

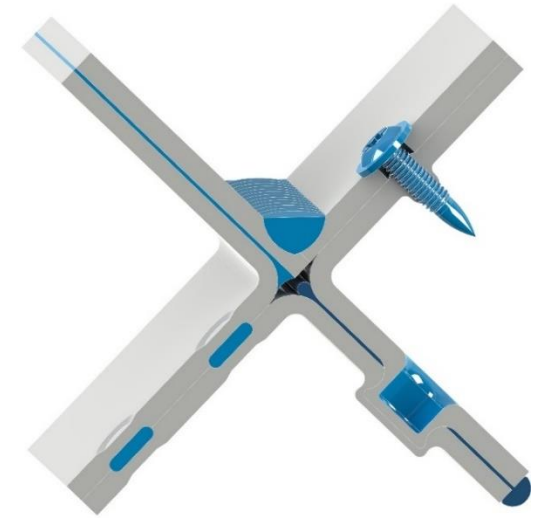
Marcus Trautmann, Uwe Füssel  
TU Dresden, Institut für Fertigungstechnik, Professur für Fügetechnik und Montage  
Arbeitsgruppe Lichtbogenprozesse

# Einfluss der Schutzgaszusammensetzung auf die Schweißrauchentstehung bei Schutzgasschweißverfahren

Kolloquium Schweißrauche  
29.10.2020

# Professur für Fügetechnik und Montage

- Forschung und Lehre in den Bereichen
  - Thermisches Fügen (Lichtbogenschweißen, Widerstandsschweißen + Löten)
  - Kleben
  - Umformtechnisches und mechanisches Fügen sowie Hybridfügen
  - Ganzheitliche Planung von Montage-, Handhabungs- und Fügeprozessen
- 25 wissenschaftliche MitarbeiterInnen, 7 technische und kaufmännische MitarbeiterInnen

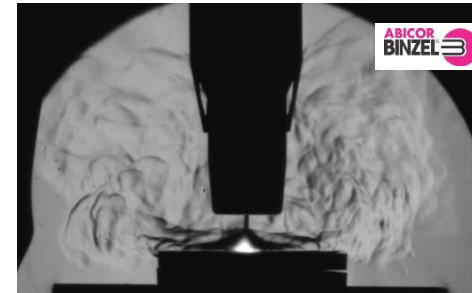


## Arbeitsgruppe Lichtbogenprozesse

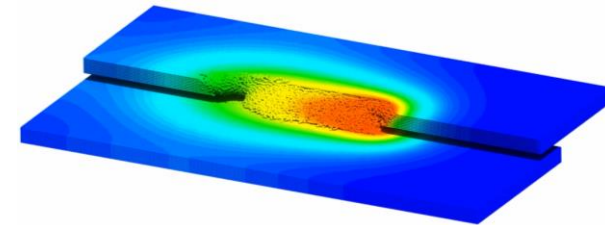
### Arbeitsschutz, Prozesssimulation, Verfahrensentwicklung

- Analyse und Weiterentwicklung von Lichtbogenprozessen (z.B. WIG, WIG-Heißdraht, Plasma, MSG, Bolzenschweißen)
- Entwicklung und Anwendung unterschiedlicher Prozessdiagnostiken (z.B. Staudruck, Wärmestromdichte, Schutzgasqualität, Absaugbrenner)
- Prozesssimulation (z.B. Lichtbogenprozess, Schmelzbad, Rauchausbreitung)
- Brenner- und Verfahrensentwicklung (z.B. Konzeptionierung von Schleppgasdüsen, Entwicklung emissionsreduzierter Schweißprozesse)

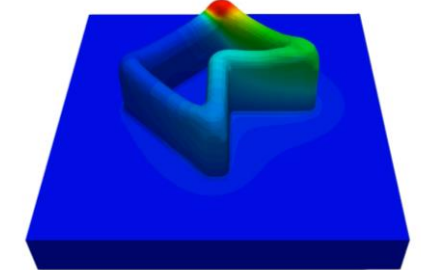
*Diagnostik der Prozessgasströmung*



*Simulation des Schmelzvorgangs*



*Additive Fertigung mittels Lichtbogen*



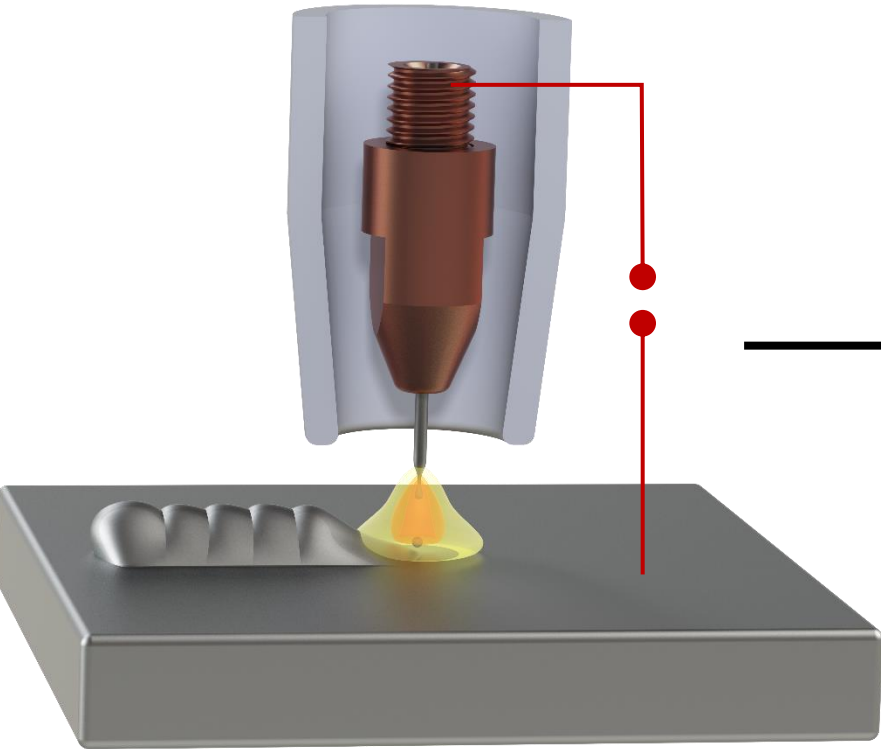
# Einführung

## Gefahren und Grenzwerte

# Lichtbogenschweißen – Gefahren für die Umgebung

MSG-Schweißen

Mensch / Umwelt



Wirkt auf



Abicor Binzel

**Emission** von

- Rauch
- Strahlung
- Schall

**Immission** auf Werker/Umwelt

- Lungenschädigende/krebserregende Stoffe
- Schädigung von Haut und Augen
- Hörschädigung

# Lichtbogenschweißen – Problemstellung Grenzwerte

## Motivation

Beim MSG-Schweißen entstehen Schweißrauche, die eine erhebliche Belastung für Schweißer und Bediener darstellen.

- Grenzwerte für Konzentration am Arbeitsplatz festgelegt in TRGS900 Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW)
- AGW: Einatembare Fraktion (E-Rauch): **10 mg/m<sup>3</sup>**  
Alveolengängige Fraktion (A-Rauch, < 10 µm): **1,25 mg/m<sup>3</sup>** (seit 2014, davor 3 mg/m<sup>3</sup>)

Gefahr des Schweißrauches wird nach heutigem Stand in Abhängigkeit von der Schweißrauchzusammensetzung beurteilt.

- Festlegung stoffspezifischer Grenzwerte in Abhängigkeit des Gefährdungspotentials:
  - ⇒ Nickel **6 µg/m<sup>3</sup>**
  - ⇒ Mangan **20 µg/m<sup>3</sup> (A), 200 µg/m<sup>3</sup> (E)**
  - ⇒ Chrom(VI) **1 µg/m<sup>3</sup>** (Nachweisgrenze)

→ Emissionsraten müssen reduziert werden.

→ Anteil toxischer und kanzerogener Stoffe im Schweißrauchen muss minimiert werden.



Abicor Binzel

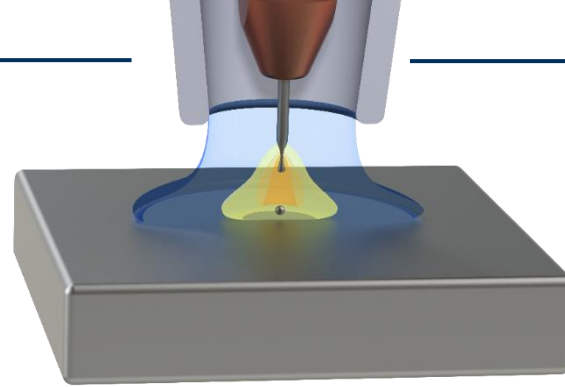
# Einführung

## Entstehung von Schweißrauch

# Schweißrauchentstehung

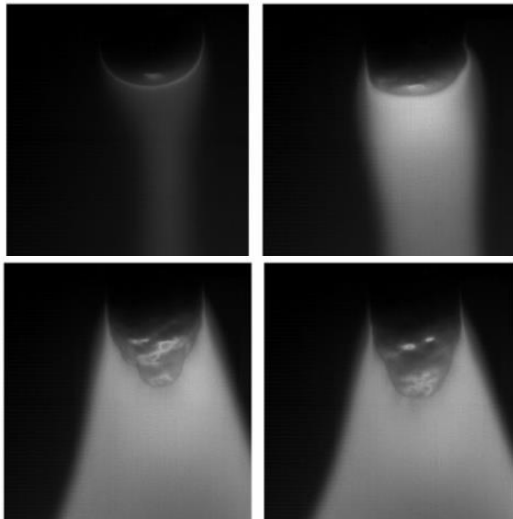
## Verdampfung

- Extremer Energieeintrag in die Drahtspitze durch den Stromfluss
- Überhitzung (Kochen!) der flüssigen Drahtspitze
- Verdampfung von Metall, bildet später feine Oxidpartikel



## Spritzer

- Unsaubere Tropfenablösung durch Kräfte am Tropfen
- Extrem hoher Strom in der Schmelzbrücke bei Kurzschluss → explosionsartiges Aufreißen
- Herausschleudern von Tröpfchen



## Einfluss des Schutzgases auf die Entstehungsmechanismen?



# Einfluss von CO<sub>2</sub> im Schutzgas

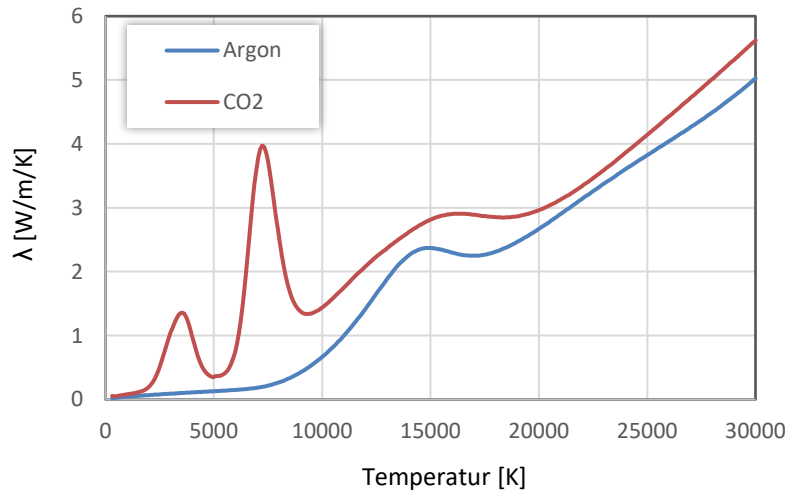


# Einfluss von CO<sub>2</sub> im Schutzgas

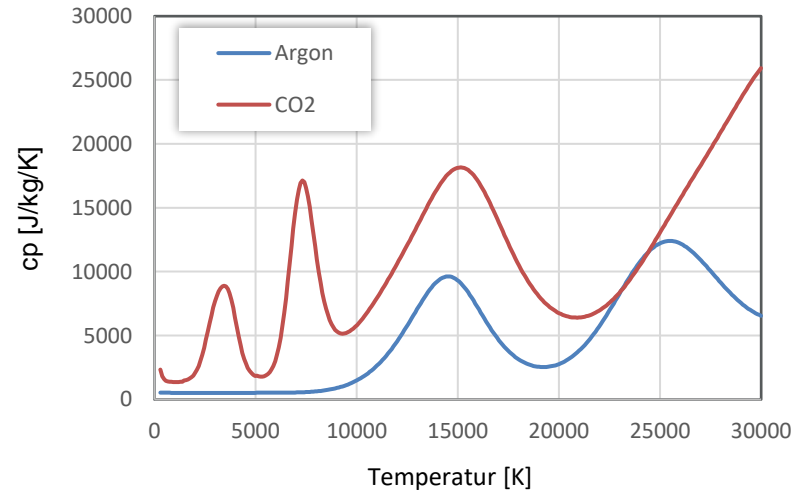
## Materialeigenschaften der Schutzgase

- Argon und CO<sub>2</sub> mit ähnlicher Atom- bzw. Molekülmasse und Dichte
- Argon als Inertgas, CO<sub>2</sub> als Molekül
  - Große Unterschiede der thermischen Leitfähigkeit und Wärmekapazität

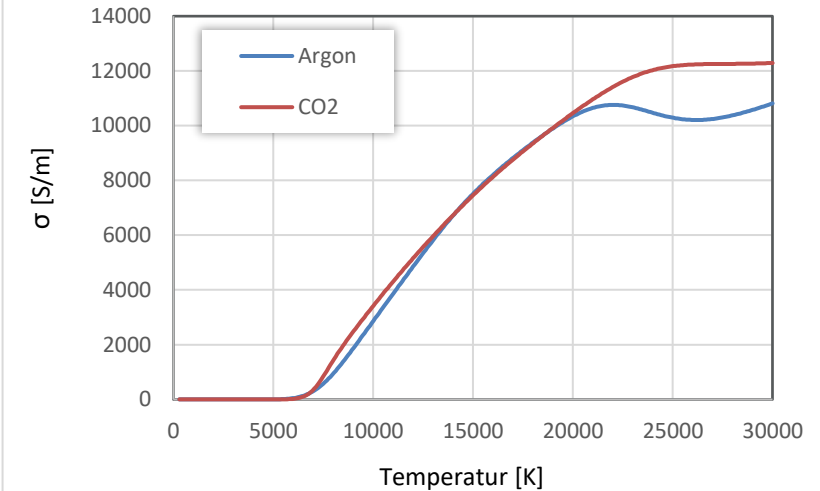
### Wärmeleitfähigkeit



### Spez. Wärmekapazität



### Elektrische Leitfähigkeit



- Ähnliche elektrische Leitfähigkeit, leitfähiges Plasma ab ca. 8000 K
- Einfluss der Eigenschaften auf beide Mechanismen Verdampfung und Kurzschluss möglich

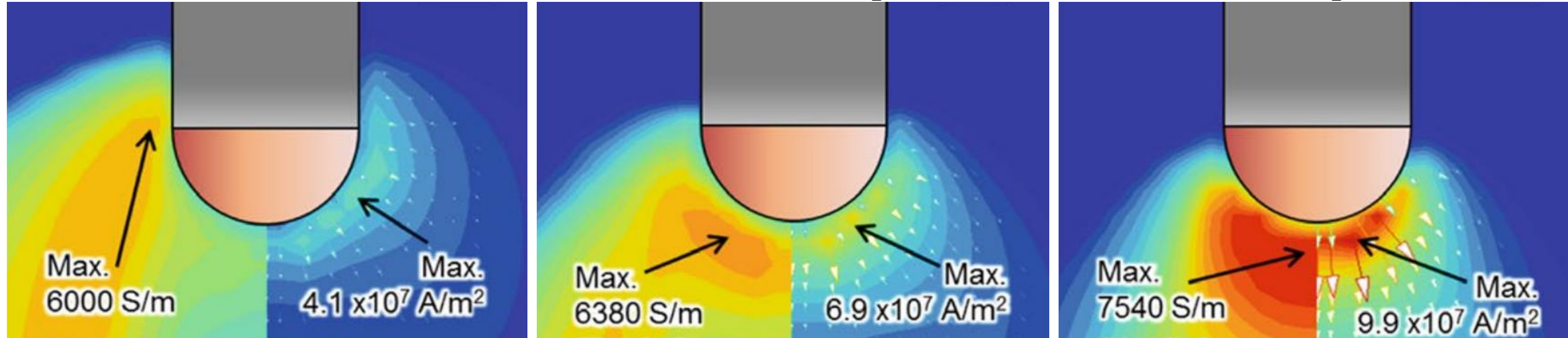
# Einfluss von CO<sub>2</sub> im Schutzgas

## Einfluss auf die Rauchbildung durch Verdampfung

Ar

Ar + 20 % CO<sub>2</sub>

CO<sub>2</sub>

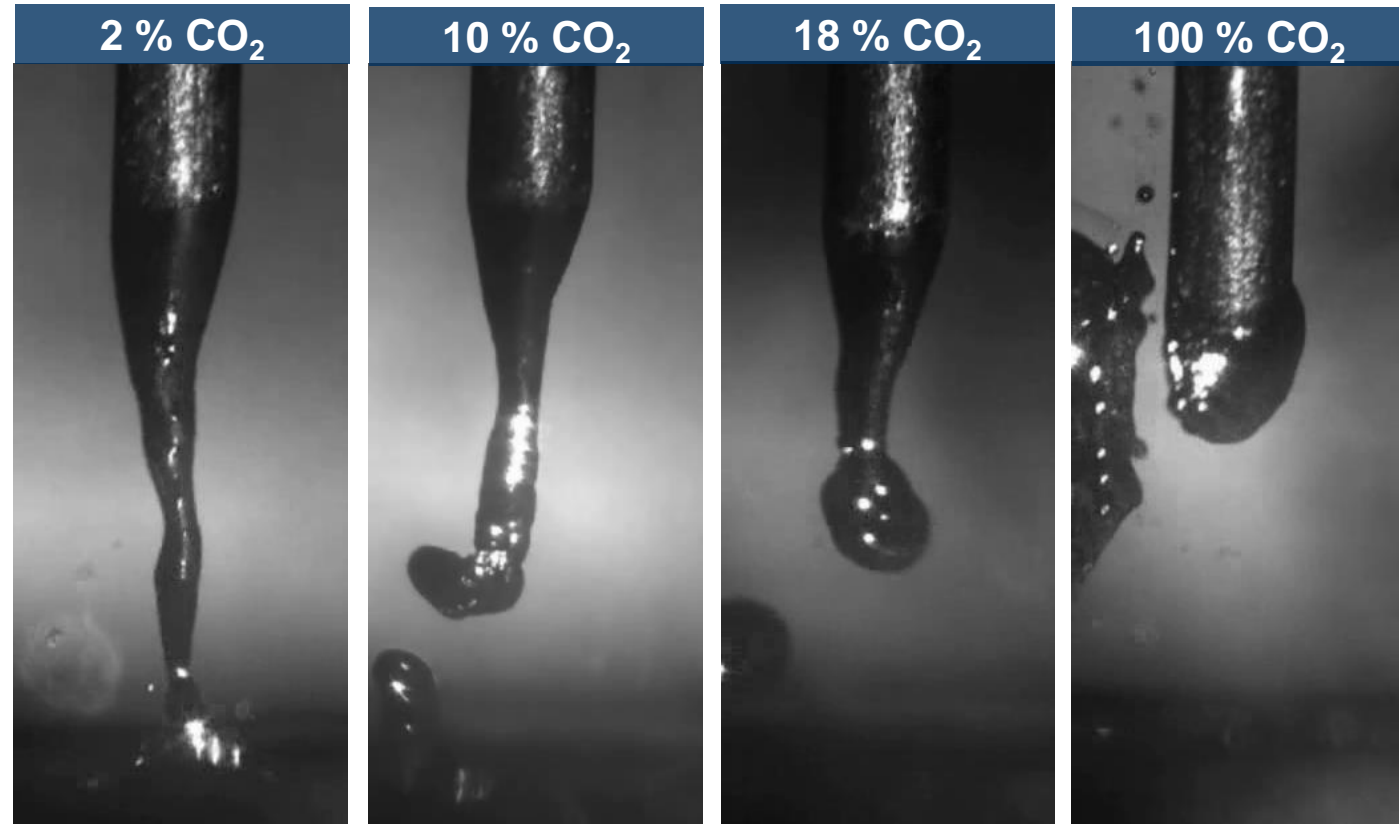
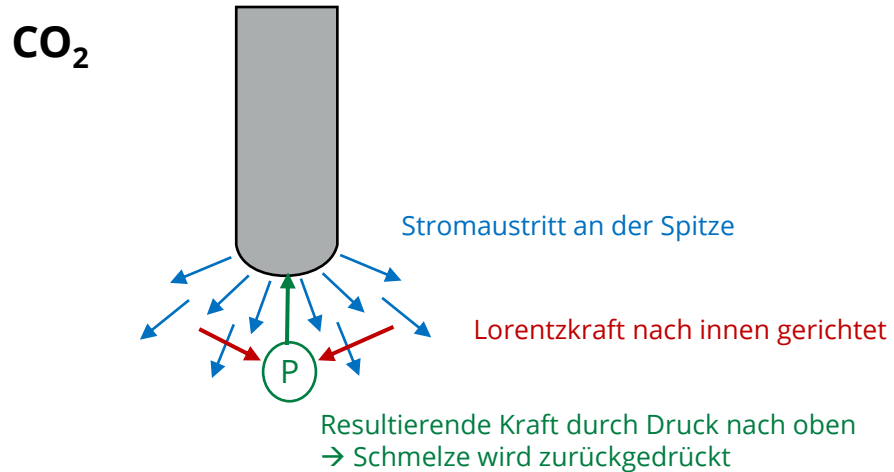
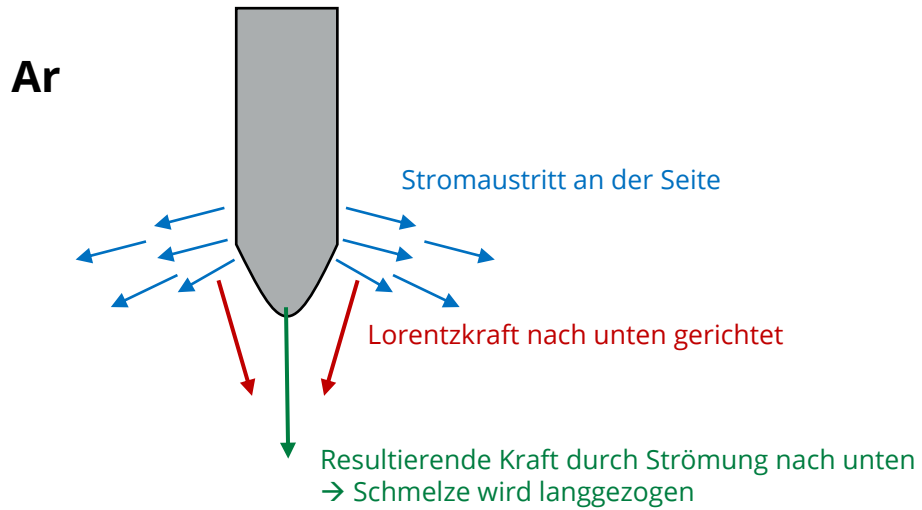


Elektrische Leitfähigkeit (jeweils links) und Stromdichte (jeweils rechts) an der Drahtspitze im MSG-Lichtbogen (Ogino [2])

- Eisendampf an der Spitze kühlt den Lichtbogenkern → Lichtbonge „wandert“ weg von der Drahtspitze.
- Hohe Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität fokussiert den Lichtbogenansatz
  - Mit steigendem CO<sub>2</sub>-Gehalt verbleibt der Lichtbogen an der Drahtspitze
  - Deutliche Steigerung des lokalen Energieeintrags an der Drahtspitze → erhöhte Verdampfung

# Einfluss von CO<sub>2</sub> im Schutzgas

## Einfluss auf die Rauchbildung durch Spritzer



- Kurzschlussanfälligkeit nimmt mit steigendem CO<sub>2</sub>-Anteil zunächst ab und danach wieder zu
  - Grenze hängt von Parametern ab (Werkstoff, Drahtvorschub, Spannung, etc.)

# Einfluss von CO<sub>2</sub> im Schutzgas

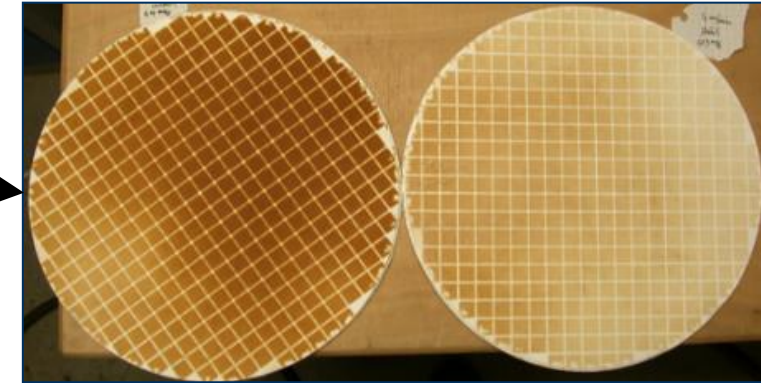
## Messung der Gesamtemission unter Laborbedingungen

Messung des insgesamt emittierten Rauchs in einer bestimmten Zeit.  
Keine Unterscheidung zwischen A- und E-Rauch



Brenner in Absaughaube mit starker Absaugung (ca. 300 m<sup>3</sup>/h)  
→ Erfassung der gesamten Emission aus dem Prozess

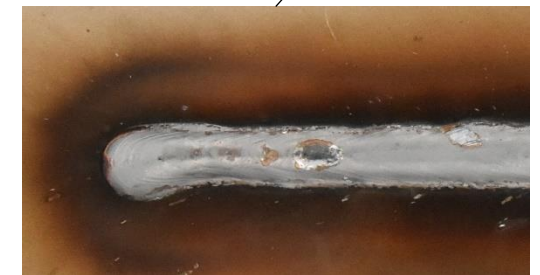
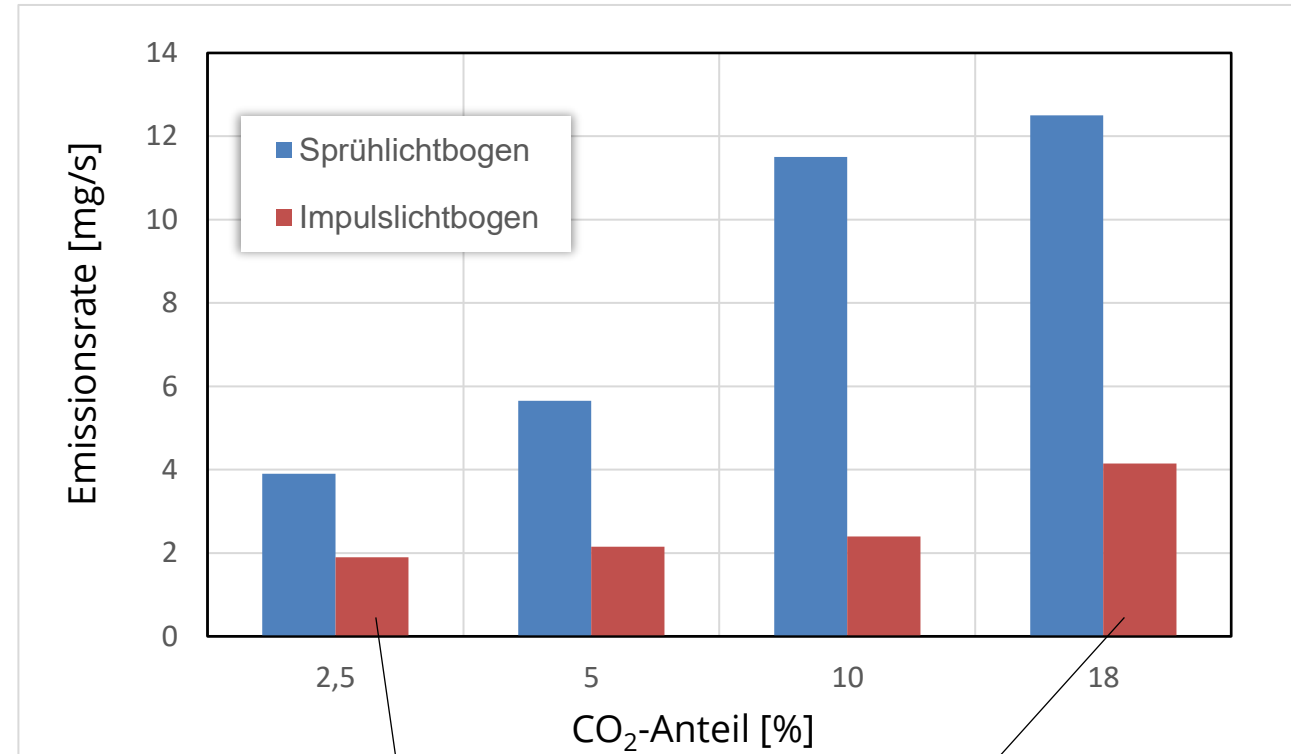
Erfassung des Rauchs in einem Filter  
Gravimetrische Messung der Emission



# Einfluss von CO<sub>2</sub> im Schutzgas

## Messung der Gesamtemission unter Laborbedingungen - Ergebnisse

- Konstante Laborbedingungen:
  - Kontaktrahabstand: 18 mm
  - Schutzgasmenge: 18 l/min
  - Spannungskorrektur: +5V
  - Drahtvorschub
    - Sprühlichtbogen: 10 m/min
    - Impulslichtbogen: 6 m/min
- Deutliche Reduzierung durch Verringerung des CO<sub>2</sub>-Anteils im Schutzgas
  - Bis zu 70 % mit Sprühlichtbogen
  - Bis zu 50 % mit Impulslichtbogen
- Grenzwert für Chrom sehr gering → bei hochlegierten Stählen weitere Reduzierung notwendig



# Weitere Ansätze zur Rauchgasreduzierung

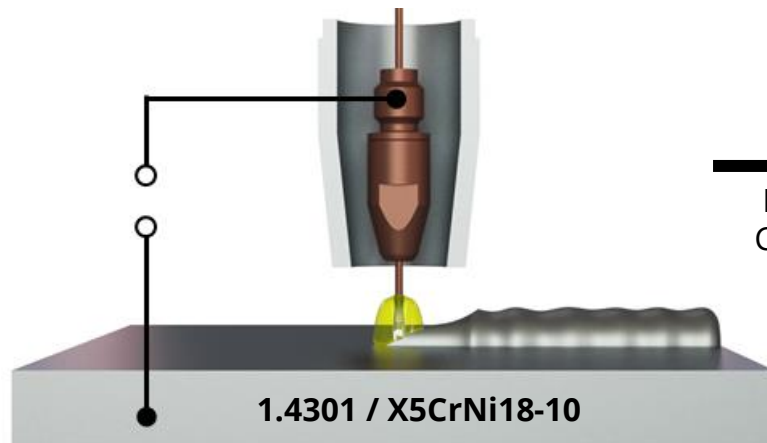


# Weitere Ansätze zur Rauchgasreduzierung

- Weitere Gaszusammensetzungen möglich
  - Interessante Einflüsse auf die Produktivität durch  $O_2$ , He,  $H_2$  [1] → Einfluss auf Rauch?
- Energiereduzierte Verfahren
  - Intelligente Regelung von Drahtvorschub und/oder Strom (Beispiel CMT, ColdArc etc.)
  - Einfluss vor allem auf die Emission durch Kurzschlüsse, Einfluss auf E- und A-Rauch bisher unbekannt
- MSG-Prozess + Heißdraht [3]
  - Verdampfung entsteht durch Lichtbogen am Tropfen!

## Konventioneller MSG-Prozess

Bis zu 20% Cr-Oxid  
Bis zu 10% Ni-Oxid

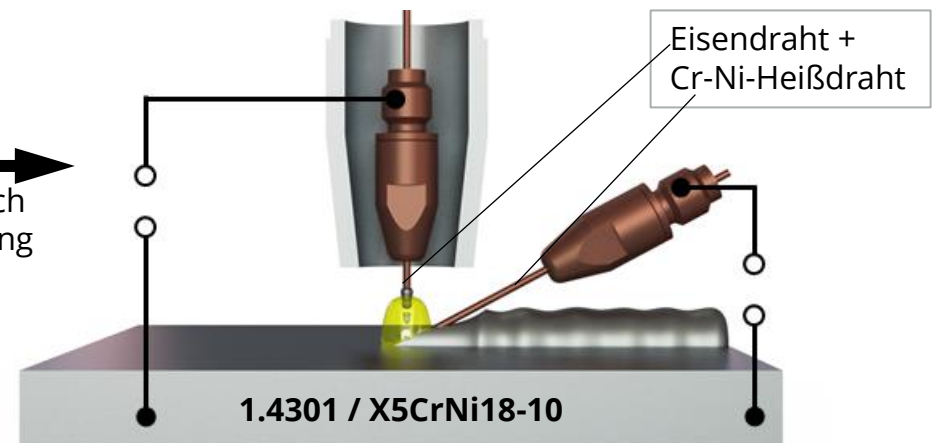


## Neuer Ansatz

Eisen-MSG-Draht → Eisenoxidrauch  
Cr-Ni-Heißdraht, keine Verdampfung

## Heißdraht - MSG-Prozess

<1% Cr-Oxid  
<1% Ni-Oxid



# Fazit



# Fazit

- Zusammensetzung der Schutzgase mit komplexem Einfluss auf die Rauchemission
  - Geringe Zumischungen von CO<sub>2</sub> in Argon verbessern die Kurzschlussanfälligkeit
  - Höhere Zumischungen erhöhen die Kurzschlussanfälligkeit und Verdampfung am Draht durch die Konzentration des Lichtbogens an der Drahtspitze
  - Achtung: Einstellung der Prozessparameter nach Änderung der Schutzgase notwendig
  - **Großes Potential** zur Reduzierung der Emission am Entstehungsort (50% bis 70% Reduzierung)
    - Eingriff am **Entstehungsort** der Emission, bevor sie zur Immission wird (STOP-Prinzip)!
    - Verbesserung unter Nutzung der bestehenden Anlagen, keine Investition notwendig!
- Weitere Mischgase mit Zusätzen von Sauerstoff, Helium oder Wasserstoff denkbar (aktuelle Skizze von ISF bei DVS)).
- Weiteres Potential in Verbindung mit modernen Verfahren (Energiereduzierte Verfahren, Cr-Ni - Heißdraht)

# Literatur

- [1] Füssel, U.: *Steigerung der Wirtschaftlichkeit der MSG-Schweißprozesse durch konsequente Nutzung der Potentiale von Schutzgasen*. Schlussbericht IGF-Vorhaben 14.431B, Technische Universität Dresden, 2014
- [2] Ogino, Y.; Hirata, Y.; Asai, S.: *Discussion of the Effect of Shielding Gas and Conductivity of Vapor Core on Metal Transfer Phenomena in Gas Metal Arc Welding by Numerical Simulation*. Plasma Chemistry and Plasma Processing 40:1109–1126, 2020
- [3] Füssel, U.: *Emissionsarmes MSG-Heißdrahtschweißen - Reduzierung gefährlicher Schweißbrauche durch die partielle Trennung von Lichtbogen und Zusatzwerkstoff*. Schlussbericht IGF-Vorhaben 18.179 B, Technische Universität Dresden, 2016