



**WE SHAPE THE FUTURE**

**VICTOR® // THERMAL DYNAMICS® // TWECO® // ARCAIR® // EXATON™ // STOODY® // ALCOTEC® // AMI® // GCE®**

A horizontal collage of six people's faces is shown against a yellow background. Each face is semi-transparent and overlaid with various industrial and technological images. From left to right: a woman's profile with an offshore oil rig; a man with a beard talking on a mobile phone with a construction site; a woman with a car; a man with a wind turbine; an older man with a ship; and a woman with a modern skyscraper.

**WE SHAPETHE FUTURE**

# **Optimierungspotenziale bei der Auswahl von Draht/Schutzgas-Kombinationen beim MAG-Schweißen unlegierter Stähle**

Max Schwetlick, ESAB WELDING & CUTTING GmbH, Zweigstelle Langenfeld



# HALLO!

---

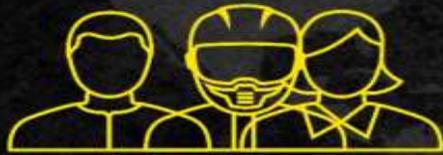
**MAX SCHWETLICK**

Anwendungstechnik Fülldraht und R&M D/A/CH

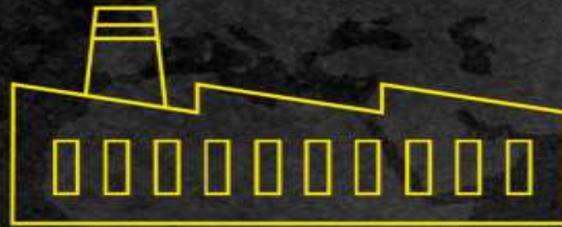
**Festnetz: +49 2173 / 3945-242**

**Mobil: +49 172 / 585 3248**

**E-Mail: [max.schwetlick@esab.de](mailto:max.schwetlick@esab.de)**



**10.000+** MITARBEITER



**35+** FERTIGUNGSSTÄTTEN



**145** LÄNDER



# Bevor es losgeht, eine kleine Umfrage...



Ersatzneubau Strombrückenzug,  
Quelle: [www.Magdeburg.de](http://www.Magdeburg.de)



Raffinerie von Total in Leuna, Quelle: FAZ

- Wer von Ihnen hat Kunden im Stahl- und Metallbau sowie im Bau von Behältern und Apparaten, die Stähle bis zum S355 bzw. P355 mit dem MAG-Schweißprozess verarbeiten?
- Wer von denen nutzt dafür die Draht/Gas-Kombination **G4Si1** (früher SG3) mit **M21-ArC-18**?

# Schwerpunkte dieses Vortrages

- Parameter für die Auswahl von Draht/Schutzgas-Kombinationen zum MAG-Schweißen
- Chemische Analyse der MAG-Drahtelektrode
- Mechanisch-technologische Gütwerte des MAG-Schweißgutes
- Auswahl des Schutzgases
- Spritzerbildung beim MAG-Schweißen
- Einbrand, Anfließverhalten und Spaltüberbrückung
- Nacharbeit
- Chargenkonstanz der Drahtelektroden
- Oberflächenausführung von MAG-Drahtelektroden
- Durchmesser der Drahtelektrode
- Schweißrauch
- Zusammenfassung und Handlungsempfehlungen

# Auswahl von Draht/Schutzgas-Kombinationen – Freiheitsgrade

Aus den Anforderungen an die Schweißverbindung ergeben sich folgende Freiheitsgrade:

- Typ und chemische Zusammensetzung des Schweißzusatzes
- Zusammensetzung des Schutzgases
- Oberflächenausführung der Drahtelektrode (verkupfert / unverkupfert / ...)
- Drahtdurchmesser
- Steifigkeit (Festigkeit) und Durchmessertoleranz des Drahtes
- Lieferform (Spulentyp, Spulengewicht, Großbinde)

# Auswahl von Draht/Schutzgas-Kombinationen - Konsequenzen

Die bei der Auswahl von Draht und Schutzgas getroffene Entscheidung bestimmt:

- die mechanisch-technologischen Gütwerte der Schweißverbindung,
- das Einbrandverhalten,
- das Anfließverhalten und Nahtbild,
- die Abschmelzleistung und Produktivität,
- den Aufwand für die Nacharbeit,
- die Schweißrauchemission und –zusammensetzung (z.B. Mangan)

→ **DIE QUALITÄT UND DIE SCHWEIßKOSTEN.**

# Chemische Analyse der MAG-Drahtelektrode

DIN EN ISO 14341:2020-12, Tabelle 3A – Chemische Zusammensetzung in % (Auszug)

Kurzzeichen	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V	Cu*	Al	Ti+Zr
<b>G 2Si</b>	0,06 - 0,14	0,5 - 0,8	0,9 - 1,3	≤0,025	≤0,025	≤0,15	≤0,15	≤0,15	≤0,03	≤0,35	≤0,02	≤0,15
<b>G 3Si1</b>		0,7 - 1,0	1,3 - 1,6									
<b>G 4Si1</b>		0,8 - 1,2	1,6 - 1,9									

\* Kupferanteil inklusive Verkupferung

- Hauptlegierungselemente: C, Si, Mn = „Festigkeitsträger“
- Unerwünschte Begleitelemente: P, S, Ni, Cr, Mo, V, Cu, Al, Ti, Zr
- *Unerwünschte Begleitelemente:* Ca, Mg, O, N, B (von der Norm nicht betrachtet)
- Einfluss des Schutzgases: Abbrand durch Aktivgas-Anteil (CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>) beachten!

# Mechanische Eigenschaften des Schweißgutes

Mechanisch-technologische Eigenschaften von reinen Schweißgütern typischer Draht/Gas-Kombinationen nach DIN EN ISO 14341-A

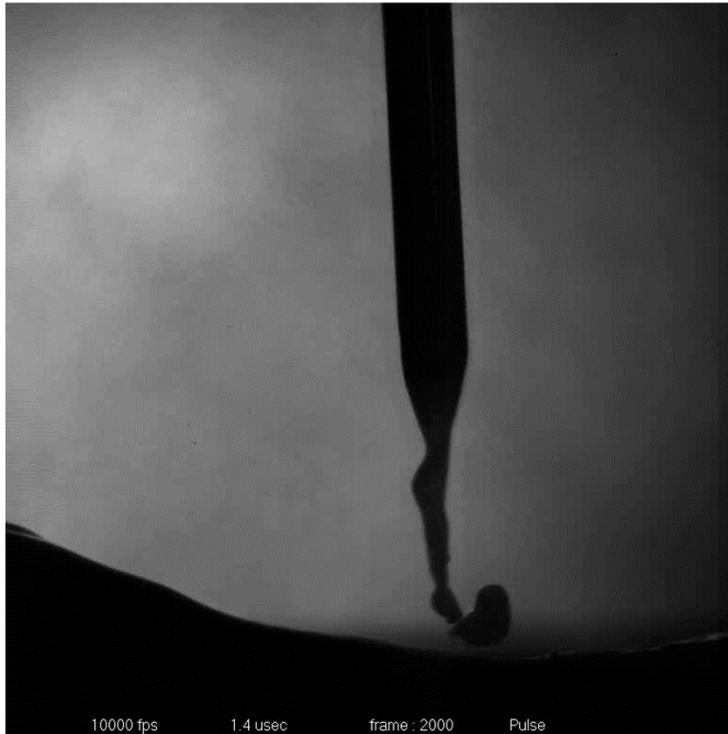
Draht-elektrode ISO 14341-A	Schutzgas ISO 14175	Reines Schweißgut ISO 14341-A	Mindeststreck- oder –dehngrenze $R_{eL} / R_{p0,2}$ in MPa	Zugfestigkeit $R_m$ in MPa	Mindestbruch- dehnung $A_5$ in %	Temperatur für KV $\geq$ 47 J T in °C
<b>G 2Si</b>	C1	G 35 2 C1 2Si	355	440 - 570	22	-20
	M21-ArC-18	G 38 3 M21 2Si	380	470 - 600	20	-30
<b>G 3Si1</b>	C1	G 38 3 C1 3Si1	380	470 - 600	20	-30
	M21-ArC-18	G 42 4 M21 3Si1	420	500 - 640	20	-40
	M20-ArC-10	G 42 4 M20 3Si1	420	500 - 640	20	-40
	M20-ArC-8					
<b>G 4Si1</b>	C1	G 42 3 C1 4Si1	420	500 - 640	20	-30
	M21-ArC-18	G 46 5 M21 4Si1	460	530 - 680	20	-50

- Einfluss des Schutzgases:
  - Abbrand durch Aktivgas-Anteil ( $CO_2$ ,  $O_2$ ) = Minderung der Festigkeitseigenschaften
  - Erhöhung des Sauerstoffanteils im Schweißgut (Einschlüsse) = Senkung der Zähigkeit
- Wärmenachbehandlung: Minderung der Festigkeit und Zähigkeit beachten!

# Spritzerbildung beim MAG-Schweißen - Einflussfaktoren

- Fördereigenschaften der Drahtelektrode:
  - Geometrie und Festigkeit des Drahtes, Spulungseigenschaften
  - Art und Qualität der Oberflächenausführung (verkupfert, unverkupfert,...)
- Chemische Zusammensetzung des Drahtes (asymmetrischer Tropfenübergang):
  - Oberflächenaktive Elemente wie O, S im Tropfen wirken positiv
  - Begleitelemente wie Al, Ca, Mg wirken negativ auf den Tropfenübergang
- Wahl des Schutzgases:
  - Im Vergleich zu M21-ArC-18 stellt sich bei M20-ArC-10 ein stabiler und nahezu kurzschlussfreier Sprühlichtbogen mit symmetrischem Tropfenübergang ein, sehr spritzerarm

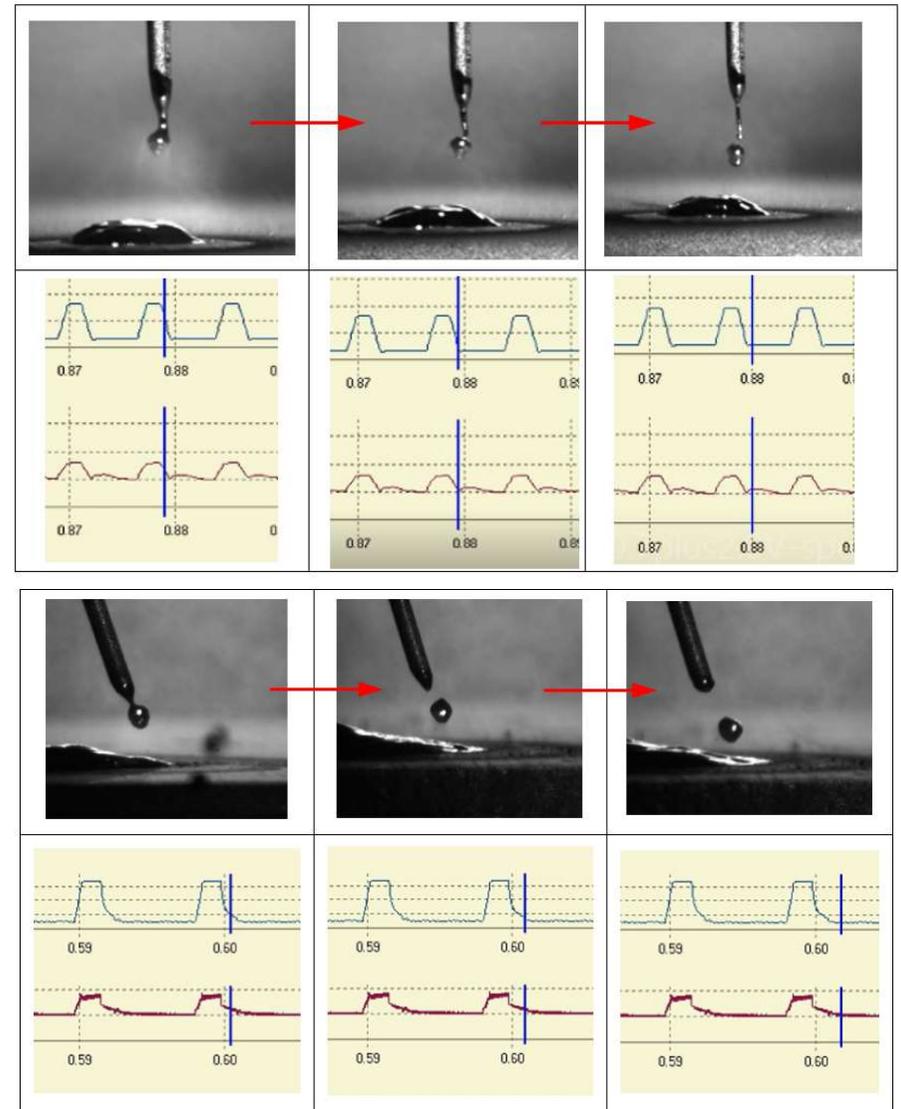
# Spritzer und Schweißrauch beim MAG-Schweißen



**DIE LICHTBOGENART BEEINFLUSST DIE SPRITZERBILDUNG UND DEN FER-WERT**

# ESAB EDGE Pulse

- Standard-Pulsverfahren können die Schweißrauchemission erheblich reduzieren
- Je nach Qualität und Präzision können sich einzelne Tropfen unsauber ablösen und Spritzer bilden
- Besonders präzise eingestellte Pulskenlinien mit fortschrittlicher Pulsregelung, wie bei ESAB EDGE Puls, wirken diesem Effekt gegen



# Einbrand, Anfließverhalten und Spaltüberbrückung

- Mit sinkendem CO<sub>2</sub>-Anteil wird der Einbrand schmaler und tiefer, Flankeneinbrand und Einbrand in Zwangspositionen nehmen ab
- Ab ca. 10% CO<sub>2</sub>-Anteil wird der Einbrand breiter und runder, in der Praxis haben sich Schutzgase mit 8-10% CO<sub>2</sub> bewährt (M20-ArC-10, M20-ArC-8)
- Schutzgase mit 8-10% CO<sub>2</sub> verbessern das Nahtbild und reduzieren die Nahtüberhöhung z.B. bei Kehlnähten
- MAG-Drähte mit besonders limitierten Begleitelementen verbessern das Anfließen und das Nahtbild (sanftere Übergänge, reduzierte Nahtüberhöhung), die erzielbare Schweißgeschwindigkeit steigt
- Eine gute Spaltüberbrückung erfordert Schmelzbäder mit höherer Viskosität (↓ Si, O, S)

# Nacharbeit (Spritzer und Oxide)

- Spritzer und Oxidbeläge („Silikat-Inseln“) sind vor dem Korrosionsschutz (KTL, Farbbeschichtung, Verzinkung) zu entfernen.
- Menge und Lage der Oxide (Si, Mn, Al, Ti, Zr) sind von der Zusammensetzung des Schmelzbades abhängig (Grundwerkstoff, Draht, Schutzgas)
- Oxide können beim Mehrlagenschweißen zum Problem werden und die Produktivität beeinträchtigen (Prozessunterbrechungen)
- Verwendung eines Drahtes mit weniger desoxidierenden Elementen (G 3Si1, G 2Si)
- Wahl eines Schutzgases mit geringerem Aktivgasanteil (M20-ArC-10, M20-ArC-8)



# Nacharbeit (Oxide)



3-lagige Kehlnaht, geschweißt mit einem G 4Si1 Ø1,2 mm ohne Analyseneinschränkung, Schutzgas M21-ArC-18, zeigt ein hohes Aufkommen an Oxiden/Silikaten auf der Oberfläche, schwer entfernbar.



3-lagige Kehlnaht, geschweißt mit einem G 4Si1 Ø1,2 mm mit besonderer Analyseneinschränkung (ESAB Purus 46), Schutzgas M21-ArC-18, zeigt ein günstigeres Aufkommen an Oxiden/Silikaten auf der Oberfläche, leichter entfernbar.



3-lagige Kehlnaht, geschweißt mit einem G 3Si1 Ø1,2 mm, Schutzgas M21-ArC-18, zeigt ein hohes Aufkommen an Oxiden/Silikaten auf der Oberfläche, schwer entfernbar.



3-lagige Kehlnaht, geschweißt mit einem G 3Si1 Ø1,2 mm mit besonderer Analyseneinschränkung (ESAB Purus 42 CF), Schutzgas M20-ArC-8, zeigt ein günstigeres Aufkommen an Oxiden/Silikaten auf der Oberfläche, leichter entfernbar.

# Nacharbeit und Chargenkonstanz

Analysegrenzen nach DIN EN ISO 14341, ASME SFAA-5.18 und ESAB Werksstandard für eine Drahtelektrode G 3Si1 / ER70S-6

Kurzzeichen	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V	Cu*	Al	Ti+Zr
<b>ISO 14341-A: G 3Si1</b>	0,06 – 0,14	0,70 – 1,00	1,30 – 1,60	≤0,025	≤0,025	≤0,15	≤0,15	≤0,15	≤0,03	≤0,35	≤0,02	≤0,15
<b>SFAA-5.18: ER70S-6</b>	0,06 – 0,15	0,80 – 1,15	1,40 – 1,85	≤0,025	≤0,035	≤0,15	≤0,15	≤0,15	≤0,03	≤0,50	-	-
<b>G 3Si1 / ER70S-6 ESAB Purus 42 CF</b>	0,07 - 0,10	0,80 – 0,90	1,40 – 1,50	Gemäß ESAB-Werksstandard für 14 Elemente innerhalb der Analysegrenzen von DIN EN ISO 14341 und SFAA-5.18 spezifiziert (geschütztes Firmenwissen).								

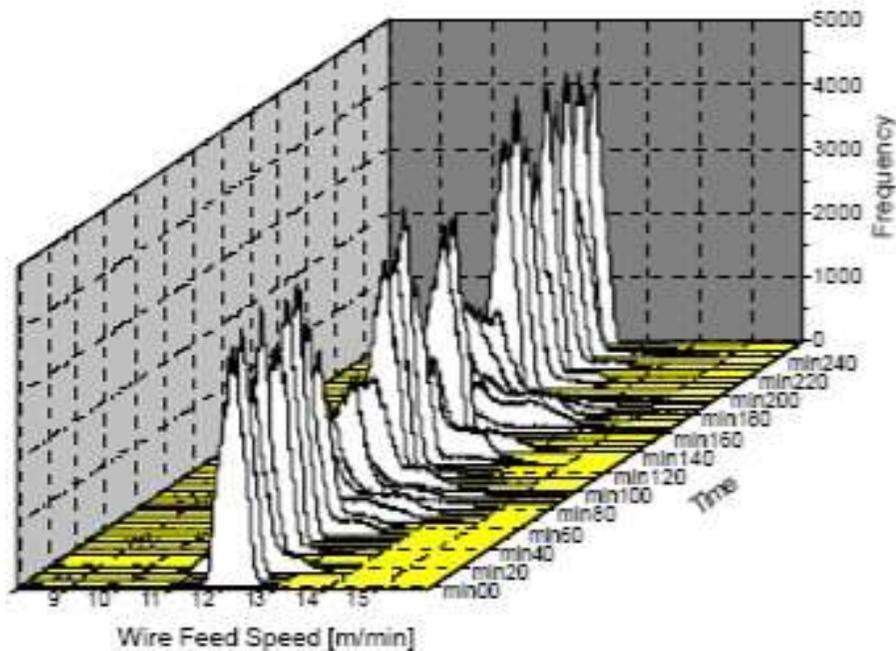
\* Kupferanteil inklusive Verkupferung

- Chargenunabhängige, konstante Qualität, in der Regel ohne Parameteranpassungen:
  - durch strikte Analyseneinschränkungen des Drahtes,
  - engere Durchmesser-toleranzen,
  - Reproduzierbar konstante Oberflächen- und Spulungseigenschaften

# Oberflächenausführung von MAG-Drahtelektroden

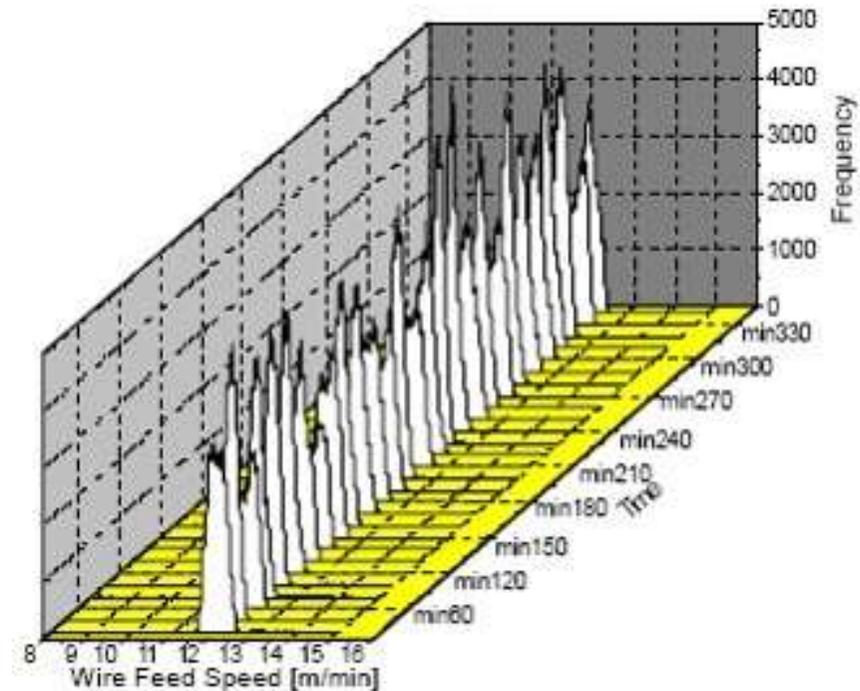


# Oberflächenausführung von MAG-Drahtelektroden



Langzeitschweißverhalten einer verkupferten Drahtelektrode

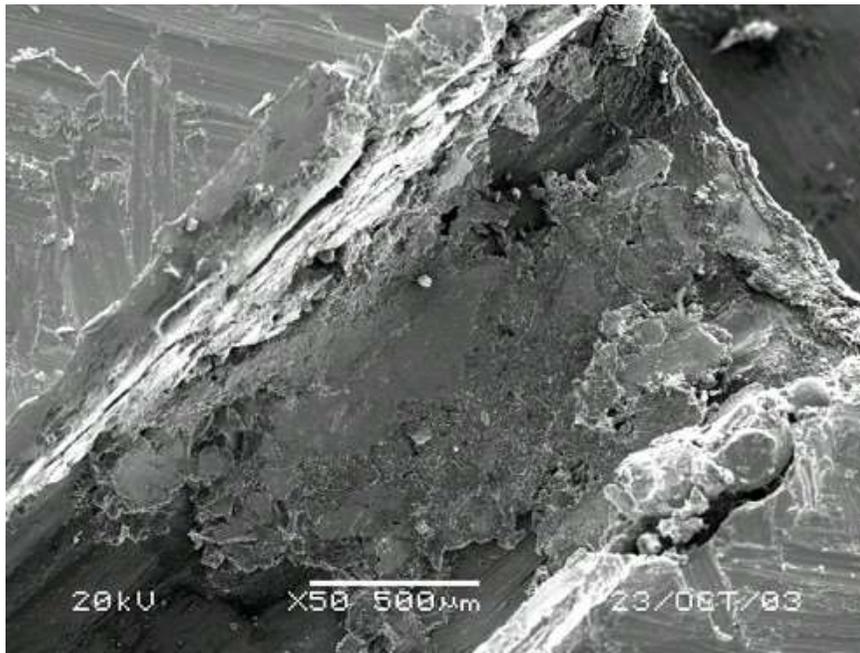
G 3Si1 Ø1,2 mm, Schutzgas M21-ArC-18,  
 $I_S = 350$  A,  $U_S = 32$  V, zeigt ein instabiles Förderverhalten,  
 Drahrückbrand nach 220 min.



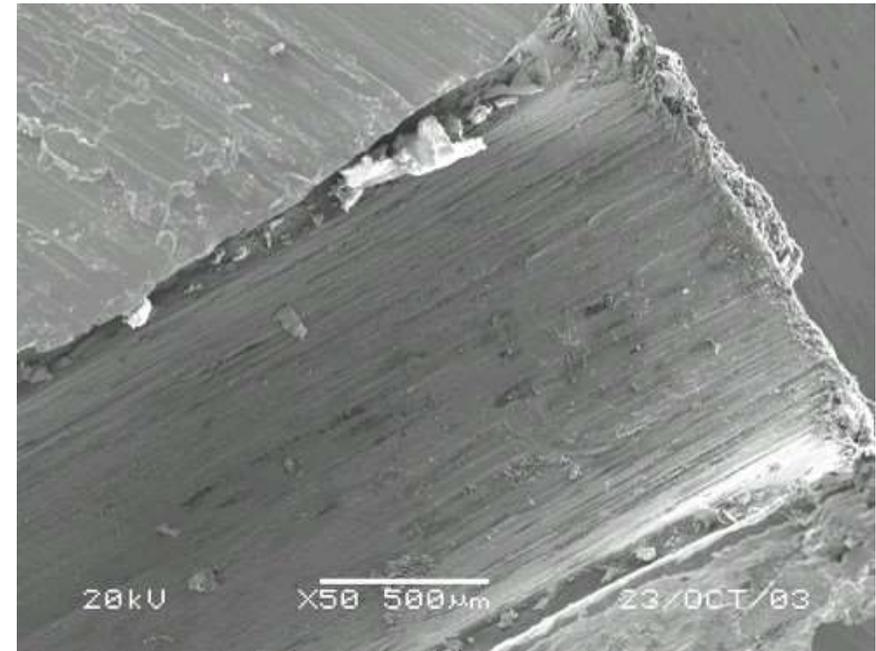
Langzeitschweißverhalten einer unverkupferten Drahtelektrode

G 3Si1 (OK AristoRod 12.50) Ø1,2 mm, Schutzgas M21-ArC-18,  $I_S = 350$  A,  
 $U_S = 32$  V, zeigt auch nach 330 min ein stabiles Förderverhalten.

# Oberflächenausführung von MAG-Drahtelektroden



Stromkontaktrohr nach 1 h Schweißzeit mit 10,2 m/min Drahtvorschubgeschwindigkeit, Drahtelektrode verkupfert, G 3Si1 Ø1,2 mm, Kontaktfläche 50-fach vergrößert, mit deutlichen Kupferablagerungen und Verschleiß.



Stromkontaktrohr nach 1 h Schweißzeit mit 10,2 m/min Drahtvorschubgeschwindigkeit, Drahtelektrode unverkupfert, G 3Si1 Ø1,2 mm, Kontaktfläche 50-fach vergrößert, mit leichtem, gleichmäßigem Verschleiß.

# SCHWEIßBRAUCH

A welder is shown in profile on the left, wearing a dark protective mask. The central focus is a bright blue and white welding torch creating a weld joint, with a shower of sparks flying out to the right. The background is dark, and the scene is framed by yellow diagonal bars at the top and bottom.

# Schweißrauch, was ist das?

- Beim MSG-Schweißen wird durch den eine sehr hohe Temperatur erreicht (4000 – 16000 °C)
- Stahl hat eine Siedetemperatur von ca. 3000 °C, also: Metall verdampft im Lichtbogen und bildet ein Plasma
- Ein Teil verlässt die Schutzgasglocke, reagiert mit der Umgebungsluft und formt kleinste Partikel
- Diese Partikel formen die sogenannten Schweißrauche
- Ein kleiner Anteil kann auch aus dem Grundwerkstoff und dessen Oberfläche entstehen, sowie durch Spritzerauswurf

# Grundlagen

- Ca. 95% des Schweißrauches stammen aus dem Schweißzusatz
  - Drahtelektroden mit weniger Mangan einsetzen (G 3Si1 oder G 2Si statt G 4Si1)
  - Schutzgase mit weniger Aktivgasanteil verwenden (M20 statt M21 oder C1)
  - MAG-Impulsschweißen kann die Emissionsrate um bis zu 50% senken
  - unverkupferte Drähte reduzieren den Kupferanteil im Schweißrauch
- **TRGS 528: Technische Regeln für Gefahrstoffe – Schweißtechnische Arbeiten**
- Schutz des schweißenden Personals und der anderen Beschäftigten im Gefahrenbereich, möglichst durch Absaugung an der Entstehungsstelle
- Emissionsrate und Leitkomponente(n) beachten, hier Manganoxide (toxisch, A & E), A-Staubfraktion und nitrose Gase

# Das STOP-Prinzip (TRGS 900 & 528)

- **S** – Substituieren: Auswahl von gefahrstoffarmen Verfahren und Werkstoffen/Zusatzwerkstoffen
  - Optimierung des MSG-Prozesses hinsichtlich Energieeintrag, Schweißzusatz, Prozessgas
  - Alternative Verfahren: WIG, UP
- **T** – Technische Schutzmaßnahmen: Lüftungstechnische und bauliche Maßnahmen
  - Schweißrauchabsaugung am Brenner, nachlaufend oder stationär am Arbeitsplatz
  - Raumlüftung, räumliche Trennung
- **O** – Organisatorische Schutzmaßnahmen: Organisatorische und hygienische Maßnahmen
  - Reinigung von Oberflächen vor dem Schweißen
  - Begrenzung der Expositionszeit und der exponierten Beschäftigten
- **P** – Persönliche Schutzmaßnahmen: Persönliche Schutzmaßnahmen
  - Innenbelüftete Helme/Hauben
  - Atemschutzmasken



# S ubstitution — Schweißzusätze

# Schweißrauch-Analyse nach EN ISO 15011-4

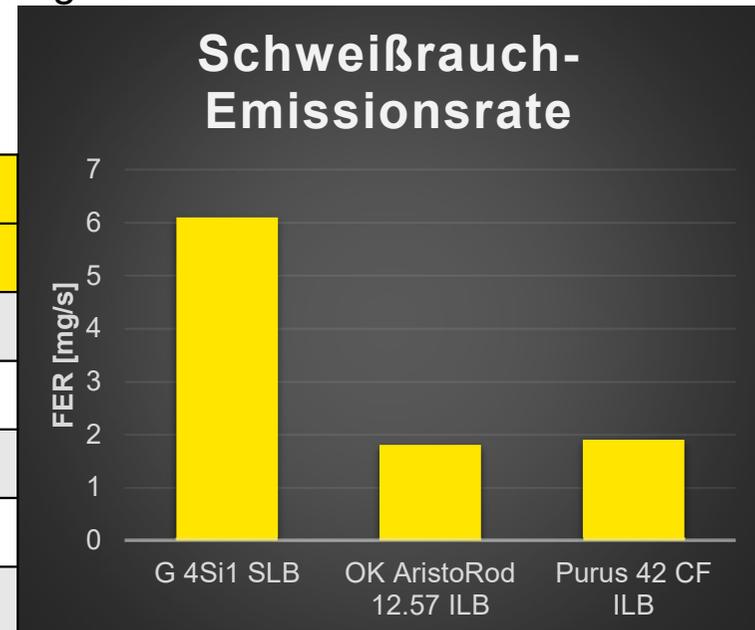
Schweißrauchemissionsrate und -zusammensetzung beim MAG-Schweißen, Messung für Rauchdatenblätter nach DIN EN ISO 15011-4 (Gemeinschaftsprojekt der Schweißelektroden-Vereinigung SEV e.V.)

Draht- elektrode ISO 14341-A	Draht- durchmesser [mm]	Draht- oberfläche	Emissionsrate [mg/s]	Zusammensetzung des Schweißrauchs in %			
				Leitkomponente Mn	Cu	Cr	Ni
G 2Si	1,0	verkupfert	10,0	5,39	0,28	0,04	0,05
		unverkupfert	8,4	5,19	0,12	0,04	0,06
	1,2	verkupfert	10,8	6,01	0,52	0,05	0,07
		unverkupfert	12,9	4,56	0,12	0,05	0,03
G 3 Si1	1,0	verkupfert	9,5	6,13	0,18	0,02	0,06
		unverkupfert	7,0	7,24	0,07	0,02	0,05
	1,2	verkupfert	9,5	6,31	0,35	0,06	0,07
		unverkupfert	9,7	6,76	0,12	0,04	0,05
G 4Si1	0,8	verkupfert	4,0	7,28	0,31	0,02	0,06
		unverkupfert	9,0	6,41	0,28	0,04	0,04
	1,0	verkupfert	8,4	7,06	0,06	0,06	0,05
		unverkupfert	11,0	6,99	0,25	0,03	0,04
	1,2	verkupfert	11,0	6,71	0,03	0,04	0,05
		unverkupfert	11,5	7,54	0,18	0,02	0,04

# Schweißrauchmessung aus der Praxis

- Schweißrauch – unter realen Bedingungen gemessen
- Die Vorgaben in DIN EN ISO 15011-4 geben vergleichbare, aber realitätsferne Werte
- In Anlehnung an die Normvorgaben wurde ein Sprühlichtbogen mit G 4Si1 (verkupfert) und Impulslichtbogen mit G 2Si und G 3Si1 (jeweils unverkupfert) verglichen
- Drahtvorschub: 13,5 m/min

	Anteil im Schweißrauch [%]		
	G 4Si1 SLB	OK AristoRod 12.57 ILB	Purus 42 CF ILB
Cr	0,02	0,02	0,04
Mn	6,03	4,91	6,87
Ni	0,02	0,04	0,03
Fe	53,5	45,2	45,2
Cu	0,44	0,09	0,09

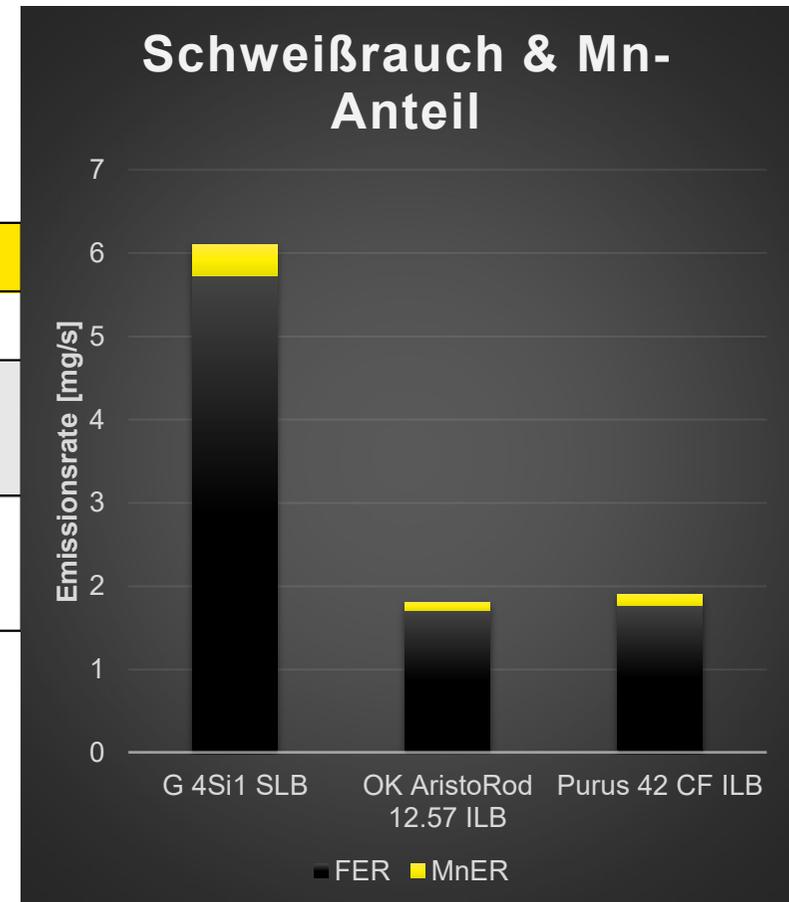


# Schweißrauch – Mn-Anteil

- Die Ergebnisse einer Schweißrauchuntersuchung sollten immer im Kontext betrachtet werden
- Auch wenn der Mn-Anteil im Schweißrauch ähnlich sein kann, ist die tatsächliche Emission mit ILB deutlich geringer:

	G 4Si1 SLB	OK AristoRod 12.57 ILB	Purus 42 CF ILB
FER [mg/s]	6,1	1,8	1,9
Anteil Mn im Schweißrauch [%]	6,03	4,91	6,87
Mn-Emissionsrate [mg/s]	<b>0,368</b>	<b>0,089</b>	<b>0,131</b>

- Daraus ergibt sich: Zur Minimierung von Schweißrauchemissionen und Mn gehört eine gesamtheitliche Prozessbetrachtung



# Auswahl des Schutzgases

Meist verwendete Schutzgase zum MAG-Schweißen nach DIN EN ISO 14175:

Symbol	Komponenten in Volumen-Prozent			Typische Gemische nach DIN EN ISO 14175
	Oxidierend		Inert	
	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	Ar	
<b>C1</b>	100			C1
<b>M20</b>	5 – 15		Rest	M20-ArC-8
				M20-ArC-10
<b>M21</b>	15 – 25		Rest	M21-ArC-18

■ Steigender Aktivgasanteil:

- Abbrand und Sauerstoffanteil im Schweißgut nehmen zu
- Höhere Oxidation führt zu mehr Oxiden/Silikaten auf der Naht

■ Sinkender Aktivgasanteil:

- Festigkeit und Zähigkeit nehmen tendenziell zu
- Porengefahr steigt (schmaleres Einbrandprofil, Entgasungsbedingungen ungünstiger)

# Durchmesser der Drahtelektrode

Einfluss des Drahtelektroden-Durchmessers auf Drahtvorschubgeschwindigkeit und Schweißstrom im Sprühlichtbogen bei einer Richtabschmelzleistung von 5,9 kg/h

Abschmelzleistung in kg/h bei 100% Einschaltdauer	ca. 5,9			
Drahtdurchmesser in mm	0,8	0,9	1,0	1,2
Drahtvorschubgeschwindigkeit in m/min	25	20	16	11
Schweißstrom in A	220	230	240	330

- Bei gleicher Abschmelzleistung bewirkt ein zunehmender Drahtdurchmesser:
  - die Zunahme des Schweißstromes und der Streckenenergie (Verzug),
  - eine größere Einbrandtiefe,
  - einen höheren Aufmischungsgrad aus dem Grundwerkstoff,
  - eine kleinere Drahtvorschubgeschwindigkeit

# Schweißrauch – unter realen Bedingungen

- Schweißrauchfilter nach 15 Sekunden Schweißzeit

G 4Si1 SLB



OK AristoRod 12.57 ILB



Purus 42 CF ILB



# Zusammenfassung und Handlungsempfehlungen

- Auswahl des Schweißgutes nur so fest wie nötig (G 2Si oder G 3Si1 statt G 4Si1)
- Wahl des Schutzgases mit weniger Aktivanteil (M20-ArC-10 oder M20-ArC-8 statt M21-ArC-18)
- Unverkupferte Drahtelektroden statt verkupfelter Drähte
- Minimierung der Emission durch MAG-Impulslichtbogen statt Sprühlichtbogen
- Minimierung der Nacharbeit (Spritzer, Oxide/Silikate) durch MAG-Drähte mit besonders eingestellter chemischer Analyse
- Beachtung chargenunabhängiger Qualitäts- und Spulungseigenschaften für automatisierte Schweißlösungen
- Wahl des optimalen Drahtdurchmessers für höhere Abschmelzleistung bei gleichem Schweißstrom

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



ESAB Welding & Cutting GmbH

Zweigstelle Langenfeld

- Anwendungstechnik -

Winkelsweg 178 – 180

D-40764 Langenfeld / Rheinland

VICTOR® // THERMAL DYNAMICS® // TWECO® // ARCAIR® // EXATON™ // STOODY® // ALCOTEC® // AMI® // GCE®