

# Gasgeschützte Fülldrähte für allgemeine Baustähle

## Eigenschaften und Anwendungsgebiete



Dipl.-Ing. F. Tessin, Solingen

### 1. Allgemeines

Gasgeschützte Fülldrahtelektroden werden seit ca. 25 Jahren in verstärktem Umfang für verschiedenste Anwendungen eingesetzt. Dennoch ist Ihr Anteil am gesamten abgeschmolzenen Schweißgut in Deutschland mit ca. 6% immer noch niedrig. Die Marktanteile der Fülldrahtelektroden liegen dagegen in Amerika und Japan mit 20-30% auf deutlich höherem Niveau, Bild 1.

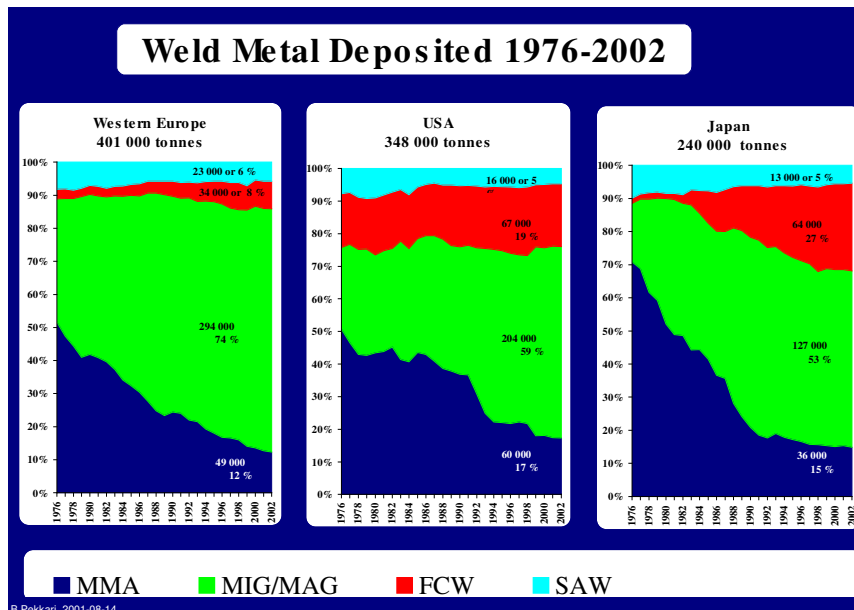


Bild 1: Prozentuale Marktanteile der Verfahren E-Hand (MMA), MIG/MAG, MAG-Fülldraht (FCW) UP (SAW) von 1976-2002

Vielen Anwendern sind die Vorteile der Fülldrähte bekannt, es bestehen jedoch oftmals Zweifel, ob diese Vorteile im praktischen Einsatz voll umsetzbar sind und damit die Schweißkosten trotz des höheren Zusatzwerkstoffpreises reduziert werden können. In der Tat hängt der Erfolg bei der Fülldrahtanwendung im entscheidenden Maße von der richtigen Auswahl des optimalen Fülldrahttyps für die vorliegende Schweißaufgabe ab.

Das einfache MAG-Schweißen mit Massivdraht gestaltet sich da deutlich unkomplizierter. In der EN ISO 14341-A sind zwar 10 Drahttypen gelistet, jedoch reduziert sich die Auswahl für den Anwender im Bereich der allgemeinen Baustähle in der Praxis auf die beiden Typen G3Si1 und G4Si1. Gasgeschützte Fülldrähte gibt es dagegen in ungleich größerer Auswahl und mit sich teilweise überschneidenden Anwendungsbereichen.

### 2. Normung

Fülldrahtelektroden für un- und niedriglegierte Baustähle sind in EN ISO 17632 genormt. Die EN ISO-Bezeichnungen für die einzelnen Fülldrahttypen ähneln vom Aufbau her dem Bezeichnungssystem für Stabelektroden und Massivdrähte. Die Bezeichnung gibt Informationen über Mindeststreckgrenze, Kerbschlagzähigkeit, Legierungstyp, Füllungstyp, Art des geeigneten Schutzgases und optional die Positionseignung und den Wasserstoffgehalt des Fülldrahtes. Damit sind die wesentlichen Eigenschaften des Schweißzusatzes und seine möglichen

Anwendungsgebiete weitgehend beschrieben. Für nähere Informationen zu dem Bezeichnungssystem der Fülldrähte sei auf die EN ISO 17632 verwiesen [1].

In der Produktvielfalt der Fülldrahtelektroden zeigt sich die Verwandtschaft zur umhüllten Stabelektrode. Fülldrähte, vom Aufbau her "umgestülpte" Stabelektroden, können in der Tat nach ähnlichen Gesichtspunkten ausgewählt werden, wie die Schweißzusätze für das E-Handschweißen.

Die wichtigsten Auswahlkriterien sind:

- Allgemeines Schweißverhalten, Spritzerneigung
- Positionseignung
- Wurzelschweißbarkeit
- Mech.-techn. Gütwerte
- Abschmelzleistung

Eine schnelle Auswahl setzt allerdings eine ausreichende Kenntnis über die spezifischen Eigenschaften der einzelnen Fülldrahttypen voraus. Im folgenden werden zunächst typunabhängige grundlegende Eigenschaften der Fülldrähte beschrieben. Nachfolgend wird näher auf die typspezifischen Besonderheiten, wie Schweißverhalten, Gütwerte und Anwendungsgebiete eingegangen.

### 3. Grundlegende typunabhängige Eigenschaften der gasgeschützten Fülldrähte

Die Unterschiede im Schweißverhalten zwischen einem Massivdraht und einem Fülldraht erklären sich im wesentlichen durch den unterschiedlichen Aufbau. Während beim Massivdraht der Schweißstrom über die gesamte Drahtquerschnittsfläche geleitet wird, so erfolgt der Stromübergang beim Fülldraht zum Großteil über die deutlich kleinere Ringquerschnittsfläche des Außenmantels. Die innenliegende Pulverfüllung stellt dem Stromfluß einen zu großen elektrischen Widerstand gegenüber. Dieser physikalische Effekt führt zu einer wesentlich höheren spezifischen Stromdichte beim Fülldraht.



Bild 2: Fülldraht-Querschnittmodell

Die hohe Stromdichte hat wesentlichen Einfluß auf den sich ausbildenden

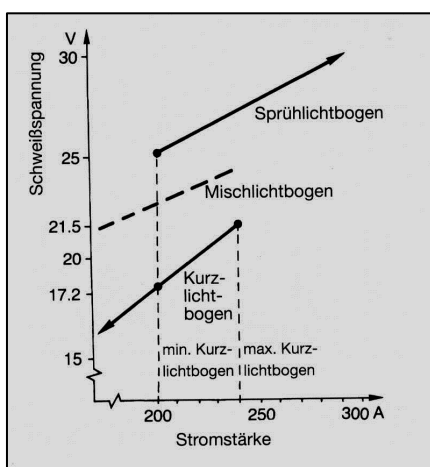


Bild 3:  
Lichtbogenbereiche beim  
Metallpulverfülldraht

Lichtbogen beim Schweißen mit Fülldrähten. Bereits bei Stromstärken unter 200 A, bezogen auf den Drahtdurchmesser 1,2mm, bildet sich beim Fülldraht ein spritzerarmer Sprühlichtbogen mit dem ihm typischen feintropfigen

Werkstoffübergang aus. Das Schweißen im spritzerintensiven Mischlichtbogen kann vollständig umgangen werden, Bild 3. Die hohe Stromdichte führt zu einer im Vergleich zum Massivdraht höheren Abschmelzleistung bei gleicher Stromstärke. Der Abschmelzleistungsunterschied ist umso größer, je dünner der äußere Stahlmantel des Fülldrahtes gewählt wird. Diese Erkenntnis führte in neuester Zeit zu der Entwicklung von Hochleistungsfülldrähten mit optimiertem dünnen Stahlmantel. Mit diesen Drähten werden bis zu 40% höhere Abschmelzleistungen als mit Massivdraht erreicht [4]. Die typübergreifenden Vorteile des Fülldrahtes gegenüber dem Massivdraht können demnach folgendermaßen zusammengefasst werden:

- Tieferer Flankeneinbrand
- Geringere Porenanfälligkeit
- Geringere Spritzerneigung
- Höhere Abschmelzleistung

Neben den typübergreifenden Vorteilen sind die speziellen Eigenschaften der Fülldrahttypen zu berücksichtigen. Gasgeschützte Fülldrähte werden in drei Gruppen eingeteilt:

- Metallpulverfülldrähte
- Rutilfülldrähte
- Basische Fülldrähte

Diese drei Hauptgruppen unterscheiden sich in Ihren Eigenschaften im Hinblick auf Schweißverhalten, Nahtaussehen, Positionseignung, mechanisch.-technologische Gütwerte, geeignete Schutzgase, Anwendungsgebiete und Anwendungsgrenzen[2].

### **3.1 Metallpulverfülldraht**

Der Metallpulverfülldraht ist ein nicht schlackebildender Fülldraht. Seine Füllung besteht zum großen Teil aus Eisenpulver (Fe,FeMn,FeSi) mit einem geringen Zusatz von Lichtbogenstabilisatoren.

#### **3.1.1 Schweißverhalten**

ESAB Metallpulverfülldrähte zeichnen sich durch einen sehr stabilen Lichtbogen aus. Im Vergleich zu einer herkömmlichen Massivdrahtelektrode ist der Lichtbogen breiter und energiereicher und erfasst eine größere Werkstückoberfläche. Daraus ergibt sich ein besserer Flankeneinbrand und eine etwas geringere Empfindlichkeit für Porenbildung durch verunreinigte oder geprimte Blechoberflächen. Der größere Flankeneinbrand ermöglicht Stumpfnahtschweißungen mit reduziertem Öffnungswinkel von 40-50° oder auch I-Stoß-Schweißungen bis etwa 10mm Wanddicke auf Badsicherungen. Grundsätzlich läßt sich der Metallpulverfülldraht in allen bekannten Lichtbogenbereichen verarbeiten, jedoch weist er gegenüber dem Massivdraht einige Besonderheiten auf..

Die Schweißigenschaften im Kurzlichtbogen sind sehr gut. Der Metallpulverfülldraht verfügt über eine gute Spaltüberbrückbarkeit. Die Kurzschlußfrequenz liegt deutlich höher als beim Massivdraht. Das erleichtert dem Schweißer die Kontrolle des Schmelzbades. Eine weitere Optimierung der Wurzeigenschaften wird durch die Impulstechnik erreicht. Der vom Massivdraht her bekannte Übergangslichtbogen oder auch Mischlichtbogen kann durch geschickte Parameterwahl beim Metallpulverfülldraht umgangen werden. Bezogen auf den am häufigsten verwendeten Drahtdurchmesser 1,2mm liegt die maximale Stromstärke für den

Kurzlichtbogen bei ca. 180 A. Durch deutliches Anheben der Schweißspannung um ca. 6 Volt erfolgt der Wechsel in den Sprühlichtbogen direkt ab dieser Stromstärke. Das Schweißen im spritzerintensiven Mischlichtbogen ist mit dem Metallpulverfülldraht nicht nötig. Im Sprühlichtbogen entfaltet dieser Fülldrahttyp sein volles Leistungsvermögen. Im Gegensatz zum Massivdraht bleibt dieser Lichtbogenbereich auch bei sehr hohen Stromstärken stabil. Ein rotierender Lichtbogen ist nicht einstellbar.

### **3.1.2 Nahtaussehen**

Das Nahtaussehen ähnelt dem des Massivdrahtes. Auf der sehr fein geschuppten Nahtoberfläche bilden sich in Abhängigkeit des verwendeten Schutzgases mehr oder weniger starke Oxidationsinseln, die sich manuell leicht entfernen lassen. Die Nahtüberwölbung ist minimal. Der Übergang in den Grundwerkstoff erfolgt fließend ohne Einbrandkerben.

### **3.1.3 Einbrand**

Aufgrund des breiten Lichtbogens erfasst der Metallpulverfülldraht auch steile Nahtflanken sicher, siehe auch unter 3.1.7. Der Flankeneinbrand in Position PA und PB ist tief und in der Regel stärker als beim Massivdraht. Der Tiefeneinbrand ist abhängig vom verwendeten Schutzgas und liegt in etwa auf dem Niveau des Massivdrahtes. Durch den besseren Flankeneinbrand schützt der Metallpulverfülldraht besser gegen Bindefehler und erlaubt die Reduzierung der Nahtöffnungswinkel von Stumpfnähten von 60° auf 40-45°. Auch I-Stöße sind bis ca. 8mm Wanddicke auf Badsicherung sauber schweißbar (siehe Kapitel 3.1.7)

In Position PG (fallend) weist der Spezialmetallpulverfülldraht OK Tubrod 14.12 ebenfalls ein sehr sicheres Einbrandprofil aus. Standardmetallpulverfülldrähte hingegen sind für die Fallnaht nicht zu empfehlen.

### **3.1.4 Positionseignung**

Metallpulverfülldrähte sind ursprünglich für die Positionen PA, PB und PC entwickelt worden. Die Positionen PF, PD und PE sind beherrschbar unter Anwendung spezieller Pendeltechniken. Der OK Tubrod 14.12 läßt sich jedoch in Verbindung mit einer negativen Polung des Drahtes auch hervorragend in der Fallnahtposition PG verarbeiten. Aufschluß über die konkrete Positionseignung geben die Produktdatenblätter.

### **3.1.5 Mechanisch.-technologische Güterwerte**

Metallpulverfülldrähte eignen sich für den gesamten Bereich der schweißgeeigneten Bau- und Feinkornbaustähle. Die minimale Streckgrenze der unlegierten Metallpulverfülldrähte liegt zwischen 420 und 460 N/mm<sup>2</sup>, so daß sich Metallpulverfülldrähte auch für höherfeste Feinkornbaustähle eignen. Ausreichende Kerbschlagzähigkeit bieten die unlegierten Typen bis zu -40°C. Nickellegierte Metallpulverfülldrähte können bis -50°C eingesetzt werden.

### **3.1.6 Geeignete Schutzgase**

Das Standardschutzgas ist M21 (EN ISO 14175) mit 15-25% CO<sub>2</sub>-Anteil. Einige Metallpulverfülldrähte eignen sich auch für C1 oder Ar-Gemische mit 8-10% CO<sub>2</sub> sowie im Einzelfall für M12 mit 2,5% CO<sub>2</sub>. Aufschluß über die Gaseignung geben auch hier die Angaben der Produktdatenblätter.

### 3.1.7 Anwendungsgebiete / Anwendungsgrenzen

ESAB Metallpulverfülldrähte sind sehr universell einsetzbar. Sie verfügen über Zulassungen aller gängigen Klassifikationsgesellschaften.

Hauptanwendungsgebiete sind der Stahlbau, Behälterbau, Schiffbau und Fahrzeugbau. Sie eignen sich sowohl für den manuellen als auch vollmechanisierten Einsatz an Kehlnähten und Stumpfnähten bei einer minimalen Wanddicke von 4mm. Spezielle Typen wie Coreweld 46 LS erweitern den Anwendungsbereich bis hinunter auf 1mm Wanddicke.

Nach oben ist der Wanddickenbereich praktisch unbegrenzt. Metallpulverfülldrähte werden insbesondere an Mehrlagennähten in Pos. PA und PB eingesetzt, die mit hoher Leistung geschweißt werden sollen. Hier kann die reine Schweißzeit im Vergleich zum Massivdraht um ca. 20% gesenkt werden. Bei Schweißaufgaben, bei denen unter Anwendung des Massivdrahtes die Gefahr von Schweißnahtfehlern (Bindefehler, Porenbildung,...) besonders groß ist oder unzulässig hohe Spritzerbildung auftritt, kann mit einem ESAB Metallpulverfülldraht der Reparatur- und Nacharbeitsaufwand deutlich reduziert werden.

Speziell geeignet sind Metallpulverfülldrähte für Einseitenschweißungen auf keramischer Badsicherung (siehe Bild 4-5). Beispielsweise können Stumpfstoßschweißungen bis 10mm Wanddicke unter Verwendung einer keramischen Badsicherung im I-Stoß ausgeführt werden. Der breite Lichtbogen des Metallpulverfülldrahtes erfasst auch steile Nahtflanken. Für V-Nähte reicht in den meisten Fällen ein Öffnungswinkel von 45-50° aus..

### 3.2. Rutilfülldraht

Der Rutilfülldraht ist ein schlackebildender Fülldraht. Seine Pulverfüllung besteht im wesentlichen aus Rutil ( $TiO_2$ ), Beimengungen von  $SiO_2$  und Eisenpulver sowie zum Teil aus Mikrolegierungselementen wie Titan und Bor. Bei den Rutilfülldrähten wird unterschieden zwischen Typen mit langsam erstarrendem Schlackesystem und Typen mit schnell erstarrendem Schlackesystem. Das Erstarrungsintervall der Schlacke hat wesentlichen Einfluß auf die Zwangslageneignung des Fülldrahtes. Der Schlackeanteil am abgeschmolzenen Drahtgewicht liegt etwa bei ca. 15%, so daß die Ausbringung der Rutilfülldrähte mit 85% etwas niedriger liegt als beim Metallpulverfülldraht. Die Schlackeentfernbarkeit ist bei richtiger Parametereinstellung sehr gut, bisweilen ist die Schlacke sogar selbstabhebend.

#### 3.2.1 Schweißverhalten

Das Schweißverhalten des Rutilfülldrahtes ist geprägt durch die rutilen Füllungsbestandteile. Sie erzeugen über den gesamten Arbeitsbereich einen sehr

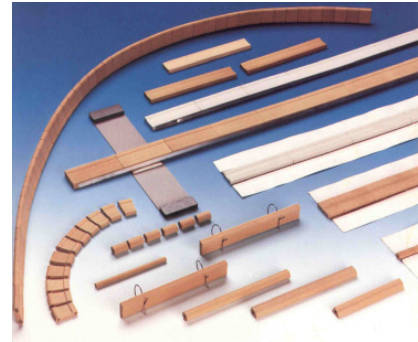


Bild4 : ESAB Produktprogramm keramische Badsicherungen

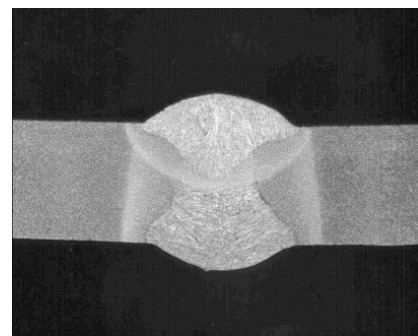


Bild 5: Einseitenschweißung auf keramischer Badsicherung mit Metallpulverfülldraht; I-Stoß, t=8mm

feintropfigen Werkstoffübergang verbunden mit einem sehr weichen Lichtbogen. Die Einstellung eines Kurzlichtbogens ist nicht möglich. Am verbreitetsten ist der Rutilfülldraht mit schnell erstarrendem Schlackesystem. Seine Schlacke übt beim Schweißen einen Stützeffekt auf das Schmelzbad aus, so daß dieser Fülldrahttyp exzellent für Zwangslagenschweißungen, insbesondere Steignahtschweißungen, geeignet ist. Die Schweißparameterwahl ist sehr einfach. Die meisten Typen lassen sich mit einer Parametereinstellung (180-220 A /25-27V) in allen Positionen verarbeiten, was diesen Fülldrahttyp besonders beliebt bei den Schweißern macht. Schnell erstarrende Rutilfülldrähte eignen sich jedoch nicht für hohe Stromstärken oberhalb 280 A (bezogen auf Drahtdurchmesser 1,2mm). In Position PA und PB sollte der max. Schweißstrom auf diesen Wert begrenzt werden, da sehr große Schmelzbäder zu Ausgasungsbehinderungen führen, die Schlauchporenbildung hervorrufen. Rutilfülldrähte mit langsam erstarrendem Schlackesystem sind von dieser Eingrenzung nicht betroffen.

### **3.2.2 Nahtaussehen**

Das Nahtaussehen nach Entfernen der Schlacke ist sehr glatt mit leichter Welligkeit in der Nahtoberfläche. Oxidationsinseln entstehen aufgrund des Schlackeschutzes nicht, so daß die Naht ohne Nacharbeitsaufwand lackierbar ist. Der Übergang in den Grundwerkstoff ist fließend und kerbfrei. Zwangslagennähte, speziell in Position PF, neigen etwas stärker zur Nahtüberwölbung.

### **3.2.3 Einbrand**

Rutilfülldrähte weisen grundsätzlich einen guten Einbrand in Pos. PA und PB auf. Wichtig ist jedoch eine ausreichende Schweißgeschwindigkeit, um das Vorlaufen von Schlacke oder dünnflüssigem Schweißgut zu verhindern. Herausragend ist das Einbrandverhalten in Pos. PF. Sowohl Flanken- als auch Tiefeneinbrand sind in steigender Position aufgrund der relativ hohen mögl. Stromstärken > 200 A sehr gut. In fallender Position ist der Einbrand dagegen eher schwach, aber unter Schutzgas C1 meist ausreichend.

### **3.2.4 Positionseignung**

a) Rutilfülldrähte mit schnell erstarrendem Schlackesystem:

Dieser Typ hebt sich durch eine sehr gute Zwangslageneignung hervor. Speziell in Position PF ist dieser Draht ideal einsetzbar. Durch den Schlackestützeffekt können sogar Strichraupen in dieser Position geschweißt werden. Es sind doppelt so hohe Schweißgeschwindigkeiten wie mit einem Massivdraht erreichbar. Auch die Positionen PD und PE sind gut beherrschbar bei Abschmelzleistungen bis zu 3,5 kg/h (100%ED). Die Fallnahteignung ist zwar gegeben, jedoch muß mit deutlich geringerem Einbrand gerechnet werden. In der Querposition PC kann es aufgrund des recht dünnflüssigen Schmelzbades zu einer leichten Rucksackbildung der Nähte kommen. Hier ist der richtige Lagenaufbau zur Vermeidung von Lagenbindefehlern von entscheidender Bedeutung. Die Horizontalpositionen PA und PB sind mit der bereits erwähnten Schweißstrombegrenzung problemlos schweißbar.

b) Rutilfülldrähte mit langsam erstarrendem Schlackesystem:

Der langsam erstarrende Typ ist ausschließlich für die Positionen PA und PB zu empfehlen. Hier erzeugt er sehr flache Nähte mit besonders weichem Übergang in den Grundwerkstoff. Im Gegensatz zum schnell erstarrendem Typ können hier auch Stromstärken deutlich über 300 A gewählt werden.

### 3.2.5 Mechanisch.-technologische Güterwerte

Rutilfülldrähte eignen sich für den gesamten Bereich der schweißgeeigneten Bau- und Feinkornbaustähle. Die Mindeststreckgrenze der unlegierten Typen liegt zwischen 420 und 500 N/mm<sup>2</sup>, so daß auch höherfeste Feinkornbaustähle mit ihnen verarbeitet werden können. Ausreichende Kerbschlagzähigkeit bieten die unlegierten Typen in der Regel bis -20°C. Nickellegierte Rutilfülldrähte können bis zu -60°C eingesetzt werden. Diese Werte gelten für den unbehandelten Zustand. Das sehr weit verbreitete Mikrolegierungssystem Ti/B in der Rutilfüllung erzeugt jedoch bei nachträglicher Wärmebehandlung versprödet wirkende Ausscheidungen im Schweißgut, die die Kerbschlagzähigkeit leicht herabsetzen können. Soll nach dem Schweißen beispielsweise ein Spannungsarmglühen durchgeführt werden, ist mit dem Hersteller zu prüfen, ob die Güteanforderungen noch gewährleistet werden können.

### 3.2.6 Geeignete Schutzgase

Das Standardschutzgas für Rutilfülldrähte ist M21 (15-25% CO<sub>2</sub> Anteil). Sehr viele Typen lassen sich jedoch auch mit reinem CO<sub>2</sub> (C1 nach EN ISO 14175) sehr gut und spritzerarm verarbeiten. Einige Spezialtypen, vornehmlich für Anwendungen im Schiffbau und auf Baustellen, sind ausschließlich für C1 geeignet. Aufschluß über die Gaseignung im Einzelfall geben die Angaben der Fülldrahthersteller. Diese sind genau zu beachten, da die Art des Schutzgases einen bedeutenden Einfluß auf die mechanisch-technologischen Güterwerte hat. Der Einfluß des Schutzgases auf das Schweißverhalten ist bei Rutilfülldrähten dagegen eher gering.

### 3.2.7 Anwendungsgebiete

Ähnlich wie der Metallpulverfülldraht ist auch der Rutilfülldraht in vielen Industriebereichen präsent. Der Schwerpunkt der Anwendung liegt jedoch seit Jahren im Schiffbau. Die speziellen Vorteile des schnell erstarrenden Rutiltyps in der Zwangslage, insbesondere der Steignaht, werden jedoch auch zunehmend im Brücken-, Stahl- und Tankbau erkannt. Im Vergleich zum Massivdraht lassen sich Steignachtschweißungen mit diesem Fülldrahttyp etwa 30-40% kostengünstiger ausführen. Durch den zusätzlichen Schlackeschutz vor Witterungseinflüssen eignen sich Rutilfülldrähte auch für den Einsatz auf der Baustelle, Bild 6. Es sei jedoch erwähnt, daß die natürliche Anfälligkeit des MAG-Verfahrens gegen Witterungseinflüsse auch beim Einsatz von Rutilfülldrähten besteht, so daß eine Einhausung der Schweißstelle bei Windzug



Bild 6:  
Anwendungsbeispiel Tankbau:  
Schweißung auf keram. Badsicherung  
Pos. PF mit Rutilfülldraht (schnell erstarrend)



Bild 7: MAGF-Orbitalschweißung mit Rutilfülldraht im Pipelinebau

oder feuchter Witterung ratsam ist. Bei den Nahtarten gibt es keinerlei Einschränkungen, sowohl Kehlnähte als auch Stumpfnähte verschiedenster Art können geschweißt werden. Hervorzuheben ist jedoch, daß Wurzelschweißungen mit Rutilfülldrähten aufgrund deren eingeschränkter Spaltüberbrückbarkeit nicht empfehlenswert sind, es sei denn, sie werden

auf einer Badsicherung ausgeführt. Die Einseitenschweißtechnik auf keramischer Badsicherung bietet eine sehr produktive Alternative zur konventionellen Wurzelschweißung. Es entfällt die Notwendigkeit einer rückseitigen Kapplage und die Wurzel kann mit deutlich höheren Schweißströmen geschweißt werden. Dies senkt die Schweißkosten beträchtlich [6], [7]. Besonders geeignet sind Rutilfülldrähte mit schnell erstarrender Schlacke auch bei der mechanisierten Orbitalschweißung der Füll- und Decklagen an Rohrleitungen oder manuellen Schweißarbeiten in Zwangslage an zylindrischen Bauteilen, Bild 7. Aufgrund der schuppenlosen Nahtoptik und ihrer "Schönschweiß"-Eigenschaften werden Rutilfülldrähte häufig für Sichtnähte eingesetzt. Die flache Nahtausbildung mit kerbfreiem Übergang in den Grundwerkstoff erzeugt eine hohe Ermüdungsfestigkeit der Konstruktion. Die minimale Wanddicke für den Einsatz von Rutilfülldrähten liegt bei 4-5mm. Für Kehlnähte in Pos. PF sollte die Wanddicke möglichst noch darüber liegen. Da der unlegierte Rutilfülldraht nur ein begrenztes Aufnahmevermögen für Schweißspannungen hat, sollte ab einer Wanddicke von ca. 40mm alternativ der Einsatz eines Metallpulverfülldrahtes oder besser noch basischen Fülldrahtes in Erwägung gezogen werden. Nickellegierte Rutiltypen werden in der Offshore-Industrie jedoch auch oberhalb 40mm Wanddicke eingesetzt.

Der erfolgreiche Einsatz von Rutilfülldrähten hängt jedoch von der Beachtung einiger Grundregeln ab:

Grundsätzlich sollte eine hohe Wärmeeinbringung ( $> 25 \text{ KJ/cm}$ ) resultierend aus breitem Auspendeln der Schweißraupe bei niedriger Schweißgeschwindigkeit vermieden werden. Dies gilt besonders für Wurzellagen auf keramischer Badsicherung. Das Schweißen nach Schweißanweisung mit Begrenzung der Schweißstromstärke und der Vorgabe der Strichraupentechnik beugt der Gefahr von Heißrissen durch ungünstige Erstarrungsverhältnisse vor. Dünne Schweißraupen ergeben zudem verbesserte Zähigkeitswerte. Aufgrund des recht hohen Schlackeanteils und dünnflüssigen Schmelzbades des Rutilfülldrahtes ist auf eine schleppende Brennerhaltung zu achten, durch die der Lichtbogendruck die Schlacke über dem Schmelzbad hält. Bei neutraler bis stechender Brennerhaltung besteht die Gefahr von Schlackeeinschlüssen im Schweißgut. Die Schweißgeschwindigkeit ist im Vergleich zum Massivdraht höher zu wählen, um Lagenbindefehler und schlechten Einbrand durch vorlaufendes Schmelzbad zu vermeiden.

### **3.3 Basische Füllrähte**

Der basische Fülldraht ist ebenfalls ein schlackebildender Fülldraht. Sein Schlackeanteil ist mit etwa 10% jedoch niedriger als beim Rutilfülldraht. Die Ausbringung liegt demnach bei ca. 90%. Die Pulverfüllung besteht im wesentlichen aus dem basischen Bestandteil Flußspat ( $\text{CaF}_2$ ) und den Erdalkalioxiden CaO und MgO und ähnelt somit sehr stark der Umhüllung einer basischen Stabelektrode.

#### **3.3.1 Schweißverhalten**

Der basische Charakter dieses Fülldrahttyps schlägt sich auch im Schweißverhalten nieder. Der Werkstoffübergang ist grobtropfiger als beim Rutilfülldraht. Die Spritzerneigung ist dementsprechend auch etwas höher. Es sind sowohl Kurzlichtbogen, als auch Misch- und Sprühlichtbogen einstellbar. Eine Art Semi-Sprühlichtbogen (ein Sprühlichtbogen mit niederfrequenten Kurzschlüssen) wird beim OK Tubrod 15.06, ähnlich wie beim Metallpulverfülldraht bereits unter 200 A (bezogen auf  $\varnothing 1,2\text{mm}$ ) erreicht. In Verbindung mit einer negativen Polung werden mit der Anwendung des energiereichen Semi-Sprühlichtbogens sehr gute Allpositionseigenschaften erreicht. Aufschluß über die konkrete Zwangslageneignung geben die Produktdatenblätter.

Basische Fülldrähte haben eine relativ enge Schweißparameterbox, d.h. Stromstärke und Spannung müssen sehr sorgfältig eingestellt werden, um gute Schweißergebnisse zu erzielen. Die Anforderungen an den Schweißer wie auch an die Stromquelle sind hoch. Gute Wurzelschweißereigenschaften sind mit basischen Fülldrähten erreichbar. Eine gute Wurzelschweißung erfordert jedoch eine spezielle Handhabung des Drahtes. Alternativ ist der Einsatz einer keramischen Badsicherung möglich.

### 3.3.2 Nahtaussehen

Das Nahtaussehen ist etwas grobschuppiger als bei Metallpulver- und Rutilfülldrähten. Die leicht bräunliche Schlacke bedeckt nicht die komplette Nahtoberfläche. Sie läßt sich in der Regel leicht entfernen. Die Naht ist leicht konvex, jedoch mit kerbfreiem Übergang in den Grundwerkstoff. In der Regel werden basische Fülldrähte schleppend verschweißt. Eine besonders flache Naht kann auf Kosten eines geringeren Einbrandes durch leicht stechende Brennerhaltung erreicht werden. Dabei steigt zusätzlich das Risiko von Schlackeeinschlüssen.

### 3.3.3 Einbrand

Das Einbrandverhalten der basischen ESAB Fülldrähte ist ähnlich dem der Metallpulverfülldrähte. Sehr guter Flankeneinbrand in allen Positionen inkl. Fallnaht. Nahtöffnungswinkel können wirksam auf ca. 40-45° verringert werden.

### 3.3.4 Positionseignung

Basische Fülldrähte gibt es in verschiedenen Ausführungen. Einige sind nur für Position PA und PB bei positiver Drahtpolung geeignet. Die meisten basischen ESAB Fülldrähte sind dagegen allpositionsgeeignet mit guten Fallnahtigenschaften. Gute Zwangslageneignung erfordert jedoch eine negative Polung des Drahtes. Das etwas zähflüssigere Schmelzbad sorgt insbesondere in Position PC für gute Schweißereigenschaften. Die von Rutilfülldrähten bekannte "Rucksackbildung" der Naht in Querposition tritt nicht auf.

### 3.3.5 Mechanisch.-technologische Gütewerte

Basische Fülldrähte für allgemeine Baustähle liegen in der Regel bei einer minimalen Streckgrenze von 420 N/mm<sup>2</sup> im unbehandelten Zustand. Sie verfügen dabei, ähnlich wie basische Stabelektroden, über exzellente Zähigkeitswerte. Ausreichende Kerbschlagarbeit besteht für Tieftemperaturanwendungen bis zu -60°C. Auch die Bruchdehnungswerte (A<sub>5</sub>) liegen auf hohem Niveau. Im wärmebehandelten Zustand fällt die Festigkeit ein wenig ab, im Gegensatz zu Rutilfülldrähten bleiben die Zähigkeitswerte jedoch erhalten oder verbessern sich.

### 3.3.6 Geeignete Schutzgase

Das Standardschutzgas ist M21 mit 15-25% CO<sub>2</sub>. Es gibt jedoch auch Versionen für den Einsatz unter C1 (EN ISO 14175). Bei der Anwendung von reinem CO<sub>2</sub> ist jedoch mit erhöhter Spritzerbildung zu rechnen.

### 3.3.7 Anwendungsgebiete

Mit der Entwicklung des basischen Fülldrahtes erschlossen sich dem MAG-Verfahren Anwendungsgebiete, die bislang nur dem E-Handschweißen mit basischer Stabelektrode vorbehalten waren. Basische Fülldrähte werden demnach insbesondere dort eingesetzt, wo sehr hohe Zähigkeitswerte im Schweißgut

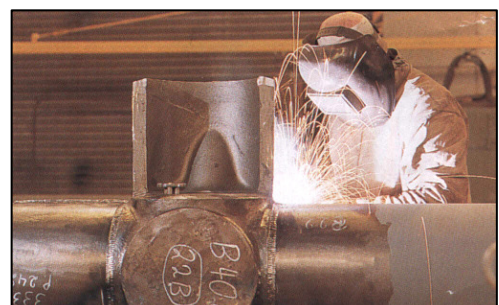


Bild 8:  
Rohr-Gußknotenverbindung; 60mm Wanddicke  
Geschweißt in Zwangslage mit basischem Fülldraht.

erforderlich sind. Dies sind Schweißungen an Wanddicken über 40mm, Schweißnähte mit Schrumpfungsbehinderung und hohem Schweißbeigenspannungszustand oder Konstruktionen mit starker dynamischer Wechselbeanspruchung, Bild 8. Auch Stähle mit erhöhtem Kohlenstoffäquivalent sind vorzugsweise mit basischen Fülldrähten zu verschweißen.



Bild 9:  
Anwendung von basischem Fülldraht im Tankbau  
Baustelleneinsatz in Pos. PC

Anwendungsschwerpunkte finden sich im schweren Stahl- und Maschinenbau, Brückenbau, Druckbehälterbau und Schiffbau. Erfolgreich werden basische Fülldrähte mittlerweile auch im Tankbau auf der Baustelle für Quernahtschweißungen eingesetzt, Bild 9. Hohe Schweißgeschwindigkeit und Porensicherheit auch bei leichten Witterungseinflüssen sprechen hier für diesen Fülldrahttyp.

Der erfolgreiche Einsatz von basischen Fülldrähten bedarf einer gründlichen Einweisung durch erfahrene

Lehrschweißer, da die Handhabung und Einstellung dieses Fülldrahttyps einige Besonderheiten gegenüber dem Massivdraht aufweist. Eine Schweißerschulung durch den Fülldrahthersteller ist empfehlenswert.

#### 4. Fazit und Ausblick

Der Einsatz von gasgeschützten Fülldrähten wird sich auch in Zukunft weiter durchsetzen. Zahlreiche Informationsveranstaltungen und Veröffentlichungen zum Thema Fülldrahtelektroden haben in den letzten Jahren dazu beigetragen, daß mehr und mehr Unternehmen dazu übergehen, ihre Produktivität durch den Einsatz von Fülldrähten zu erhöhen. Der Fülldraht ist ein erklärungsbedürftiges Produkt. Der unvorbereitete Einsatz ohne vorherige Schweißereinweisung führt in den seltensten Fällen zum Erfolg, vielmehr lehnen sogar einige den Fülldrahteinsatz aufgrund schlechter Erfahrungen in der Vergangenheit kategorisch ab. Das ist bedauerlich, verfügt doch der Fülldraht über Qualitäten, die kein anderer Schweißzusatz zu bieten hat. Eine besondere Aufgabe kommt in diesem Zusammenhang den Herstellern der Fülldrähte zu, die über kompetente Anwendungsberatung den Kunden zum gewünschten Ziel bringen können.

Die Produktvielfalt bei den Fülldrähten wird in den nächsten Jahren weiter zunehmen, da auch die Kundenanforderungen immer spezieller werden. Neben den Fülldrähten für allgemeine Baustähle kommt den Typen für warmfeste Qualitäten, hochfeste Feinkornbaustähle sowie nichtrostende Stähle deutlich steigende Bedeutung zu. Hier ist das Potential für die erfolgreiche Fülldrahtanwendung noch nicht ansatzweise erschöpft. Nicht zuletzt werden neue Fülldrahtentwicklungen für vollmechanisierte Anwendungen (Robotereinsatz) den Unternehmen neue Möglichkeiten bieten, ihre Schweißkosten weiter zu reduzieren. Eine absolute Notwendigkeit, um den ständig steigenden Marktanforderungen im 21. Jahrhundert gerecht zu werden.

#### Schrifttum

[1] EN ISO 17632 Fülldrahtelektroden zum Metall-Lichtbogenschweißen mit und ohne Schutzgas von unlegierten Stählen und Feinkornstählen

[2] Merkblatt DVS 0941 Teil 2: Fülldrahtelektroden für das MAG-Verbindungsschweißen - Eigenschaften und Anwendungsmöglichkeiten.  
DVS Verlag, Düsseldorf

[3] Blome K.: Metallpulverfülldraht für Roboteranwendungen, ESAB-Fenster 1/99

[4] Blome K. und Tessin F.: Erhöhung der Schweißproduktivität durch den Einsatz von Fülldrähten mit erhöhtem Füllgrad.  
Tagungsband ASTK '97, Institut für schweißtechnische Fertigungsverfahren der RWTH Aachen

[5] Fülldrähte  
Schweißmagazin Svetsaren, Vol. 51, 1996, ESAB AB Göteborg

[6] Tessin F.: Keramische Badsicherungen bringen Vorteile, ESAB-Fenster 1994, S.22-23

[7] Tessin F.: Ermittlung und Bewertung von Schweißkosten , ESAB-Fenster 2/97, S.4-5