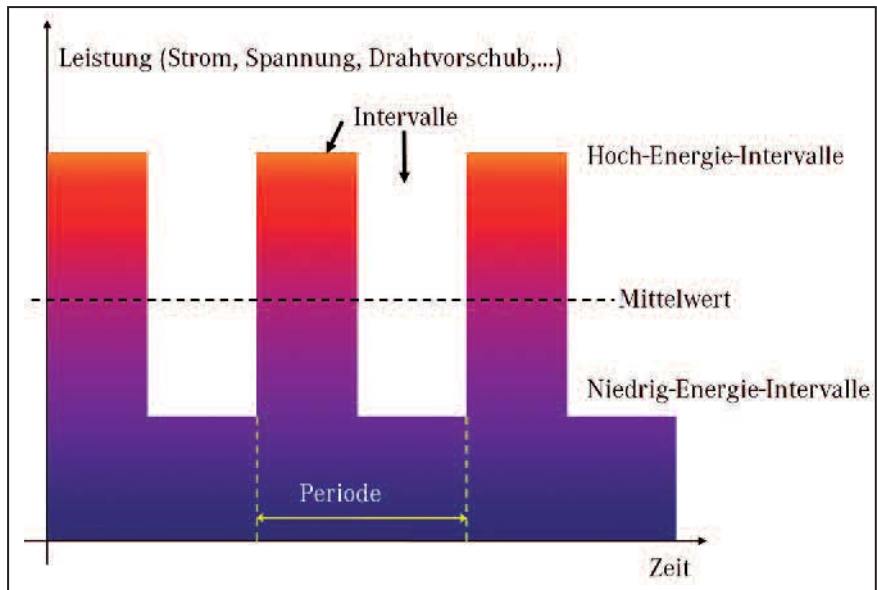
lich in geeignete Phasen aufzuteilen (Bild 6) und diese nacheinander von der Schweißstromquelle anzusteuern, während der Schweißer oder die mechanisierte Brennerführung nur eine einfache Aufwärtsbewegung auszuführen braucht.

Erste Ansätze zum Metall-Aktivgasschweißen (MAG-Schweißen) von Steignähten in Intervalltechnik und mit Impulslichtbogen wurden in [1] und [2] untersucht. Steuerungs- und Regeltechniken moderner Schweißstromquellen ermöglichen gezielte Verfahrensmodifikationen und das Festlegen verschiedener Intervalle mit diversen und unterschiedlich wirkenden Parametern [3]. Das Problem liegt eher in der praktischen Anwendbarkeit, denn die Komplexität der Aufgabe und die ständige Anpassung an wechselnde Arbeitsbedingungen überfordern den durchschnittlichen Werker bei weitem.

„SpeedUp“ wurde entwickelt, um genau diesen Brückenschlag in die Praxis auf einfache Weise zu vollziehen. Die Erstvorstellung erfolgte bereits im Jahr 2009 zur Messe „Schweißen und Schneiden“. Für den Schweißer ist hierbei besonders attraktiv, dass er nicht mehr die anspruchsvolle Dreiecksbewegung mit dem Brenner auszuführen braucht; sie wird durch eine einfache Aufwärtsbewegung ersetzt. Die Prozessführung der Schweißstromquelle steuert die Gesamtheit aller hierfür notwendigen Parameter, sodass 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. Bei der neuen Verfahrensvariante werden hoch- und niederenergetische Prozessintervalle im ausgewogenen zeitlichen Mix so abgewechselt, dass alle Aufgaben wie Aufschmelzen der Wurzel, Einbringen des Zusatzwerkstoffs, Binden der Flanken und Stützen des Schmelzbads durch Schweißbaderstarrung erreicht werden. Ein hochenergetisches Prozessintervall bewirkt den sicheren Einbrand und bringt Abschmelzleistung, während eine niedrigerenergetische Phase für das notwendige Abkühlen der Schmelze sorgt.

**Komplexe Technik, einfache Anwendung**

Was zunächst so einfach klingt und für den Anwender auch einfach ist, präsentiert

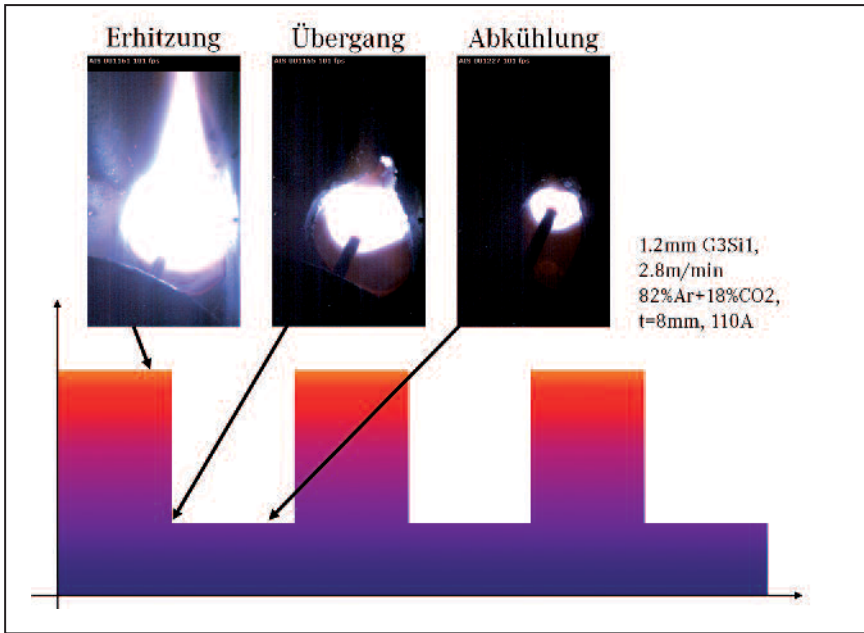


▲ Bild 6. Grundlegendes Prinzip der „SpeedUp“-Verfahrensvariante ist die energetische Intervalltechnik.

sich bei genauerem Hinsehen als komplexer Vorgang. Tatsächlich regelt die Stromquelle innerhalb der Teilintervalle sowohl gleichzeitig als auch sequenziell eine große Anzahl

von Parametern, um die gesetzten Ziele zu erreichen.

- Der Wechsel zwischen den unterschiedlichen energetischen Intervallen beinhaltet



▲ Bild 7. Unterschiedliche energetische Intervalle der neuen Verfahrensvariante; hier im Beispiel besteht das hochenergetische Intervall aus einem Impulslichtbogen und das niedrigenergetische Intervall aus einem Kurzlichtbogenprozess.

tet auch Wechsel der Drahtfördergeschwindigkeiten, die im Verhältnis zur Änderung der verschiedenen energetischen Intervalle von Strom und Spannung genau abgestimmt sein müssen.

- Während der energetischen Intervalle muss die Lichtbogenlänge gezielt verändert werden, um neben einer sicheren Wurzel erfassung auch eine sichere Flankenbindung ohne Kerben und eine möglichst flache Naht zu erhalten.
- Die Idee der energetischen Intervalltechnik beinhaltet die Nutzung gleichartiger

oder auch unterschiedlicher Übergangsarten des Werkstoffs im Lichtbogen (Bild 7), das heißt gleicher oder unterschiedlicher Lichtbogen Grundprozesse wie Kurzlichtbogen, Sprühlichtbogen, Impulslichtbogen, aber auch moderner, modifizierter Kurz („SpeedRoot“)-, Sprüh („SpeedArc“)- und Impuls („SpeedPulse“ [4])- Lichtbogenverfahren. Von diesen Möglichkeiten wird bei der neuen Verfahrensvariante in Abhängigkeit von der zu Grunde gelegten Kombination von Grundwerkstoff, Drahtelektrode und Gasgemisch Gebrauch ge-

macht, wodurch zahlreiche weitere Parameterkombinationen entstehen.

- Da der Werkstoff von der abschmelzenden Elektrode zu bestimmten Zeitpunkten durch Tropfen, Sprüh- oder Kurzschlussvorgänge in das Schmelzbad übergeht, erfordert der Wechsel von einem energetischen Intervall zum anderen die Berücksichtigung dieser Ereignisse.
- Zur Einschätzung der technologischen Gesamtwirkung des Verfahrens hinsichtlich Wärmeeinbringung (Streckenenergie) und wirksamer Drahtfördergeschwindigkeit (Abschmelzleistung) werden die Einstell- und Ist-Anzeigewerte von der Intervallsteuerung besonders sorgfältig behandelt und auf die Summe beider Intervalle als Mittelwert umgerechnet. Dies verbessert auch das Verständnis seitens des Anwenders.
- Die Festlegung dieser vielen Parameterwerte bei verschiedenen Kombinationen aus Grundwerkstoff, Drahtelektrode und Schutzgaszusammensetzung erfordert eine qualifizierte schweißtechnische Ermittlung. Hinzu kommt die Aufgabe, geeignete steuerungstechnische Hard- und Softwarestrukturen zu schaffen, denn mit der Aufgabe, diese vielen Parameter individuell einzustellen, wäre der durchschnittliche Anwender schlicht überfordert.

Die digitalen Steuerungen der Schweißstromquellen der „S“- und „P“-Serien der Lorch Schweisstechnik GmbH, Auenwald, weisen die

hierfür erforderlichen Strukturen auf und wurden im Rahmen der Entwicklung des „SpeedUp“-Verfahrens entsprechend angepasst. In der internen Schweißdatenbank der Steuerung sind alle benötigten Parameter von Experten optimiert für breite Anwendungsbereiche synergetisch gespeichert. Der Anwender muss an der Steuerung lediglich den Arbeitsmodus „SpeedUp“ sowie die gewünschte Werkstoffdicke vorgeben, und schon ist die Maschine auf die Schweißaufgabe „Kehlnaht steigend“ eingestellt.

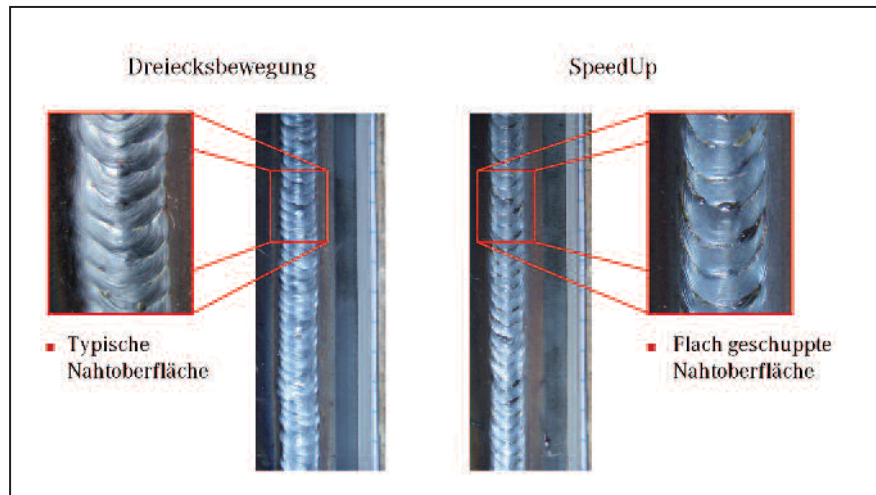
### Brennerführung und Nahtqualität im Vergleich

Optische Untersuchungen der Brennerführungen der beiden Massivdrahtverfahren mit Hilfe von Videoaufnahmen (Hochgeschwindigkeitskamera mit 12000 Bildern/s) ergaben, dass die vom Brenner zurückgelegte Strecke pro Längeneinheit der Naht beim Dreiecksschweißen aufgrund der Pendelbewegung zwölf Mal so lang ist wie bei der „SpeedUp“-Verfahrensvariante. Das heißt, um

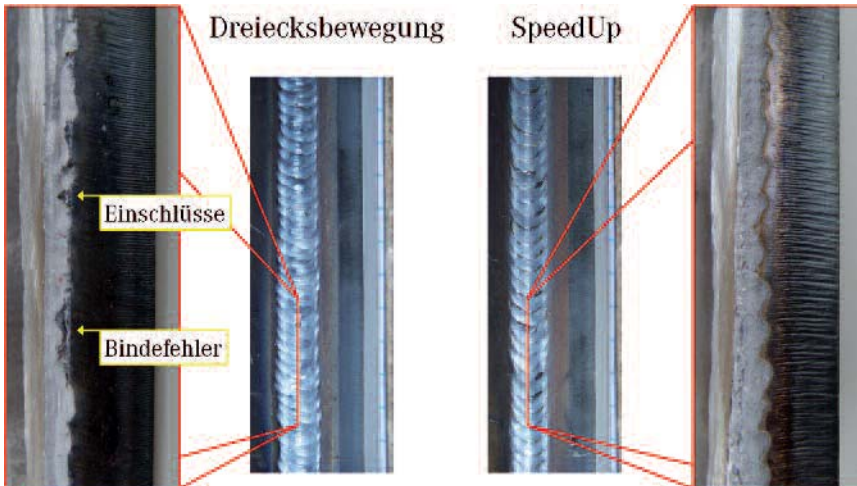
1 cm Steignahtlänge aufzubauen, muss der Schweißer in den wechselnden Richtungen der Dreiecksbewegung den Lichtbogen etwa 12 cm möglichst fehlerfrei führen. Es ist unmittelbar einleuchtend, dass dies eine erhöhte Fehlerhäufigkeit sowie eine höhere Beanspruchung von Mitarbeiter und Material be-

dingt, als wenn man nur einfach 1 cm Naht aufwärts zu führen hat.

Die Untersuchung der bei diesen Versuchen geschweißten Proben ergab, dass die Nähte beider Verfahren äußerlich gut aussahen und auch keine Kerben aufwiesen (**Bild 8**). Erwartungsgemäß war die mit der neuen



▲ Bild 8. Äußeres Nahtaussehen der beiden Proben im Vergleich (Stahl S235JR, Blechdicke 8 mm, Schutzgas 82% Ar + 18% CO<sub>2</sub> (M21), Drahtelektrode G3Si1 mit 1 mm Durchmesser) ...



▲ Bild 9. ... und Vergleich der Bruchbilder der beiden Proben (Bilder: [5] (1), Lorch)

Verfahrensvariante hergestellte Naht aber flacher und etwas schmaler.

Zum wahren „Aha-Erlebnis“ geriet dann die Auswertung von Bruchbildern der Schweißnähte. Obwohl die Dreiecksnaht von einem hoch qualifizierten Schweißer mit besonderer Sorgfalt gelegt worden war, zeigten sich darin Bindefehler und Einschlüsse (**Bild 9**). Die mit „SpeedUp“ gelegte Naht war dagegen fehlerfrei. Ähnliche Ergebnisse erbrachten auch weitere Untersuchungen an nichtrostendem Chrom-Nickel-Stahl und Aluminium.

Praxisberichten von Anwendern zufolge hat die neue Verfahrensvariante nicht nur Vorteile beim Steignachtschweißen, sondern be-

währt sich auch in anderen Zwangspositionen wie dem Überkopfschweißen (Positionen PD und PE) als zuverlässiges und einfach einzusetzendes Verfahren.

Der 2. Teil des Fachartikels beschäftigt sich mit der Anwendbarkeit der neuen Verfahrensvariante zum Steignachtschweißen an den verschiedenen Grundwerkstoffen Baustahl, Chrom-Nickel-Stahl und Aluminium. Darüber hinaus werden die Vorteile des neuen Verfahrens hinsichtlich Energieeintrag und Schweißgeschwindigkeit erörtert. ■

Dr.-Ing. Birger Jaeschke, stellvertretender Bereichsleiter Forschung und Entwicklung, zustän-

dig insbesondere für Lichtbogenphysik und Verfahrenstechnik, birger.jaeschke@lorch.biz, Andreas Rimböck, Leiter Produktmanagement, andreas.rimböck@lorch.biz, beide Lorch Schweißtechnik GmbH, Auenwald, Klaus Vollrath, freiberuflicher Fachjournalist, Aarwangen/Schweiz, kvollrath@bluewin.ch.

#### 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.
- [5] Der Schweißer – Informationen für den Praktiker, 6/2009, DVS Media, Düsseldorf 2009.