

# Gase und Technik beim Formieren

Formieren, Wurzel- und Nahtschutz sichern perfekte Schweißnähte





## Durch Formieren profitieren

Wurzelschutz und Formieren haben sich in der Schweißtechnik bewährt. Sie ermöglichen eine Steigerung der Schweißnahtwurzel-Qualität und tragen zur Senkung der Folgekosten bei. Im Fokus stehen hierbei die Nacharbeit, Beizkosten, die damit verbundenen Transportkosten, die Belastung der Umwelt und der nicht unerhebliche Zeitaufwand. Hinzugekommen ist das zunehmende Interesse an Decklagen, die ebenfalls keiner Nacharbeit bedürfen, nicht geschliffen oder gebeizt werden müssen. Dies erreicht man durch eine nachgeführte Begasung der noch heißen Schweißnähte. Bei korrekter Schutzgasabdeckung des Schweißbades, Formierung der Wurzel und Schutzgasabdeckung der erkaltenden Schweißnaht lassen sich Schweißnähte und Wurzeln erzeugen, die keiner nennenswerten Nacharbeit mehr bedürfen.

### Formieren und Wurzelschutz

Als Wurzelschutz wird das Umspülen der Schweißnahtwurzel und der Wärmeinflusszone mit Schutzgasen bei gleichzeitiger Verdrängung der sauerstoffhaltigen Atmosphäre bezeichnet (DVS-Merkblatt 0937). Bezogen auf Rohrleitungen und Behälter spricht man vom Formieren. Angewendet wird dieses Verfahren bei der schweißtechnischen Verarbeitung von gasempfindlichen Werkstoffen wie z. B. bei hochlegierten Edelstählen, um die Korrosionsbeständigkeit der Werkstoffe zu gewährleisten.

Ohne Formieren oxidieren die Wurzel und die Wärmeinflusszone durch die sauerstoffhaltige Atmosphäre. Selbst bei der Verarbeitung von Rohren aus unlegierten Stählen werden gelegentlich Formiergase genutzt, um eine höhere Qualität der Wurzel zu erzielen.

Die Schweißung von gasempfindlichen Werkstoffen, wie beispielsweise Titan, Zirkon, Molybdän oder Magnesium, ist ohne Formieren sogar unmöglich.



Wurzel ohne Wurzelschutz



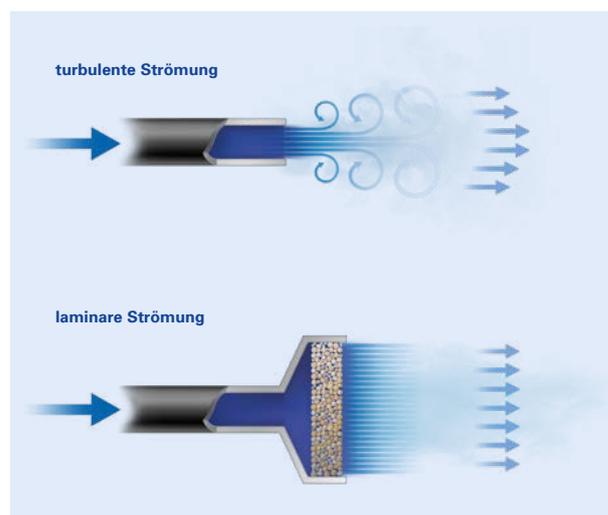
Wurzelschutz mit Innoxline H5

### Laminare Strömung statt Turbulenzen

Um qualitativ hochwertig und wirtschaftlich arbeiten zu können, müssen ein paar wichtige Grundregeln beachtet werden. Eine der wichtigsten betrifft die Zuführung des Schutzgases zum Schweißnahtbereich. Diese sollte niemals unkontrolliert stattfinden. Eine optimale Schutzgaszufuhr erfolgt laminar. Im Falle einer turbulenten Strömung kommt es durch die Verwirbelung zu einem Gemisch aus Formiergas und Atmosphäre.

Laminare Strömung wird mit Hilfe eines Diffusors erzeugt. Im Gegensatz zu einem Schlauch oder Rohr mit geringem Innendurchmesser wird der Austrittsquerschnitt stark vergrößert und somit die Strömungsgeschwindigkeit stark herabgesetzt. So kann eine große Menge Formiergas laminar dem zu formierenden Bereich zugeführt werden.

Zur Herstellung eines Diffusors werden meist Rohre, Bleche oder Formteile aus Sintermaterial verwendet. Kostengünstige Alternativen sind Stahlwolle und Lochbleche.



Laminare und turbulente Strömung

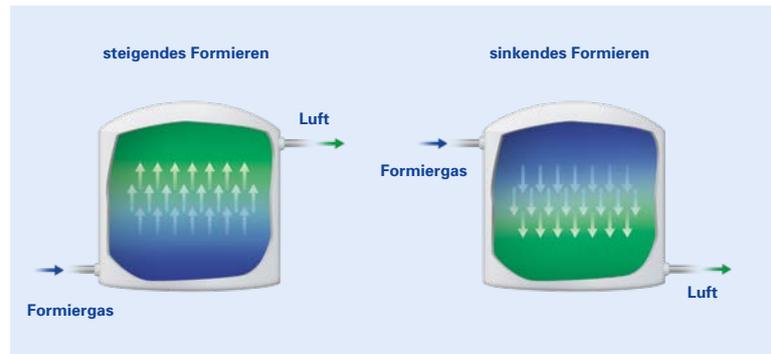
## Formieren von Behältern

Beim Formieren von Behältern spielen die physikalischen Eigenschaften der verwendeten Gase oder Gasmische eine entscheidende Rolle. Ausschlaggebend ist der Dichteunterschied zwischen Formiergasgemisch und Luft. Man unterscheidet

- sinkendes Formieren (mit Gasen leichter als Luft)
- steigendes Formieren (mit Gasen schwerer als Luft)

Beim Einsatz von Gasmischen mit einer höheren Dichte als Luft wird der Behälter von unten nach oben (steigend) befüllt. Im oberen Bereich des Behälters ist für eine Entlüftung zu sorgen, über die die verdrängte Atmosphäre abgeleitet werden kann. Der Behälter würde sonst unter Druck stehen und das Gas würde sich durch den Schweißspalt drücken. Bei Gasmischen mit einer niedrigeren Dichte als Luft wird der Behälter entsprechend von oben nach unten (sinkend) gefüllt. Die Skizze verdeutlicht den Vorgang.

Die Auswahl des Verfahrens kann durch die vor Ort vorhandenen Formiergase bestimmt sein oder bei großen Bauteilen, beispielsweise wegen der Lage des Schweißbereiches im Bauteil, gezielt eingesetzt werden.



## Formieren von Rohrleitungen

Beim Formieren von Rohrleitungen mit geringen Durchmessern werden diese oft komplett gefüllt. Hierzu verwendet man meist Stopfen aus Gummi mit einem sogenannten „Formierfinger“. Sollten jedoch die Durchmesser sehr groß sein, wäre dies mit einem sehr großen Gasverbrauch verbunden. Hier empfiehlt sich die Eingrenzung des zu formierenden Bereichs durch entsprechende Formiervorrichtungen.

Bei komplexen Rohrleitungssystemen können bei großem Dichteunterschied zwischen Formiergas und Luft Probleme durch Vermischung entstehen. Um diese Vermischung zu verhindern, können Gasgemische mit gleicher Dichte wie Luft eingesetzt werden. Hierbei handelt es sich um Argon/Stickstoff/Wasserstoff- oder Argon/Helium/Wasserstoff-Gemische mit variablem Wasserstoffgehalt.

Folgende Gasgemische haben die gleiche Dichte wie Luft:

- 75 % Argon, 23 % Helium und 2 % Wasserstoff, bei titanstabilisierten CrNi-Stählen für Anwendungen in der Lebensmittelindustrie oder Medizin
- 29 % Argon, 69 % Stickstoff und 2 % Wasserstoff

Diese Gasgemische besitzen eine reduzierende Wirkung, sind nicht brennbar und führen zu einer gleichmäßigen Befüllung von Rohren mit komplexer Verlegung. Das Formieren mit Gasen gleicher Dichte wie Luft kann auch bei komplexen Behältern mit mehreren Abgängen angewandt werden, bei denen keine bevorzugte Formierrichtung festgelegt werden kann.

Um sicher zu gehen, dass die Leitung ausreichend mit Formiergas gefüllt ist, muss entsprechend vorgespült werden. Geringe Mengen Restsauerstoff führen zu unerwünschten Anlauffarben. Sie sind das Resultat einer Oxidation des Werkstoffes, durch die die Korrosionsbeständigkeit und somit die Lebensdauer des Bauteils stark herabgesetzt werden kann. Die Berechnung der Vorspülzeit lässt sich unter Berücksichtigung des Rohrdurchmessers und der gewählten Gasfluss-Menge ermitteln.



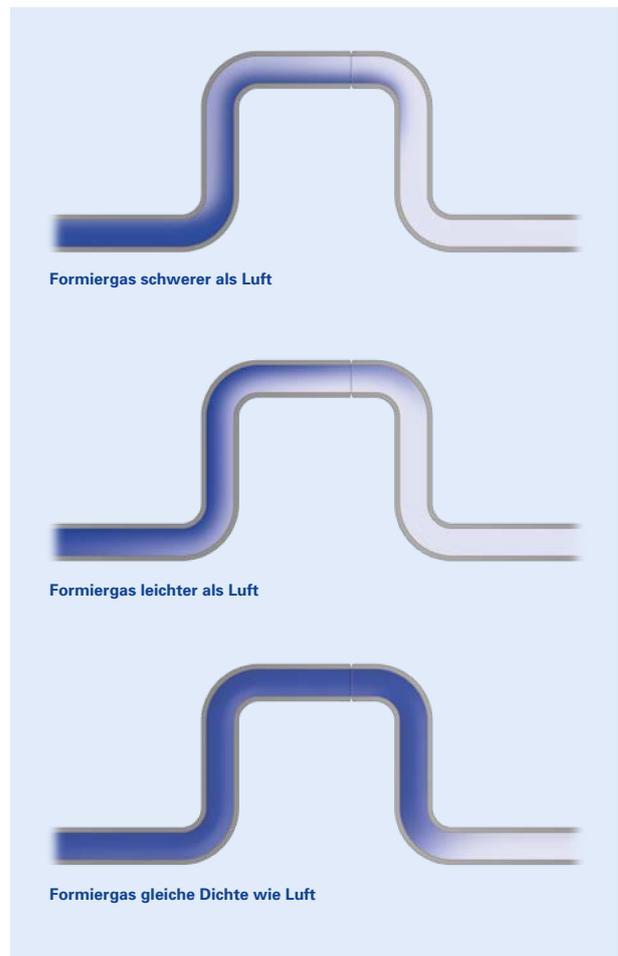
Sintermetall Formierfinger zum Formieren von Rohren



Formierfinger mit Stopfen zum Füllen von Rohren mit geringen Durchmessern



Eingrenzen des Formierbereiches durch einen Formierzylinder

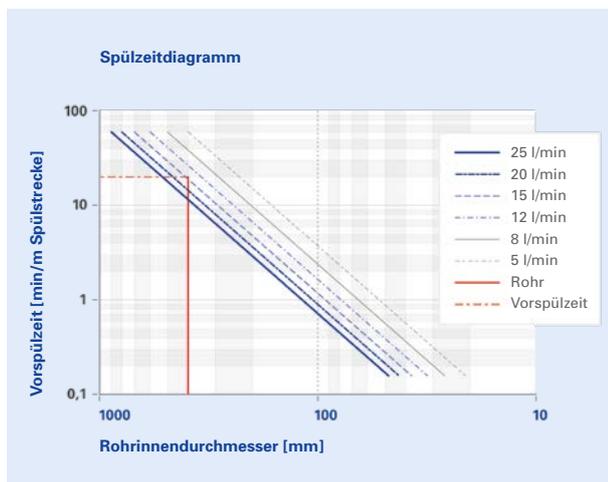




### Vorspülzeiten ermitteln

Die Vorspülzeiten für die unterschiedlichen Bauteile sind bei korrekter Vorgehensweise nur vom erforderlichen Restsauerstoffgehalt abhängig. Das heißt, je empfindlicher der Werkstoff, desto länger die Vorspülzeit. Bei Blechen und unregelmäßigen Behältern kann der Restsauerstoffgehalt gemessen oder die Spülzeit empirisch ermittelt werden.

Für das Formieren von Rohrleitungen gibt es eine grafische Darstellung als Anhaltspunkt (DVS-MB 0937) für die Ermittlung einer ausreichenden Spülzeit. In Abhängigkeit vom Rohrdurchmesser kann die Spülzeit je laufender Meter Rohr ermittelt werden.



Als Anhaltswert wird gerne auf den 2- bis 3-fachen Wechsel des Behälter- oder Rohr-Volumens verwiesen. Dies setzt eine besonders sorgfältige und routinierte Arbeitsweise voraus und liefert nur ungenaue Ergebnisse.

Wer wissen möchte, ob noch Restsauerstoff im Bauteil vorhanden ist, kann diesen messen oder durch eine Arbeitsprobe nachweisen.

### Wurzelschutz bei Blechschweißungen

Bei Blechschweißungen ist der Wurzelbereich häufig zugänglich, so dass wurzelseitig eine Formiervorrichtung aufgesetzt werden kann. Diese sorgt durch ein Sintermetall oder vergleichbaren Diffusor für eine gleichmäßige, verwirbelungsfreie Schutzgasabdeckung. Es ist darauf zu achten, dass sowohl die Wurzel als auch die Wärmeeinflusszone (WEZ) durch die Vorrichtung ausreichend abgedeckt werden.

Nach Beendigung der Schweißarbeiten ist die Bauteiltemperatur zu messen und die Abdeckung erst nach einer ausreichenden Abkühlung (z.B. bei hochlegierten Stählen ca. 150°C) zu entfernen. Zu früher Kontakt mit der Atmosphäre führt zu Oxidation der noch heißen Bereiche.



Schutzgas-Winkel-Profil für Ecknähte

## Das richtige Schlauchmaterial

Eine weitere, wichtige Komponente ist der Schutzgas-schlauch. Dabei ist nicht nur darauf zu achten, dass der Schlauch frei von Poren und Rissen ist, auch das Schlauchmaterial ist ausschlaggebend. Handelsübliche PVC-Schläuche, die ursprünglich für den Transport von Druckluft gedacht sind, eignen sich für diese Aufgabe nicht, denn das Schlauchmaterial ist in der Lage, Feuchtigkeit aus der Atmosphäre aufzunehmen und an das trockene Formiergas weiterzugeben. Je größer die Oberfläche des Schlauches, desto mehr Feuchtigkeit wird übertragen. Nach ISO 3821 (früher EN 559) gefertigte Schläuche mit entsprechender Kennzeichnung erfüllen in der Regel die Ansprüche und sind in jedem gut sortierten Schweißzubehörhandel erhältlich. Dennoch sollten die Schläuche nicht länger sein als erforderlich. Sparen kann an dieser Stelle sehr teuer sein!

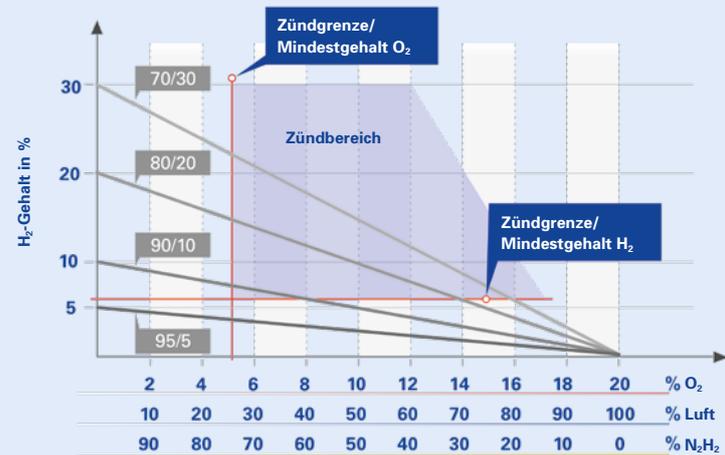
## Welches Gas für welche Anwendung?

Die in Frage kommenden Gasgemische basieren auf Argon oder Stickstoff. Zur Reduzierung des Restsauerstoffs wird den Gasen Wasserstoff zugemischt. Neben dem Dichteverhältnis zur Luft hängt die Auswahl des geeigneten Gases auch von dem zu fügenden Werkstoff ab.

Zwischen den unterschiedlichen Werkstoffen und den möglichen Gasen oder Gasgemischen können Unverträglichkeiten auftreten. So können die Bestandteile Stickstoff oder Wasserstoff zur Bildung von Nitriden oder zur Bildung von Wasserstoffrissen führen und den Werkstoff zerstören. Dies ist bei der Auswahl der Formiergase besonders zu beachten. Hilfestellung bei der Auswahl der Formiergase gibt das DVS Merkblatt 0937.

Unsere Tabelle gibt eine Übersicht über die möglichen Kombinationen von Formiergasen und Werkstoffen.

Zündbereiche unterschiedlicher Formiergas/Luft-Gemische



Zündbereiche unterschiedlicher N<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>-Gasgemische

## Zündbereich

Sehr wichtig ist die abschließende Überlegung: „Wie viel Wasserstoff benötige ich für meinen Formierprozess?“ Wasserstoff wird dem Formiergas zugegeben, um eventuellen Restsauerstoff zu verbrennen.

Je nach Wasserstoffgehalt sind Formiergase an der Umgebungsluft brennbar. Daher müssen diese bei Austritt aus dem zu formierenden Bauteil durch die Entlüftung evtl. abgefackelt werden. Die Zündgrenze liegt bei ca. 5,7 % H<sub>2</sub> in Stickstoff und bei ca. 2,9 % H<sub>2</sub> in Argon (ISO 10156).

Abgefackelt werden muss erst bei 10 % H<sub>2</sub> (DVS-Merkblatt 0937). Unterschieden werden selbstständig und nicht selbstständig brennende Formiergase. Bei nicht selbstständig brennenden Gasgemischen ist die Verwendung einer Pilotflamme erforderlich.

Ein Risiko bei der Verwendung von brennbaren Formiergasen ist die Verpuffungsgefahr. Diese ist gegeben, wenn

Schutzgas	Gruppe nach ISO 14175	Zusammensetzung in Volumen-Prozent				Brennbar	Dichte zu Luft	Werkstoffe
		Ar	He	N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>			
Argon	I1	99,996	-	-	-	nein	schwerer	austenitische Cr-Ni-Stähle, austenitisch-ferritische Stähle (Duplex)
Argon Spezial		99,998	-	-	-			gasempfindliche Werkstoffe z.B.: Titan, Zirkonium, Molybdän wasserstoffempfindliche Werkstoffe z.B.: hochfeste Feinkornbaustähle, Kupfer und seine Legierungen, Aluminium und Aluminiumlegierungen, ferritische Cr-Ni-Stähle
Stickstoff	F1	-	-	99,99	-	nein	leichter	austenitische Cr-Ni-Stähle, austenitisch-ferritische Stähle (Duplex), Baustähle, Aluminium und seine Legierungen
Formiergas	F2	-	-	Rest	5 - 20	ab 5,7 % H <sub>2</sub>	leichter	Baustähle (mit Ausnahme hochfester Feinkornbaustähle), austenitische Cr-Ni-Stähle
Argon/Wasserstoff								austenitische Cr-Ni-Stähle
Inoxline He3H1	R1	Rest	3	-	1,5	ab 2,9 % H <sub>2</sub>	schwerer	Nickel und Nickel-Basis-Werkstoffe
Inoxline H2 - H7	R2	Rest	-	-	2 - 7,5			

bei Beginn der Schweißarbeiten noch ein zündfähiges Formiergas/Luft-Gemisch im Behälter oder Rohr vorliegt. Das Formiergas/Luft-Gemisch im Behälter verändert während des Formierens kontinuierlich seine Zusammensetzung und durchläuft dabei einen zündfähigen Bereich.

Bei sorgfältiger Vorgehensweise und einem sehr geringen Restsauerstoffgehalt im zu formierenden Bauteil ist in der Regel ein geringer Wasserstoffgehalt von ca. 2% im Formiergas ausreichend.

### Restsauerstoff

Beim Begasen eines Behälters oder Rohres mit Formiergas kommt es – trotz Einhaltung einer exakten Arbeitsweise – unweigerlich zu mehr oder weniger geringen Vermischungen mit der Atmosphäre. Der hierdurch entstehende Restsauerstoffgehalt führt beim Schweißen zur Oxidation der Oberfläche und äußert sich durch Anlauffarben. Bei fortlaufendem Formierprozess reduziert sich der Restsauerstoffgehalt im Behälter. Je nach Werkstoff ist vor Beginn der Schweißarbeiten ein ausreichend niedriger Restsauerstoffgehalt einzustellen. In der Regel liegt dieser bei ca. 20 - 50 ppm. Der Nachweis des Restsauerstoffgehaltes kann über ein geeignetes Messgerät erfolgen. Bei Serienbauteilen mit geringen Herstellkosten kann die optimale Spülzeit auch durch Variieren empirisch ermittelt werden.



Einfluss des Restsauerstoffgehaltes auf das Formierergebnis

### Formieren unterschiedlicher Werkstoffe

Das Formieren ist aus der schweißtechnischen Verarbeitung von hochlegierten Edelstählen bekannt, es kann aber auch sehr effektiv beim Schweißen von Rohren aus Baustahl und Aluminium oder beim Lötten von Kupferrohren eingesetzt werden.

Die Vorteile sind hier ähnlich. Es entsteht keine Oxidation oder Verzunderung. Es können sich später keine Partikel lösen und nachfolgende Aggregate beschädigen. Beim

Schweißen von Baustählen wirkt sich das Formieren sehr positiv auf die Ausbildung der Wurzel aus. Es führt zu einer gleichmäßigen Ausbildung der Wurzel und verhindert die Bildung von Wurzelkerben.



Bild links: Rohr aus Stahl: ohne Formiergas

Bild rechts: Rohr aus Stahl: Formiergas Stickstoff

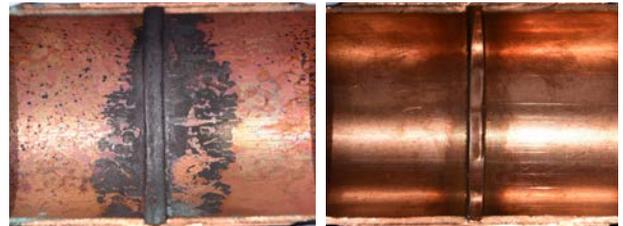


Bild links: Kupferrohr gelötet: ohne Formiergas

Bild rechts: Kupferrohr gelötet: Formiergas Argon

### Nachlaufender Nahtschutz

Neben dem Schutz der Schweißnaht durch ein entsprechendes Schweißschutzgas und dem Schutz der Wurzel durch das passende Formiergas wird zunehmend Wert auf den Schutz der heißen Schweißnaht gelegt, die hinter dem Schweißbrenner wieder mit der Atmosphäre in Kontakt kommt. Hierbei wird durch Schleppgasdüsen die nachfolgende Schweißnaht erneut mit einem Schutzgas abgedeckt. Dies gilt nicht nur für hochlegierte Edelstähle, sondern ganz besonders für Metalle wie Titan, Magnesium, Niob etc. Diese Metalle und deren Legierungen sind gegenüber Sauerstoff, Stickstoff und/oder Luftfeuchtigkeit hoch reaktiv. Die Zusammensetzung der einzelnen Gase – Schweißschutzgas, Wurzelschutzgas, Schleppgas – können unterschiedlich sein.

### Beispiel WIG-Schweißen Edelstahl:

- Schutzgas Inoxline He3H1
- Schleppgas Inoxline H5
- Wurzelschutz Formiergas H5



Schleppgasdüse

Fotos: OSCAR PLT GmbH

# Kompetenzzentren für Schweiß- und Schneidanwendungen



## Technische Zentren: Quellen für Innovationen

Zur Entwicklung neuer Technologien im Bereich Schweißen und Schneiden betreibt Messer in Deutschland, Ungarn und China Technische Zentren. Hier bieten sich beste Voraussetzungen für Innovationsprojekte sowie Kundenpräsentationen und Schulungen.

## Gaseprogramm: umfassend und klar

Messer bietet ein Gaseprogramm, wie es nicht selbstverständlich ist: Das beginnt mit dem passenden Gas für jede Anwendung, geht über die nachvollziehbare, anwendungsorientierte Namensgebung der Produkte und reicht bis hin zu immer wieder neuen Gasegemischen, passend zu den aktuellen Trends.

## Fachberatung: direkt vor Ort

Direkt in Ihrer Anwendung zeigen wir Ihnen, wie Sie Ihre Prozesse in Richtung Effizienz und Qualität optimieren können. Wir unterstützen Sie bei der Fehlersuche genauso wie bei Verfahrensentwicklungen.

## Kostenanalysen: schnell und effizient

Gerne analysieren wir Ihre bestehenden Prozesse, entwickeln Optimierungsvorschläge, begleiten Prozessänderungen und vergleichen unsere Ergebnisse mit dem vorherigen Zustand – denn Ihr Erfolg ist auch unser Erfolg.

## Schulungen: auf dem neuesten Stand

Unsere Schulungen zeigen den Einsatz der unterschiedlichen Schweißschutzgase und erläutern den sicheren Umgang damit. Dazu gehören auch die Lagerung der Gase sowie der sichere Transport kleiner Mengen. Informations- und Schulungsmaterial für Ihren Betrieb gehören natürlich auch zum Service. Zum Einsatz unserer Produkte bieten wir regelmäßig Webinare an, Sie finden diese unter [www.messergroup.edudip.com](http://www.messergroup.edudip.com)



**MESSER**   
Gases for Life

Messer SE & Co. KGaA

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

[applications.messergroup.com](mailto:applications.messergroup.com)

[welding-technology@messergroup.com](mailto:welding-technology@messergroup.com)