

# Ein Schlagwort und vier Alternativen

Das Fügen zählt generell zu den Wachstumsbranchen. Höchste Zuwachsraten erwarten die Branchenkenner beim Laserschweißen. Doch auch die Lichtbogen-MSG(Metallschutzgas)-Schweißverfahren haben bei Herstellern und Forschungsinstituten noch Wachstumspotenziale. Einig sind sich die Hersteller bei der Bedeutung von Hybridverfahren. Laser-Hybridverschweißen bezeichnen 65 Prozent als zukünftig dominante Verfahrenskombination, wobei vor allem dem Laser-MIG-Prozess das grösste Potenzial eingeräumt wird. Text und Bilder: Fronius

## Was bringen die Verfahren dem Anwender?

Kürzere Taktzeiten und höhere Produktivität sind zentrale Forderungen an die Produktion im industriell globalen Wettbewerb. Dem entsprechen in der Praxis zwei Trends: 1. höhere Produktionsleistungen, 2. zunehmende Grossserienproduktion. In der Schweißtechnologie lösen Hochleistungsverfahren zunehmend diese Aufgaben. Einerseits steigen die Fügegeschwindigkeiten, andererseits die Abschmelzleistungen. Das gilt primär bei hohen Stückzahlen, z. B. in der Automobil- und Zulieferindustrie, aber auch im Stahlbau beim Fügen grossvolumiger Bauteile mit grossen Verbindungsquerschnitten. Je nach Rahmenbedingungen der Anwendung und des Anwenders stehen inzwischen unterschiedliche Lösungen zur Verfügung.

## Stand der Technik: Hohes Niveau erreicht

Ein teilweise «turbulenter» Entwicklungsprozess mit deutlichen Innovationsschüben kennzeichnet sowohl die vergangenen Jahre der schweisstechnologischen Entwicklung generell als auch die des Hochleistungsschweißens. Die drei Hauptforderungen des Anwenders lauten heute: Stromquellen hoher Leistung, einfache Bedienung und höchste Verfügbarkeit der Schweißsysteme. Im Bereich des Lichtbogenschweißens bietet Fronius z.B. das Tandem-Verfahren und zwei Varianten von Eindraht-Verfahren mit grossen Drahtquerschnitten an. Das Spektrum rundet das LaserHybrid-Verfahren (Kombination von Laser- und MSG-Schweißen) als viertes und eigenständiges Verfahren ab.



Gefordert sind kürzere Taktzeiten und höhere Produktivität.



Bild 1: Von vier Stunden auf nur noch 20 Minuten pro Stoss reduziert das System TimeTwin Digital die Schweißzeit im Gaspipelinebau.

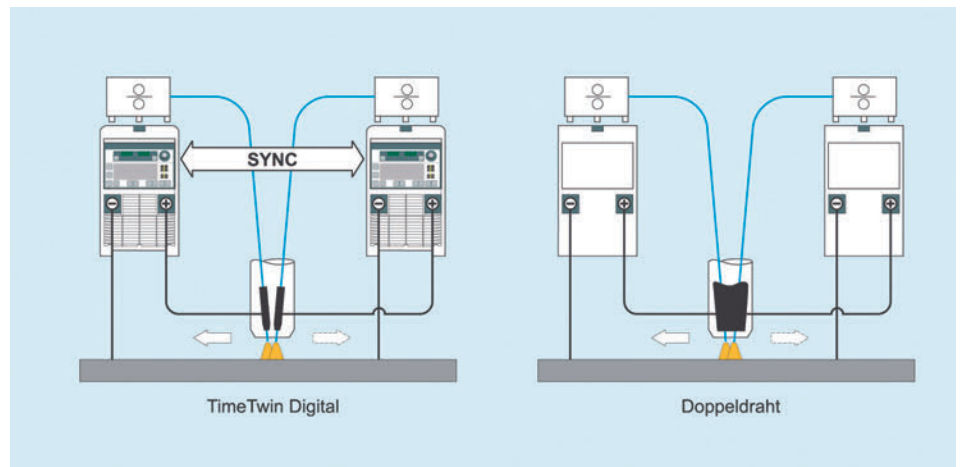


Bild 4: Das Doppeldraht- und das TimeTwin-Digital-Verfahren unterscheiden sich deutlich.

## Voll digitalisierte Stromquellen: Flexibel und schnelle Prozessregelung

Die vier Verfahren zeichnen eine Gemeinsamkeit aus: die Digitalisierung von Hard- und Software. Ohne die digital gesteuerten Schweißströme, die digitale Prozessregelung und das digitalisierte Schweiß-Know-how wären die heutigen Leistungen der Geräte, die Ergebnisse der Prozesse und die Qualität der Verbindungen nicht denkbar.

## Daten und Werte sagen viel

Zum Definieren der Leistung sind eindeutige Daten erwünscht. Vor allem der Anwender sucht solche Daten als Entscheidungshilfe. Im Vordergrund stehen hier die Abschmelzleistung und/oder die Schweißgeschwindigkeit. Die konkreten Schweißparameter hängen aber von zahlreichen Randbedingungen ab. Die Grafik (Bild 2) zeigt daher nur die prinzipiellen Zusammenhänge und Tendenzen von Schweißgeschwindigkeit und Abschmelzleistung.

## Schweißen mit grossen Drahtquerschnitten

Das Erhöhen der Abschmelzleistung ist prinzipiell über grössere Drahtfördergeschwindigkeiten möglich. Eine Grenze setzt der Schneideffekt. Er tritt besonders bei Aluminium auf; als

Grenzwerte gelten für Draht mit  $\varnothing 1,2$  mm ca. 18 m/min und für  $\varnothing 1,6$  mm etwa 11 m/min. Weitere Leistungssteigerungen sind deshalb mit grösseren Drahtdurchmessern bzw. -querschnitten erreichbar. Diese realisieren das Runddrahtschweißen mit Drähten zwischen  $\varnothing 2,0$  mm und  $\varnothing 3,2$  mm und das Flachdrahtschweißen mit z. B.  $4,0 \times 0,5$  mm Querschnitt. Gemeinsam ist beiden Verfahren der geringe Einbrand und die verbesserte Spaltüberbrückbarkeit.

## Flacher Draht bringt viele Vorteile

Ein flacher Draht lässt sich bei gleichem Querschnitt unter bestimmten Umständen besser fördern als ein runder. Dies gilt, wenn die Auslenkungen über die breite Seite erfolgen. Im Vergleich dazu sind runde Stahldrähte relativ steif; besonders gilt dies für hochlegierte Stähle. Aluminiumdrähte gleichen Durchmessers haben dagegen eine geringere Stabilität, neigen zum Ausknicken und lassen sich deshalb schlecht fördern. Der Handel liefert z. B. Flachdrähte in Stahl mit Querschnitt  $4,5 \times 0,5$  mm und in Aluminium mit  $4,0 \times 0,6$  mm. Sie sind in allen üblichen Werkstoffarten und -qualitäten lieferbar.

Beim Flachdraht ist das Verhältnis von schmaler zu breiter Seite wichtig; es bestimmt die Steifigkeit und damit die Förderbarkeit. Ausserdem entstehen unterschiedliche Schweißergebnisse, je nachdem, ob der Flachdraht längs oder quer zur Schweißrichtung geführt wird. Beim Flachdraht ergibt das einen wesentlichen verfahrenstechnischen Vorteil gegenüber dem Runddraht. Dem breiteren Lichtbogen entsprechen ein niedrigerer Lichtbogendruck und daraus resultierend ein geringerer Einbrand. Als maximale Abschmelzleistungen gelten bei Stahl 11 kg/h und bei Aluminium 4 kg/h. Für höhere Leistungen ist das Runddrahtschweißen prädestiniert.

## Der runde Draht bietet höhere Leistung

Diese Aussage bezieht sich primär auf die Abschmelzleistung. So hat Fronius in seinem Technologie Center in Anwendungsreihen für Kunden aus der Schwermaschinen- und Baumaschinenindustrie Abschmelzleistungen bei Stahl von 25 kg/h realisiert. Beim Schweißen von Aluminium erzielte das Unternehmen bis zu 5 kg/h. Lieferbar sind Runddrähte bis  $\varnothing 3,2$  mm. Der Markt für solche dicken Runddrähte ent->

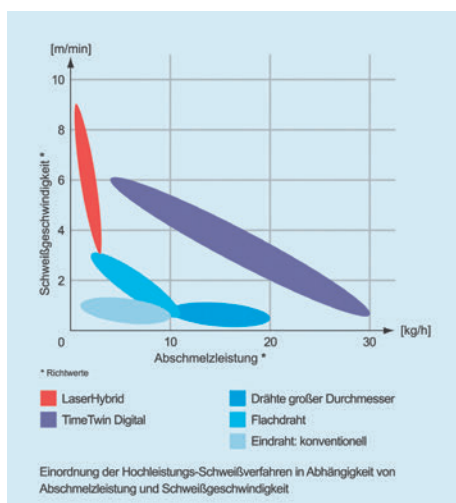


Bild 2: Hochleistungs-Schweißverfahren mit Bezug zu Abschmelzleistung und Schweißgeschwindigkeit.

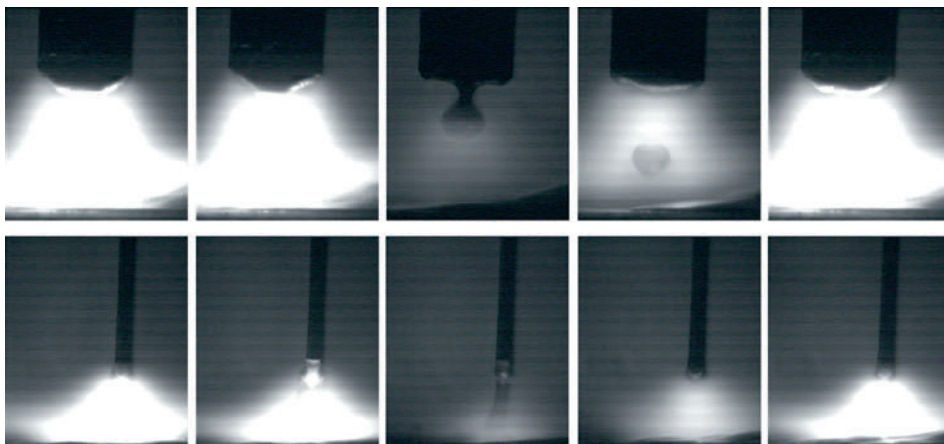


Bild 3: Den Werkstoffübergang des AlSi5-Flachdrahts im Impulslichtbogen (Drahtfördergeschwindigkeit 5 m/min) zeigt die Hochgeschwindigkeits-Videokamera in der Längs- und Queransicht.



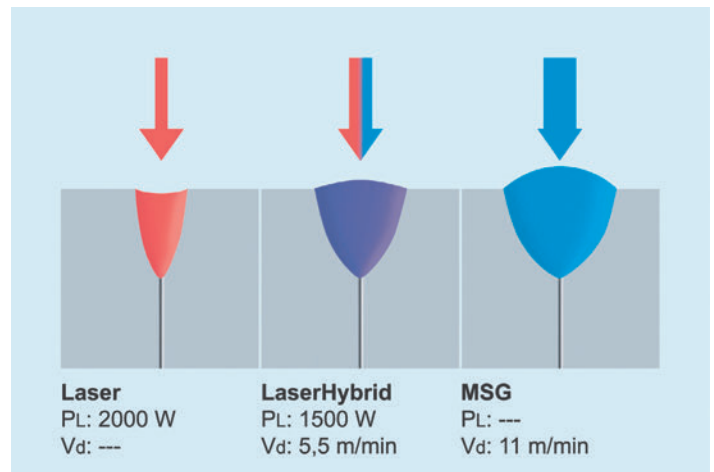
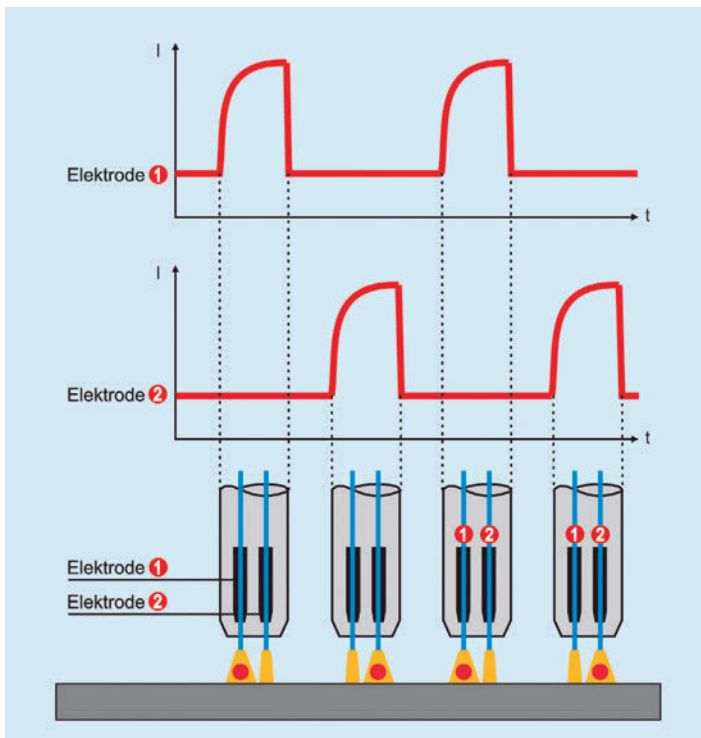


Bild 6: Die halbe Drahtfördergeschwindigkeit reicht beim LaserHybrid aus, um den gewünschten Nahtabschluss zu erzielen.

< Bild 5: Die um 180° phasenverschobenen Impulslichtbögen erreichen einen optimalen Werkstoffübergang.

> wickelt sich zur Zeit stark. Bevorzugte Anwendungen ergeben sich bei grösseren Nahtquerschnitten, für die konventionell zwei oder mehr Lagen erforderlich sind. Zusätzliche metallurgisch und verfahrenstechnisch interessante Aspekte bieten Fülldrähte. In ihre Pulverfüllung lassen sich Legierungselemente einbringen, die der reine Metalldraht nicht enthält. Dies kann die metallurgischen Eigenschaften der Naht im gewünschten Sinne beeinflussen. Verfahrenstechnisch können die Pulverbestandteile die Lichtbogenstabilität und damit ebenfalls die Nahtqualität erhöhen.

**Tandem: Zwei Drähte leisten «mehr» als einer**  
Das gleichzeitige Schweißen mit zwei Drähten in einem Schmelzbad hat verschiedene Ansätze und Lösungen. Sowohl konstruktiv als auch verfahrenstechnisch sind das «Doppeldraht»- und das «Tandemschweißen» zu unterscheiden.

Das «Doppeldrahtschweißen» ist dadurch gekennzeichnet, dass ein gemeinsames Kontaktrohr beide Drahtelektroden führt und sie ständig gleiches elektrisches Potenzial haben. Beim «Tandemschweißen» nimmt jeweils ein separates Kontaktrohr jede Elektrode auf. Die beiden Kontaktrohre sind elektrisch voneinander isoliert. So können die beiden Elektroden unterschiedliche elektrische Potenziale haben.

**Die individuelle Lösung mit TimeTwin Digital**  
TimeTwin Digital ist ein spezielles von Fronius entwickeltes Schweißsystem für das Tandemverfahren. Sowohl die Leistung der Lichtbögen beider Elektroden wie auch weitere Parameter lassen sich hier individuell regeln. Dazu gehören als wichtigste die Lichtbogenlänge und -art. Über die Lichtbogenlänge erzeugt die Regelung einen stabilen Lichtbogen, der für eine perfekte Tropfenablösung und damit Spritzerarmut sorgt. Als Lichtbogenart sind sowohl der Standard- als

auch der Impulslichtbogen wählbar. Wechselseitig kombiniert ergibt das vier Varianten, von denen in der Praxis drei besonders interessant sind.

- Die häufigste Anwendung bietet der Impulslichtbogen für beide Elektroden. Dabei sind die Werkstoffübergänge meist um 180 Grad phasenverschoben; d.h. während an einer Elektrode der Grundstrom anliegt, befindet sich die zweite in der Impulsstromphase und umgekehrt (Bild 5).
- Liegt der Fokus auf maximaler Schweissgeschwindigkeit und Spaltüberbrückbarkeit, schweisst die führende Elektrode mit dem Impuls- und die folgende mit dem Standardlichtbogen.
- Für tiefen Einbrand empfehlen sich der Standardlichtbogen für die führende und der Impulslichtbogen für die folgende Elektrode.

Die Kombination von Tandemverfahren und voller Digitalisierung ergibt bei TimeTwin Digital für den Anwender einen weiteren Nutzen. Jede der Elektroden kann wahlweise die Funktion «Leading» oder «Trailing» übernehmen. Bei Mehrlagenschweißen entfällt damit die sonst erforderliche Umlagerung am Nahtende. Dies reduziert die Taktzeiten deutlich und verbessert die Zugänglichkeit.

Die maximalen Schweissgeschwindigkeiten liegen bei TimeTwin Digital gegenüber MSG-Eindrahtverfahren um das Zwei- bis Dreifache und gegenüber dem T.I.M.E.-Verfahren noch um das Zweifache höher. Werte bis zu 7 m/min gelten bei Stahl als realistisch. Dabei kann die Abschmelzleistung bis zu 30 kg/h betragen.

**Nachteile eliminieren + Vorteile addieren = LaserHybrid**

Statt Konkurrenz kann Kooperation einen Königsweg aufzeigen. Sowohl das Laser- als auch das MSG-Schweißen haben ihre Vor- und

Nachteile. Das Laser-Schweißen kennzeichnen ein kleiner Fokusdurchmesser und eine sehr schmale wärmebeeinflusste Zone mit einem grossen Verhältnis von Einschweisstiefe zu Nahtbreite. Hohen erreichbaren Schweissgeschwindigkeiten steht eine geringe Spaltüberbrückbarkeit gegenüber. Die Energiedichte des Lichtbogen-Verfahrens ist dagegen wesentlich geringer, das Schmelzbad auf dem Material deutlich grösser und die Spaltüberbrückbarkeit erheblich besser. Das Besondere in der Synergie beider Verfahren ist, dass jeweilige Nachteile weitgehend verschwinden und sich die Vorteile ergänzen bzw. addieren.

**Einen wichtigen Aspekt zeigt die Nahtgeometrie**  
Bei gleicher Einbrandtiefe und Schweissgeschwindigkeit weist die Lichtbogennaht beim MSG-Schweißen eine starke Überhöhung und eine grössere Breite gegenüber dem konkaven Abschluss der Lasernaht auf (Bild 6). Um mit dem LaserHybrid-Verfahren den gleichen Einbrand zu erzielen, reicht die halbe Drahtfördergeschwindigkeit aus. Als Nahtabschluss zeigt sich dabei eine gewünschte leicht konvexe Wölbung.

Der LaserHybrid-Schweißkopf hat sich inzwischen im mehrjährigen Industrieinsatz bewährt. Beim Schweißen von Aluminium-Baugruppen betragen die maximalen Geschwindigkeiten 9 m/min; bei Stahl 4 m/min. ■

[www.fronius.com](http://www.fronius.com)

Informieren Sie sich im Fachregelwerk. Das Fachregelwerk Metallbauerhandwerk - Konstruktionstechnik enthält im Kap. 1.7.2.5 wichtige Informationen zum Thema «Schweißen».

Verhindern Sie Schadenfälle mit Hilfe des Fachregelwerks. Das Fachregelwerk ist unter [www.metallbaupraxis.ch](http://www.metallbaupraxis.ch) erhältlich.