

# 32. Schweißtechnische Fachtagung

Eine Gemeinschaftsveranstaltung von:

**Schweißtechnische  
Lehranstalt Magdeburg**  
Gemeinnützige GmbH



**11. Mai 2023**

**Barleben**

**DVS** VERBAND  
DVS BV-MAGDEBURG



## Impressum

### 32. Schweißtechnische Fachtagung

Herausgeber\*innen:

Manuela Zinke, René Schasse und Adam Kassawat

Kontaktadresse:

Lehrstuhl für Fügetechnik

Institut für Werkstoff- und Fügetechnik

Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Universitätsplatz 2

39106 Magdeburg, Germany



Dieses Werk ist lizenziert unter der Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 Lizenz (CC BY-SA 4.0). Diese Lizenz erlaubt unter Voraussetzung der Namensnennung des Urhebers die Bearbeitung, Vervielfältigung und Verbreitung des Materials in jedem Format oder Medium für beliebige Zwecke, auch kommerziell, sofern der neu entstandene Text unter derselben Lizenz wie das Original verbreitet wird.

(Lizenz-Text: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.de>)

Die Bedingungen der Creative-Commons-Lizenz gelten nur für Originalmaterial. Die Wiederverwendung von Material aus anderen Quellen (gekennzeichnet mit Quellenangabe) wie z. B. Schaubilder, Abbildungen, Fotos und Textauszüge erfordert ggf. weitere Nutzungsgenehmigungen durch den jeweiligen Rechteinhaber.

ISBN 978-3-948749-35-4

DOI 10.25673/101933

1. Auflage, Mai 2023

Bildnachweis Titelblatt:

Fotos, obere Reihe: Fotograf Thomas Lein (Hundisburg), Eigentumsrechte Schweißtechnische Lehranstalt Magdeburg

Foto, untere Reihe links: Frank Adam

Foto, untere Reihe rechts: Martin Wiersdorff-Dittmar

Manuskriptdrucke. Die Autor\*innen zeichnen für ihre Beiträge inhaltlich selbstverantwortlich.

Die Manuskripte wurden durch die Herausgeber\*innen nur redaktionell bearbeitet.

© 2023



## Inhalt

Vorwort .....	5
<b>Aus 5 wird 1 – Entwicklung bei der Schweißerprüfung nach ISO 9606 – Damit zusammenkommt, was zusammengehört?</b> J. W. Mußmann, Meerbusch .....	8
<b>Gusseisenreparatur: Bisher und zukünftig mit Nickel als Zusatz? Oder jetzt mit Bronze und mittels Lichtbogenlöten?</b> D. Baunack, A. Liehr, D. Janoschka, T. Niendorf, Kassel .....	18
<b>Anwenderunabhängige Schweißnaht-Prüfung nach DIN EN ISO 17637 durch den Einsatz von 3D-Scannern</b> D. Hüls, Neubeuern und D. Horstkott, Hagen .....	32
<b>MSG-Schweißen und Schadstoffe - Wirksamkeit verschiedener Schutzmaßnahmen</b> S. Egerland, M. Wiesinger, P. Hauser, A. Hartinger .....	40
<b>Der Strombrückenzug Magdeburg, drei Bauwerke, drei Problemlösungen</b> M. Seidel, S. Bayat und A. Behnke, Hannover .....	49
<b>Auftragschweißen, lang gelebte Nachhaltigkeit in der industriellen Anwendung</b> G. Peters, Magdeburg sowie H. Mühlbauer und S. Derrix, Wachtendonk .....	62
Autorenverzeichnis .....	75
Posterbeiträge .....	76
Vorankündigung .....	81

## Vorwort

Sehr geehrte Damen und Herren,

Mit spannenden Themen aus der Schweiß- und Fügetechnik findet am 11. Mai 2023 die 32. Schweißtechnische Fachtagung als Gemeinschaftsveranstaltung des DVS Bezirksverbandes Magdeburg, des Instituts für Werkstoff- und Fügetechnik der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg und der Schweißtechnischen Lehranstalt Magdeburg statt.

Die Veranstalter laden ganz herzlich dazu ein, das breit gefächerte Angebot an interessanten Fachvorträgen zu nutzen, um sich umfassend über neue Entwicklungen und verschiedenste aktuelle Themen aus der Schweiß- und Fügetechnik zu informieren und diese Plattform für den Erfahrungsaustausch mit Fachkollegen und Referenten wahrzunehmen.

Die Fachtagung wird in bewährter Form von der Fachausstellung namhafter Anbieter schweißtechnischer Ausrüstungen begleitet und auch für das leibliche Wohl ist natürlich wieder gesorgt.

Den Tagungsband erhalten alle Teilnehmer vor Ort in digitaler Form auf einem USB-Stick.

Die Veranstalter freuen sich auf Ihren Besuch und auf eine gelungene Veranstaltung.

A. Kassawat  
DVS Bezirksvorstand  
Magdeburg

Prof. S. Jüttner  
Institut für Werkstoff- und Fügetechnik  
Lehrstuhl Fügetechnik

Dr. R. Schasse  
Schweißtechnische Lehranstalt  
Magdeburg gGmbH

Magdeburg, im Mai 2023

## Das Dienstleistungsangebot der SL Magdeburg gGmbH



### Wir sind Ihr kompetenter Partner

- für** Schweißerausbildung im MAG-Schweißen, WIG-Schweißen, E-Schweißen, Gas-Schweißen UP-Schweißen und Bolzen-Schweißen
- für** Ausbildung zur Flammrichtfachkraft
- für** Qualifikation zum Sichtprüfer nach DIN EN ISO 9712
- für** Qualifikation zum Internationalem Schweißfachmann und Schweißpraktiker
- für** Schweißerausbildung und –prüfung nach Druckgeräterichtlinie 2014/68/EU und DIN EN ISO 9606



### Wir sind autorisierter Dienstleister

- als** Anerkannte unabhängige Überwachungsstelle nach Landesbauordnung
- für** Betriebszertifizierungen nach DIN EN 1090, DIN EN ISO 3834 und DIN EN ISO 17660
- für** Begutachtung von Schadensfällen
- für** Werkstoff- und Schweißnahtprüfungen
- für** Ergänzende Werkstoffprüfungen (Z-Güten, Aufschweißbiegeversuch, Warmzugversuch)
- für** Schweißverfahrensprüfungen u. Arbeitsproben
- für** Nachtestierung für alle Abnahmeorganisationen



### Schweißtechnische Lehranstalt Magdeburg gGmbH

An der Sülze 7  
39179 Barleben  
Telefon: 039203/761-0  
Telefax: 039203/761-55  
E-Mail: [info@sl-magdeburg.de](mailto:info@sl-magdeburg.de)

# Erweiterte Fördermöglichkeiten für Unternehmen durch das Qualifizierungschancengesetz

Das „Gesetz zur Stärkung der Chancen für Qualifizierung und für mehr Schutz in der Arbeitslosenversicherung“, kurz „Qualifizierungschancengesetz“, ermöglicht Kleinbetrieben, mittelständischen Unternehmen (KMU) sowie größeren Betrieben Fördermittel für die Weiterbildung ihrer Arbeitnehmer zu beantragen. Darüber hinaus können neben den förderfähigen Lehrgangskosten auch Arbeitsentgeltzuschüsse beantragt werden. Mögliche Förderungen sind z.B.:

Betriebsgröße	Zuschuss zu Lehrgangskosten	Zuschuss zu Arbeitgeberentgelt
Kleinbetriebe mit 1 – 9 Mitarbeitern	bis zu 100 %	bis zu 75 %
Betriebe mit 10 – 249 Beschäftigten (KMU)	bis zu 50 %	bis zu 50 %
<i>jedoch ältere <sup>①</sup> oder schwerbehinderte <sup>②</sup> im KMU</i>	bis zu 100 %	bis zu 50 %
Betriebe mit 250 – 2499 Beschäftigten	bis zu 25 %	bis zu 25 %
Betriebe mit 2500 und mehr Beschäftigten	bis zu 15 % bzw. 20 % <sup>③</sup>	bis zu 25 %

<sup>①</sup> „älter“ entspricht einem Alter ab 45 Jahren

<sup>②</sup> i.S. des § 2 Abs. 2 SGB IX, Grad von min. 50 %

<sup>③</sup> abhängig vom Vorliegen von Betriebsvereinbarungen bzw. Tarifverträgen zur beruflichen Weiterbildung

Die Förderung weiterbildungsbedingter Ausfallzeiten durch einen Arbeitsentgeltzuschuss (AEZ) ist auch für Weiterbildungen, die nicht zu einem Berufsabschluss führen, möglich.

Beachtet werden muss allerdings, dass Beschäftigte nur gefördert werden können, wenn der letzte erworbene Berufsabschluss bereits mindestens vier Jahre zurückliegt bzw. in den letzten vier Jahren keine Förderung gemäß § 82 SGB III erhalten haben. Darüber hinaus sind nur Weiterbildungen förderfähig, die von einem zugelassenen Träger durchgeführt werden und mehr als 120 Stunden (also mindestens 121 Stunden) umfassen.

Für geringqualifizierte Mitarbeiter, die an berufsabschlussorientierten Weiterbildungen teilnehmen, gelten diese Einschränkungen nicht!

Ein Rechtsanspruch auf die Fördermittel besteht nicht.

## Ihre Ansprechpartner:

Adam Kassawat

Tel.: 039203 761 - 36

Mobil: 0151 292293 - 82

E-Mail: [kassawat@sl-magdeburg.de](mailto:kassawat@sl-magdeburg.de)

Marco Brietz

Tel.: 039203 761 - 43

Mobil: 0151 292293 - 77

E-Mail: [brietz@sl-magdeburg.de](mailto:brietz@sl-magdeburg.de)

## Aus 5 wird 1 – Entwicklung bei der Schweißerprüfung nach ISO 9606 – Damit zusammenkommt, was zusammengehört?

J. W. Mußmann, Meerbusch

### 1. Einführung

Die Geschichte der Schweißerprüfung für Stahl, zumindest in Deutschland, umfasst zwischenzeitlich fast 100 Jahre. Begonnen hat alles mit den ersten Anforderungen an Schweißer aus Bauvorschriften für Landdampfkessel im Jahre 1926 und endet mit dem Erfolg im Jahre 2012, dann eine weltweit gültige Schweißerprüfungsnorm für Stahl ISO 9606-1:2012 verfügbar zu haben. Bei diesem Streifzug durch die verschiedenen dabei veröffentlichten Vorgängernormen wie DIN 2471, DIN 8560 und DIN EN 287-1 wird die Wandlung der Anforderungen von einem Universalschweißer hin zu einem gezielt qualifizierten Schweißer mit möglicherweise stark eingeschränktem Gültigkeitsbereich deutlich.

Es schlossen sich dem mit DIN 8561 aus dem Jahr 1974 die Norm über die Prüfung von NE-Metallschweißern an.

Daraus entwickelten sich im Rahmen der Europäischen Normung dann die bekannte Normenreihe EN 287 mit dem Teil 1 für Stahl, Teil 2 für Aluminium und Aluminiumlegierungen, Teil 3 für Kupfer und Kupferlegierungen, Teil 4 für Nickel und Nickellegierungen, Teil 5 für Titan und Titanlegierungen und Teil 6 für Gusseisen. Fast die gesamte Normenreihe EN 287 wurde dann von 1999 bis 2012 in internationale Normen überführt.

*Tabelle 0: Stand der internationalen Normenreihen DIN EN ISO 9606 (Stand: April 2023)*

Normteil DIN EN ISO 9606	Titel Prüfung von Schweißern – Schmelzschiweißen	Ausgabedatum	erste Ausgabe ISO-Norm
Teil 1	Stähle	DIN EN ISO 9606-1:2017-12	2012
Teil 2	Aluminium und Aluminiumlegierungen	DIN EN ISO 9606-2:2005-03	2004
Teil 3	Kupfer und Kupferlegierungen	DIN EN ISO 9606-3:1999-06	1999
Teil 4	Nickel und Nickellegierungen	DIN EN ISO 9606-4:1999-06	1999
Teil 5	Titan und Titanlegierungen, Zirkonium und Zirkoniumlegierungen	DIN EN ISO 9606-5:2000-04	2000

Übrig von der europäischen Normenreihe ist noch DIN EN 287-6:2018-07 „Prüfung von Schweißern – Schmelzschiweißen – Teil 6 Gusseisen“.

Die Teile 2 bis 5 von ISO 9606 liegen derzeit seit über 20 Jahren noch in ihrer damaligen Fassung vor. Hier wurde historisch bedingt auch vielfach noch auf europäische Normen (EN-Normen) referenziert, da es entsprechende internationale Normen (ISO-Normen) noch nicht gab.

Einzig der Teil 1 für Stahl ist der Teil der ISO 9606 der mit der Umstellung des Geltungsbereiches weg vom Grundwerkstoff hin zur Gruppierung des verwendeten Schweißzusatzes sowie den Bezügen zu reinen ISO-Normen den besten und letzten Stand wiedergibt. Gegenüber der Erstausgabe von DIN EN ISO 9606-1:2013 sind die einzigen Änderungen zu der jetzt gültigen Fassung von 2017 die beiden eingeflossenen Corrigenda 1 und 2. Corrigendum 1:2020 floss bereits vor der deutschen Veröffentlichung in die Fassung von DIN EN ISO 9606-1:2013 ein. Das Corrigendum 2:2013 betrifft nur die französische Fassung von EN ISO 9606-1. Die deutsche Ausgabe von DIN EN ISO 9606-1:2017 beinhaltet weiterhin die geänderten Anhänge ZA und ZB zur Erfüllung der Druckgeräte-Richtlinie 204/68/EU. Der Inhalt des ISO-Normtextes war weiterhin unberührt davon.

## 2. Beginn der ersten Überlegungen

Im Mai 2017 wurde während der internationalen Sitzung des zuständigen ISO-Gremiums (ISO/TC 44/SC 11) erstmals nach der fünfjährigen Überprüfung die Teile 1, (Stahl), -3 (Kupfer und Kupferlegierungen), -4 (Nickel und Nickellegierungen) und -5 (Titan und Titanlegierungen, Zirkonium und Zirkoniumlegierungen) diese für weitere 5 Jahre bestätigt und darüber nachgedacht, ob man nicht alle Werkstoffe in nur einer Norm zusammenfassen sollte. Damals gab es noch von vielen Ländern Bedenken, ob alle Werkstoffe zusammengefasst werden könnten, für Stahl und Nickel war es damals aber schon vorstellbar.

Das unter amerikanischer Federführung geleitete ISO/TC 44/SC 11 legte dann im Februar 2018 einen ersten Entwurf zur Zusammenlegung der einzelnen Teile der ISO 9606 „Prüfung von Schweißern“ in einem einzigen Teil vor. Dabei wurde darauf geachtet, noch keine technischen Änderungen am Inhalt der einzelnen Normenteile vorzunehmen, sondern lediglich Gemeinsames aus dem einzelnen Teilen zusammenzufassen und Unterschiedliches getrennt voneinander einzupflegen. Also eine rein redaktionelle Überarbeitung.

In der deutschen NAS-Spiegelausschusssitzung vom NA 092-00-02 AA am 5. September 2018 lehnten die Anwesenden den vorgelegten Entwurf zur Zusammenlegung der einzelnen Teile der ISO 9606 (Prüfung von Schweißern — Schmelzschweißen): Teil 1 (Stähle), Teil 2 (Aluminium und Aluminiumlegierungen), Teil 3 (Kupfer und Kupferlegierungen), Teil 4 (Nickel und Nickellegierungen) und Teil 5 (Titan und Titanlegierungen, Zirkonium und Zirkoniumlegierungen) ab. Gründe waren unter anderem, die Unübersichtlichkeit für den Anwendenden hinsichtlich Lesbarkeit und die Befürchtung, dass es später doch noch technische Änderungen am Inhalt der einzelnen Normenteile geben wird. Letzteres hat sich später insbesondere für den Aluminiumteil auch bestätigt.

Außer Deutschland teilten nur Finnland und Dänemark die Bedenken hinsichtlich einer Zusammenlegung der einzelnen Normenteile zu einer Norm und stimmten gegen diesen Vorschlag; China enthielt sich der Stimme (Sitzung von ISO/TC 44/SC 11 am 25. März 2019 in Essen). Damit wurde mehrheitsbedingt beschlossen, mit dieser Überarbeitung aller Teile zu einem einzigen Normenteil zu beginnen.

In der folgenden Zeit „kippte“ die Meinung vieler noch skeptischer Länder zu einem Gesamtstandard. In mehr oder weniger Euphorie entstand bislang ein recht komplexes Werk zur Schweißerprüfung in dem alle Werkstoffe abgebildet werden. Es deutet sich an, dass bei ISO/TC 44/SC 11 alle Normenteile von ISO 9606 einschließlich nun auch Aluminium und Aluminiumlegierungen in einem Dokument zusammengefasst und hiernach Schweißerprüfungen durchgeführt werden sollen.

Da die Arbeiten sich sehr umfangreich darstellten, wurde mit dem 24.06.2021 innerhalb von ISO/TC 44/SC 11 eine Arbeitsgruppe (WG 4) eingerichtet, die sich nur mit der Revisionsarbeit und der Erstellung eines Arbeitsentwurfes (en: Working Draft (WD)) der Normenreihe ISO 9606 hin zu einem Teil befasst. Allein seit dem 24.06.2021 fanden bis Mai 2022 vier weitere virtuelle Sitzungen der WG 4 (alle per Zoom) statt.

Bevor eine Norm erscheint, durchläuft der Entwurf verschiedene Stufen, in denen es immer wieder von den Experten der WG 4 kommentiert und auch geändert werden kann. Insofern befinden wir uns zurzeit noch in der ersten Stufe der Abfassung einer möglichen Norm. Im Januar 2018 haben die Amerikaner einen ersten Entwurf für eine neue ISO 9606 vorgestellt, der alle Teile von ISO 9606-1 bis ISO 9606-5 zusammenfasst. Dieser Entwurf wurde in den darauffolgenden WG 4 Sitzungen basierend auf 231 Einsprüchen diskutiert und modifiziert.

Dieser Beitrag berichtet über den aktuellen Stand dieses Arbeitsentwurfes ISO/WD 9606:2022, der als Ergebnis der letzten Sitzung von ISO/TC 44/SC 11/WG 4 als Dokument N58 vom 05.09.2022 vorliegt.



### 3. Stand des Arbeitsentwurfes (en: Working Draft) im Mai 2022

Wie eingangs erwähnt bildet die Grundlage für die mögliche neue Ausgabe einer allumfassenden Norm zur Qualifizierung von Schweißern die derzeitige ISO 9606-1:2012. Kennzeichnend dafür ist und bleibt, dass sich die Zuordnung einer Prüfung nach dem verwendeten Schweißzusatz richtet. Dies ist dann auch neu für die Werkstoffe Aluminium und Aluminiumlegierungen, Kupfer und Kupferlegierungen, Nickel und Nickellegierungen, Titan und Titanlegierungen und Zirkonium und Zirkoniumlegierungen. Im Folgenden werden die prägnanten Änderungen vorgestellt.

Im Abschnitt 5.2 bezüglich der Schweißprozesse werden nunmehr anstelle von Prosatext die Einschlüsse bzw. Ausschlüssen in einer übersichtlichen Tabelle (Tabelle 1) dargestellt.

Tabelle 1: Lichtbogenschweißen – qualifizierte Prozessvarianten

Welding process used in welder qualification test	Production welding process variants qualified								
	121	125	135	138	141	142	143	145	146
121	X	X	-	-	-	-	-	-	-
125	X	X	-	-	-	-	-	-	-
135	-	-	X	X	-	-	-	-	-
138	-	-	X	X	-	-	-	-	-
141	-	-	-	-	X	X	-	X	-
142	-	-	-	-	-	X	-	-	-
143	-	-	-	-	-	X	X	-	X
145	-	-	-	-	X	X	-	X	-
146	-	-	-	-	-	X	X	-	X

Geblichen ist trotz deutschen Einspruches bezogen auf die Prozesse 131, 135 und 138, dass die Art des Werkstoffüberganges eine bestimmende Größe sein soll. Die bisherige Formulierung in Textform „Ein Wechsel des Werkstoffüberganges (Prozess 131, 135 und 138) erfordert eine neue Qualifizierungsprüfung mit Ausnahme wie in Tabelle 2 angegeben“ wurde durch eine verständlichere Tabelle (Tabelle 2) erweitert.

Tabelle 2: Schutzgasschweißen – qualifizierte Werkstoffübergänge

Welding process used in welder qualification test	Production welding transfer mode qualified <sup>a</sup>		
	Dip (Short circuit)	Globular	Spray
Dip (Short circuit)	X	X	X
Globular	-	X	X
Spray	-	X	X

X indicate those transfer modes for which the welder is qualified  
 - indicate those transfer modes for which the welder is not qualified

<sup>a</sup> Qualification in dip, globular or spray transfer mode also covers welding with a pulsed current and vice versa.

Auch in der „neuen zukünftigen“ ISO 9606 wird es das ergänzende Kehlnahtprüfstück geben. Der entsprechende Abschnitt 5.4 e) lautet nach dem jetzigen Stand:

„Ein Schweißer, der die ergänzende Kehlnahtprüfung erfolgreich besteht, ist für alle Kehlnähte in Übereinstimmung mit den Einflussgrößen einer Stumpfschweißqualifizierung in Bezug auf den Qualifizierungsbereich für Kehlnähte (siehe Tabelle 8, Tabelle 9, Tabelle 10, Tabelle 11 und Tabelle 12) qualifiziert. Dies beinhaltet alle Schweißpositionen, die von der Stumpfschweißqualifizierung abgedeckt werden, sowie die Kehlnahtposition PB und, falls Stumpfschweißung die Position PE abdeckt auch die Schweißposition PD.“ Zu diesem Thema wurde auch die bisherige Tabelle 9 (Geltungsbereich für Schweißpositionen von Stumpfnähten), demnächst Tabelle 17, um Zeilen für den Geltungsbereich des ergänzenden Kehlnahtprüfstückes erweitert. Das ändert jedoch auch nichts an der kritischen deutschen Meinung zu diesem ergänzenden Prüfstück. Zur Erinnerung: Dieses Prüfstück wird von Kanada favorisiert.

Da mit der Grundlage aus ISO 9606-1 für Stahl die Schweißerprüfung vom verwendeten Schweißzusatz und seiner Schweißzusatzgruppe abhängig zu machen, gute Erfahrungen realisiert wurden, wurde diese Idee auch für die anderen metallischen Werkstoffe übernommen. Es heißt nun dazu im Abschnitt 5.5: „Eine Schweißerqualifizierungsprüfung, die mit einem Schweißzusatz durchgeführt werden, der nicht in den Schweißzusatzgruppen enthalten sind, erfordert separate Qualifikationsprüfung. Der Qualifizierungsbereich beschränkt sich auf die in der Qualifikationsprüfung verwendete Schweißzusatzgruppe. Der bei einer Qualifikationsprüfung verwendete Grundwerkstoff kann jedes geeignete Material aus den folgenden Sätzen von Gruppen nach ISO/TR 15608 sein:

- Stahl: Gruppe 1 bis 11;
- Aluminium: Gruppe 21 bis 26;
- Kupfer: Gruppe 31 bis 38;
- Nickel: Gruppe 41 bis 48;
- Titan: Gruppe 51 bis 54;
- Zirkonium: Gruppe 61 bis 62.

Bei Stahl wurde aus der bekannten Bezeichnung „FM“ nun „FE“ um eine Beziehung zu Stahl herzustellen (Tabelle 3).

Tabelle 3: Materialgruppierung für Schweißzusätze - Stahl

Filler material group	Filler material type	Example of applicable standards
FE1	Non-alloy and fine grain steels	ISO 2560, ISO 14341, ISO 636, ISO14171, ISO 17632, ISO 20378
FE2	High-strength steels	ISO 18275, ISO16834, ISO26304; ISO 18276
FE3	Creep-resisting steels 0,3 % ≤ Cr ≤ 3,75 %	ISO 3580, ISO21952, ISO 24598, ISO 17634, ISO 20378
FE4	Creep-resisting steels 3,75 % ≤ Cr ≤ 12 %	ISO 3580, ISO21952, ISO 24598, ISO 17634
FE5	Stainless and heat-resisting steels	ISO 3581, ISO 14343, ISO 17633

Die bekannte Gruppe FM 6 für die Verwendung von Nickelzusätzen ist jetzt im Abschnitt 5.5.5.1 Geltungsbereich (für Nickel) als Text enthalten. Dazu wurde bei Stahl folgender Satz als Hinweis eingefügt: „Beim Schweißen von Stählen gegen Nickelwerkstoffe siehe 5.5.5.1.“ Hier fehlt derzeit noch der Hinweis auf die Verbindungen zwischen (unlegierten) Stählen gegen CrNi-Stähle mit Nickelzusätzen!

Der Geltungsbereich der verwendeten Schweißzusätze ist, bis auf FM 6 (zukünftig FE 6), unverändert, siehe Tabelle 4:

Tabelle 4: Geltungsbereich für Schweißzusätze - Stahl

Filler material group	Range of qualification				
	FE1	FE2	FE3	FE4	FE5
FE1	X	X	-	-	-
FE2	X	X	-	-	-
FE3	X	X	X	-	-
FE4	X	X	X	X	-
FE5	-	-	-	-	X

X indicate those filler materials for which the welder is qualified

- indicate those filler materials for which the welder is not qualified

Für die anderen Werkstoffe wie Aluminium, Kupfer, Nickel, Zirkonium und Titan gibt nun auch diese beiden Tabellen für die Einteilung nach den verwendeten Schweißzusätzen und den damit verbundenen Geltungsbereich. Als Beispiel sind im Folgenden die Tabellen für Aluminium (Tabelle 5 und 6) wiedergegeben. Für die einzelnen Werkstoffe lauten die Bezeichnungen:

- Stahl: FE1 bis FE5;
- Aluminium: AL1 bis AL5;
- Kupfer: CU1, CU4, CU5, CU6, CU7;
- Nickel: NI1, NI2, NI4, NI6;
- Zirkonium: ZR1, ZR2;
- Titan: TI0, TI2, TI3, TI4, TI5, TI6, TI8.

Tabelle 5: Materialgruppierung für Schweißzusätze - Aluminium

Filler material group	Filler material type (numerical symbol)	Example of applicable standards
AL1	Aluminium Low Alloyed (Al 1xxx)	ISO 18273
AL2	Aluminium Copper (Al 2xxx)	ISO 18273
AL3	Aluminium Manganese (Al 3xxx)	ISO 18273
AL4	Aluminium Silicone (Al 4xxx)	ISO 18273
AL5	Aluminium Magnesium (Al 5xxx)	ISO 18273

Tabelle 6: Geltungsbereich für Schweißzusätze - Aluminium

Filler material group	Range of qualification				
	AL1	AL2	AL3	AL4	AL5
AL1	X	-	X	-	-
AL2	-	X	-	-	-
AL3	X	-	X	-	-
AL4	X	-	X	X	-
AL5	X	-	X	X	X

X indicates those filler materials for which the welder is qualified

- indicates those filler materials for which the welder is not qualified

Weiterhin konnte bislang entgegen dem deutschen Vorschlag noch keine zufriedenstellende Änderung zur alten Tabelle 11 (zukünftig Tabelle 18) für den Geltungsbereich für Schweißbadsicherungen und Schweißzusatzeinlage erwirkt werden, hier als Tabelle 7 wiedergegeben:

*Tabelle 7: Geltungsbereich für Schweißbadsicherungen und Schweißzusatzeinlage*

Test condition	Range for qualification for backing and consumable inserts					
	No backing (ss, nb)	Material backing (ss, nb)	Welding from both sides (bs)	Gas backing (ss, gb)	Consumable insert (ci)	Flux backing (ss, fb)
No backing (ss, nb)	X	X	X	X	-	X
Material backing (ss, nb)	-	X	X	-	-	-
Welding from both sides (bs)	-	X	X	-	-	-
Gas backing (ss, gb)	-	X	X	X	-	-
Consumable insert (ci)	-	X	X	-	X	-
Flux backing (ss, fb)	-	X	X	-	-	X

Weil nach dieser Tabelle das Schweißen mit Gaswurzelschutz (ss gb) das Schweißen in Fertigung ohne Schweißbadsicherung (ss nb) ausgeschlossen ist, kann der Einschluss der FE-Gruppen nach Tabelle 3 ins Wanken geraten.

Das Schweißen von martensitischen Stählen der Gruppe 6 nach CEN ISO/TR 15608 z. B. X10CrMoVNb 9-1 geschieht üblicherweise unter Formiergas, um das Verbrennen des Chroms in der Wurzellage zu unterbinden. Für diese Verbindung mit artgleichem Zusatz ist somit eine Prüfung mit Schweißzusatz nach Gruppe FE4 erforderlich. Die Prüfungsbezeichnung trägt somit die Merkmale „FE4 ... ss gb“.

Die Idee in Tabelle 3 „Gültigkeitsbereiche der Schweißzusätze“ von DIN EN ISO 9606-1 beruhte darauf, dass Schweißer nie direkt ihre erste Prüfung im Leben mit einem Schweißzusatz der Gruppe FE 4 machen werden. Schweißende lernen schweißen an unlegierten Stählen, Gruppe FE 1. Wenn sie sich dort bewähren, werden sie weiter ausgebildet. Dies kann entweder in die Richtung von hochfesten Feinkornbaustählen, wie im Mobilkranbau, gehen, wo sie dann Prüfungen in FE 2 ablegen, oder in die warmfeste Schiene, wie dem Kraftwerksbau, gehen. Dort würden sie dann zunächst über Jahre an den Stählen 13CrM 4-5 und 10CrMo9-10 ihre Erfahrungen sammeln und Prüfungen in der Gruppe FE 3 ablegen. Feinkornbaustähle, wie insbesondere die genannten warmfesten Qualitäten, erfordern jedoch kein Formieren der Wurzel.

Nur ausgewählte gut Schweißer werden später an martensitischen Stählen trainiert und legen dann in der Gruppe FE 4 ihre Prüfungen ab. Dort ist jedoch aus werkstofftechnischer Sicht ein Formieren der Wurzel unabdingbar, um das Verbrennen des Chroms zu vermeiden (sogenannter Blumenkohleffekt) und um die Benetzung des Schmelzbades an den Flanken zu ermöglichen.

Mit dem Einschluss der Gruppen FE 1, FE 2 und FE 3 in den Gültigkeitsbereich von FE 4 hat man beim Schreiben der Norm im Jahr 2012 dahin Rechnung tragen wollen, dass ein Schweißer das Gelernte nicht zwangsläufig verlernt. Man billigte ihm zu, dass wenn er eine gültige Prüfung mit FE 4 abgelegt hat, er auch die „darunter liegenden“ Gruppen FE 1 bis FE 3 weiterhin beherrscht.

Doch gerade dieses Merkmal „ss gb“ macht diesen Ansatz zunichte. Der Einsatz von Gaswurzelschutz im Sinne von Formieren hat lediglich die Funktion der Unterbindung von Porosität durch Verbrennen, ggf. sorgt es noch für eine bessere Benetzung im Bereich der Wurzel.

Dies hat mit der von den amerikanischen Experten hervorgehobenen Stützwirkung des Schweißbades im Sinne von „backing“ nichts zu tun. Ein Schweißer mit einer Prüfung in FE4 mit „ss nb“ dürfte somit z. B. einen 13CrMo4-5 nur mit Gaswurzelschutz schweißen. Er müsste somit für die Gruppe FE3 eine

weitere Prüfung machen mit „FE3 ... ss nb“. Eventuell wird an dieser Stelle noch eine weitere Prüfbedingung „ss Formieren“ eingefügt; die derzeitige Bedingung aus ISO 9606-1:2012 wie auch im derzeitigen Working Draft ist nicht akzeptabel!

Im Abschnitt 6.2 Prüfstücke wird es auch eine kleine, aber für die Prüfstellen hilfreiche, Änderung geben. Für Stumpfnah am Blech und für die Kehlnah am Blech mussten die Blechteile die Abmessung mindestens 200 mm x mindestens 125 mm haben. Das bedeutete, dass Flachmaterial der Standardbreite von 120 mm nicht einsetzbar war. Zukünftig sollen die Bleche für das Prüfstück 120 mm x 200 mm sein! Eine vernünftige Überarbeitung zeichnet sich auch im Abschnitt 6.4 Prüfverfahren ab. Die bisherige Tabelle 13 – Prüfverfahren mit allein 6 unübersichtlichen Fußnoten, die Einschränkungen machen, wurde in eine besser verständlichere Form gebracht (zukünftige Tabelle 20), hier Tabelle 8.

*Tabelle 8: Prüfverfahren*

Welding process(es)	Test methods	
	Butt welds <sup>a</sup>	Fillet welds <sup>a</sup> (including branch joints)
111, 114, 121, 125, 136, 141, 142, 143, 145, 146, and 15	VT and RT or	
	VT and UT or	VT and FT or
	VT and BT <sup>b</sup> or	VT and ME
	VT and FT <sup>b</sup>	
131, 135, 138 and 311	VT and RT and BT <sup>b</sup> or	
	VT and RT and FT <sup>b</sup> or	VT and FT or
	VT and UT or	VT and ME
	VT and BT <sup>b</sup> or	
	VT and FT <sup>b</sup>	

VT - visual testing in accordance with ISO 17637  
RT - radiographic testing in accordance with ISO 17636  
UT - ultrasonic testing in accordance with ISO 17640 only for ferritic steels  $\geq 8$  mm  
BT - bend testing in accordance with ISO 5173  
FT - fracture testing in accordance with ISO 9017  
ME - macroscopic examination in accordance with ISO 17639 with at least two sections, and at least one from start/stop location

<sup>a</sup> For titanium and zirconium and their alloys, bend testing is required for butt welds and fracture testing is required for fillet welds  
<sup>b</sup> For outside pipe diameters  $D \leq 25$  mm, the bend or fractures tests may be replaced by a notched tensile test of the complete test piece (an example is given in Figure 9).

Im Abschnitt 9 – Gültigkeitsdauer und hier bei der Bestätigung der Gültigkeit alle 6 Monate sowie der Möglichkeiten der Verlängerung wurde einheitlich auf die Formulierung von der ISO 9606-1:2012 zurückgegriffen.

#### 4. Derzeitige Einschätzung des neuen Konzeptes

Durch das Zusammenfassen aller Teile, der Umstellung auf die Schweißzusatzgruppierung für aller Werkstoffe ist der Umfang der reinen ISO-Norm von 35 Seiten auf jetzt 55 Seiten angewachsen. Die von Deutschland befürchtete Unübersichtlichkeit durch das notwendige Einfügen von zusätzlichen Tabellen für Aluminium und Aluminiumlegierungen, Kupfer und Kupferlegierungen, Nickel und Nickellegierungen, Titan und Titanlegierungen und Zirkonium und Zirkoniumlegierungen hält ebenfalls sich in Grenzen.

Knackpunkte für eine mögliche deutsche Zustimmung zum vorliegenden Arbeits-Entwurf (Stufe WD) für weitere Schritte hin zum Komitee-Entwurf (en: Committee Draft, Stufe CD), Norm-Entwurf (en: Draft International Standard, Stufe DIS) und dann am Ende zum Schluss-Entwurf (en: Final Draft international Standard, Stufe FDIS) ist der Abschnitt 5.2 bezüglich des Werkstoffüberganges.

Es liegen für die Feststellung der Art des Werkstoffübergangs derzeit keine konkreten Messgrößen vor. Die Einschränkung 135-D qualifiziert nur den Werkstoffübergang im Kurzschluss und muss somit auch separat nachgewiesen werden, ist nicht zeitgemäß, zumal moderne Schweißstromquellen über Prozessregelvarianten bei einer Spannung unter 18 V bis 20 V den Kurzschluss unterbinden können. Zudem gibt es Stromquellen, die in einem Prozess zwei Werkstoffübergänge abwechselnd kombinieren, also Kurzlichtbogen und Impulslichtbogen. Mit dieser Diskussion kommt man dann jedoch auch wieder schnell an den Punkt bezüglich der Bindung von Schweißerprüfungen an die verwendete Schweißstromquelle. Ist das etwa gewollt? Diese Frage konnte bisher noch nicht endgültig geklärt werden.

Einen zweiten Knackpunkt sieht Deutschland darin, dass eine Prüfung mit FM1 (FE1) auch das Schweißen mit Zusätzen der Gruppe FE3 (hochfeste Stähle qualifizieren soll. Feinkornbaustähle schweißen zu können, erfordert eine separates Handfertigkeitstraining und lässt nicht bloß über Hinweise in der WPS steuern.

Dritter Knackpunkt für eine Zustimmung ist der hier bereits ausführlich beschriebenen Punkt des Gaswurzelsschutzes. Hier muss eine Prüfung in FE4 mit „ss gb“ auch ein Schweißen von Zusätzen der Gruppen FE1 bis FE3 ohne Wurzelschutz zulassen (soweit nicht werkstofftechnisch erforderlich).

## 5. Resümee

Der Anspruch in allen bisherigen Teilen, also für die unterschiedlichen Werkstoffe wie Stahl, Aluminium und Aluminiumlegierungen, Kupfer und Kupferlegierungen, Nickel und Nickellegierungen, Titan und Titanlegierungen und Zirkonium und Zirkoniumlegierungen, die gleichen Formulierungen und Anforderungen zu finden, sind sicherlich theoretisch mit einer einzigen Norm ISO 9606 umsetzbar. Es bleibt aus Sicht der Anwender die Frage, ob diese nun deutlich umfangreichere Norm auch in der Praxis umsetzbar ist sowie nach deren weltweiter Akzeptanz. Außerhalb von Europa ist es jedem ISO-Mitgliedsland nämlich freigestellt, ob er diese Norm später auch identisch national umsetzt. Schreiben hier die nicht-europäischen Ländern den Europäern vor, wie sie zukünftig Schweißerprüfungen durchzuführen haben? Ein Schelm, wer bei dieser Frage Böses im Sinn hat. Eines steht jedoch außerfrage, wenn man als Nicht-Europäer das in der ISO 9606 festgelegte später nicht identisch umsetzen müssen, fällt einem das Schreiben dieser Norm mit Sicherheit leichter als unseren europäischen Kolleginnen und Kollegen, die die Norm ohne Wenn und Aber national übernehmen müssen.

Wenn es denn zukünftig eine neue ISO 9606 geben sollte, müssen aber auch die drei deutschen Knackpunkte für eine Zustimmung darin gelöst sein. Bis es denn dann in wieviel Jahren auch immer eine ISO 9606:20xx gibt, wird sicherlich noch viel diskutiert werden. Der Beitrag soll die deutschen Anwender wahrütteln, sich mit dem Entwurf zu beschäftigen und wertvolle Hinweise für einen dann guten Standard zu liefern!

Zum Zeitrahmen: Das Projekt wurde offiziell als neues WI am 21.04.2023 gestartet. Damit besteht die Verpflichtung binnen einer damit Laufzeit von 3 Jahren, diesen Inhalt als ISO-Norm zu veröffentlichen; Laut Datenbank ist der Termin der Veröffentlichung als ISO 9606 am 1.5.2026.

Zu guter Letzt muss dann der deutsche Spiegelausschuss bei der Abfassung der deutschsprachigen Übersetzung noch klären, wie es das Wort „welder“ denn übersetzen möchte: Schweißer, Schweißer\*innen oder Schweißende. Aber bis dahin vergeht ja noch viel Zeit!



## EINE NEUE ÄRA

## KOLLABORATIVER

## ROBOTER

Nicht genügend Schweißer?  
Aufträge müssen abgelehnt  
werden?

Alarmierende Fakten ...

- 75 %** der Unternehmen haben Schwierigkeiten, Fachkräfte zu finden.
- 53 %** davon sind Schweißer.
- 27 %** davon sind Schweißfachingenieure.
- 42 %** der Unternehmen können Aufträge aus diesem Grund nur teilweise oder gar nicht ausführen.

*Quelle: DVS – Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren.*



## 5 GUTE GRÜNDE:

Warum das schweißen mit einem Roboter die richtige Entscheidung ist!

### Sparsam:

Spart bis zu 60 % Zeit und 75 % Kosten!

### Flexibel:

Rechnet sich bereits bei kleinen Losgrößen! Vielseitig einsetzbar!

### Zuverlässig:

Einmal eingerichtet arbeitet er 24/7 mit konstanter Qualität!

### Kollegial:

Unterstützt und entlastet die qualifizierte Schweißfachkraft! Ohne Wenn und Aber!

### Einfach:

Integration in die Produktion und die Bedienung ist leichter als gedacht!

## Wo Standard aufhört machen wir weiter. Sprechen Sie uns an!

**MECHANISIEREN UND FLEXIBEL SEIN, KOSTEN BIS ZU 60 % SENKEN UND MITARBEITER ENTLASTEN.**

## 3 GUTE GRÜNDE:

Wann mechanisiertes Schweißen mit einem Schweißtraktor sinnvoll ist:

### Wirtschaftlichkeit:

Projekte schneller, günstiger und »in time« abschließen

### Qualität:

gleichbleibende Qualität auch bei einer Einschaltdauer > 60 %

### Belastung:

schont Gesundheit Ihrer Schweißer und entwickelt sie vom Handfertiger zum Prozesskontrolleur / Maschinenbediener



*iweldtrac-Kranbahn zum schweißen für Kranbahnträgern*



*i-weld Rotation zum einschweißen von Buchsen und Stützen*

iweld-systems ist ein Entwickler und Anbieter von Automatisierungslösungen für schweißtechnische Fertigungsprozesse. Der Schwerpunkt liegt auf der Entwicklung und Fertigung von mobilen, akkugestützten Schweißtraktoren und Fahrwagen.

**Über 300 Schweißtraktoren laufen erfolgreich und stabil seit Jahren bei namenhaften Firmen.**

- Schweißtraktor iweldtrac-s und -v
- Pendelmodul Oscillator-v
- iweld - Rotation für Windkrafttürme
- iweldtrac-Oscillator-v
- iweldtrac-Tandem
- iweldtrac-Kranbahn

# QUALITÄT schweißt zusammen

Schweißen mit EWM heißt:

**Modernste Schweißtechnik, optimale Anwendbarkeit und beste Resultate.**

EWM-Schweißgeräte ermöglichen einen technologischen Vorsprung bei allen Schweißverfahren, der sich durch eine hohe Effizienz, Ressourcenschonung sowie auch Nachhaltigkeit beim Schweißen auszeichnet.

Mit welchem Verfahren Sie auch schweißen, ob Sie MIG-MAG-, Elektroden-, Plasma- oder WIG-Schweißgeräte benötigen, dank des EWM-Produktprogramms an hochwertiger Schweißtechnik bleiben keine Wünsche offen.

Damit Sie aus der großen Palette leistungsstarker **Profi-Schweißgeräte** problemlos das richtige Modell auswählen können, haben wir unseren neuen EWM-Produktkonfigurator ins Leben gerufen. Denn mit dem idealen Schweißgerät ist es wie mit der großen Liebe: Man muss es erst einmal finden.

Sprechen Sie uns an und vereinbaren Sie einen kostenfreien Vorführtermin mit unserem Anwendungstechniker.

 (03 91) 66 27 46 0

 [bk@betkerundkoenig.de](mailto:bk@betkerundkoenig.de)





## Gusseisenreparatur: Bisher und zukünftig mit Nickel als Zusatz? Oder jetzt mit Bronze und mittels Lichtbogenlöten?

D. Baunack, A. Liehr, D. Janoschka, T. Niendorf, Kassel

### Vorwort

In der Stahlherstellung wird dem vorliegenden Roheisen der überschüssige Kohlenstoff entnommen, indem, früher mit Luft, heutzutage in der Regel mit Sauerstoff, „gefrischt“ wird. Unabhängig davon, welches Verfahren Anwendung findet, so geht sowohl beim historischen Windfrischen als auch beim LD-Verfahren, das dem heutigen Stand der Technik entspricht, der Sauerstoff mit Kohlenstoff eine chemische Verbindung ein und verlässt das Roheisen als CO bzw. CO<sub>2</sub>. Vielleicht trägt die Diskussion über den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck und das zunehmende Umweltbewusstsein im Allgemeinen dazu bei, dass das zwischenzeitlich als „veraltet“ angesehene Gusseisen als Werkstoff zunehmend eine Renaissance erfährt. Bekanntlich hat Gusseisen einen Kohlenstoffanteil, der ca. 15-mal so groß ist wie der von Stahl. Somit ist dieser Kohlenstoff gebunden und verlässt beim Frischen nicht das Roheisen als entstehendes CO bzw. CO<sub>2</sub> den Hochofen in Richtung Atmosphäre. [1] Dass Gusseisen in modernen Bauteilen als hochbeanspruchter Konstruktionswerkstoff eingesetzt wird, zeigen bspw. sein Einsatz bei Mercedes LKW-Achsen [2], bei denen Gusseisen mit Stahl verschweißt wird, oder auch im Nutzfahrzeugbau bei dem Mehrwegseitenstapler „Flux 30“ der Firma Hubtex [3], bei dem der gesamte Rahmen aus einem Gusseisenbauteil besteht. Besonders zu erwähnen ist, dass neben dem Umweltaspekt durch die kürzere Prozessroute der Werkstoffherstellung und der Fahrzeugherstellung (Wegfall von Zuschnitt, Umform- und Verbindungsschweißarbeitsschritten im Vergleich zu einer reinen Schweißkonstruktion aus Baustahl) wirtschaftliche Vorteile entstehen. Die Symbiose aus Umwelt- und Wirtschaftsvorteilen dieser Industriebeispiele zeigen, warum Gusseisen auch weiterhin als moderner Werkstoff eingesetzt wird und daher auch das Fertigungs- und Reparaturschweißen an Gusseisen immer wieder aus dem aktuellen Stand der Werkstoff- und Verfahrenstechnik heraus neu zu betrachten und zu bewerten ist.



Abb. 1: Produktionsjubiläum für Induktives Press-Schweißverfahren: 100.000 innovative IPS-Achsen aus dem Mercedes-Benz Werk Kassel (links) [2]; Besonders an der Gussoberfläche des Hecks ist der Einsatz von Gusseisen am Flux 30 der Firma Hubtex erkennbar (rechts) [3]

Der folgende Beitrag wurde bereits im Rahmen des DVS Congress 2021 veröffentlicht (siehe Quellenverzeichnis) und wird hier mit freundlicher Genehmigung der Organisatoren des DVS Congress im gleichen inhaltlichen und textuellen Rahmen dargestellt.

### 1. Einleitung

Reparaturschweißungen an Gusseisen können, wie der Schweißer sagt, „warm“ oder „kalt“ durchgeführt werden. Bei einer „warmen“ Reparatur wird in der Regel ein Schweißzusatzwerkstoff (SZW) gewählt, der dem Grundmaterial weitgehend entspricht. Bei einer „kalten“ Gusseisenreparatur-

schweißung wird üblicherweise ein Nickelbasiswerkstoff als SZW gewählt. [4] In jüngerer Zeit sind Berichte von erfolgreichen Gusseisenreparaturen mittels MIG-Lötens zu vernehmen. [5] [6] Ein wesentliches Problem beim Gusseisenreparaturschweißen sind mögliche Härterisse. Diese werden durch die Aufhärtung verursacht, welche das Schweißgut beim Abkühlen erfährt, wenn der als Graphit im Grundwerkstoff (Gusseisen) vorliegende Kohlenstoff in Lösung geht. Es ist naheliegend, dass dieses Problem umgangen werden könnte, wenn der Grundwerkstoff gar nicht erst aufgeschmolzen wird - wie es beim Löten üblich ist. Beim Reparaturschweißen mit Nickelbasis-SZW besteht dieses Problem nicht in gleichem Ausmaß, da Nickel deutlich mehr Kohlenstoff aufnehmen kann als Eisen bzw. Stahl, ohne dabei aufzuhärten. Gerade bei Gusseisenreparaturen kommt es aber vor, dass z.B. beim Ausschleifen eines Risses nicht die optimale Löt- bzw. Schweißnahtvorbereitung stattgefunden hat und es somit zum Aufschmelzen und in-Lösung-Gehen des Kohlenstoffes in ungewollt hohem Maße kommen kann. Wie sich die Löslichkeit von Kohlenstoff in Bronze, speziell in Aluminium-Bronze (dem Zusatzwerkstoff beim MIG-Löten) praktisch auswirkt, zeigt dieser Beitrag. Als Demonstrator dient ein Aufbau, angelehnt an DIN 50129 bzw. an das DVS Merkblatt 1004, welcher durch Selbstbeanspruchung hohe Spannungen in den Schweißnähten provoziert. Als Grundwerkstoff wurde ein GJS600-3, also ein Gusseisen mit Kugelgraphit, gewählt. Die eingesetzten gusseisernen Rundproben wurden mit drei verschiedenen Zusatzwerkstoffen gefügt; Als Referenz mit einem ferritischen SZW, einem SZW auf Nickelbasis und einem Lötzusatz auf Kupferbasis geschweißt bzw. gelötet. Die Ergebnisse des Prüfungsumfanges (Mikroschliffbilder, Härteprüfungen und EDX-Aufnahmen) sollen aufzeigen, ob das MIG-Löten im Allgemeinen dem Reparaturschweißen mit Nickelbasiswerkstoff überlegen ist.

## 2. Stand der Technik

Bei den Schmelzschweißverfahren treten bekanntermaßen Schrumpfspannungen beim Abkühlen auf. Je größer eine Schweißnaht ist, desto größer sind die Spannungen, die im Inneren des Werkstücks herrschen. Besonders bei Reparaturschweißungen von Gusseisen ist es von besonderer Bedeutung, die Schrumpfspannungen des Werkstoffs und des Zusatzwerkstoffs zu berücksichtigen, um plötzliches Bauteilveragen zu verhindern. [7]

Bei Reparaturschweißungen an Gusseisen kann zwischen Fertigungsschweißungen, welche auch als Ausbesserungsschweißen bezeichnet werden, und Instandhaltungsschweißungen unterschieden werden. Fertigungsschweißen ist das Beheben von Fehlern oder Unregelmäßigkeiten am Bauteil während des Herstellungsprozesses. Treten Fehler während des Betriebs auf und müssen behoben werden, wird dies als Instandhaltungsschweißen bezeichnet. [8]

Das Auftreten von Kohlenstoff in gebundener Form wird durch die chemische Zusammensetzung und die Abkühlgeschwindigkeit bestimmt, und kann mit Hilfe von bekannten Zustandsschaubildern oder Phasendiagrammen gut beschrieben werden. Für das Reparaturschweißen müssen die zu erwartenden Schrumpfspannungen berücksichtigt werden, die eine erhöhte Rissgefahr darstellen. Zugeigenspannungen wirken sich auf die Belastungsfähigkeit des Bauteils negativ aus, was zu einer schnelleren Ausbreitung des Risses führen kann. Gusseisen ist durch den hohen Kohlenstoffanteil und der daraus resultierenden geringen plastischen Verformbarkeit ohnehin stark rissgefährdet. Mit der Werkstoffdicke steigen die Formsteifigkeit und die schnelle Ableitung der eingebrachten Wärme in kältere Werkstückbereiche (die sogenannte Selbstabschreckung). Also steigt mit der Werkstoffdicke auch die Notwendigkeit des Vorwärmens. Durch Vorwärmen können die Temperaturunterschiede verringert, somit die Schrumpfspannungen herabgesetzt und der Effekt der Selbstabschreckung vermindert werden. Beim „warmen“ Gusseisenreparaturschweißen müssen oft Vorwärmtemperaturen von mehr als 550 °C eingehalten werden, damit sich im Schweißgut und der WEZ das gewünschte Gefüge (möglichst ähnlich dem des Grundwerkstoffs) einstellt. [9; 10]

Da Gusseisen eine sehr gute Wärmeleitfähigkeit aufweist (ca. doppelt so hoch wie die von CrNi-Stahl) ist es gerade bei kleinen Reparaturschweißungen an großen bzw. schweren gusseisernen Bauteilen unwirtschaftlich, diese auf so hohe Temperaturen aufzuwärmen. Aus diesem Grund ist es von großem Interesse, Alternativen zum „warmen“ Reparaturschweißen von Gusseisen zu finden und zu nutzen. Bei einer „kalten“ Gusseisenreparaturschweißung wird der Grundwerkstoff nicht oder nur gering vorgewärmt und eine möglichst kleine Wärmeeinflusszone angestrebt. Als Zusatzwerkstoff wird ein artfremder Werkstoff verwendet, der trotz des Kohlenstoffes, der aus dem Grundwerkstoff ins Schweißgut

gelangt, nicht aufhärtet und die nötige plastische Verformbarkeit aufweist, um die Eigenspannungen durch Verformung abzubauen, ohne dass dabei Risse entstehen. Bei den hierfür in der Regel verwendeten SZW handelt es sich um Nickelbasislegierungen. Obwohl Nickel Kohlenstoff lösen kann, ohne dabei in einem harten und somit spröden Gefüge zu erstarren, wird sich beim „kalten“ Gusseisenreparaturschweißen stets bemüht, möglichst wenig Grundwerkstoff aufzuschmelzen und damit den Kohlenstoffanteil im Schweißgut so gering wie möglich zu halten. Hieraus ergibt sich auch die Namensgebung beim „kalten“ Gusseisenreparaturschweißen. Würde auf hohe Temperaturen vorgewärmt, würde auch mehr Grundwerkstoff im Schmelzbad aufgeschmolzen werden und somit der Kohlenstoffanteil im Schweißgut steigen. Es gilt also eine Vorwärmtemperatur zu verwenden, die einen Kompromiss zwischen möglichst geringen resultierenden Schrumpfeigenspannungen, möglichst geringer Aufhärtung der WEZ und einer möglichst geringen Aufschmelzung des Grundwerkstoffes bildet. Das geringe Aufschmelzen vom Grundwerkstoff kann in Einzelfällen so weit gehen, dass die Nahtquerschliffe nahezu keinen Einbrand zeigen und an MSG-Lötnähte erinnern.

Hier lässt sich eine Verbindung zum MSG-Löten (MSG steht für Metallschutzgas-Schweißen) ziehen. Beim MSG-Lötprozess wird z. B. mit dem Zusatzwerkstoff Aluminiumbronze (CuAl8) nur das Lot aufgeschmolzen und der Grundwerkstoff im festen Zustand belassen. Typischerweise wird das MSG-Löten bei Stahl bzw. verzinktem Stahl eingesetzt. Gusseisen hat eine im Vergleich zu Stahl geringere Schmelztemperatur, sodass fraglich ist, ob es beim MSG-Löten von Gusseisen möglich ist, den Anteil an aufgeschmolzenem Grundwerkstoff gering zu halten. Gleichzeitig stellt sich die Frage nach dem Einfluss des Kohlenstoffs auf das Löt- bzw. Schweißgut. Aufgrund der komplexen Temperaturverläufe und der über eine Nahtbreite variablen Zusammensetzung ist hier eine Simulation der Eigenschaften des entstehenden Gefüges nicht zuverlässig möglich, sodass die entstehenden Phasen praktisch ermittelt wurden. Neben der Gefahr der Härterisse sind bei Gusseisenschweißungen auch Heißrisse als Schadensmechanismus nicht selten. Heißrisse entstehen, wenn eine Schmelze von außen nach innen abkühlt und die Erstarrungsfront niedrigschmelzende Phasen vor sich her treibt. Wenn niedrigschmelzende Phasen in einem ausreichenden Volumen vorliegen, kann es vorkommen, dass die erstarrten Bereiche schon in dem Maße schrumpfen, dass die noch vorliegende Schmelze – der niedrigschmelzenden Phasen – im schmelzflüssigen Zustand auseinandergezogen wird. Die derart entstandene Materialtrennung wird als Heißriss bezeichnet. Ob sich in der praktischen Anwendung von MSG-Lotzusatz beim Fügen von Gusseisen derartig niedrigschmelzende Phasen lokal bilden, ist ebenso in einer Simulation schwer zu ermitteln und wurde daher wie nachfolgend erläutert empirisch ermittelt.

### 3. Versuche und Versuchsaufbau

Zur Ermittlung der praktischen Anwendbarkeit des MSG-Lötens für Gusseisenreparaturen wurden die folgenden Versuche durchgeführt. Jeweils zwei dickwandige Rohre ( $D=32$  mm,  $d=16$  mm,  $L=110$  mm) aus GJS600-3 werden wie in Abbildung 2 links dargestellt eingespannt und in der dabei entstehenden Kehle durchgängig geschweißt bzw. gelötet. Um eine gute Vergleichbarkeit zu erreichen, wurde im Anschluss an die erste Naht die Probe umgedreht und jeweils bei einer Nahttemperatur von  $150$  °C die 2. Naht (siehe Abbildung 2 rechts) eingebracht. Dieser Versuchsaufbau bzw. die Probenform ist angelehnt an DIN 50129 bzw. DVS Merkblatt 1004 und derart gewählt, dass durch das Schrumpfen der ersten Naht Zugspannungen in der zweiten Naht entstehen. Diese sogenannte selbstbeanspruchte Probenanordnung hat ihren Ursprung in der Heißrissprüfung. Nach dem Schweißen wurden den geschweißten Proben Abschnitte für Makro- und Mikroschliffe, Härteprüfungen und jeweils eine Bruchprüfung (Aufbau siehe Abbildung 2 oben rechts) zur fraktografischen Betrachtung entnommen.

Für einen möglichst geringen Einbrand und daraus folgend eine möglichst geringe Aufschmelzung des Grundwerkstoffes wurde stechend mit den Parametern  $U=26$  V,  $I=215$  A geschweißt. Die Vorschubgeschwindigkeit des Drahtes mit  $D=1$  mm betrug  $10-15$  m/min. Insgesamt wurden drei verschiedene Zusatzmaterialien eingesetzt. Die Schweißungen mit G3Si1 und NiCr22Mo9Nb wurden mit einem M20 Schutzgas, die CuAl8-Bronze mit Reinargon als Schutzgas gefügt. Gleichzeitig zu der Schweißung erfolgte die  $t_8/5$ -Zeit-Messung. Der Fühler wird während des Prozesses in die Schmelze getaucht. Die Wartezeit für den nächsten Vorgang wird von der Abkühlgeschwindigkeit des Gusswerkstoffes bestimmt.

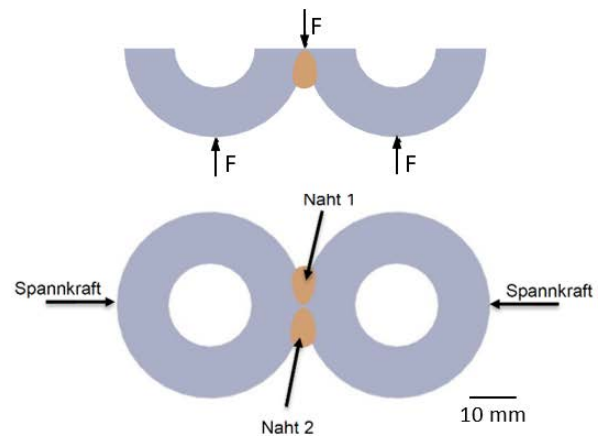


Abb. 2: Links: Versuchsaufbau mit eingebrachtem Thermoelement; rechts unten: Schematischer Aufbau einer geschweißten Probe; rechts oben: Schematischer Aufbau der Bruchprüfung.

Bei GJS600-3 handelt es sich gemäß DIN EN 1563 [11] um ein Gusseisen mit Kugelgraphit. Die mechanischen Eigenschaften von Gusseisen werden durch die kugelförmige Kohlenstoffeinlagerung maßgeblich beeinflusst. Gusseisen mit Kugelgraphit wird in Bereichen eingesetzt, bei denen komplizierte Bauteilgeometrien benötigt werden und wo sie hohen mechanischen und thermischen Belastungen ausgesetzt sind. Mit der Wahl der chemischen Zusammensetzung der Legierung und/oder der Wärmebehandlung ist die Art des metallischen Grundgefüges von Gusseisen mit Kugelgraphit in weiten Grenzen variierbar. Gusseisen mit ferritischem Gefüge haben die geringste Festigkeit, jedoch die höchste Plastizität und Zähigkeit. Ist das Grundgefüge perlitisch, hat der Gusseisenwerkstoff eine hohe Festigkeit, aber auch geringe Plastizität und Zähigkeit. Die erste der beiden Zahlen in der Bezeichnung GJS 600-3 gibt die geforderte Mindestzugfestigkeit an, die bei 600 N/mm<sup>2</sup> liegt. Die hintere Zahl steht für die Bruchdehnung; bei dem vorliegenden Werkstoff also 3 %. [9; 12]

Tabelle 1: Chemische Zusammensetzung des Grundwerkstoffs GJS600-3. [13]

Zusammensetzung	% C	% Si	% Mn	% P	% S
GJS600-3	3,4-3,8	2,0-3,0	0,1-0,3	≤0,01	≤0,02

Durchgeführt wurden Versuche mit drei unterschiedlichen Zusatzwerkstoffen: Einem Nickelbasis-, einem Eisenbasis- und einem Kupferbasiswerkstoff, welche nachfolgend im Detail beschrieben werden.

#### Nickelbasiszusatz:

Der Zusatzwerkstoff NiCr22Mo9Nb ist in DIN EN ISO 14172 [14] genormt und wird in erster Linie für Verbindungen und Auftragungen für artgleiche, artähnliche, hochfeste und korrosionsbeständige Stähle verwendet. Der NiCr22Mo9Nb ist geeignet für Austenit-Ferrit-Verbindungen bei Betriebstemperaturen bis 550 °C. Nickel-Chrom-Legierungen sind bis 1100 °C zunderbeständig und bei tiefen Temperaturen bis ca. -196 °C einsetzbar, da sie kaltzäh bleiben. NiCr22Mo9Nb hat gute mechanische Eigenschaften, die in Tabelle 5 zusammen mit den Eigenschaften der anderen genutzten Zusätze dargestellt sind. Hervorzuheben neben dem großen Temperaturbereich, in dem der Werkstoff eingesetzt werden kann, ist auch die gute Beständigkeit gegenüber Mineralsäuren, Alkalien und organischen Säuren sowie die weitgehende Beständigkeit gegenüber Loch-, Spalt-, Erosions- und interkristalline Korrosion. [15]

Tabelle 2: Chemische Zusammensetzung des SZW NiCr22Mo9Nb. [14]

Zusammensetzung	% Cr	% Mo	% Fe	% Si	% Nb	% Cu	% C	% Mn
NiCr22Mo9Nb	20,0-23,0	8,0-10,0	7,0	0,8	3,0-4,2	0,5	0,1	2,0

### Eisenbasiszusatz:

Als Referenz wurde ein Versuch mit einem Eisenbasiswerkstoff durchgeführt, obwohl bekannt ist, dass das kalte Schweißen mit Eisenbasiswerkstoff mit einer hohen Fehlerwahrscheinlichkeit verknüpft ist und allgemein nicht empfohlen wird. Verwendet wurde aufgrund seiner weiten Verbreitung beim MAG-Stahlschweißen und seiner guten Verfügbarkeit ein EN ISO 14341-A G 42 4 C/M 3Si1 (kurz G3Si1). Bei diesem SZW handelt es sich um eine niedriglegierte Drahtelektrode für das MSG-Schweißen mit der in Tabelle 3 dargestellten chemischen Zusammensetzung, dieser eignet sich für das Verbindungsschweißen an niedrig- und unlegierten Stählen. [16]

Tabelle 3: Chemische Zusammensetzung des SZW G3Si1.

Zusammensetzung	% C	% Si	% Mn	% P	% S	% Ni	% Cr	% Cu
G3Si1	0,06-0,14	0,7-1,0	1,3-1,6	0,025	0,025	0,15	0,15	≤0,35

### Kupferbasiswerkstoff:

Das verwendete CuAl8-Lot ist ein Bronzelot mit, gemäß DIN EN ISO 24373 (CuAl7) [17], einem Aluminiumanteil von 6,0 bis 8,5 % und weist geringe Anteile an Silizium, Mangan und Zink, entsprechend Tabelle 4, auf. CuAl8 ist eine korrosions- und Seewasser-beständige Legierung mit sehr guten Gleiteigenschaften. Dieses Lot eignet sich zum Verbindungs- und Auftragsschweißen sowie für das MSG-Löten von Aluminiumbronze, Messing, Stahl- und Grauguss. Die Lötnaht mit Kupfer-Aluminium-Legierung ist nahezu spritzerfrei, wodurch sich die Nacharbeitung minimiert. In der Regel ist ein Vorwärmen nicht erforderlich. Als Schweißgas werden bei dem MSG-Löten Inert-Gase, wie Argon oder ein Mischgas aus Argon-Helium verwendet. [18]

Tabelle 4: Chemische Zusammensetzung des SZW CuAl8. [17]

Zusammensetzung	% Al	% Si	% Mn	% Zn	% Pb	% Sonstige (einschl. Fe, Ni, Co, Sn)
CuAl8	6,0-8,5	0,1	0,5	0,2	0,02	≤0,5

Die Gegenüberstellung der mechanischen und physikalischen Kennwerte in Tabelle 5 zeigt insbesondere den deutlichen Unterschied bei der Bruchdehnung zwischen Grundwerkstoff und SZW auf. Betrachtet man die Schmelztemperatur, so liegt das Lot CuAl8 im Bereich der Schmelztemperatur des Grundwerkstoffs GJS600-3, was verdeutlicht, wie schwer es sein muss, beim MSG Löten von Gusseisen das Aufschmelzen desselben vollständig zu verhindern. Sollte der Grundwerkstoff bei diesem Prozess aufgeschmolzen werden, wäre die Bezeichnung MSG-Löten irreführend, denn es würde sich um eine klassische Schweißverbindung mit artungleichem SZW handeln.

Tabelle 5: Mechanische/physikalische Materialkennwerte der SZW und des Grundwerkstoffs. [13; 16; 15; 19]

Werkstoff	Härte HV	0,2% Dehngrenze N/mm <sup>2</sup>	Zugfestigkeit N/mm <sup>2</sup>	Bruchdehnung %	Schmelztemperatur °C
GJS600-3	350	370	600	3	1150
G3Si1	360	420	500-640	20	1450
CuAl8	150	200	390-450	45	1030
NiCr22Mo9Nb	240	420	760	30	1430

#### 4. Untersuchungsergebnisse

Zunächst wurden die Wärmeeinbringung und die  $t_{8/5}$ -Zeit berechnet. Für die Berechnung der Wärmeeinbringung wurde eine durchschnittliche Vorschubgeschwindigkeit der drei Proben von 5,5 mm/s gewählt. Der thermische Wirkungsgrad beträgt für MAG 0,85 und für MIG 0,75. Die Berechnungen erfolgen nach der dreidimensionalen Wärmeableitung, da die berechnete Dicke durch das Gleichsetzen der zweidimensionalen und der dreidimensionalen Wärmeeinbringung größer als die tatsächliche Blechdicke ist. [9; 20; 21]

$$Q \text{ mit G3Si1} = k \cdot \left( \frac{U \cdot I}{v} \right) = 0,85 \cdot \left( \frac{26,0 \text{ V} \cdot 221 \text{ A}}{5,5 \text{ mm/s}} \right) = 888,0 \frac{\text{J}}{\text{mm}} = 0,888 \frac{\text{kJ}}{\text{mm}}$$

$$Q \text{ mit CuAl8} = k \cdot \left( \frac{U \cdot I}{v} \right) = 0,75 \cdot \left( \frac{26,4 \text{ V} \cdot 209 \text{ A}}{5,5 \text{ mm/s}} \right) = 752,4 \frac{\text{J}}{\text{mm}} = 0,752 \frac{\text{kJ}}{\text{mm}}$$

$$Q \text{ mit NiCr22Mo9Nb} = k \cdot \left( \frac{U \cdot I}{v} \right) = 0,75 \cdot \left( \frac{27,4 \text{ V} \cdot 216 \text{ A}}{5,5 \text{ mm/s}} \right) = 807,1 \frac{\text{J}}{\text{mm}} = 0,807 \frac{\text{kJ}}{\text{mm}}$$

Für den Nahtfaktor wurde  $F_3 = 0,8$  als eine Schweißnaht in Wurzellage an einer Doppel-V-Naht gewählt. Die Berechnung der  $t_{8/5}$ -Zeit ist untenstehend exemplarisch dargestellt, die errechneten  $t_{8/5}$ -Zeiten sind in Abbildung 3 grafisch dargestellt.

$$t_{8,5\text{-CuAl8-1}} = (6700 - 5 \cdot 20,5 \text{ } ^\circ\text{C}) \cdot 0,752 \frac{\text{kJ}}{\text{mm}} \cdot \left( \frac{1}{500-20,5 \text{ } ^\circ\text{C}} - \frac{1}{800-20,5 \text{ } ^\circ\text{C}} \right) \cdot 0,8 = 3,186 \text{ s}$$

$$t_{8,5\text{-CuAl8-2}} = (6700 - 5 \cdot 150 \text{ } ^\circ\text{C}) \cdot 0,752 \frac{\text{kJ}}{\text{mm}} \cdot \left( \frac{1}{500-150 \text{ } ^\circ\text{C}} - \frac{1}{800-150 \text{ } ^\circ\text{C}} \right) \cdot 0,8 = 4,720 \text{ s}$$

Der Vergleich zwischen der berechneten und der ermittelten  $t_{8/5}$ -Zeit (siehe Abbildung 3 links) zeigt die zu erwartende Übereinstimmung zwischen den gemessenen und berechneten Werten mit akzeptablen Abweichungen. Die beobachtete Zeitdifferenz lässt sich bei einer Schweißnahtlänge von nur 110 mm auf die schwierig zu ermittelnde Schweißgeschwindigkeit bei kurzen Messstrecken zurückführen. Es ist jedoch festzuhalten, dass trotz der widrigen Umstände eine gute Tendenz der Abkühlzeit berechnet werden konnte. Im Durchschnitt hat sich eine  $t_{8/5}$ -Zeit von ca. 4,5 s eingestellt.

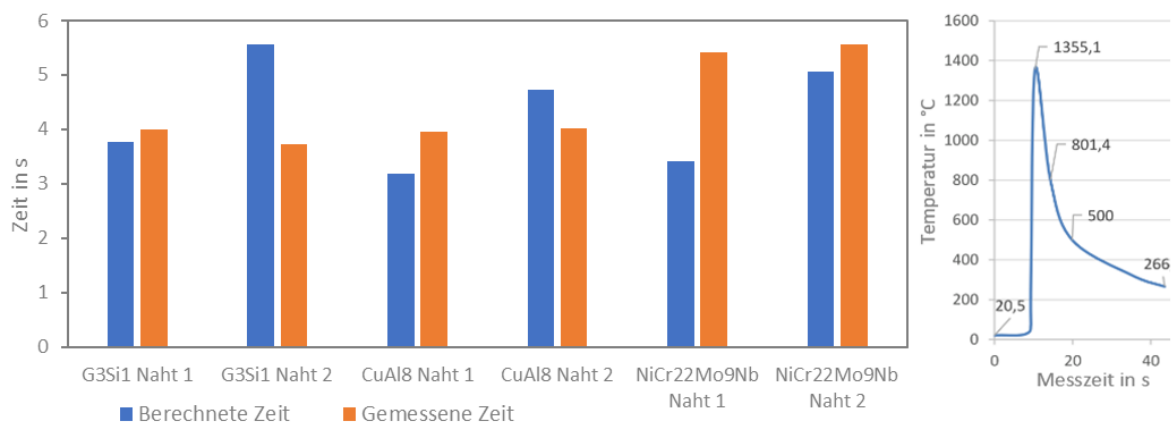


Abb. 3: Links: Gegenüberstellung von berechneter und gemessener  $t_{8/5}$ -Zeit; Rechts: Exemplarische Darstellung des ermittelten Temperatur-Zeit-Verlaufes an der zweiten NiCr22Mo9Nb Schweißung

Die Gegenüberstellung der Makro-Querschliffe in Abbildung 4 zeigt bei den SZW G3Si1 und CuAl8 eine Vielzahl an Schweißnahtunregelmäßigkeiten. Das Schweißgut ist von diversen Rissen durchzogen: Oberflächenriss (1), Riss unter der Oberfläche (2), Riss in der Wurzel (3).

Bei der mit CuAl8 gelöteten Verbindung zeigen sich zudem Kugelgraphitanhäufungen (4) sowie dadurch bedingte Risse (5). In der Diffusionszone können darüber hinaus Lunker (6) erkannt werden. Die zweite Naht zeigt einen ausgeprägten Bindefehler (7). Es kann festgehalten werden, dass der Grundwerkstoff zumindest teilweise aufgeschmolzen wurde und in Lösung gegangen ist. In den grundwerkstoffnahen Bereichen zeigt das Schweißgut (von Lötten kann ab diesem Zeitpunkt eigentlich nicht mehr gesprochen werden) eine weitere Phase. Bei beiden Nähten sind Risse (1) und (5) zwischen dieser Phase und der Phase des CuAl8 erkennbar.

Das Schlibbild der NiCr22Mo9Nb zeigt vereinzelt Poren (9) im Nahtquerschnitt, weiterhin ist ein Bindefehler (8) zu erkennen.

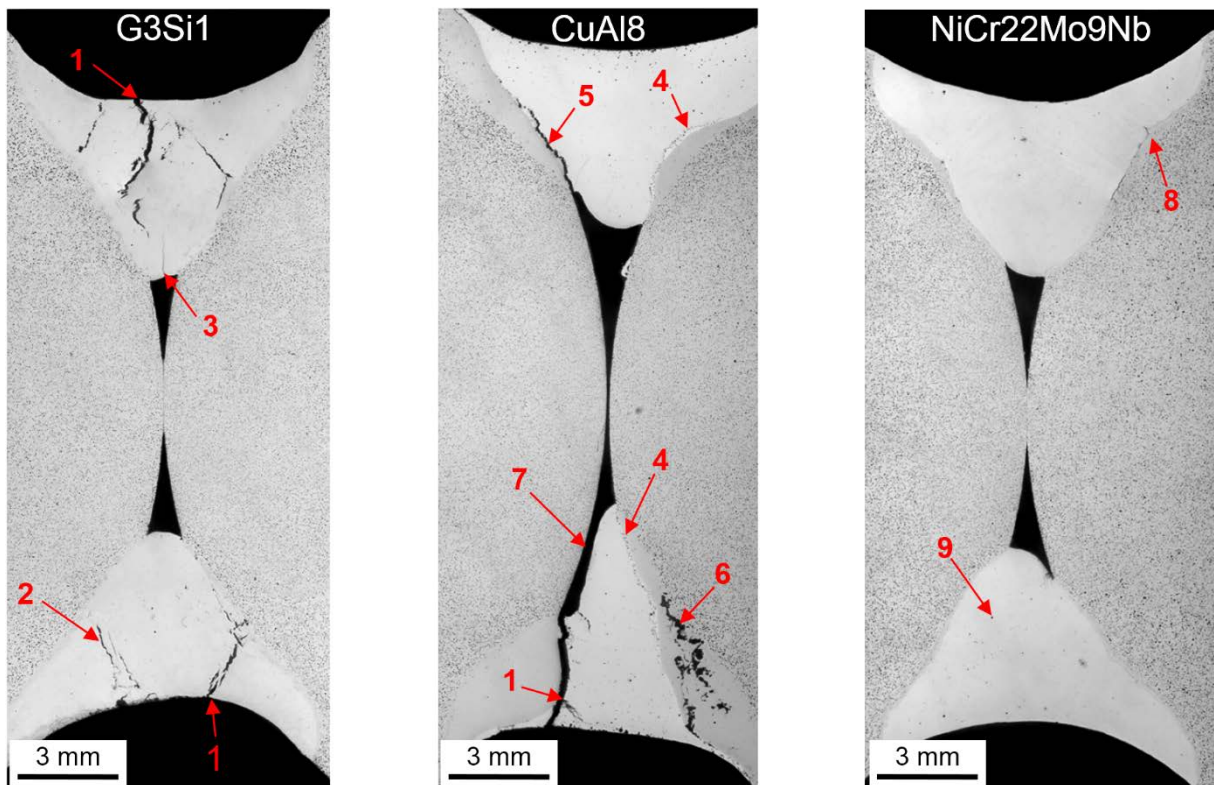


Abb. 4: Makroschliffe der Verbindungen mit den SZW G3Si1, CuAl8 und NiCr22Mo9Nb (Naht 1 oben, Naht 2 unten).

In Abbildung 5 ist die lichtmikroskopische Betrachtung der jeweiligen Werkstoffübergänge dargestellt. Im linken Bereich des Bildausschnitts ist jeweils das perlitische Grundgefüge mit Kugelgraphit, vereinzelt von Ferritsäumen umgeben, des Grundwerkstoffs zu erkennen. Der oben dargestellte Gefügeverlauf der G3Si1 Probe von links nach rechts betrachtet, lässt erkennen, wie es in der WEZ zunächst zu einer Lösung des Kugelgraphits kommt und sich das Gefüge von ferritisch-perlitisch zu bainitisch-martensitisch wandelt. Der Werkstoffübergang zum Schweißgut zeigt eine Aufmischung der beiden Werkstoffe, in denen das Gefüge bainitisch bzw. martensitisch vorliegt. Im Übergang des Bereichs der teilweisen Aufschmelzung zum Schweißgut ist mitten im nadeligen Martensit-Gefüge ein Härteriss erkennbar. Die Wärmeeinflusszone der Probe mit dem Zusatzwerkstoff CuAl8 (mittleres Gefügebild in Abb. 5) ist verhältnismäßig breit ausgeprägt. Weiterhin ist zu erkennen, dass das Gusseisen aufgeschmolzen wurde. Dies ist an der entlang der Schweißnaht neu entstandenen Phase sowie den im Schweißgut eingeschlossenen Graphit-Sphärolithen eindeutig nachweisbar. Die schon im Makroschliff erkennbare neue Phase (im Gefügeschliff mit „Werkstoffübergang“ bezeichnet) zeigt eine dendritische Struktur und ist optisch dem Ledeburit zumindest ähnlich. Das untere Gefügebild zeigt die Wärmeeinflusszone, die mit dem Zusatzwerkstoff NiCr22Mo9Nb entstanden ist. Deutlich ist erkennbar, dass auch hier in der WEZ bainitisches und martensitisches Gefüge vorliegt. Dort, wo sich bei der mit G3Si1 geschweißten Probe aber der Riss befindet, geht der ferritische Martensit in einen Nickelmartensit über.

Im Nickelmartensit sind Graphit-Sphärolithe unterschiedlicher Größe erkennbar. Weder bei der Sichtprüfung noch bei den Mikro- oder Makroschliffen wurden an dieser Probe Risse festgestellt.

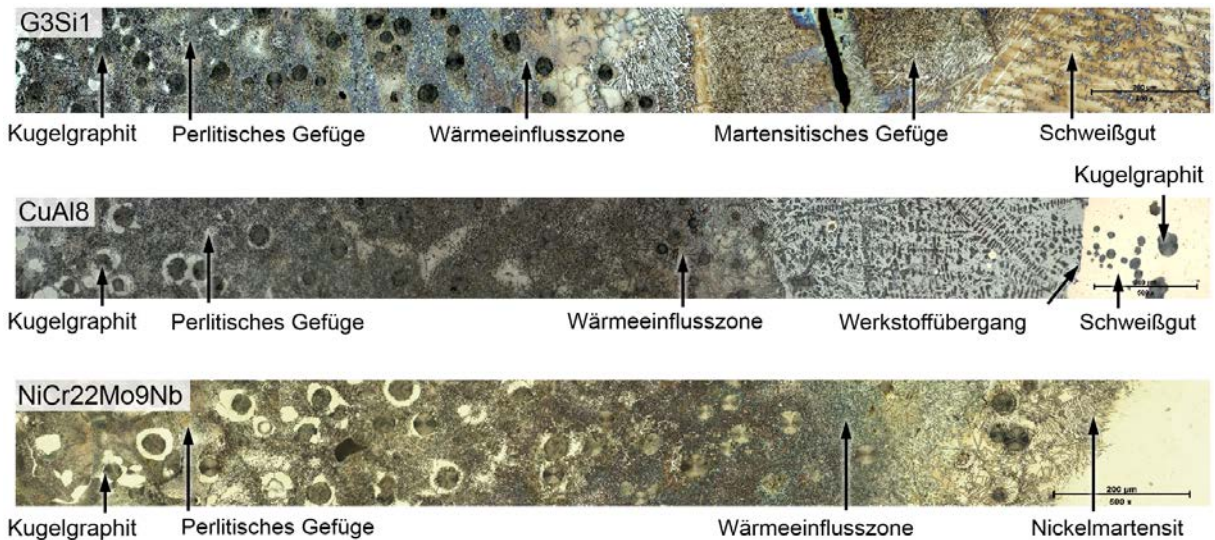


Abb. 5: *Werkstoffübergang vom Grundwerkstoff (links) bis Schweißgut (rechts).*

Die Härteverläufe (Abb. 6) zeigen wie erwartet bei allen Proben eine identische Grundwerkstoffhärte von ca. 230 HV10. In der Wärmeeinflusszone liegt bei allen Proben eine Aufhärtung vor, wobei diese bei der zweiten Naht, bedingt durch die Vorwärmung auf 150 °C, geringer ausfällt.

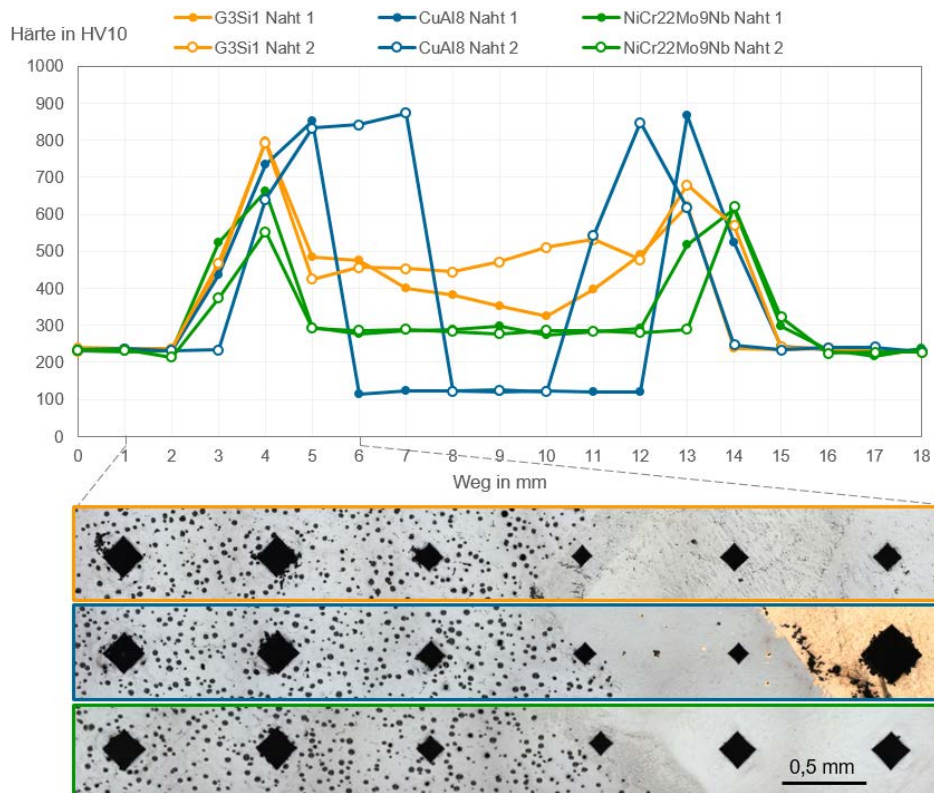


Abb. 6: *Oben: Härteverläufe der Versuchsproben; unten: Schliffbilder der WEZ, in denen Härteeindrücke erkennbar sind.*

Dies zeigt, dass die Härte durch ein Verringern der Abkühlgeschwindigkeit, wie theoretisch bereits angenommen, reduziert werden kann. Eine Vorwärmtemperatur von 150 °C, wie sie bei der zweiten Naht vorlag, hat aber nur einen geringen Einfluss auf die Härte der WEZ. Im Bereich des Übergangs von WEZ



zu Schweißgut ist die Härte bei der Probe, die mit CuAl8 gefügt wurde, maximal. Dies legt die Vermutung nahe, dass sich aufgrund der Werkstoffkombination eine intermetallische Phase gebildet hat.

Die vergrößerte Darstellung (Abb. 7) zeigt unter anderem, dass sich aufgrund der Verformung durch den Härteeindruck Risse an den Ecken des Härteeindrucks bilden, was auf Sprödigkeit hinweist, die für eine intermetallische Phase typisch ist. Aufgrund der Ähnlichkeit zu Ledeburit kann auch eine intermediäre Phase wie Fe<sub>3</sub>C nicht ausgeschlossen werden, da diese aber bei der G3Si1-Probe nicht bzw. nicht so ausgeprägt auftritt, ist der Einfluss von CuAl8 unstrittig. Innerhalb des eigentlichen Schweißguts (Grundwerkstoff wurde aufgeschmolzen daher nicht „Lot“) CuAl8 fällt die Härte auf ca. 100 HV ab. Leitet man von der Härte die Festigkeit ab, wird deutlich, dass die Schweißnaht bei homogener Spannung aufgrund der geringsten Festigkeit zuerst versagen würde, auch wenn sich kein Riss aufgrund der harten Phase gebildet hätte. Die zweithöchste Härte zeigt die mit G3Si1 geschweißte Probe in der WEZ. Bei dieser liegt die Härte des Schweißguts mit ca. 400 HV deutlich über der des Grundwerkstoffs. Folglich würde diese Naht, wenn sie rissfrei gefertigt werden könnte, bei homogener statischer Beanspruchung erst nach dem Grundwerkstoff versagen.

Die Härte der WEZ der mit der Nickelbasislegierung geschweißten Probe zeigt die geringste Aufhärtung. Die Härte im Schweißgut liegt mit ca. 300 HV konstant leicht über der Härte des Grundwerkstoffs, folglich auch über dessen Festigkeit.

Der üblicherweise angestrebte Härteverlauf einer Schweißnaht wäre ein sanfter Anstieg in der WEZ und eine geringfügig über der Härte des Grundwerkstoffs liegende Schweißguthärte, sodass keine Gefügerkerbe durch einen Härtesprung vorliegt, die Festigkeit des Schweißguts aber über der des Grundwerkstoffes liegt. Von den drei gezeigten Härteverläufen entspricht der Härteverlauf, der beim Schweißen mit der Nickelbasislegierung entstanden ist, am ehesten dem gewünschten Härteverlauf.

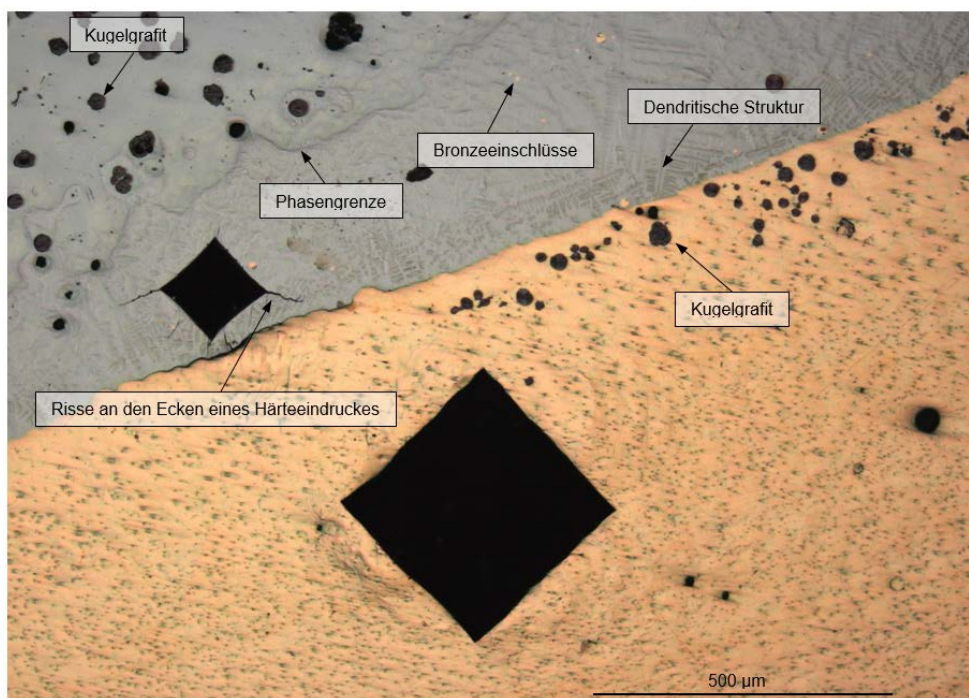


Abb. 7: Vergrößerte Darstellung des Übergangsbereichs der Probe, die mit CuAl8 gefügt wurde.

Zur Darstellung der Aufmischungsvorgänge bzw. um festzustellen, ob es sich tatsächlich um eine intermetallische Phase handelt, wurden EDX-Mappings (siehe Abbildung 8) an den zuvor betrachteten Schliffbildern angefertigt. Es lassen sich die Bereiche des Werkstoffübergangs (2) zwischen Grundwerkstoff (1) und Schweißgut (3) erkennen. Für G3Si1 zeigt sich eine klare Abgrenzung zwischen Grundwerkstoff und Schmelze, ersichtlich an der Kohlenstoffverteilung. Es gibt durch die EDX-Analyse keine Anzeichen einer niedrigschmelzenden Phase an den Rissflanken und somit auch keine Hinweise darauf, dass es sich bei den Rissen um Heißrisse handelt. Daher wird, auch aufgrund der in Abbildung 6 dargestellten Härteverläufe, davon ausgegangen, dass es sich um Härterisse handelt.

Anhand der Verteilung von Kupfer, Aluminium und Eisen in der Probe mit dem Lot CuAl8 lassen sich der Grundwerkstoff, der Werkstoffübergang bzw. die neu entstandene Phase unterscheiden. Der Unterschied der neu entstandenen Phase zu dem sonstigen Schweißgut scheint unter anderem am Eisenanteil von ca. 50% zu liegen, die anderen 50% bestehen zu großen Anteilen aus Kupfer und etwas Aluminium. Somit kann aufgrund der Härteprüfungen von einer harten und spröden Phase und, in Kombination mit der chemischen Zusammensetzung, intermetallischen Phase ausgegangen werden.

In Abbildung 8 rechts ist für den Zusatzwerkstoff NiCr22Mo9Nb die Unterscheidung der Phasen anhand der Elemente Eisen, Chrom und Nickel zu sehen. In der Schmelze sind Bereiche mit höherem Eisen- und Kohlenstoffanteil erkennbar. Im Werkstoffübergang ist eine Aufmischung des Gusseisens und des Zusatzwerkstoffs (Eisen ca. 55 %; Nickel ca. 30 %) festzustellen, die aber nicht zu einer derartig hohen Härte wie bei der CuAl8-Verbindung geführt hat.

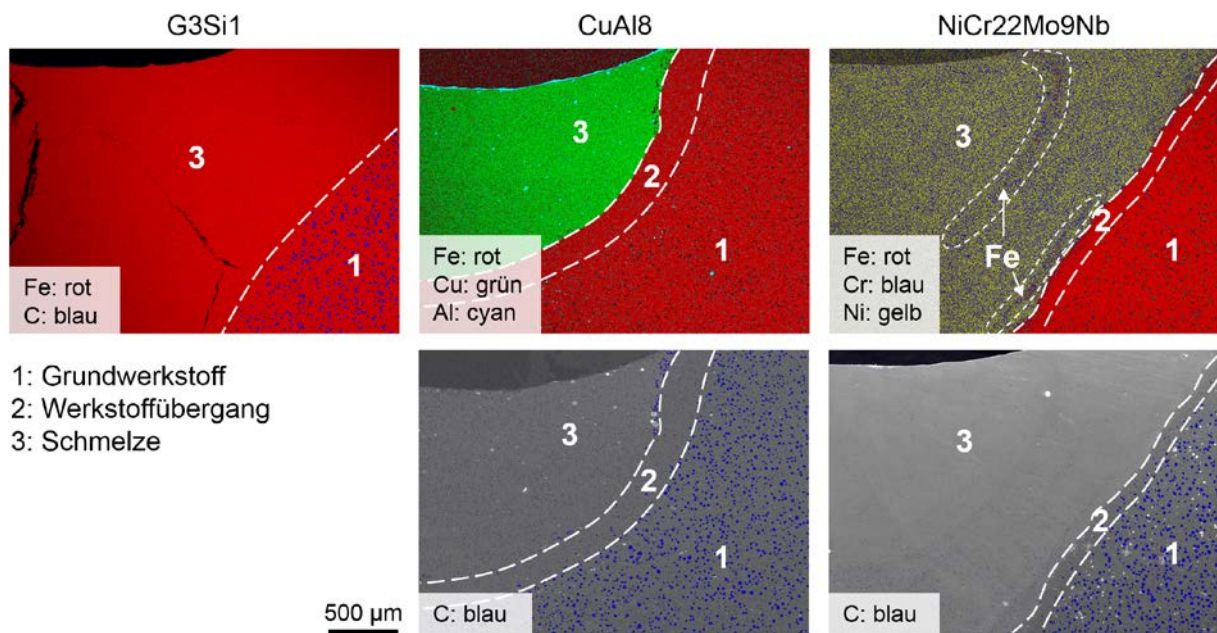


Abb. 8: EDX-Mapping zur Bestimmung der chemischen Zusammensetzung der Nähte.

## 5. Fraktografische Betrachtung

Die fraktografische Betrachtung der Bruchfläche der mittels G3Si1 geschweißten Probe zeigt ein martensitisches Gefüge (siehe Abbildung 9), was die Schlussfolgerung, dass es sich um einen Härteriss handelt, bestätigt. Der vorhandene Riss konnte durch geringe Krafteinwirkung vollständig aufgebrochen werden. Dies wird auf die Kerbwirkung des Härterisses in dem hochgradig kerbempfindlichen martensitischen Gefüge zurückgeführt.

Das Aufbrechen der Probe, die mit dem Zusatzwerkstoff CuAl8 geschweißt wurde, erfolgte nach großer plastischer Verformung und unter hohem Kraftaufwand. Auf der Bruchoberfläche zeigten sich Kugelgraphite (siehe Abbildung 9), sowie eine Struktur mit hohen Kupferanteilen. Nach Risseinleitung durch den Riss in der intermetallischen Phase wurde die weitere Ausbreitung durch Poren und Kugelgraphite begünstigt. Im weiteren Verlauf des Bruchs ist eine hohe plastische Verformung am Zusatzwerkstoff aufgetreten, bevor die Probe schließlich versagte.

Bei der Bruchflächenanalyse der Proben mit dem Zusatzwerkstoff NiCr22Mo9Nb ist anhand der Struktur zu erkennen, dass ein Gewaltbruch vorhanden ist. Auf der Bruchoberfläche sind keine Unregelmäßigkeiten zu sichten, die einen Bruch unterstützt haben. Beim Brechen der Proben war eine erhöhte plastische Verformung festzustellen. Die Verbindung zeigte gegenüber den mit dem Zusatzwerkstoff G3Si1 und CuAl8 verschweißten Proben eine deutlich höhere Festigkeit.

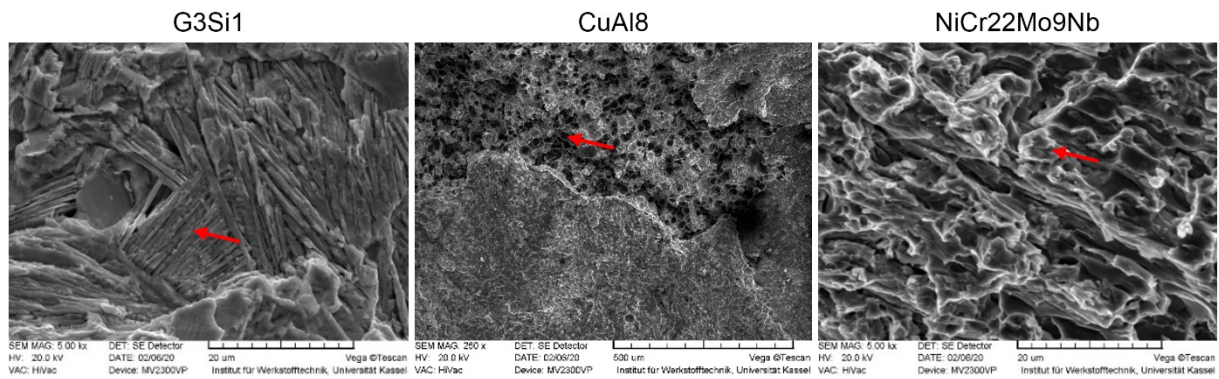


Abb. 9: Bruchflächenanalyse mittels Rasterelektronenmikroskopie.

## 6. Zusammenfassung und Ausblick

Wie aus der Sichtprüfung und der metallurgischen Untersuchung hervorgeht, sind die Risse längs zur Schweißnaht in der Probe mit dem Zusatzwerkstoff CuAl8 zumindest zum Teil auf die Zugeigenspannungen, die durch die selbst beanspruchende Probenanordnung entstehen, zurückzuführen. Die Probe zeigte bessere Verbindungseigenschaften als diejenige Probe, die mit dem Zusatzwerkstoff G3Si1 geschweißt wurde. Gegenüber dem Schweißzusatz NiCr22Mo9Nb weist das Lot CuAl8 jedoch deutlich mehr Nahtunregelmäßigkeiten auf. Somit konnte durch die Untersuchungen gezeigt werden, dass Schweißen (bzw. Lichtbogenlöten) von Gusseisen mit Aluminiumbronze ohne Vorwärmung das konventionelle Schweißen mit Vorwärmung sowie mit dem artfremden Nickelbasisschweißzusatz nicht ersetzen kann. Empfohlen wird daher auch weiterhin für Gusseisenreparaturen mittels Lichtbogenverfahren, Nickelbasisschweißzusätze einzusetzen und bei der Vorwärmtemperatur einen Kompromiss aus möglichst geringer Aufmischung und möglichst geringer Aufhärtung in der WEZ zu suchen. Sollte dennoch eine Bronze als Lötzusatz gewählt werden ist sicherzustellen, dass kein Grundwerkstoff auf- bzw. angeschmolzen wird. Bei den hier vorgestellten Versuchen, die im Rahmen einer studentischen Arbeit ausgeführt wurden, wurde zur Verschärfung der Bedingungen bewusst auf ein Hämmern der Schweißnaht verzichtet und einlagig geschweißt, obwohl dies bei Reparaturen an Gusseisen üblich ist. Natürlich sollte bei praktischer Anwendung mehrlagig geschweißt werden, damit die WEZ der ersten Raupe durch die weiteren Lagen angelassen und somit in der Härte reduziert wird. Weiterhin sollte jede Schweißnaht-raupe gehämmert werden, um Druckeigenspannungen einzubringen bzw. die Summe an Zugeigenspannungen zu reduzieren.

Die vorgestellten Ergebnisse motivierten zu einem Projekt des Instituts für Werkstofftechnik der Universität Kassel. In diesem wird bzw. wurde geprüft, ob mittels Zwischenlagenhämmerns von Gusseisenreparaturschweißungen rissfreie Verbindungen mit ferritischen und/oder austenitischen Schweißzusätzen möglich sind. Das Schweißnahthämmern wandelt die Schrumpfeigenspannungen, die für die Entstehung der Härterisse mitverantwortlich sind, bis zu einer Tiefe von einigen Millimetern [22] in Druckeigenspannungen um. Sollte dies beim Zwischenlagenhämmern gelingen, bevor das Gusseisen mit sinkender Temperatur seine plastische Verformbarkeit verliert, könnten rissfreie Schweißverbindungen z. B. mit G3Si1 herstellbar sein. Die wesentliche Herausforderung liegt hierbei voraussichtlich in der zeitlichen Abfolge. Zunächst ist zu ermitteln, wieviel Zeit zwischen Erstarrung und Rissbildung zum Einbringen von Druckeigenspannungen durch Hämmern zur Verfügung steht. Eventuell muss daraufhin ein gekoppelter Schweißhämmerprozess entwickelt und/oder auf Roboterbearbeitung zurückgegriffen werden. Sollte dies gelingen, würde es zu einer deutlichen Reduzierung der Schweißzusatzwerkstoffkosten und gleichzeitig zu einer Verbindung mit einer höheren Schweißgutfestigkeit führen. Zudem würden, neben dem geringeren CO<sub>2</sub>-Ausstoß durch die Verwendung von Gusseisen anstelle von Stahl, Ressourcen gespart und somit die Umwelt geschont, da weniger Schwermetalle (Chrom und Nickel) eingesetzt werden müssten. Die Autorenschaft freut sich über Rückmeldungen interessierter Projektpartner.

## Danksagung:

Diese Forschungsarbeit wurde von keiner Forschungsvereinigung gefördert. Die Autorenschaft bedankt sich bei den Studierenden, durch deren Engagement diese Ergebnisse entstanden, bei der Firma Jung Schweißtechnik GmbH & Co. KG für das Bereitstellen des Schweiß- bzw. Lötzusatzes CuAl8 und bei der Firma HUBTEX Maschinenbau GmbH & Co. KG für das Bereitstellen der Nickelbasislegierung, das Schweißen der Proben und das Interesse an diesem Thema.

Diese Veröffentlichung entspricht in wesentlichen Teilen der bereits existierenden Veröffentlichung [22] mit freundlicher Genehmigung der Organisatoren des DVS Congress 2021 sowie der Organisatoren der schweißtechnischen Fachtagung in Barleben.

## 7. Literaturverzeichnis

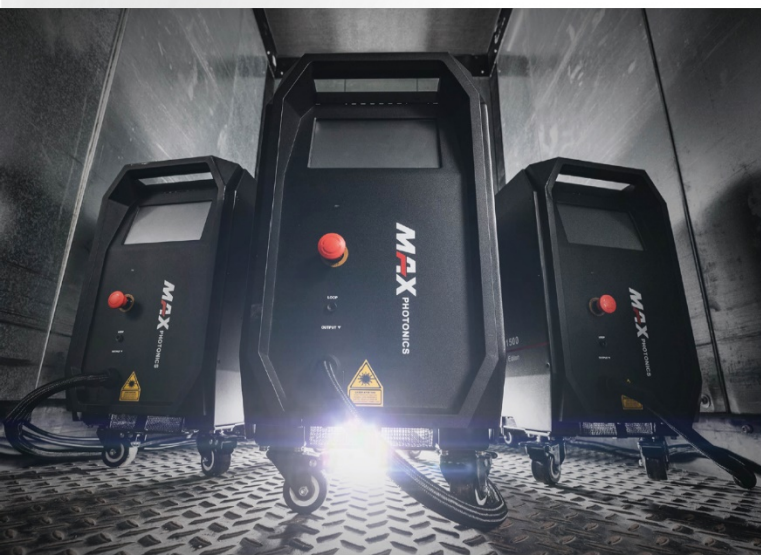
- [1] [https://www.guss.de/fileadmin/user\\_upload/co2-leitfaden.pdf](https://www.guss.de/fileadmin/user_upload/co2-leitfaden.pdf) [Zugriff am 01 03 2022].
- [2] <https://group-media.mercedes-benz.com/marsMediaSite/de/instance/ko/Produktionsjubilaeum-fuer-Induktives-Press-Schweissverfahren-100000-innovative-IPS-Achsen-aus-dem-Mercedes-Benz-Werk-Kassel.xhtml?oid=9919944> [Zugriff am 01 03 2022].
- [3] <https://www.hubtex.com/de-de/produkte/elektro-mehrwege-gegengewichtstapler>. [Zugriff am 01 03 2022].
- [4] G. F. Metting, „Schweisstechnische Verarbeitung der Gusseisenwerkstoffe“, Konstruieren und Gießen, Bd. 32, 2007.
- [5] [Online]. Available: <https://www.weldingtipsandtricks.com/tig-welding-cast-iron-vice.html>. [Zugriff am 14 06 2021].
- [6] [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=rN-v4q2Rz6I>. [Zugriff am 31 05 2021].
- [7] M. Becker, „Schweißverbindungen“ in Maschinenelemente, Vieweg, 1994.
- [8] ESAP. GmbH, Handbuch für das Reparatur- und instandhaltungsschweißen, Göteborg, 2019.
- [9] K. Günther, Metallurgie und Werkstofftechnik - Ein Wissensspeicher - Band 1 und 2, Leipzig: Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie.
- [10] W. Theisen, Eisenwerkstoffe- Stahl und Gusseisen, Bochum: Springer-Verlag, 2006.
- [11] „Gießereiwesen – Gusseisen mit Kugelgraphit; Deutsche Fassung EN 1563:2018,“ DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Beuth Verlag.
- [12] „Bundesverband der Deutschen Gießerei-Industrie (BDG), Gusseisen mit Kugelgraphit,“ Düsseldorf, 2010.
- [13] „Gieterij Dijkkamp B.V., Merkmale von GGG60,“ [Online]. Available: <https://www.dijkkamp.nl/de/material/ggg60-en-gjs-600-3/>. [Zugriff am 11 06 21].
- [14] Schweißzusätze – Umhüllte Stabelektroden zum Lichtbogenhandschweißen von Nickel und Nickellegierungen – Einteilung (ISO 14172:2015); Deutsche Fassung EN ISO 14172:2015, DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth Verlag GmbH.
- [15] „Kjellberg Finsterwalde, Finox 625 Nickelbasisielektrode,“ [Online]. Available: <https://www.kjellberg.de/de/catalog/finox-625.html>. [Zugriff am 11 06 2021].
- [16] „Schweisstechnik-Gasetechnik b+m GmbH, ESAB OK Autrod 12.51 G3Si1/SG2 (1.5125), Technisches Datenblatt,“ [Online]. Available: <http://www.esab-okhandbuch.de/content/print/1251127600>. [Zugriff am 11 06 2021].
- [17] Schweißzusätze – Massivdrähte und -stäbe zum Schmelzschweißen von Kupfer und Kupferlegierungen – Einteilung (ISO 24373:2018); Deutsche Fassung EN ISO 24373:2018, DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth Verlag GmbH.
- [18] E. G. Schweißen+Schneiden, „Schweißzusätze,“ [Online]. Available: <https://www.erl-gmbh.de/nc/shop/shop/einzelansicht/kategorien/kupfer/produkte/kupfer-schweisstab-cual8-20x1000mm.html>. [Zugriff am 03 04 2019].
- [19] „Migal.co GmbH, Datenblatt-CuAl,“ [Online]. Available: <https://migal.co/produkte/kupfer-schweisdraht-loetdraht/ml-cual8>. [Zugriff am 11 06 2021].
- [20] H. Schumann, Metallografie, Weinheim: Wiley VCH Verlag GmbH, 2005.
- [21] H.-J. Eckstein, Wärmebehandlung von Stahl - Metallkundliche Grundlagen, Leipzig: Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, 1971.
- [22] DVS Berichte Band 371. DVS Congress 2021 DVS Media GmbH, Düsseldorf (S. 658-668).



**PERFEKT HANDELN.**

SCHWEISSTECHNIK · SERVICESTÄRKE · KOMPETENZGARANTIE

# HANDGEFÜHRTES LASERSCHWEISSEN



Handgeführte Laserschweißgeräte finden in nahezu allen Industriezweigen Anwendung und können für unterschiedlichste Anforderungen eingesetzt werden.

Die MSS als Ihr Lieferant leistet hierbei Unterstützung in allen Bereichen wie Sicherheit, Anwendung Schulung, Service sowie Support.

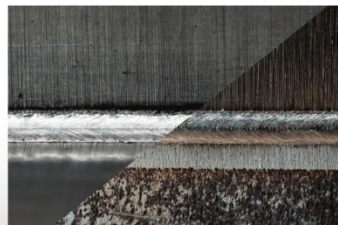
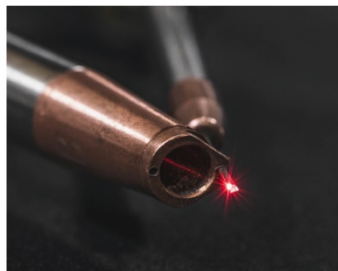
Überzeugen Sie sich selbst von den enormen Vorteilen dieser innovativen Technik!

**MAX** PHOTONICS

Offizieller Partner:  
**AK Industry**  
Your Experts in Laser & Plasma

## Handlaser-Schweißmaschine MaxPhotonics X1-MFSC 1500

- bis zu 4 mal schneller als WIG-Schweißen
- geringere Wärmeeinwirkung als andere Verfahren
- geringer Materialverzug
- Wobble-Technologie des Laserkopfs
- kosteneffizient
- einfache Bedienung
- mobiles und leichtes Design



MELDEN SIE SICH KURZFRISTIG BEZÜGLICH  
EINER VORFÜHRUNG BEI DER MSS AN:



**Anita Langer**

- 039 203 - 75 19 - 44
- langer.anita@  
mss-schweisstechnik.de





**PERFEKT HANDELN.**  
SCHWEISSTECHNIK · SERVICESTÄRKE · KOMPETENZGARANTIE

# MAXPHOTONICS X1-MFSC 1500



Die einfache Bedienung, hohe Schweißqualität und hervorragende Arbeitsgeschwindigkeit machen dieses handgeführte Laserschweißgerät zu einem perfekten Werkzeug für Ihre Schweißaufgaben.

Das mobile und leichte Design bietet die Flexibilität, das Gerät überall dort einzusetzen, wo es benötigt wird.

Es kann nach einer kurzen Einweisung leicht bedient werden. Das macht es einfach, schnell sehr gute Schweißergebnisse zu erzielen.

Der Laserkopf mit Wobble-Technologie ist sehr leicht und flexibel und kann daher universell eingesetzt werden. Die Arbeit wird effizienter - Sie sparen Energie und Kosten.

#### Technische Daten

Optische Ausgangsleistung	150 - 1500 W
Eingangsspannung	230 V / 50 Hz / 60 Hz
Betriebsmodus	kontinuierlich, gepulst, Punktschweißen
Laserwellenlänge	1080 µm
Schwingbreite / -frequenz	0 - 4 mm / 0 - 300 Hz
Drahtzufuhrgeschwindigkeit	1 - 40 mm/s
Arbeitsumgebung - Temperatur	10 - 40° C
Arbeitsumgebung - Luftfeuchte	10 - 85 %
Eingangsleistung	6 kW
Ø Lastleistung / Kühlung	6000 W / 4500 W / luftgekühlt
Maße L x B x H, Gewicht:	667 x 276 x 542 mm, 39 kg

#### Schweißtiefe bei folgenden Parametern:

Wobble-Technologie, Flachnaht, Scangeschwindigkeit 350 mm/s

Material	Leistung	Scanweite	Drahtzufuhr
1 mm	500 - 600 W	3,0 mm	0,8-1,0 mm
2 mm	600 - 700 W	3,0 mm	1,2 mm
3 mm	700 - 1000 W	3,5 mm	1,2 - 1,6 mm
4 mm	1000 - 1500 W	4,0 mm	1,6 mm

#### Zubehör:

- Hand-Laser-Pistole mit 6 Meter Leitung
- Massekabel 6 Meter
- Grundsortiment für Düsen (unterschiedliche Anwendungen)
- 5 Schutzgläser (Starterset)
- 3 Schutzbrillen\*
- Drahtvorschubeinheit

\*Laserklasse 4 - Laser-Schutzbrille für Wellenlängen ~ 1068nm zwingend notwendig. Wir empfehlen außerdem die Verwendung von Laserschutzvorhängen oder Laserschutzzellen.

**WEITERE INFOS, ANWENDUNGSVIDEO  
UND BESTELLEN DIREKT IM B2B-SHOP  
AUF MSS-SCHWEISSTECHNIK.DE**



#### Gewährleistung:

- 12 Monate auf das gesamte System (ausgenommen Verschleißteile)

# Anwenderunabhängige Schweißnaht-Prüfung nach DIN EN ISO 17637 durch den Einsatz von 3D-Scannern

D. Hüls, Neubeuern und D. Horstkott, Hagen

---

## Kurzfassung

Die Sichtprüfung von Bauteilen und Gegenständen ist das älteste zerstörungsfreie Prüfverfahren, auch wenn es nicht als solches sofort verstanden wird. Die Prüfung kann meistens mit einem relativ geringen materiellen und zeitlichen Aufwand durchgeführt werden und gilt auch als Grundlage für ggf. weitere nötige Untersuchungen. Daher sollte die Sichtprüfung bei der Produktionskontrolle als erster Prüfschritt einer zerstörungsfreien Prüfung verstanden werden, um weitere Fertigungs- oder Prüfvorgänge abzusichern. Sollte sich bei der relativ einfachen Sichtprüfung schon vorab herausstellen, dass unzulässige Imperfektionen oder maßliche Abweichungen in der Fertigung auftreten, können weitere kostenintensive Fertigungsschritte zunächst eingespart und die Unregelmäßigkeiten zeitnah korrigiert werden. Gerade im Bereich der schweißtechnischen Fertigung von Bauteilen kommt der Sichtprüfung daher eine wichtige Bedeutung zu, besonders weil in vielen technisch geregelten Bereichen die maßlichen und qualitativen Vorgaben normativ vorab eindeutig geregelt werden und die Endqualität des Produktes somit quantitativ und qualitativ abschließend eindeutig bewertet werden kann.

Im Bereich der schweißtechnischen Fertigung wurde mit dem Erscheinen der DIN EN 970 die Sichtprüfung von Schweißnähten erstmals verbindlich geregelt [1]. In vielen schweißtechnischen Regelwerken wird die Sichtprüfung heute z.T. umfangreich vorgeschrieben, teilweise ist der Einsatz von zertifiziertem Prüfpersonal nach DIN EN ISO 9712 für diese Aufgabe zwingend vorgeschrieben.

## 1. Grundlagen der Sichtprüfung

Die aktuellen Grundlagen für die schweißtechnische Sichtprüfung sind in den Normen DIN EN 13018 und DIN EN ISO 17637 ausführlich beschrieben. Sie basiert aus der Auswertung eines Mediums (Licht) nach seiner Wechselwirkung mit dem Prüfgegenstand [1]. Als Abkürzung werden die Buchstaben VT (visual testing) für das Verfahren eingesetzt.

Unterschieden werden generell 2 Arten der Sichtprüfung:

- Direkte Sichtprüfung
- Indirekte Sichtprüfung

Unter der direkten Sichtprüfung wird ein nicht unterbrochener Strahlengang zwischen dem Auge des Prüfers und der Prüffläche verstanden. Diese Prüfung wird ohne oder mit Hilfsmitteln, wie z.B. Spiegeln, Boroskopen oder Fiberskopen, durchgeführt. Die Betrachtung erfolgt also immer mit dem Auge des Prüfers [1].

Unter der indirekten Sichtprüfung wird eine Sichtprüfung verstanden, die mit einem unterbrochenen Strahlengang zwischen dem Auge des Prüfers und der Prüffläche arbeitet. Die indirekte Sichtprüfung umfasst die Anwendung von Foto- und Videotechniken [1].

Die Sichtprüfung kann weitere Prüfverfahren nicht ersetzen oder ergänzen. Innere Fehler oder Imperfektionen können nur durch spezielle Verfahren, wie z.B. das Ultraschall- oder Röntgenverfahren, festgestellt werden. Daher sind „kombinierte“ Fehler, also die Summe aus inneren und äußeren Imperfektionen, durch die Sichtprüfung allein nicht detektierbar. Zudem können gewisse Imperfektionen, die eine „Verbindung“ mit der Prüfoberfläche haben, nur durch spezielle Verfahren, wie z.B. das Farbeindringverfahren (PT), für das Auge nachträglich sichtbar gemacht werden.

Hinweis: Auch ein gut funktionierendes VT-Computer-System ersetzt niemals den gut ausgebildeten Sichtprüfer zu 100 %. Die abschließende Bewertung bzw. Bauteilfreigabe sollten daher immer durch einen Spezialisten erfolgen.

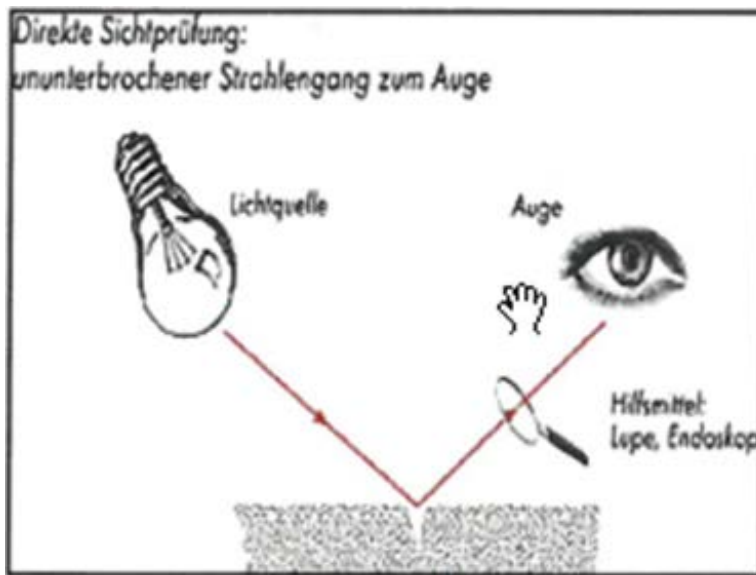


Abb. 1: Direkte Sichtprüfung [1]

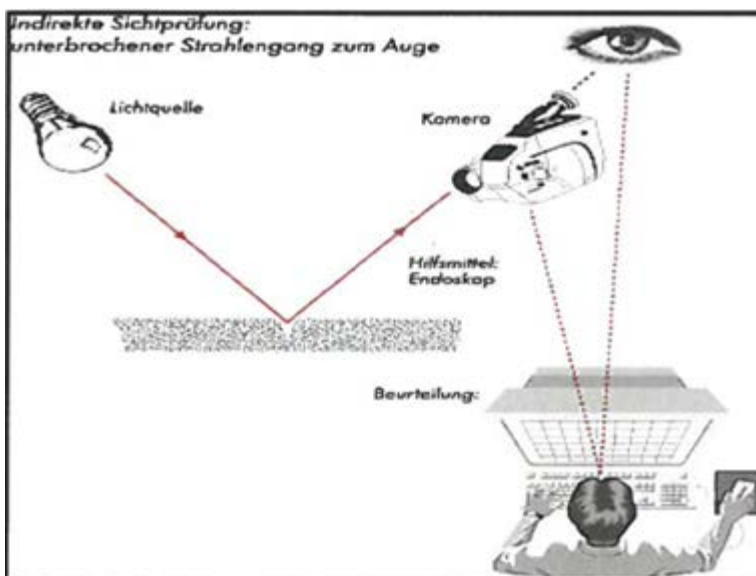


Abb. 2: Indirekte Sichtprüfung [1]

Die Sichtprüfung kann im Bereich der Schweißtechnik zu unterschiedlichen Zeitpunkten durchgeführt werden, dies ist konkret immer vom jeweiligen Projekt oder Bauteil abhängig. Daher ist es vorab nötig, den genauen Zeitpunkt und Umfang zu definieren. Generell kann es z.B. sinnvoll sein, die Sichtprüfung vor, während und nach dem Schweißen durchzuführen. Nur so lassen sich eventuelle Unregelmäßigkeiten rechtzeitig erkennen und es kann regulierend in den Fertigungsprozess eingegriffen werden [1].

## 2. Schweißtechnische Regelwerke zur Sichtprüfung und Qualifizierung

Die Sichtprüfung von Schweißverbindungen sowie Angaben zur ggf. erforderlichen Qualifizierung des Prüfpersonals werden aktuell in umfangreichen Regelwerken beschrieben, siehe Schrifttum. In vielen technisch geregelten Bereichen zur schweißtechnischen Fertigung wird die Sichtprüfung inkl. Prüfbericht z. T. explizit gefordert, um die genannten schweißtechnischen Qualitätsziele nachweislich zu



erreichen. Dies betrifft u.a. die Bereiche Bahn (DIN EN 15085), Wehrtechnik (DIN 2303), Druckbehälterbau (AD 2000), Stahlbau (DIN EN 1090), etc.

Die jeweils geforderten maßlichen und schweißtechnischen Qualitätsziele werden je nach Regelwerk bzw. Kundenvorgabe (im nicht geregelten Bereich) durch aktuelle Qualitätsnormen meist im Lastenheft und/oder auf Zeichnungen explizit angegeben. Somit ist es immer die abschließende Aufgabe des Sichtprüfers, die schweißtechnischen IST-Daten (Geometrie, Anzahl und Größe der Imperfektionen) den SOLL-Daten gegenüberzustellen und die Schweißnahtqualität eindeutig zu klassifizieren und zu bewerten. Als Beispiel für die SOLL-Daten im Bereich der meisten Schweißverbindungen ist hier die DIN EN ISO 5817 zu nennen:

**DIN EN ISO 5817** Schweißen - Schmelzschweißverbindungen an Stahl, Nickel, Titan und deren Legierungen (ohne Strahlschweißen) - Bewertungsgruppen von Unregelmäßigkeiten (ISO 5817:2014); Deutsche Fassung EN ISO 5817:2014

In dieser Norm werden alle Imperfektionen aufgelistet und von der Anzahl und Größe her in die Qualitätsklassen B, C und D eingeteilt. Die genannten Qualitätsklassen sind entweder kundenseitig oder regelwerkstechnisch für die jeweilige Fertigung je nach Bauteil-Relevanz vorab eindeutig vorgeschrieben worden.

Als besondere technische Herausforderung wird hier die Sichtprüfung von innen liegenden Rohrnähten gesehen. Diese sind durch die direkte oder indirekte Sichtprüfung nur schwer oder gar nicht hinsichtlich der zulässigen geometrischen Unregelmäßigkeiten genau zu prüfen, d.h. konkret zu vermessen.

Neben den schweißtechnischen Detailbetrachtungen ist die durch den Schweißprozess z.T. beeinflusste konkrete geometrische zulässige Formänderung der Baugruppe für den Fertiger von großer Bedeutung. So ergeben sich z.B. durch den Schweißverzug (Schrumpfung) in Abhängigkeit der Schweißfolge evtl. unzulässige Gesamtmaßabweichungen.

Da sich die schweißtechnisch entstehenden Maßabweichungen jedoch verfahrenstechnisch nicht so tolerieren lassen, wie z.B. im Bereich der zerspanenden Fertigung, wird die **DIN EN ISO 13920** mit unterschiedlichen Bewertungsgruppen als Maßstab vorab für die jeweilige schweißtechnische Fertigung je nach Bauteil und Schweißverfahren detailliert festgelegt.

Wichtigste Grundlage für den VT-Abgleich der erzeugten Schweißverbindungen (Art und Ort) mit den SOLL-Daten liefert das Regelwerk DIN EN ISO 2553 (Schweißen und verwandte Prozesse - Symbolische Darstellung in Zeichnungen - Schweißverbindungen (ISO 2553:2019); Deutsche Fassung EN ISO 2553:2019). In diesem Regelwerk werden alle in Zeichnungen anzugebenden schweißtechnischen Angaben beschrieben, sodass der Sichtprüfer hiermit einen SOLL-IST-Abgleich der zu prüfenden Schweißverbindungen eindeutig vornehmen kann.

Die technische Herausforderung besteht allerdings darin, dass sich dieses Regelwerk in 2 Systeme gliedert. So beruht die Methode nach **System A** auf der ISO 2553:1992 (Verwendung im europäischen Raum), während die Methode nach **System B** auf Normen beruht, die im Pazifikraum angewendet werden.

Hieraus ergeben sich oft folgende technische Herausforderung in der Praxis: Diverse CAD-Programme berücksichtigen diesen Umstand nicht, sodass es zu extremen „Verwirrungen“ kommen kann, wenn schweißtechnische Bezeichnungen „pazifisch“ dargestellt und „europäisch“ gemeint werden. Oft nutzen europäische Firmen „pazifische CAD-Software“ oder die Details sind nicht normenkonform einprogrammiert worden.

Die Annahme, dass die Sichtprüfung nach obiger Auflistung von jedem „einfach durchzuführen“ ist, sollte sich durch die Vorgabe der Norm DIN EN ISO 9712 [12] weiter relativieren. Der Einsatz mit derart

qualifiziertem Personal ist teilweise vorgeschrieben, alle Sichtprüfer müssen sich z. B. jährlich einem Sehtest unterziehen und ihre Fähigkeiten mit einer theoretischen und praktischen Prüfung bei entsprechenden Prüfinstituten (TÜV) gründlich nachweisen.

### **3. Idee des 3-D-Scannings zur Beurteilung der Schweißnahtqualität**

Die oben genannten Herausforderungen sollen sich durch den Einsatz von 3-D-Scannern und der entsprechenden Auswertungssoftware deutlich zeit- und kostentechnisch reduzieren lassen. Zurzeit werden 3-D-Scanner u.a. erfolgreich zur digitalen (Serien-) Vermessung von Bauteilen eingesetzt. Die zu prüfenden Geometrie wird hierbei gescannt und in einen entsprechenden STL-Datensatz überführt, an dem die erforderlichen Messungen digital durchgeführt werden, z. B. durch ein vorab programmiertes Messprogramm. Dies spart gegenüber der taktilen Messung erheblich Zeit und Geld. Die Idee ist es, bei schweißtechnischen Baugruppen die erforderlichen schweißtechnischen Qualitätsuntersuchungen mit in die „normale“ messtechnische Untersuchung zu integrieren. Konkret gliedert sich die schweißtechnische Untersuchung in 3 Schritte (indirekte Sichtprüfung):

- Abgleich: Sind alle Schweißnähte in der richtigen Form am richtigen Ort vorhanden (DIN EN ISO 2553)
- Abgleich: Sind alle schweißtechnisch zulässigen Form- und Lagetoleranzen erreicht worden (DIN EN ISO 13920)
- Auswertung: Beurteilung der zulässigen schweißtechnischen Qualität (z.B. DIN EN ISO 5817)

Folgende Vorteile ergeben sich direkt durch die Zusammenlegung der klassischen Verfahren „Messauswertung“ und „schweißtechnischer QS-Bewertung“ bei Durchführung mit einer Software:

- Zeit- und Kostenersparnis (z. B. bei kombinierter Serienprüfung)
- Schweißtechnische Serienprüfung möglich
- Reduzierung des Personalaufwands (Hinweis: Demographie)
- digitale Archivierung der Ergebnisse möglich (z. B. für die Verwendung nach ISO 9606 oder AD2000)
- schnelle Berichtsgenerierung (Messbericht und schweißtechnischer QS-Bericht in einem Durchgang)
- schnelle schweißtechnische Bewertung mit detaillierter Angabe für den möglichen Ort und den Umfang bei einem NIO-Ergebnis
- Erfassung der korrekten schweißtechnischen Prozesskette (z.B. Prüfen der Schweißnahtvorbereitung)
- Prüfung von Schweißnähten möglich, die aufgrund ihrer Lage im Bauteil mit Schweißnahtlehren nur schwierig bis gar nicht zu messen sind

### **4. Digitale Vermessung von Schweißverbindungen von ZEISS Industrial Quality Solutions**

Das manuelle oder automatisierte Scannen von Bauteilen und deren Inspektion in der Software „GOM Inspect Pro“ ist für viele innovative Unternehmen schon lange fester Bestandteil der Prozesskette. Dabei wird z. B. der handgeführte Scanner „T-SCAN hawk“ eingesetzt, um 3D-Scan-Daten zu erhalten (Abbildung 3).

Für den Scanner macht es keinen Unterschied, ob ganze Baugruppen, einzelne Bauteile und/oder Schweißnähte digitalisiert werden sollen. So sind die Bauteilgeometrien inklusive der Schweißnähte digitalisiert und als 3D-Modell in der Inspektionssoftware „GOM Inspect Pro“ auswertbar.

Mit der Kombination aus 3D-Scanner und der Software-Funktion „Weld Check“ in der Software „GOM Inspect Pro“ ist die automatisierte Sichtprüfung von Schweißnähten an jeglichen Bauteilen unabhängig von Größe und Form möglich. Zur Veranschaulichung dient in diesem Beispiel ein Motorradrahmen (Abbildung 4). Nachdem dieser mit dem handgeführten „T-SCAN hawk“ erfasst wurde, werden die Scan-Daten ausgewertet.



Abb. 3: Mobiler und vielseitig einsetzbarer 3D-Scanner T-SCAN hawk

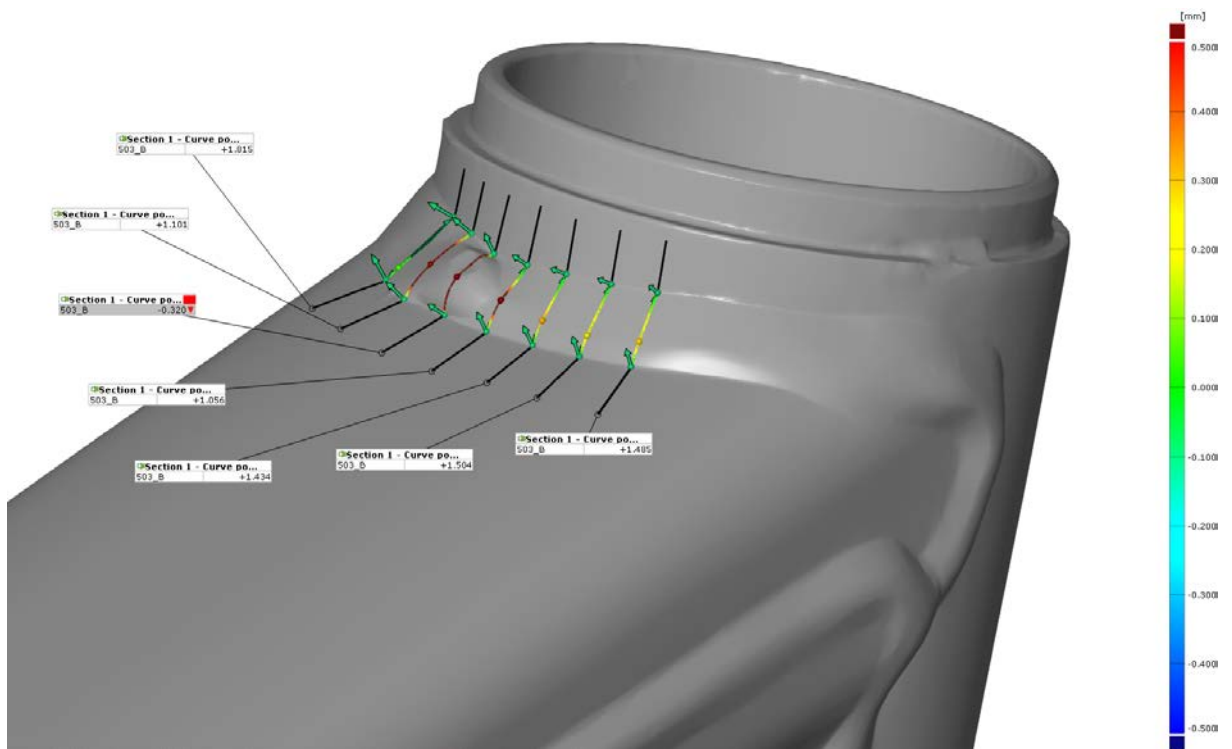


Abb. 4: Beispielhaft hier die Auswertung der Überwölbung (505), Klasse B

Nun folgt die eigentliche Prüfung der Schweißnähte. Mit einer simplen Kurve wird in der Software die Schweißnaht ausgewählt, die geprüft werden soll. Anschließend werden beliebig viele Schnitte definiert, zum Beispiel alle 10 mm. Diese Schnitte entlang der Schweißnaht können jetzt mit der neuen Zusatzfunktion „Weld Check“ (Schweißnahtprüfung) automatisch ausgewertet werden. Dort sind alle Merkmale z. B. der DIN EN ISO 5817 hinterlegt und werden per Mausklick nicht nur inspiziert, sondern auch direkt nach den entsprechenden Bewertungsgruppen B, C oder D klassifiziert. Mithilfe eines einfach zu verstehenden Farbsystems ist auf einen Blick erkennbar, ob die Bewertungsklassen erfüllt werden. Im Beispiel Motorradrahmen erfüllt die ausgewählte Schweißnaht die Vorgaben zur Nahtüberhöhung nur bei einem Schnitt nicht (Abbildung 4).

Bereits während der Prüfung einzelner Merkmale können gesonderte Reports erstellt werden. Möglich ist auch ein Gesamt-Reporting aller Merkmale der VT-Prüfung. Dies ermöglicht eine digitale Dokumentation aller durchgeführten Sichtprüfungen. Sofern eine Referenz in der Software hinterlegt wurde, können auch Lage und Vollständigkeit der Schweißnähte überprüft werden. Diese Referenz kann ein CAD-Modell oder ein 3D-Scan sein. So kann für eine Serie von Motorradrahmen der Beispiel-Scan als Vorlage gespeichert werden und als Maßstab für die Serienprüfung dienen. Möglich wäre auch ein CAD als Referenz. Alle folgenden Motorradrahmen-Scans werden dank der Parametrik in der „GOM Inspect Pro“ vollautomatisch auf Geometrie, Vorhandensein der Schweißnähte und auf Einhaltung der in diesem Beispiel relevanten Norm DIN EN ISO 5817 überprüft.

## Schrifttum

- [1] Ausbildungs-Skript Sichtprüfung (Sektor w), SLV Halle GmbH 2015.
- [2] DIN EN ISO 17637 Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen - Sichtprüfung von Schmelzschweißverbindungen (ISO 17637:2016); Deutsche Fassung EN ISO 17637:2016.
- [3] DIN EN 13018 Zerstörungsfreie Prüfung - Sichtprüfung - Allgemeine Grundlagen; Deutsche Fassung EN 13018:2016.
- [4] DIN EN ISO 9712: Zerstörungsfreie Prüfung - Qualifizierung und Zertifizierung von Personal der zerstörungsfreien Prüfung (ISO 9712:2012); Deutsche Fassung EN ISO 9712:2012.
- [5] DIN EN ISO 5817: Schweißen - Schmelzschweißverbindungen an Stahl, Nickel, Titan und deren Legierungen (ohne Strahlschweißen) - Bewertungsgruppen von Unregelmäßigkeiten (ISO 5817:2014); Deutsche Fassung EN ISO 5817:2014.
- [6] DIN EN ISO 10042: Schweißen - Lichtbogenschweißverbindungen an Aluminium und seinen Legierungen - Bewertungsgruppen von Unregelmäßigkeiten (ISO 10042:2018); Deutsche Fassung EN ISO 10042:2018.
- [7] DIN EN ISO 13919-1: Elektronen- und Laserstrahl-Schweißverbindungen - Anforderungen und Empfehlungen für Bewertungsgruppen für Unregelmäßigkeiten - Teil 1: Stahl, Nickel, Titan und deren Legierungen (ISO 13919-1:2019); Deutsche Fassung EN ISO 13919-1:2019.
- [8] DIN EN ISO 13919-2: Elektronen- und Laserstrahl-Schweißverbindungen - Anforderungen und Empfehlungen für Bewertungsgruppen für Unregelmäßigkeiten - Teil 2: Aluminium, Magnesium und ihre Legierungen und reines Kupfer (ISO 13919-2:2021); Deutsche Fassung EN ISO 13919-2:2021.
- [9] DIN EN ISO 13920: Schweißen - Allgmeintoleranzen für Schweißkonstruktionen - Längen- und Winkelmaße; Form und Lage (ISO 13920:1996); Deutsche Fassung EN ISO 13920:1996.
- [10] DIN EN ISO 2553: Schweißen und verwandte Prozesse - Symbolische Darstellung in Zeichnungen - Schweißverbindungen (ISO 2553:2019); Deutsche Fassung EN ISO 2553:2019.
- [11] DIN EN ISO 9606-1: Prüfung von Schweißern - Schmelzschweißen - Teil 1: Stähle (ISO 9606-1:2012, ein schließlich Cor 1:2012 und Cor 2:2013); Deutsche Fassung EN ISO 9606-1:2017.

# Kraftvolle Einfachheit bei höchstem Schweißkomfort

## RUSTLER EM 350C

- Fokussiert auf das Wesentliche
- Kompakte ESAB-Zuverlässigkeit
- Einfach einzustellende Schweißparameter durch Synergie
- Optimierte Benutzeroberfläche für Schweißer aller Qualifikationsstufen

## WARRIOR EDGE CX-SYSTEM

- Wettbewerbsvorteil durch maximale Produktivität
- Pure Hochleistung
- Kostenoptimierung durch z. B. Gasflussmesser
- Optimierte Benutzeroberfläche für Schweißer aller Qualifikationsstufen

Entwickelt für optimales MIG/MAG-Schweißen



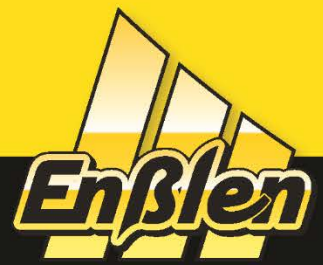
red dot design  
award winner



Mit dem neuen Hochleistungsbrenner EXEOR

Beratung unter Telefon: 0 39 31 - 64 92 11

www.ensslen-gmbh.de • info@ensslen-gmbh.de • Enßlen GmbH • Daimlerstraße 6 • 39576 Stendal



Schweißtechnik

**Perfekter Arbeitsschutz  
in revolutionärem Design**

**SENTINEL™ A60**

- **Bestnoten in allen optischen Klassen: 1/1/1/1**  
*Nochmals vergrößertes Sichtfeld*  
Perfekte Echtfarbsicht auf das Schweißbad
- **Höchster Tragekomfort**  
*Halokopfband ermöglicht den optimalen Sitz*
- **Überall und immer einsatzbereit**  
*Schweißen • Schneiden  
Schleifen DIN 3/5-13*



**DER RUNDUM-VERSORGER  
FÜR KLUGSCHWEISSER**



Enßlen GmbH • Daimlerstraße 6 • 39576 Stendal  
Tel. 0 39 31 - 64 92 11 • [www.ensslen-gmbh.de](http://www.ensslen-gmbh.de) • [info@ensslen-gmbh.de](mailto:info@ensslen-gmbh.de)  
Geöffnet: Mo. bis Fr. 7:00 bis 16:00 Uhr



## Kurzfassung

Die produzierende Industrie muss sich heute rasch ändernden Vorschriften und Regelwerken anpassen. Speziell der Arbeits- und Gesundheitsschutz beim Lichtbogenschweißen ist hiervon nicht ausgenommen. Neue Forschungsergebnisse und die daraus abgeleiteten, teils strikten, Neuregelungen für das Einhalten von Grenzwerten, lassen den Anwender jedoch oft ratlos zurück. Lässt sich doch die Entstehung von Schweißrauch praktisch niemals gänzlich vermeiden. Hier greifen dann externe Maßnahmen, die beispielsweise durch punktuelle Expositionsverminderung nahe der Entstehungsstelle (Absaugbrenner), mobile Absaugungen, oder Schweißhelm mit Gebläsefiltereinheit, die den Anwender vor Schadstoffen schützen. Die durchgeführte Untersuchung quantifiziert den Wirkungsgrad der o.g. Maßnahmen. Die gewonnenen Erkenntnisse erlauben dem Anwender, im Rahmen der Versuchsbedingungen, eine Einschätzung darüber, welche Schutzmaßnahmen zur Einhaltung geforderter Grenzwerte eingesetzt werden kann.

## 1. Einleitung

Beim MSG-Lichtbogenschweißen entstehen Schweißrauche, die als Gefahrstoffe eingestuft werden [1]. Die chemische Zusammensetzung dieser Emissionen, ist abhängig von der verwendeten Drahtelektrode, dem Grundwerkstoff und der Beschichtung oder Rückständen auf dem Material. Die Emissionsrate wird zusätzlich beeinflusst vom Prozess, oder der Prozessvariante, den Parametereinstellungen für die Prozessstabilität und dem verwendeten Schutzgas. Es wird unterschieden zwischen den vom thermischen Prozess freigesetzten Emissionen und dem Teil der Schadstoffe, dem das Schweißpersonal ausgesetzt ist, der sogenannten Exposition.

Um Arbeitnehmer vor Gefährdungen zu schützen, ist der Arbeitgeber laut Arbeitsschutzgesetz verpflichtet [2], mögliche Gefährdungen zu ermitteln und erforderliche Schutzmaßnahmen zu treffen. Die Gefahrstoffverordnung bezieht sich auf den Schutz vor gefährlichen Stoffen [3], zu denen auch Schweißrauch zählt. In den Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS), sind Maßnahmen zur Minderung der Gefahrenstoffe beschrieben. Um Arbeitsplatzgrenzwerte einzuhalten [4], werden Maßnahmen zur Gefahrenvermeidung unter den "STOP-Prinzip" angewendet [5]. Die Abkürzung STOP steht für:

- Substitution,
- Technische Maßnahmen,
- Organisatorische Maßnahmen und
- Persönliche Schutzausrüstung.

welche in dieser Reihenfolge auch die Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen festlegt. Substitution ist das Vermeiden der Gefahr, z. B. durch Optimierung des Grundwerkstoffs/ Zusatzwerkstoffs, oder auch Schweißprozesses. Hierüber soll die grundsätzliche Vermeidung, oder Minimierung von Schweißrauchen erreicht werden. Zu den Technischen Maßnahmen zählen Lüftungstechnische und bauliche Maßnahmen, die den Schweißrauch, wenn möglich bereits nahe der Entstehungsstelle erfassen, um eine weitere Ausbreitung erst gar nicht zu ermöglichen. Organisatorische Maßnahmen betreffen die Verkürzung der Expositionsdauer oder die Beseitigung von Verunreinigungen. Die Persönliche Schutzausrüstung kommt zur Anwendung, wenn rein technische Maßnahmen, die Freisetzung von Gefahrstoffen nicht gänzlich ausschließen können. Hierunter fallen dann z.B. ein Schweißhelm mit Gebläsefiltereinheit. Zusätzlich zu den auf nationaler Ebene ergriffenen Maßnahmen und Vorschriften, hat die Internationale Agentur für Krebsforschung (IARC-Monografie 118) im Jahre 2018 [6], Schweißrauch als grundsätzlich krebserregend klassifiziert. Kurz zusammengefasst bedeutet das– aus rein arbeitsmedizinischer Sicht: Schweißrauch hat im Atembereich des Schweißers nichts zu suchen!

Um eine Abschätzung über die Wirksamkeit der technischen Schutzmaßnahmen zu bekommen, werden in der hier vorgestellten Untersuchung, verschiedene MSG-Prozessvarianten mit unterschiedlichen

Schutzmaßnahmen eingesetzt und dabei die Exposition des Schweißers mit Schweißrauch gemessen. Zusätzlich wird das Emissionsverhalten der definierten MSG-Prozesse und Prozessvarianten bestimmt und mit den durchgeführten Expositionsmessungen verglichen.

## 2. Experimenteller Versuchsaufbau

Die Schweißversuche wurden auf einem Schweißstisch, mit einem Linearfahrwerk und stationär installiertem Schweißbrenner durchgeführt. Für die Emissionsmessungen wurde auf dem Schweißstisch eine «Fumebox» (nach DIN EN ISO 15011-1) montiert. Für die Expositionsmessungen wurde eine Schweiß-Attrappe mit einem Proben-Entnahmekopf «PM10» (für Particulate Matter d.h. Feinstaub mit einer Partikelgröße  $<10\ \mu\text{m}$ ) hinter dem Schweißhelm ausgerüstet. Um eine Schweißrauchansammlung und Querströmungen der Umgebungsluft zu verhindern, wurde in einer nach oben hin offener Kabine mit einer Fläche von ca. 2,5 m x 2,5 m und 2,3 m hohen Seitenwänden geschweißt.

Als Schutzmaßnahme wurde eine mobil Absauganlage (Kemper WeldFil Compact) mit 3 m Absaugarm und einem Durchmesser von 150 mm, mit einer Absaugleistung von 1100 m<sup>3</sup>/h und ein Absaugbrenner (Fronius Exento) verbunden mit einer Hochvakuum Absauganlage (Kemper VacuFil 500) mit einem Volumenstrom von 70 m<sup>3</sup>/h, verwendet. Als Persönliche Schutzausrüstung (PSA) wurde ein Schweißhelm (Fronius Vizor Connect) für Referenzmessungen und ein Schweißhelm mit Gebläsefiltereinheit (Fronius Vizor Air/3X), mit einer Luftstromrate von 170 l/min untersucht.

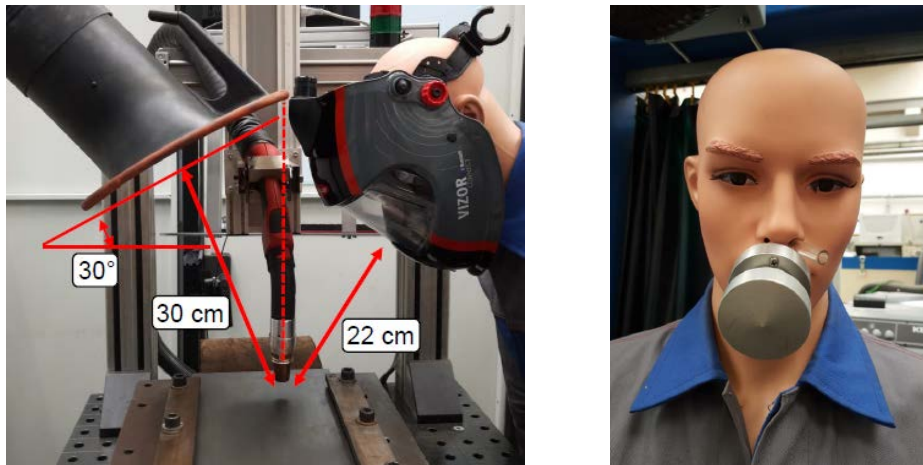


Abb. 1: Absaughaube-Brenner-Schutzschirm (links) und Probenentnahme PM10 (rechts)

Für die Schweißungen wurden die Stromquellen, Fronius TransSteel 5000 Pulse und Fronius TPS 500i eingesetzt. Der Einfluss unterschiedlicher Prozessvarianten auf die Schweißrauchentwicklung, wurde durch einen geregelten Kurzlichtbogen (Low Spatter Control «LSC») mit einer Drahtvorschubgeschwindigkeit ( $v_D$ ) von 5 m/min, einen konventionellen kurzschlussbehafteten Überganglichtbogen (ÜLB) mit 8 m/min  $v_D$  und einen Impulslichtbogen (IPL) mit jeweils 8 m/min und 11 m/min  $v_D$  abgebildet. Für die Untersuchung wurde der Zusatzwerkstoff G 3Si1 (DIN EN ISO 14341) mit einem Durchmesser von 1,2 mm, sowie das Schutzgas M21 (DIN EN ISO 14175) bei 12 l/min Durchfluss und Grundwerkstoff S235JR (DIN EN 10025-2), mit einer Wanddicke von 10 mm verwendet. Für die Vergleichbarkeit der Messdaten, wurden alle Versuche als Auftragsschweißung in Position PA mit neutraler Brenneranstellung und mit einer für manuelle Handschweißungen typischen Geschwindigkeit von 37 cm/min bei einem Kontaktrahabstand von 20 mm ausgeführt. Die über die verwendeten Schweißenergiequellen verfügbaren Korrekturparameter, einwirkend auf Spannung, Dynamik bzw. Puls, wurden auf «neutral» belassen.

## 3. Emissionsmessungen

Die Emissionsraten wurden mit Hilfe einer Fumebox, siehe Abbildung 2, nach DIN EN ISO 15011-1 bestimmt.



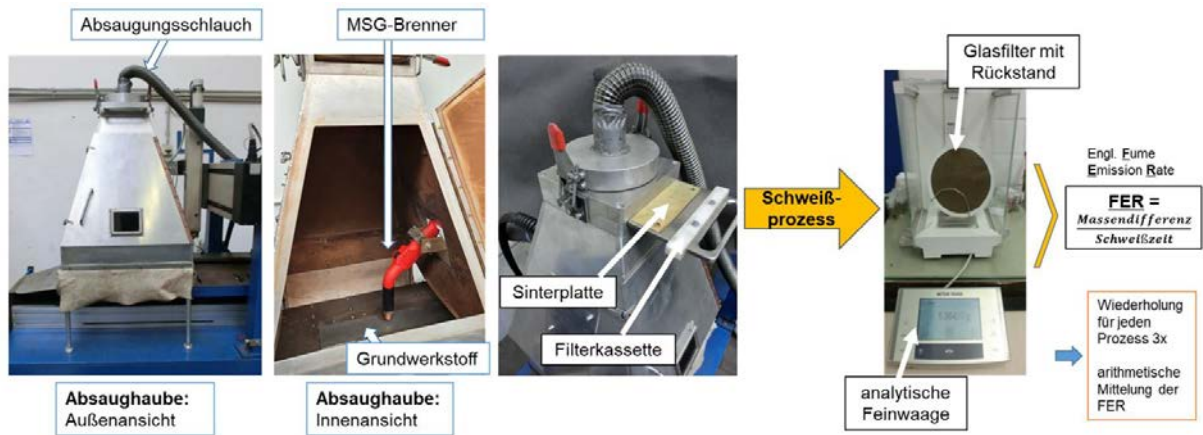


Abb. 2: Fumebox zur Emissionsratenbestimmung

Dabei wurden Auftragsschweißungen mit im Vorfeld festgelegten Schweißparametern durchgeführt. Für jeden Arbeitspunkt wurden drei Messungen bei einer Schweißzeit von 6 s durchgeführt. Die Ergebnisse wurden zur Bestimmung der Schweißrauchemissionsrate (Fume Emission Rate: FER) herangezogen.

#### 4 Schweißrauchemissionsrate der definierten Prozessvarianten

Die geringste Emissionsrate weist der IPL bei 11 m/min  $v_D$  mit 1 mg/s Schweißrauch auf, der geregelte Kurzlichtbogen (LSC) erzeugt 2,58 mg/s, der IPL mit 8 m/min hat 4,4 mg/s und der Übergangslichtbogen (ÜLB) mit 8 m/min Drahtvorschubgeschwindigkeit, erzeugt eine Emissionsrate von 6,56 mg/s.

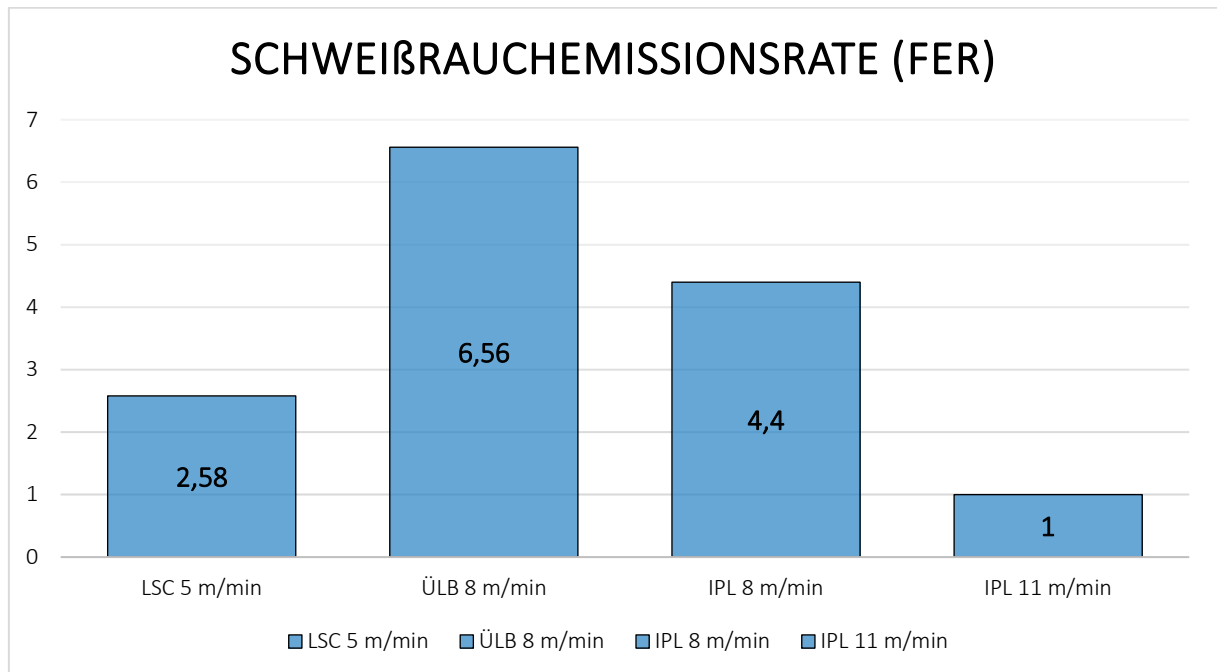


Abb. 3: Schweißrauchemissionsrate der Prozessvarianten

#### 5 Chemische Analyse des Schweißrauches

Die chemische Analyse des Schweißrauchs wurde für 3 Arbeitspunkte gesondert durchgeführt. Der in der Fumebox gesammelte Schweißrauch wurde durch elementspezifische Aufschlusstechnik und Messung im Atomabsorptionspektrometer (AAS) für Eisen, Silizium und Mangan bestimmt.

Wie aus Tabelle 1 hervorgeht, erzielte der IPL bei 8 m/min  $v_D$  die Höchstwerte bei der chemischen Analyse von Eisen. Bei Silizium erreichte der geregelte LSC im ÜBL die höchsten Werte und für Mangan wurde der Höchstwert mit dem IPL mit 11 m/min  $v_D$  erzielt.

Tabelle 1: Chemische Zusammensetzung des Schweißrauchs bei variierten Parametern

LSC 8 m/min	Element	Mittelwert %	Standardabweichung
	Eisen	53,4	0,59
	Silizium	1,45	0,03
	Mangan	3,70	0,08
Puls 8 m/min	Element	Mittelwert %	Standardabweichung
	Eisen	71	1,1
	Silizium	0,89	0,01
	Mangan	3,04	0,07
Puls 11 m/min	Element	Mittelwert %	Standardabweichung
	Eisen	67	1,32
	Silizium	0,92	0,02
	Mangan	4,16	0,10

## 6 Expositionsmessung

Um einen Gesamtüberblick über die Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen zu erhalten, wurden auch die Expositionsuntersuchungen bei identischen experimentellen Randbedingungen durchgeführt. Die Messungen wurden separat jeweils für die einzelnen zu untersuchenden Schutzmaßnahmen erfasst. Die Positionierung der Schutzmaßnahmen und Messtechnik ist, wie in Abbildung 1 dargestellt, eingerichtet worden. Die mittlere Massenkonzentration wurde durch Anwendung der „Tapered Element Oscillating Microbalance“ Methode (TEOM - Series 1400A, Thermo Electron Corporation, USA), bestimmt. Dabei wird auf die Flächengleichheit der bekannten Schweißzeit und der Exposition referenziert und umgerechnet, siehe Abbildung 4.

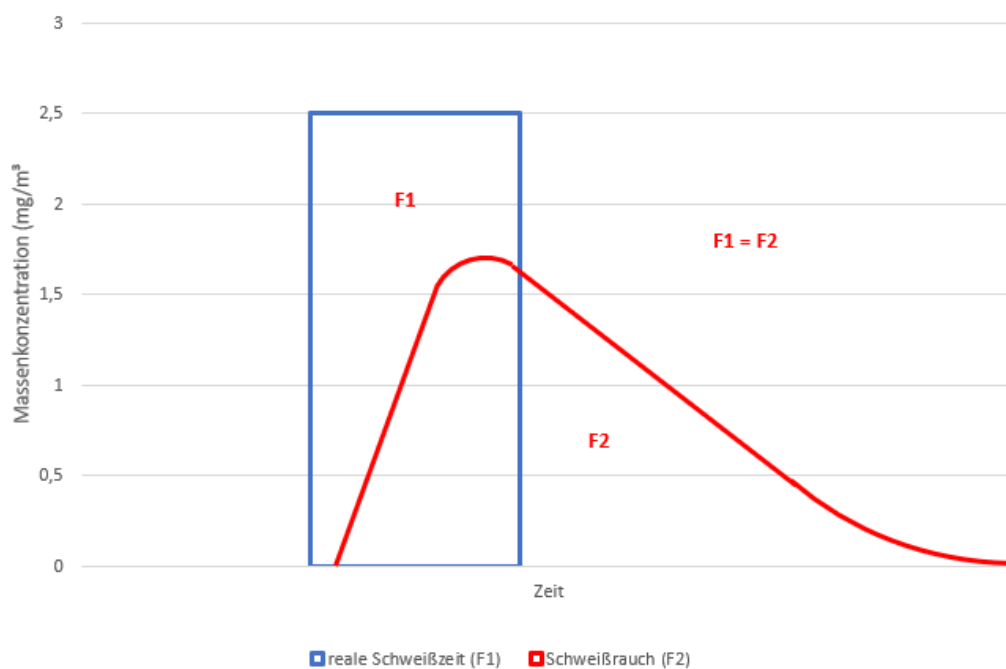


Abb. 4: Signalverlauf Schweißdauer und reale Exposition

## 7 Gesamtüberblick der Expositionsmessung mit Schutzmaßnahmen

Nachfolgend sind die Ergebnisse der gemessenen Expositionsmessungen der unterschiedlichen Prozessvarianten in Verbindung mit den eingesetzten Schutzmaßnahmen aufgeführt. Die Reihenfolge der Expositionswerte und Schutzmaßnahmen ist vergleichbar, mit den Emissionsmessungen der Prozessvarianten. Dabei bietet der Schweißhelm mit Gebläsefiltereinheit im Vergleich zum konventionellen Schweißhelm die beste Schutzwirkung (s. Abbildung 5). Eine deutliche Reduktion der Emissionen wird auch durch die mobile Absauganlage erreicht. Auffällig ist die geringe Reduzierung durch den Absaugbrenner, speziell bei Arbeitspunkten mit hoher Schweißrauchentwicklung.

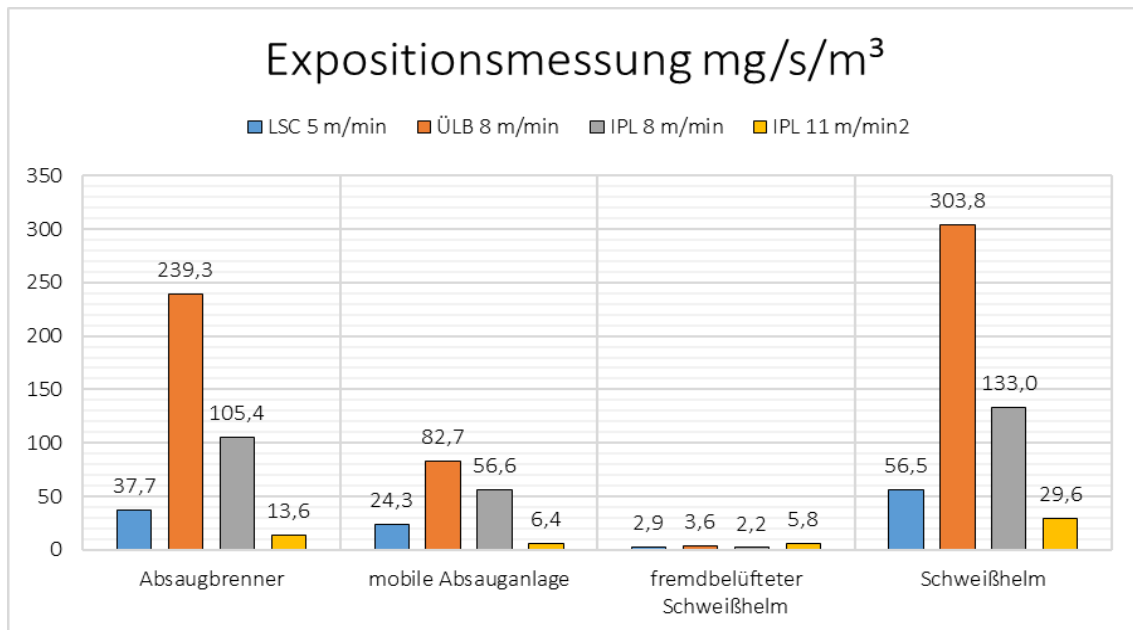


Abb. 5: Gesamtüberblick Expositionsmessung mit Schutzmaßnahmen

Abbildung 6 zeigt einen Gesamtüberblick, bei dem die Messwerte der vier Arbeitspunkte auf die jeweiligen Referenzmessungen mit unbelüftetem Schweißhelm normiert sind. Dadurch lässt sich das Reduktionspotential der einzelnen Schutzmaßnahmen als Relativwert ablesen.

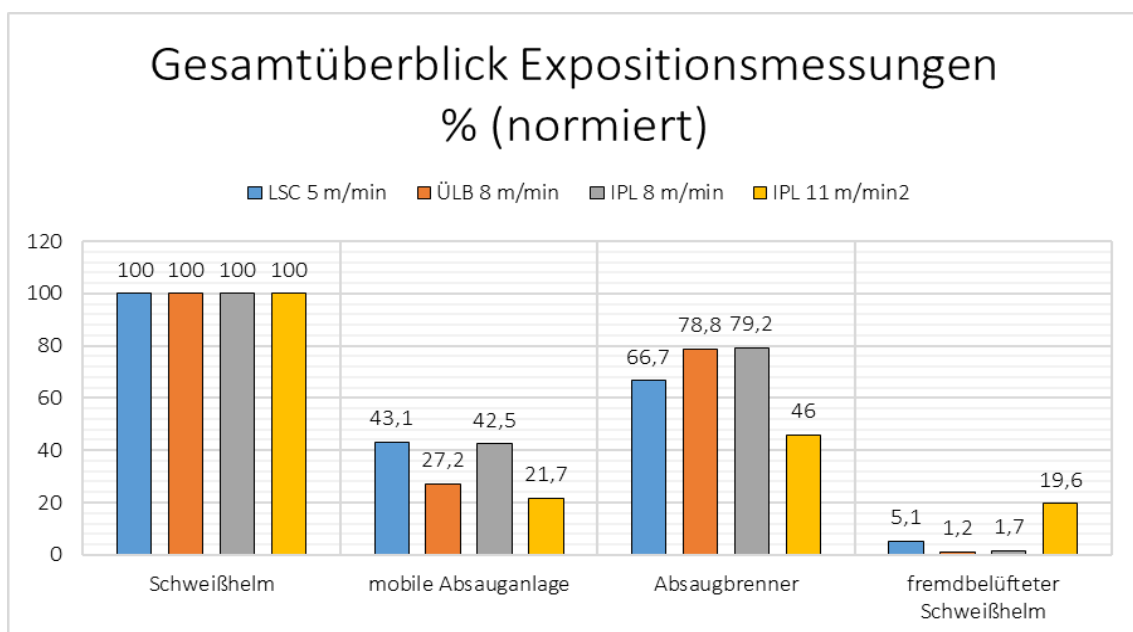


Abb. 6: Gesamtüberblick Expositionsmessungen normiert auf Schweißhelm

Somit wird die Exposition im Durchschnitt für alle Arbeitspunkte beim Schweißhelm mit Gebläsefiltereinheit um durchschnittlich 93,1%, bei Verwendung der Absauganlage um 66,4% und über den Absaugbrenner um 32,3% verringert.

## 8 Gesamtüberblick der gemessenen Mangan-Konzentration

Für alveolengängige Mn-Partikel ( $<10\ \mu\text{m}$ ) beträgt der Arbeitsplatzgrenzwert in Deutschland  $0,02\ \text{mg}/\text{m}^3$ . Abbildung 7 zeigt die aus der Schweißzeit und der bekannten chemischen Zusammensetzung berechneten Mn-Konzentrationen.

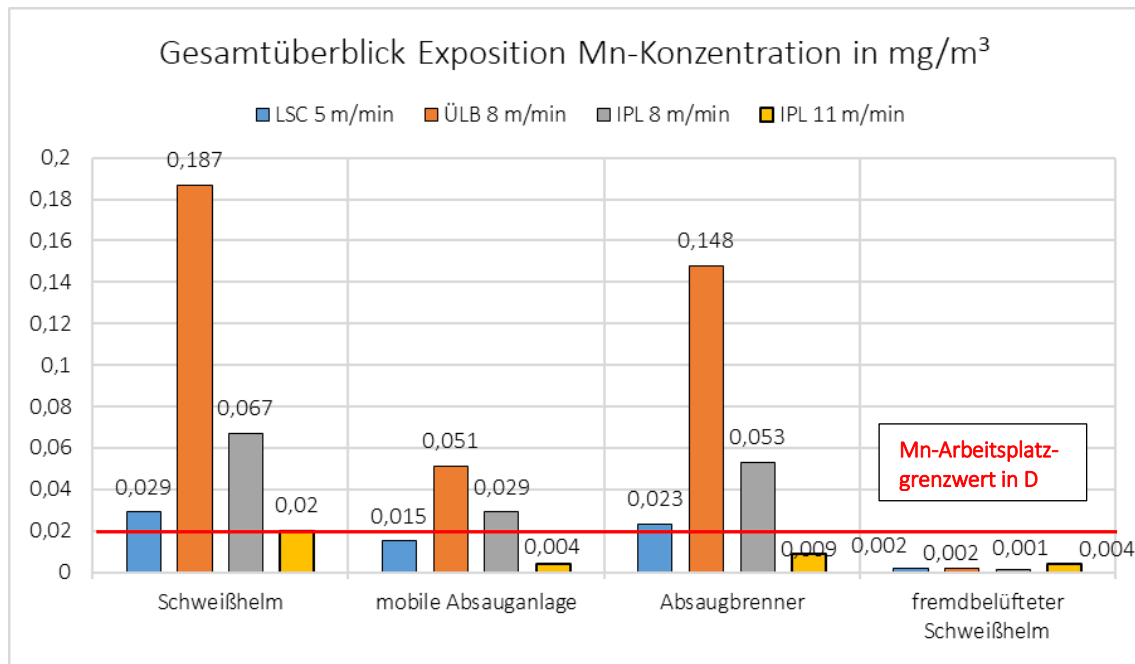


Abb. 7: Gesamtüberblick für Mangan Konzentration

Die Mn-Arbeitsplatzgrenzwerte wurden unter Verwendung des Schweißhelm mit Gebläsefiltereinheit bei allen Arbeitspunkten, als auch mit dem Puls-Prozess mit  $11\ \text{m}/\text{min}\ v_D$  mit den untersuchten Schutzmaßnahmen, sowie dem geregelten Kurzlichtbogen (LSC), in Verbindung mit der mobilen Absaugung eingehalten. Ansonsten wird, trotz Schutzmaßnahmen, der Grenzwert überschritten.

## 9 Diskussion der Ergebnisse

Die Messwerte gelten für die Exposition aus den beschriebenen Schweißprozessen und ausgewähltem Grundmaterial und Zusatzwerkstoffen. Die Hintergrundbelastungen in einer Produktion durch Schweiß- und Schleifarbeiten wurden nicht berücksichtigt.

Bei Einhaltung der geltenden Vorschriften und Regelwerke, scheint der Schweißer nach dem Gesetz gut geschützt und die Arbeitsplatzgrenzwerte können eingehalten werden. Der Durchführbarkeit der Schweißrauchmessungen und auch der messtechnischen Erfassung sind praktische Grenzen gesetzt. In der Praxis muss davon ausgegangen werden, dass beim Schweißen die Grenzwerte überschritten werden. Deshalb müssen für den Schweißer die bestmöglichen Schutzmaßnahmen getroffen werden. Wichtig ist es auch, die Faktoren zur Schweißrauchentstehung und deren bestmögliche Vermeidung dem Schweißer in Schulungen zu vermitteln. Jede Reduktion der Emissionen ist eine Verbesserung der Luftsituation. Die langfristigen Auswirkungen der Schweißrauche werden vielfach unterschätzt.

## 10 Zusammenfassung

In der vorliegenden Untersuchung konnte die Wirksamkeit verschiedener Schutzmaßnahmen zur Reduzierung der Schweißrauchexposition beim MAG-Schweißen dargestellt werden. Die unterschiedliche Emissionsrate der definierten Prozessvarianten ist wahrscheinlich auf die Prozessstabilität, den damit verbundenen Kurzschlussaufbruch und Spritzerbildung zurückzuführen. Trotzdem konnten in unserer Untersuchung, auch bei optimaler Einstellung der Prozesse, ohne Schutzmaßnahmen die Grenzwerte nicht eingehalten werden. Die mobile Absaugung konnte gute Absaugwerte erreichen. Zu berücksichtigen, ist die in der Untersuchung optimale Position der Absaugung, die in der Praxis durch ständiges Nachführen wahrscheinlich nicht eingehalten werden kann. Der Absaugbrenner kann den Schweißrauch direkt an der Entstehungsstelle erfassen, ist jedoch durch den limitierten Volumenstrom, bei Prozessen mit hoher Schweißrauchentwicklung in seiner Leistungsfähigkeit begrenzt. Die beste Schutzwirkung in der Untersuchung, erzielte der Schweißhelm mit Gebläsefiltereinheit. Zu berücksichtigen ist dabei, dass nur der Träger geschützt ist und die Schweißrauchemission nicht reduziert wird.

Die unterschiedliche Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen, ist auf die individuelle Funktionsweise zurückzuführen. Daher wird empfohlen, die Maßnahmen in Kombination zu verwenden.

## 11. Schrifttum

- [1] Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS) 528 – Schweißtechnische Arbeiten, 2020, S. 13-16.
- [2] Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG), 1996.
- [3] Gefahrstoffverordnung (GefStoffV), 2010.
- [4] Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW) Allgemeine Staubgrenzwert (ASGW) in der TRGS 900, 2021.
- [5] Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS) 500 – Schutzmaßnahmen 2019.
- [6] IARC Monographs Volume 118 – Welding, Molybdenum Trioxide, and Indium tin Oxide, 2018.

# Dienstleistungen rund um Cladding und Schweißen

Iqony ist Experte für Hand- und Maschinencladding vor Ort

Iqony bietet seinen Kunden die komplette Planung und Realisierung aller für den sicheren Anlagenbetrieb erforderlichen technischen Serviceleistungen für Wartung, Inspektion, Instandhaltung und Verbesserung. Hinzu kommen Dienstleistungen für elektrische Netze von der Planung, über die Errichtung bis hin zur Instandhaltung.



Eines der Spezialgebiete von Iqony ist das Hand- und Maschinencladding vor Ort. Es gibt in Deutschland nur eine Handvoll Unternehmen, die dieses Verfahren beherrschen und anbieten. Die Schweißtechniker und Schweißer von Iqony sind ausgesprochene Spezialisten auf ihrem Gebiet. Ihre Expertise macht Iqony deshalb zu einem gefragten Servicepartner.

Hinter dem Begriff Cladding verbirgt sich das Verfahren einer Auftragsschweißung, bei der ein hochlegierter Schweißzusatzwerkstoff (in der Regel ein Nickelbasiswerkstoff) als Oberflächenschutz auf stark belastete metallische Bauteile aufgetragen wird. Dabei hängt die Wahl des jeweiligen Schweißzusatzwerkstoffes davon ab, vor welcher Art von Verschleiß / Schädigung das Bauteil geschützt werden soll. (Korrosion, Erosion, Abrasion etc.). Bei „normalen“ Schweißarbeiten werden durch eine Schweißnaht zwei oder mehrere Bauteile miteinander verbunden.

Beim Cladding-Schweißen hingegen handelt es sich um eine großflächige Schutzauftragung entweder mit Hand- oder mit Maschinencladding auf dem eigentlichen Bauteil mit dem Ziel einer deutlichen Standzeitverbesserung. Die Iqony führt die Arbeiten mit eigenem Maschinenpark und qualifiziertem Personal auch von Kooperationspartnern durch. Dabei kommen sowohl Auftragschweißungen auf „schwarze“ Membranwände als auch Cladding auf bereits teilabgezehrte Claddingflächen (Recladding) zur Ausführung.

Trotz der höheren Kosten für ein gecladdetes Bauteil ist der Einsatz dennoch für den Kunden wirtschaftlich, da durch die längere Standzeit der Bauteile, über einen längeren Zeitraum betrachtet, Liefer- und Leistungskosten sowie Stillstandszeiten eingespart werden können. Als Premium-Kooperations- und Vertriebspartner der Firma Uhlig (Langelsheim) bieten wir auch die Werkstattfertigung gecladdeter Einzelrohre und Rohrwände im Komplettpaket an

# Unser Leistungsspektrum im Detail:

- Lieferung von gecladdeten Einzelrohren mit diversen Schweißzusatzwerkstoffen, wie z. B. Thermanit 625, Thermanit 686, UTP A73G4 usw., Schichtdicken 1 mm, 2 mm oder individuell einschließlich eventuell erforderlicher Biegungen und/oder Zusammenbau zu kompletten Flachschnagenpaketen
- Lieferung von gecladdeten Sammlern, Abmessungen, Schweißzusatzwerkstoffe und Schichtdicke gemäß Kundenvorgaben bzw. Erfordernissen
- Lieferung von gecladdeten Membranwänden, Abmessungen, Schweißzusatzwerkstoffe und Schichtdicke gemäß Kundenvorgaben bzw. Erfordernissen
- Montage der vorgenannten Lieferkomponenten im Kessel einschließlich Durchführung der Nachcladdingarbeiten an Übergängen und/oder Stößen
- Durchführung von großflächigen Claddingmaßnahmen und Reparaturcladding im Kessel
- Einsatz von Automaten mit Doppelbrennern bei größeren zusammenhängenden Flächen
- Einsatz von Automaten mit Einzelbrenner an Deckenbohrung
- Einsatz von Handcladding bei Kleinflächen oder unzugänglichen Stellen (Ecken u. ä.) bzw. bei Reparaturen



## Ihre Kontaktpersonen

Bernd Freund  
Leiter Vertrieb

Forellstraße 100  
44629 Herne  
M +49 179 2097531  
bernd.freund@iqony.energy

Torsten Beyer  
Druckteile, Cladding

Forellstraße 100  
44629 Herne  
T +49 2323 202-2411  
M +49 171 5652292  
torsten.beyer@iqony.energy

Thomas Pohl  
Leiter Mechanische Anlagen

Forellstraße 100  
44629 Herne  
T +49 2323 202-2412  
M +49 160 2366183  
thomas.pohl@iqony.energy

## Unser Cladding-Maschinenpark:

- 10 Claddingautomaten mit je 2 Pushpull-Brennern
- 12 Handcladdingmaschinen mit jeweils 1 Pushpull-Brenner
- 32 Fronius-Stromquellen
- Diverse Automaten-Führungsschienen in unterschiedlichen Abmessungen
- Absaugungsanlagen

## Unsere Zertifikate und Zulassungen:

- Hersteller und Schweißbetrieb gem. AD2000 – Merkblatt HP 0 und DIN EN ISO 3834-2
- System zur Übertragung der Kennzeichnung von Werkstoffen
- Schweißzertifikat zum Schweißen von Stahltragwerken nach DIN EN 1090-2

## Unsere Schweißverfahren (spez. Verfahrensprüfungen):

- E-Hand (EN ISO 4063, Prozess 111)
- MIG/MAG (EN ISO 4063, Prozesse 131, 135)
- WIG (EN ISO 4063, Prozess 141)
- WIG/E-Hand (EN ISO 4063, Prozesse 141, 111)
- Autogen (EN ISO 4063, Prozess 311)

## Hierzu 132 Verfahrensprüfungen für:

- Werkstoffgruppen 1, 4, 5, 6, 7, 8, 43, 44, 45 gem. CEN ISO/TR 15608
- Mischverbindungen gem. ISO 15614 Teil 1 – Tabelle 3
- Cladding gem. ISO 15614 Teil 7 und VdTÜV – Merkblatt 1166

# Der Strombrückenzug Magdeburg, drei Bauwerke, drei Problemlösungen

M. Seidel, S. Bayat und A. Behnke, Hannover

## 1. Einleitung

Die Gesamtinstandsetzung des Brückenzuges Magdeburg über der Elbe umfasst drei sehr unterschiedliche Bauwerke. Zwei der Bauwerke, die Schrägeilbrücke über der alten Elbe und die Brücke über die Zollelbe werden komplett neu hergestellt. Das dritte Bauwerk, die Strombrücke über die Elbe bleibt bestehen, wird jedoch im Zuge der Instandsetzung grundlegend saniert. Vorgestellt werden die Lösungen, die für die sehr individuellen Anforderungen entwickelt wurden.

## 2. Neubau Zollelbe

Die Brücke Zollelbe (Königin Editha Brücke) befindet sich in Magdeburg-Stadtteil Werder. Sie ist als einhäufiger Rahmen ausgeführt. Das bedeutet, dass die Längsträger im östlichen Widerlager eingespannt sind, aber auf dem westlichen Widerlager nur aufliegen. Die Brücke mit einer Stützweite von 69,9 m und Breite von 33,4 m besteht aus 5 x Hauptträgern, die ihrerseits als Hohlkästen ausgebildet sind. An den Obergurten und den Stegen der Hauptträger sind Trapezsteifen angeordnet.

Der Überbau ist sowohl in Längs- als auch Querrichtung in Verbundbauweise hergestellt, wobei die Querträger als geschweißte I-Profile gefertigt wurden. Sowohl das westliche Widerlager (Achse 10) als auch das östl. Widerlager (Achse 20) sind mit Bohrpfählen im Sandstein tief gegründet.

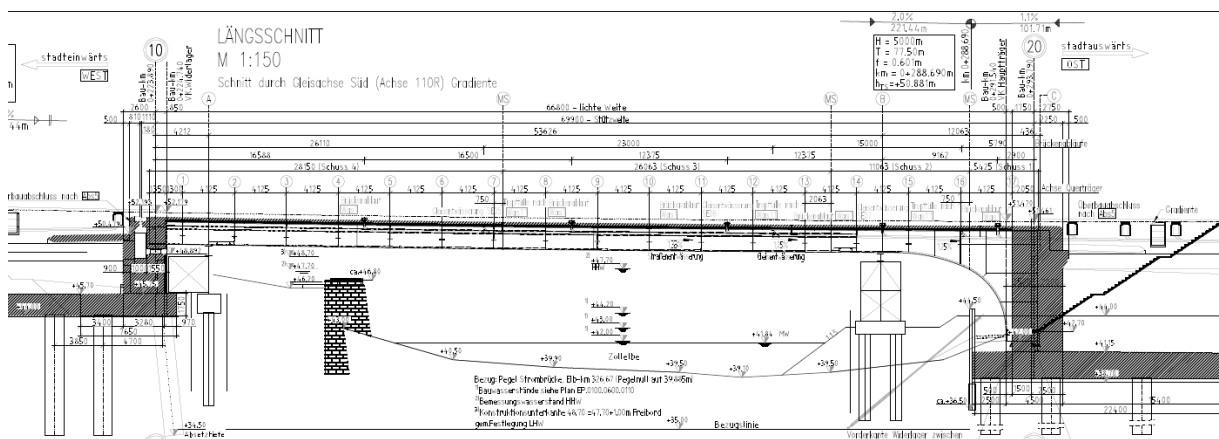


Abb. 1: Einhäufige Rahmen-Brücke

### 2.1 Das Besondere

Das Besondere bei der Herstellung der Brücke ist die unkonventionelle Bauweise bzw. Montagereihenfolge der Querträger.

Sie wurden nicht wie üblich als ca. 4,2 m lange Schweißträger (Abstand zwischen den Hauptträger) gefertigt, um anschließend auf der Baustelle zwischen den Hauptträger eingefädelt zu werden. Sie wurden vielmehr als sog. Kragarme in der Werkstatt in Hannover direkt mit den Hauptträger „verheiratet“.

Das o. g. Herstellungsverfahren ermöglichte uns eine wesentlich einfachere und schnellere Montage der Bauteile auf der Baustelle. Gründe dafür sind unter anderem die Einsparung der Baustellennähte, sowie die geringere Montagedauer und damit die Senkung der Kosten beim Einsatz der entsprechenden Baukräne. Hierfür war u.a. ein 300 t schwerer Spezialkran mit einer Hebeleistung von max. 750 t notwendig.

Voraussetzung für die unkonventionelle Herangehensweise und die Vorteile, die damit auf der Baustelle geschaffen wurden, war die Einhaltung der noch kleiner werdenden Toleranzen in der Werkstatt.





Abb. 2: „Verheiraten“ der Kragarme in der Werkstatt

Die Vermessung der relevanten Punkte erfolgte in der Werkstatt in 3 Steps:

1. Anheften der Kragarme, anschließend Vermessen,
2. Verschweißen, anschließend Vermessen
3. Und im 3. Step: erneute Kontrolle der Messpunkte, richten und wieder vermessen.

Nur so konnten die im Maßprüfprotokoll geforderten Toleranzen erfüllt werden.

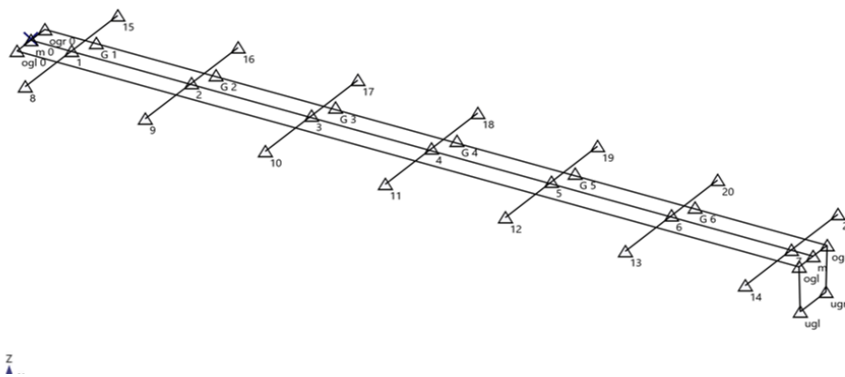


Abb. 3: Tachymetrische Vermessung der Kontrollpunkte in der Werkstatt

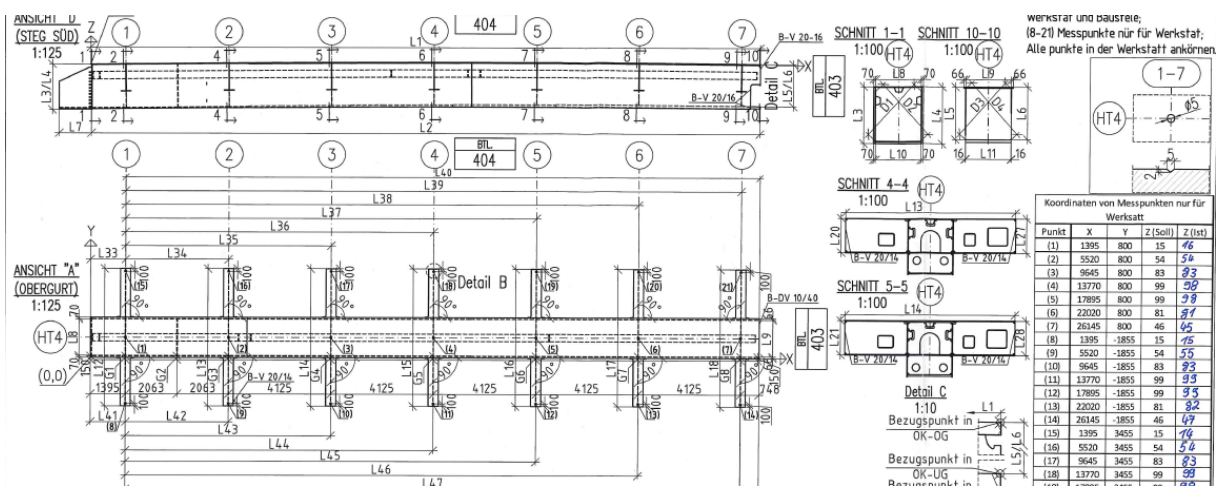


Abb. 4: Ausschnitt aus dem Maßprüfprotokoll

## 2.2 Die Rad- und Gehwege

Auf den ca. 6,2 m breiten Kappen werden jeweils ein Rad und Gehweg geführt. Die o. g. Kappen werden nicht wie die zuvor genannten Querträger direkt in der Werkstatt an den Hauptträger angeschweißt. Lediglich die sog. Stummel, an denen die Kragarme angeschlossen werden, sind bereits in der Werkstatt an den Hauptträger angeschlossen.

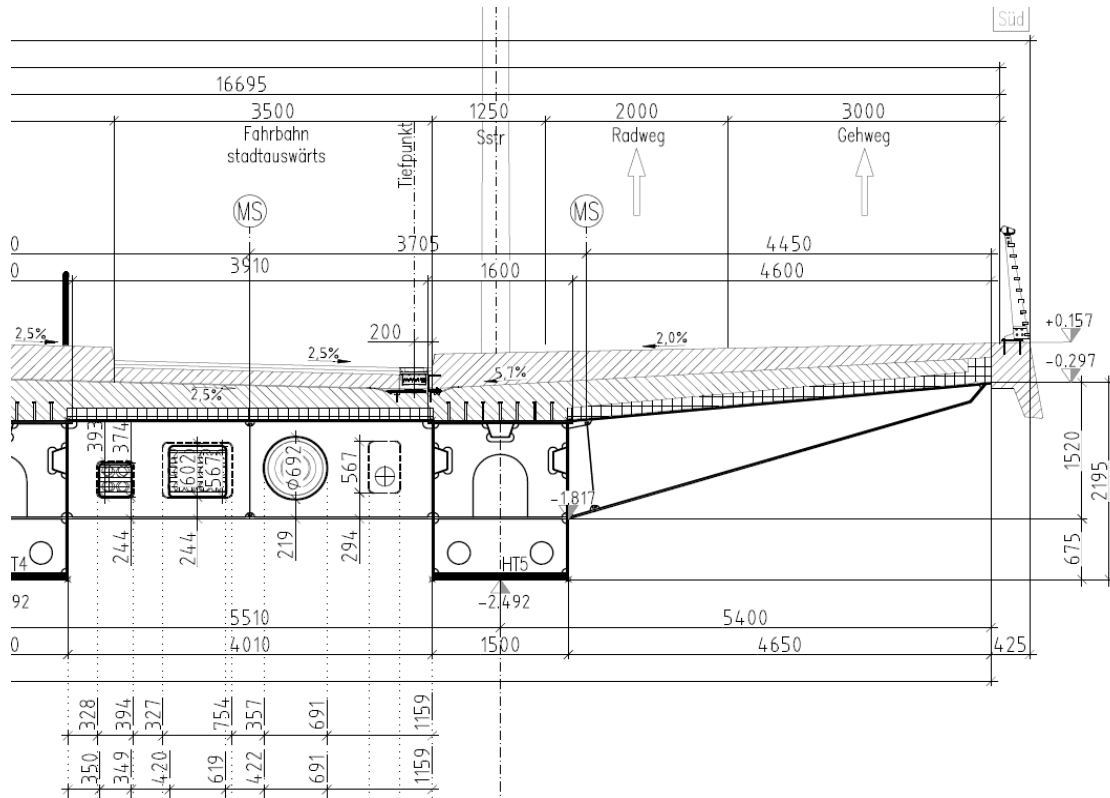


Abb. 5: Rad- und Gehwege der Zollbrücke



Abb. 6: „Stummel“ für die Kragarme (Geh- und Radwege)



*Abb. 7: Rad- und Gehwege als fertige Bauteile der Zoll-Elbe Brücke*

### 2.3 Die Baustelle

Das Ziel des o.g. Verfahrens war zu jedem Zeitpunkt die Vereinfachung der Montagearbeiten und Verlagerung der Arbeit von der Baustelle in die Werkstatt, wo die Bedingungen für das Verschlossern, Hefen und Schweißen der Bauteile immer günstiger sind.

Das Einheben der 5 Hauptträger mit Stückgewicht von je 150 t in nur 3 Tagen hat eindrucksvoll gezeigt, dass wir die geforderte Präzision in der Werkstatt eingehalten und die schnelle Montage auf der Baustelle umgesetzt haben.



*Abb. 8: Einheben der Hauptträger auf der Baustelle*



Abb. 9: Einheben der Hauptträger auf der Baustelle II

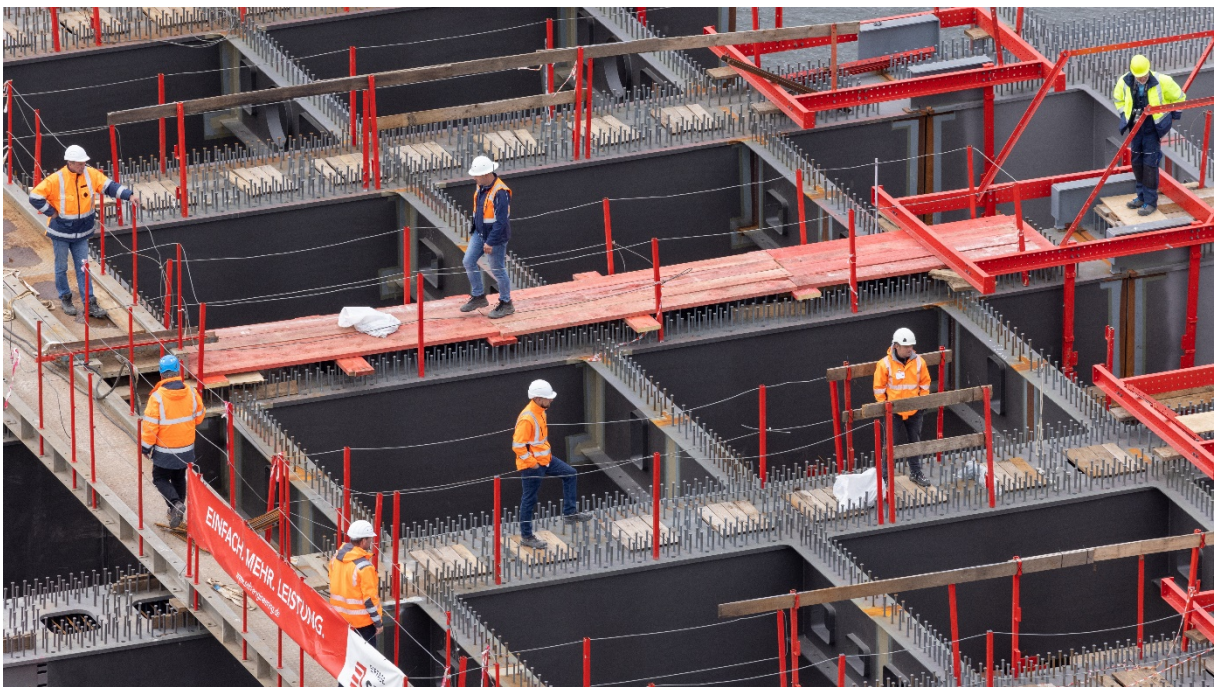


Abb. 10: Verschlossern und Verschweißen der Querträger in Rekordzeit

### 3. Sanierung Strombrücke, von Martin Seidel

Die Sanierung der Strombrücke umfasst neben einer grundlegenden Erneuerung des Korrosionsschutzes, der Erneuerung der Widerlager sowie der Instandsetzung lokaler Schäden auch Verstärkungsmaßnahmen im Bereich der Haupt- und Querträger. Die Zugänglichkeiten zu diesen Arbeitsbereichen ist aufgrund der Aufrechterhaltung der Schifffahrt eingeschränkt, sodass neben den individuellen Anforderungen zur Montage der Stahlbauverstärkungen hierfür passende verfahrbare Bühnen zu entwickeln waren.

#### 3.1 Instandsetzung der Querträger

Für die Instandsetzung der Querträger sind die vorhandenen Querträgeruntergurte durch zusätzliche Blechlamellen mit einer Abmessung von BL 40 x 320 x 9400 zu verstärken. Die Untergurtlamellen werden an den Enden durch eine kerbarme Ausführung der Umschweißung ausgebildet.

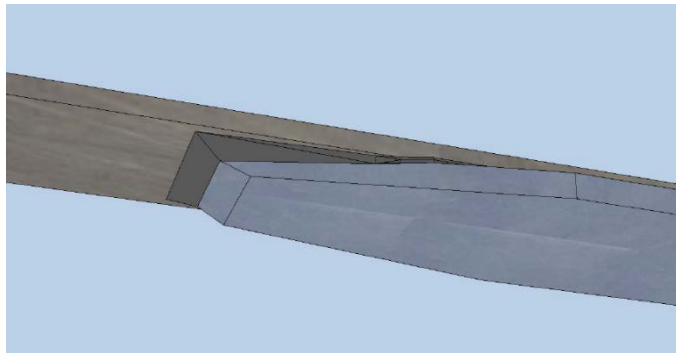


Abb. 11: Ausführung Untergurtlamelle mit kerbarmer Umschweißung nach DIN EN 1993-1-9

Der Ausschreibungsentwurf sah zunächst vor, die Verstärkungen Zug um Zug von einer abgehangenen Gerüstkonstruktion aus zu montieren, welche ebenfalls für den Korrosionsschutz genutzt werden sollte. In dieser Kombination wäre das Gerüst so auszubilden gewesen, dass dies in das Lichtraumprofil der Schifffahrt ragt und hierdurch eine Abhängigkeit zwischen den Belangen der Schifffahrt, des Stahlbaus und des Korrosionsschutzes entstanden werden.



Abb. 12: Untersicht Überbau mit temporären Schienenkonstruktion für die Verfahrenanlage sowie Arbeitsbühnen

Um diese Abhängigkeit aufzulösen wurde eine Hilfskonstruktion mit einer Verfahrsschiene entwickelt, die es ermöglicht, sich auf zwei unterschiedlichen Ebenen mit getrennt voneinander verfahrbaren Arbeitsplattformen zu bewegen. Hierdurch wird erreicht, dass die Montage der Querträgerverstärkung entkoppelt vom Korrosionsschutz erfolgen kann und zudem die Arbeitsplattform für die Lamellenmontage das Lichtraumprofil der Schifffahrt nicht tangiert.

Die Arbeitsplattformen sind so ausgelegt, dass diese die vorbereiteten Lamellen aufnehmen und entlang der Überbauuntersicht an die Einbaustelle verfahren werden können. Von dort aus werden die Lamellen mit Kettenzügen an den Untergurt gezogen, verheftet und verschweißt.

### 3.2 Instandsetzung der Hauptträger

Die Hauptträger in Form von zwei Hohlkästen werden ebenfalls mit Blechlamellen verstärkt. Aufgrund der Breite des Hohlkastens werden jeweils 7 Blechlamellen mit einer Abmessung von BL40x500 vorgesehen. Die Lamellenpakete werden dabei mit einer Länge von 50m ausgeführt. Die Besonderheit hierbei ist, dass der Hauptträger im Bereich der Widerlager gevoutet ausgebildet ist, sodass auch die Verstärkungslamellen die Form der Voute aufnehmen müssen.

Für die Montage der Einzellamellen im Bereich der Voute wurde eine Pressenbock entwickelt, mit dessen Hilfe die Vouten ausgerichtet, angedrückt und vormontiert werden können.



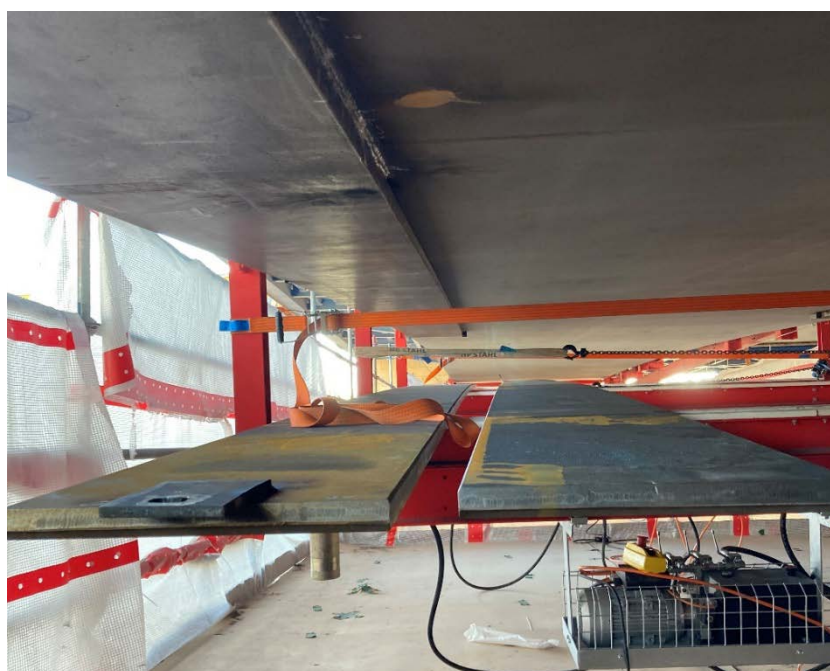
Abb. 13: Pressenbock am Widerlager zum Andrücken der Blechlamellen an der Voute

Nach dem Andrücken, Ausrichten und Verheften müssen die vorbereiteten Blechlamellen wieder abgelassen werden. Hintergrund hierfür ist, dass der Bestand nicht als Schweißbadsicherung für den herzustellenden Lamellenstoß als Vollanschluss genutzt werden dürfte. Daher wurde das Stoßdetail mit einer Nahtvorbereitung für eine 2/3 X-Naht versehen. Für das Schweißen der Nahtinnenseite wird daher die Lamelle abgelassen.



*Abb. 14: Schweißen der am Bestand angepassten Lamellen im Bereich der Auflagervoute*

Zum Schweißen der Nahtinnenseiten im Bereich der Voute werden die ausgerichteten Bleche komplett abgelassen und verschweißt. Die weiteren Lamellen zu je 10 m Teillängen werden über Hilfskonstruktionen und Halteklammern ebenfalls an der Überbauunterseite ausgerichtet, jedoch für das Schweißen nur soweit abgelassen, sodass der Schweißer eine ausreichende Zugänglichkeit zur Innennahtseite erhält. Nach dem Verschweißen und bündigen Beschleifen wird die Lamelle auf kompletter Länge an den Überbau andrückt, verheftet und abschließend verschweißt.



*Abb. 15: Hilfskonstruktion und Halteklammer für Untergurtlamelle am Hauptträger*



Abb. 16: Fertig hergestellte Hohlkastenverstärkung bestehend aus 7 Lamellen

#### 4. Neubau über die Alte Elbe, von Andreas Behnke

Die Brücke über die Alte Elbe (Kaiser Otto Brücke) wird als kompletter Neubau in Form einer modernen Schrägseilbrücke ausgeführt. Mit der Fertigstellung dieses Bauwerkes wird nun der Strombrückenzug nach nahezu 60 Jahren nach Baubeginn fertig gestellt. Alle Montagevorgänge wurden unter großem Interesse der Magdeburger Bevölkerung rege begleitet. Da die die 7 Schüsse des Hauptüberbaus im Freivorbau montiert wurden, mussten hohe Anforderungen an die Genauigkeit der Montage erfüllt werden.

##### 4.1 Geschwindigkeit im Freivorbau

Da es bedingt durch Hochwasserereignisse und weiter äußere Umstände zu Verzögerungen im Betonbau für den Stahlbetonanteil des Bauwerkes kam waren alle Beteiligten aufgefordert die Montagegeschwindigkeit im Freivorbau zu erhöhen, dass die Montagezeiten verkürzt werden können.

Die ursprüngliche Taktung belief sich auf 35 Tage für den Stahlbau und 5 Tage für Bewehrung und Beton.

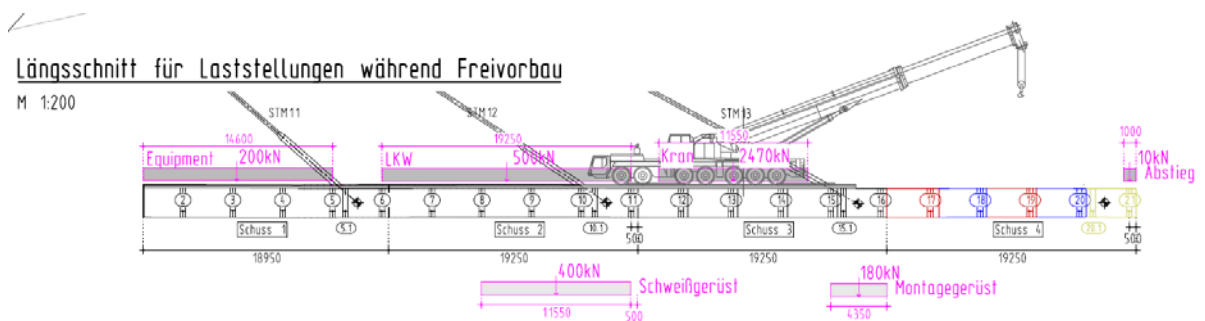


Abb. 17: Kranstellung im Freivorbau





Bedingt durch die Nähe zu anliegenden Wohngebäuden war eine „echte Spätschicht“ für die Stahlbauarbeiten nicht zu organisieren, die Arbeitszeit war somit auf ein Fenster von 06.00-22.00 Uhr begrenzt. Die erforderlichen Arbeiten für das Einziehen der Litzenbündel wurden parallel zu den Stahlbauarbeiten ausgeführt. Der wesentlichste Zeitfaktor waren, bedingt durch die Vielzahl der Querstöße am gesamten Überbau (mit Seitenfeld Ost 43 Stück), aber die Schweißarbeiten, diese konnten nur durch Erhöhung der Mitarbeiterstärke und Optimierung der Einsatzorte verkürzt werden.

Die dazu erforderliche Einsatzplanung wurde am 3D Model täglich organisiert, angepasst und kontrolliert. Darüber hinaus wurde eine überlappende 2.Schicht mit einer reduzierten Mannschaft von 17.00-22.00 Uhr organisiert.

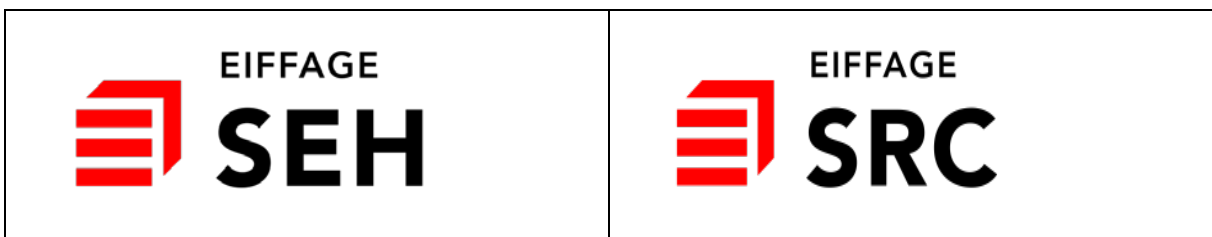
Durch die aufgezeigten Maßnahmen konnte die Taktgeschwindigkeit im Freivorbau/Anteil Stahlbau von 35 Tagen auf durchschnittlich 27 Tage reduziert werden. Bei den 7 Schüssen im Freivorbau wurde somit um 56 Tage beschleunigt. Mit den dargestellten Optimierungen war es möglich den Lückenschluss zwischen Freivorbau und Seitenfeld Ost zum Anfang Mai 2023 sicherzustellen.



Abb. 20: Fertiger Freivorbau bis Schuss 6 und Seitenfeld Ost

#### 4.3 Danksagung

Ein Dankeschön an alle involvierten Personen, Behörden, Firmen usw., die den schnellen Fortgang dieses Projektes ermöglicht haben im Namen der Gesellschaften:



# Your future - our MISSION



## VacuFil Compact

### Platzsparende Hochvakuum- absaugung ohne Kompromisse

Das Hochvakuum Absauggerät VacuFil Compact ist für große Schweißrauch- und -Staubmengen ausgelegt. Es verfügt über ein großes, abreinigbares Filter und eine komfortable Einknopf-Bedienung, auch mit Handschuhen. Viele Zusatzausstattungen wie die automatische Luftvolumenstromregelung stehen zur Auswahl. Der Seitenkanalverdichter zur Unterdruckerzeugung sorgt für robuste Leistungsfähigkeit für industrielle Anwender.

# Deutscher Pionier und Technologieführer mit über 40 Jahren Erfahrung

KEMPER ist der Technologieführer für Absaugtechnik und Arbeitsschutz in der Metallbe- und verarbeitung. Aus dem einzigartigen Fokus auf die Anforderungen beim Schweißen und Schneiden entsteht seit 1977 innovative Anlagentechnik für die Praxis.

Verlassen Sie sich drauf: Mit KEMPER setzen Sie auf den Richtigen. Sie erlangen Rechtssicherheit und nachhaltige Leistungssicherheit durch saubere Luft am Arbeitsplatz.

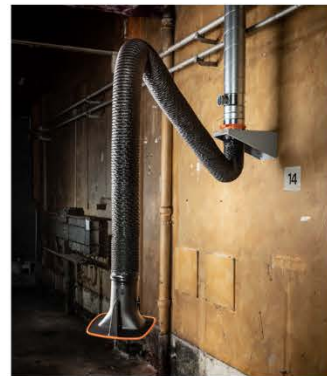
## Sortiment im Überblick:



**Absaugsysteme mobil**



**Absaugsysteme stationär**



**Absaugarme und Ventilatoren**



**Hochvakuum absaugung**



**Raumlüftungssysteme**



**Absaugsysteme zentral**



**Absaug- und Schneidische**



**Arbeitsschutz und Trennwände**

# Auftragschweißen, lang gelebte Nachhaltigkeit in der industriellen Anwendung

G. Peters, Magdeburg sowie H. Mühlbauer und S. Derrix, Wachtendonk

## 1. Einleitung

Wenn wir über Nachhaltigkeit oder englisch „Sustainability“ sprechen, geht es vor allem um Handlungsprinzipien, durch die Ressourcen nachhaltig und dauerhaft genutzt, geschützt und regeneriert werden. Das betrifft alle Bereiche unseres Lebens und Lebensraumes und vor allem unsere Arbeitswelt. Nachhaltigkeit in der Produktion ist richtiger Weise ein sehr aktuelles Thema. Es werden zunehmend durch Verbraucher Produkte abgelehnt, die eine zu geringe Nachhaltigkeit aufweisen. Deshalb gilt der Fokus in der Industrie der ergiebigeren Nutzung von Material und Energie (Effizienz) und der Wiederverwertung, Müllvermeidung oder Verwendung von naturverträglichen Stoffen (Konsistenz). [1]



Abb. 1: Nachhaltigkeitsstrategien beim BUND Baden-Württemberg, 2023 [1]

In vielen Bereichen der industriellen Produktion werden Anlagen verwendet, die während der Produktion einem Verschleiß unterliegen und zumindest partiell nach einer bestimmten Nutzungsdauer durch Neuteile ersetzt werden müssen. Bei der Beschaffung von Neuteilen werden die bisher verwendeten Materialien einer genauen Begutachtung unterzogen und stetig neue technische Standards gesetzt. Vorausgesetzt wird, dass es ein Konzept zum Recyclen der Produkte gibt, aber zunehmend wird von Kunden bereits bei der Bestellung von Neuteilen auch ein Reparatur- bzw. Erhaltungskonzept gefordert.

*Welding Alloys* ist ein international tätiges Unternehmen, das sich traditionell mit dem Reparatur- und Auftragschweißen in den Bereichen Mineralvermahlung, Zement, Stahl, Recycling und Mining beschäftigt und seinen Kunden neue Konzepte zur Steigerung der Nachhaltigkeit anbietet.

Das Reparatur- und Auftragschweißen hat sich seit vielen Jahren als probates Mittel der Regeneration von verschlissenen Maschinenkomponenten erwiesen. In den unterschiedlichsten Industriebereichen werden Schweißgüter aufgetragen, die nicht nur die Kontur von Bauteilen wiederherstellen, sondern gleichzeitig die Leistungsfähigkeit dieser Komponenten steigern, sie energetisch nachhaltiger arbeiten lassen und die Lebensdauer der gesamten Anlage verbessern.

Im Rahmen dieses Beitrages werden Schweißzusätze und Schweißtechnologien insbesondere für die Auftragschweißung und Hartauftragung und deren Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit und Nachhaltigkeit an industriellen Anwendungsbeispielen erläutert.

## 2. Auftragschweißen

Das Auftragschweißen gehört zu den thermischen Beschichtungsverfahren und zeichnet sich durch die gute Haftung zum Grundwerkstoff und die breite Vielfalt der verschiedensten Legierungen aus. Es kann nach dem Verwendungszweck eingeteilt werden. Der Grundwerkstoff selbst dient als Trägermaterial mit definierten Festigkeits- und Dehnungseigenschaften.

Tabelle 1: Einteilung des Auftragschweißens nach dem Verwendungszweck

Auftragwerkstoff vs. Grundwerkstoff	Bezeichnung
mit höherem Verschleißwiderstand	Hartauftragen (Panzen)
mit chemischer Beständigkeit	Schweißplattieren
für artfremde Werkstoffe mit beanspruchungsgerechter Verbindung	Puffern
mit ähnlichen Eigenschaften	Formgebendes Schweißen

Als Verfahren kommen heute fast alle gängigen Schweißverfahren zum Einsatz, z. B.:

- Gasschmelzschweißen
- Lichtbogenhandschweißen
- Metallschutzgasschweißen / Open-Arc-Schweißen
- WIG-Schweißen
- Plasma-Pulverschweißen
- Laserstrahlschweißen mit Massivdrähten, Fülldrähten oder Pulver

Auf Grund nachfolgend genannter Eigenschaften/Vorteile hat sich Welding Alloys auf die Entwicklung von Schweißzusätzen, Maschinen und integriertem Service für das Fülldrahtschweißen, mit und ohne Schutzgas, konzentriert.

- breite Einstellung von Legierungsmöglichkeiten
- gezielte Einstellung der Legierung durch Band-Pulver-Kombination
- kostengünstige Lösung für den Verschleißschutz
- einfache Verarbeitung in der Werkstatt und Vor-Ort
- flexibler Einsatz durch meist großes Parameterfenster bei der Verarbeitung
- Schweißen auch in schwer zugänglichen Bereichen
- hohe mögliche Abschmelzleistung für großflächige Auftragschweißungen.

### 3. Auslegung des Verschleißschutzes

Die Grundwerkstoffe werden meist nach der allgemeinen Beanspruchung des gesamten Bauteiles gewählt und richten sich z.B. nach der konstruktiven Gestaltung, Festigkeit, Zähigkeit, Dehnungsvermögen, korrosiver Beständigkeit, aber auch nach den Fertigungsmöglichkeiten.

Bei der Auslegung des Verschleißschutzes für gefährdete Bauteile kommt der Auswahl des Schweißzusatzes eine besondere Bedeutung zu. Die grundlegende Wahl erfolgt entsprechend der wirkenden Beanspruchung (Erosion, Korrosion, Kavitation, Adhäsion) und dem Ziel, dieser Beanspruchung oder der Kombination aus verschiedenen Beanspruchungen entgegenzuwirken. [12]

Da der Verschleißschutz durch Auftragschweißen auf die notwendigen Bereiche des Gesamtbauteiles konzentriert werden kann, werden Bauteile anwendungsbezogener, kostengünstiger und eben auch nachhaltiger durch:

- verlängerte Lebensdauer durch weitgehende Erhaltung des Grundkörpers
- Regenerierung oftmals schneller verfügbar und günstiger als Neuteile
- Nutzung von Erfahrung zum Verschleißschutz aus dem bestehenden Einsatz
- weniger Stillstandszeiten durch längere oder optimierte Wartungsintervalle

Hinweise zur Auswahl von Schweißzusätzen können die DIN EN 14700 „Schweißzusätze zum Hartauftragen“ [2] und die DVS-Merkblätter 0941 [3; 4] geben. Hier werden den Legierungskurzzeichen die Systemstruktur und Bauteilbeispiele hilfreich zugeordnet.

Die DIN EN 14700 unterscheidet Hartlegierungen nach Ihrer Matrix und kennzeichnet diese mit Legierungskurzzeichen:

- Eisen-Matrix: Fe1 bis Fe20
- Ni-Matrix: Ni1 bis Ni4 und Ni20
- Co-Matrix: Co1 bis Co4

Dem Legierungskurzzeichen sind Anforderungen, Gefügeausbildung und Härten zugeordnet [2; 6]. Die Vielfalt der Schweißzusätze innerhalb dieser Gruppen wird neben der Variation im C-Gehalt im Wesentlichen durch Hartstoffbildner wie Cr, Mo, Ti, Nb, V, W erreicht.

Die nachfolgend näher betrachteten Legierungsgruppen mit Eisenmatrix (Fe15, Fe16) werden vor allem bei Beanspruchung mit abrasiven scharfkantigen Medien eingesetzt. Ihre Fertigung als Fülldrähte eröffnet Möglichkeiten, die hinsichtlich der Variation werkstoffspezifischer Eigenschaften in Kombination mit kostengünstiger Fertigung z.B. mit Massivdrähten nicht darstellbar sind.

Auf Grund der weit gefassten Zuordnung der Schweißzusätze zu den Legierungskurzzeichen empfiehlt sich nach der Vorauswahl ein Blick in die Produktdaten der Hersteller und Serviceanbieter. Vermeintlich kleine Abweichungen bei den Legierungen innerhalb der Kurzzeichen Fe15 und Fe16 ergeben durchaus wesentliche Vorteile bei speziellen Anwendungen. Sollten feuchte Mahlstoffe transportiert werden, kommen auch Zusätze der Gruppe Fe14 zum Einsatz.

*Tabelle 2: Fülldrähte der Gruppen Fe14, Fe15, Fe16 mit Hinweisen auf Einsatzmöglichkeiten [5]*

Produktbezeichnung	Chemische Zusammensetzung [%] – Rest Fe							Härte 3-lagig Wie geschweißt	Hartphasen Mikröhärte HV10	Einsatzmöglichkeiten
	C	Mn	Si	Cr	Mo	Nb	Andere			
T Fe15 HARDFACE HC	5,00	1,30	1,50	27,00	---	---	---	61 HRC	950-1450	- hoch verschleißfest mit Cr-Karbid - Abrasion mit sehr moderatem Schlag - Schleißplatten, Förderanlagen für Mineralien, Zementvermahlung
T Fe14 HARDFACE HC333	3,50	0,20	1,00	32,50	0,50	---	---	60 HRC	950-1500	- hochlegiertes Schweißgut mit Cr-Karbid - einlagige Aufschweißungen an gewichtslimitierten Anwendungen - Baggerzähne, Förderschnecken
T Fe15 HARDFACE CN	5,00	0,50	1,00	22,00	---	7,0	---	63 HRC	950-2000	- hohe Konzentration an Nb- und Cr-Karbid - verschleißbeständig gegen feine, abrasive Partikel - Panzerung bei Förderung von Kohle, Schlacke
T Fe16 HARDFACE CV	5,50	0,50	1,30	21,50	3,00	6,20	W:1,0 V: 0,4	64 HRC	950-2900	- hochlegiertes Schweißgut mit Cr- und komplexen Karbid - höhere Temperatur gegen Abrasion und Schlag - Sinterbereich in der Stahlherstellung
T Fe16 HARDFACE CNV	5,50	0,50	5,00	22,00	5,00	6,00	W:2,0 V: 1,0	65 HRC	950-2900	- hochlegiertes Schweißgut mit Cr- und komplexen Karbid - höhere Temperatur gegen Abrasion und Schlag - Rüttelsiebe, Hochofenschächte, Einsatzzylinder

#### 4. Anwendungen aus der Praxis

Nachfolgend werden Beispiele aus dem Einsatzgebiet zum Verschleißschutz von hochabrasiv beanspruchten Oberflächen dargestellt.

- Gutbettwalzen für die Zement- und Mineralstoffindustrie,
- Mahlwerkzeuge für die Vertikal-Ring-Mühlen und
- Mühlengehäuse und Sieber.

##### 4.1. Gutbettwalzen für die Zement- und Mineralstoffindustrie

Eine Gutbett-Walzenmühle (Abb. 2), oft auch Roller-Pressen genannt, besteht aus zwei gleich großen Walzen, die mit gleicher Umfangsgeschwindigkeit umlaufen. Die Mahlgutzufuhr erfolgt so, dass zwischen den beiden gegenläufig rotierenden Walzen ein Materialbett entsteht.

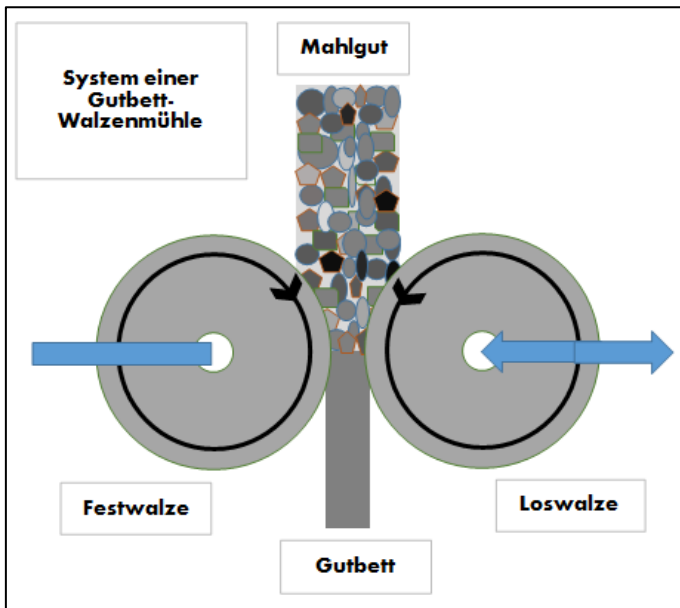


Abb. 2: System einer Gutbett-Walzenmühle

Gutbett-Walzenmühlen zeichnen sich im Vergleich zu anderen Mühlen durch ihre hohe Energieeffizienz aus und werden insbesondere bei der Aufbereitung mineralischer Rohstoffe in der Erz- oder Zementindustrie eingesetzt. An den Oberflächen der Walzen, die im direkten Kontakt mit dem Mahlgut stehen, kommt es zu starkem Verschleiß. Um diesen Verschleiß, der in der Höhe auch vom Mahlgut beeinflusst wird, zu begrenzen bzw. die Lebensdauer der Walzen zu verlängern, wurden verschiedene Systeme zum Oberflächenschutz entwickelt. Neben Walzen mit Hartmetallstiften oder „Hartmetall-Fliesen“ kommen wieder zunehmend Walzen mit geschweißtem Oberflächenschutz zum Einsatz.

Die Anforderungen an die Oberflächen der Walzen sind extrem hoch. Neben dem Reibverschleiß müssen die Oberflächen auch einer „moderaten“ Schlagbeanspruchung widerstehen. Bisher hat Welding Alloys auf einem Cr-Ni-Mo-legierter Vergütungsstahl eine meist 2- oder 3-lagige Verschleißschicht einer austenitisch-martensitischen Matrix mit eingelagerten Niob- oder Titan-Karbiden verwendet. Die verwendeten Vergütungsstähle gelten als schwer schweißbar, lassen sich aber mit geschultem Personal unter genauer Beachtung der Schweißanweisungen und mit hohen Vorwärm- und Zwischenlagentemperaturen in der Werkhalle durchaus gut verarbeiten.

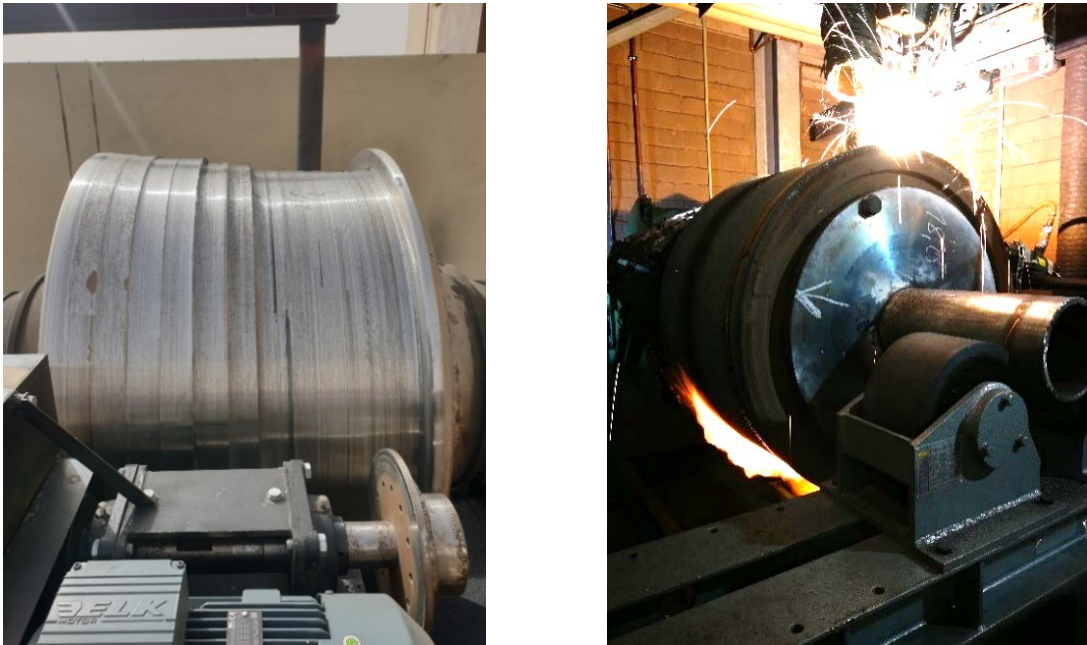
Trotz guter Verschleiß Eigenschaften gibt es bei Verwendung der NbC- oder TiC-Systeme Probleme. Für eine qualitativ hochwertige Instandsetzung, selbst bei einem Teilverschleiß der Walzenoberfläche, muss die gesamte Auftragschicht und meist auch ein Teil des Grundwerkstoffes entfernt werden. Eine Vorort-Schweißung im eingebauten Zustand ist auf Grund der erforderlichen hohen Schweißtemperaturen kaum möglich.



Abb. 3: Sichtbare Querrisse im Grundwerkstoff einer Walze nach Entfernung der Hartschicht (Werksfoto WA)



Bei kleineren Walzen ist eine Regenerierung nach Ausbau vielleicht noch akzeptabel, aber bei Walzen mit einem Stückgewicht von 40 t und mehr wird die Wiederaufbereitung extrem zeit- und kostenaufwendig. Heute verwenden wir zum Schweißen von Rollerpressen zunehmend ein System, das RPSMaxLife genannt wird und „Roller Press with Maximum Life cycle“ bedeutet. [7; 8; 9]



*Abb. 4: Links: Walze nach mechanischer Bearbeitung zum Schweißen vorbereitet (Werksfoto WA)  
Rechts: Automatisiertes Schweißen einer RPSMaxLife im Workshop (Werksfoto WA)*

Walzen werden für die Wiederinstandsetzung, aber auch für die Neu-Fertigung, so vorbereitet, dass nach den Pufferlagen mehrere Aufbausichten mit schock- und riss-hemmenden Material geschweißt werden. Anschließend erfolgt die Schweißung der Hartauftragung mit einem Fülldraht der Gruppe Fe15 mit Härten von über 60 HRC. Abgeschlossen wird das System mit geschweißten Einzugsraupen, die durch zusätzliche Karbide einen besonders hohen Widerstand gegen Abrasion aufweisen.

Die Umstellung auf RPSMaxLife bei Beginn der Regenerierung oder der Neufertigung bedeutet durchaus einen erhöhten Schweißaufwand, anschließend ergeben sich aber für den Anwender unübersehbare Vorteile, weil die Lebensdauer nicht nur in einem Zyklus erhöht wird, sondern nachhaltig durch neue Zyklen verlängert werden kann.



*Abb. 5: Vor-Ort-Schweißung einer RPSMaxLife im eingebauten Zustand (WA Werksfoto)*

Zusammenfassend können folgende Vorteile genannt werden:

- Vorwärm- und Zwischenlagentemperaturen werden erheblich gesenkt.
  - Vorbereitungs- und Nachbereitungszeiten werden massiv gesenkt
  - Der Energieaufwand wird wesentlich reduziert
  - Ein Schweißen vor Ort im eingebauten Zustand wird möglich
- Einfacher zu verarbeitende Werkstoffe für die Hartauftragung mit Härten über 60HRC
  - Optimierung des Verschleißwiderstandes
  - Begrenzung der Schichtdicke der Hartauftragung
- Mehrfach-Instandsetzung des Verschleißschutzes am Walzenkörper
  - Schutz des Walzenkörpers vor Risseinleitung aus der Mahloberfläche
  - Wiederaufarbeitung des partiellen oder gesamten Verschleißschutzes in der Werkstatt o-der Vor-Ort.
- Auf der Baustelle können einfach zu handhabende robuste Schweiß- und Schleifsysteme verwendet werden.

#### 4.2. Mahlwerkzeuge für Vertikal-Ring-Mühlen (VRM)

Bei den Vertikal-Ring-Mühlen gibt es in den letzten Jahren eine stetige Weiterentwicklung, die die Mühlen als gesamtes System betreffen, z.B. mit neuer Antriebstechnik, hohen Durchsatzraten, aktiver Abstimmung zwischen Antrieb und Mahlwalzen, aber auch mit Neuerungen an den Mahlwerkzeugen.

Das ist erforderlich, weil die VRM's schon längst nicht mehr nur für die Vermahlung von Zement eingesetzt werden, sondern auch für Hüttensand, Kohle & Koks, Gips & Kalkstein, Ton, Puzzolan, Kaolin und andere harte Mineralien vermahlt werden.

Die Aufgabe der Regeneration der Mahlteile durch Hartauftragung wird am Schema einer Vertikal-Ring-Mühle (Abb. 6) deutlich. In dieser Mühle arbeiten bis zu 6 Mahlwalzen mit einem Durchmesser von 3,0m, einem Mahltisch mit einem Durchmesser bis zu 6,5 m und einem Antrieb von bis zu 12.000 kW. Damit wird ein Ausstoß von maximal 1.400 t/h realisiert.

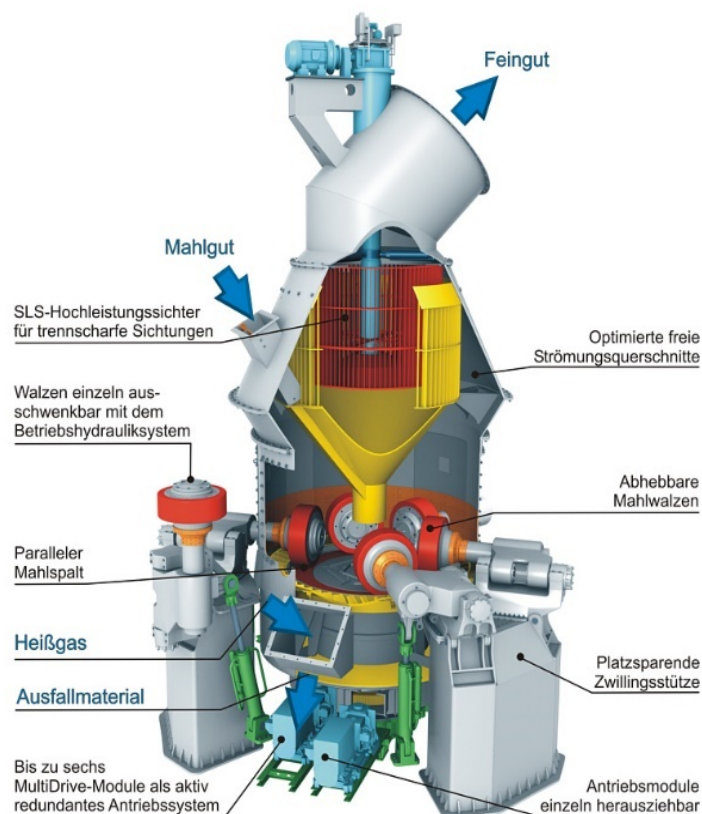


Abb. 6: Vertikal-Ring-Mühle vom Typ MVR der Fa. Gebr. Pfeiffer, Kaiserslautern. [10]

Die hoch verschleißbeanspruchten Mahlwalzen und Mahltisch bestehen aus verschiedensten Guss-Legierungen, von Ni-Hard über Hoch-Chrom-Hartguss bis zum Verbundguss. Viele dieser Legierungen werden so eingestellt, dass sie sich als Grundwerkstoff für die Hartauftragung eignen. Das trifft aber nicht auf alle Werkstoffe zu. Deshalb sollten vor dem Auftragschweißen von Mahlteilen gesicherte Daten vorliegen oder eine Materialprüfung erfolgen. Erst dann kann die Freigabe für die Schweißung erfolgen. Manchmal bleibt jedoch nur der Weg über einen durchaus risikobehafteten Schweißtest am Bauteil. Geschweißt werden Mahlwerkzeuge, wie Mahlwalzen und Mahltisch, meist mit Open-Arc-Fülldrähten, die eine FeCrC-Hartlegierungen (TFe15, DIN EN 14700) ergeben. Diese Beschichtung wird mehrlagig ausgeführt und weist eine Härte von >60 HRC auf. Beim Schweißen ist darauf zu achten, dass die Temperatur begrenzt wird und sich schon bei der Erstarrung des Schweißgutes ein Härterissmuster bildet. Das ist absolut erforderlich, weil dadurch die Hartauftragung entspannt wird und Spannungen nur unwesentlich in das Bauteil selbst übertragen werden. Da in einer Aufschweißung durchaus 40 mm und mehr auf einem Mahlwerkzeug aufgeschweißt werden, kann die Nichtbeachtung der Schweiß- und Fertigungsanweisung das Mahlwerkzeug zum „Platzen“ bringen. Auf Grund der verschiedenen Mahlgüter wird die Hartauftragung der Aufgabe angepasst. Durch Anteile von z. B. Nb, V, W (TFe15, TFe16 nach DIN EN 14700) werden zusätzliche Karbide gebildet, die feinverteilt in der Matrix für erhöhten Reibwiderstand verantwortlich sind. Da sich die Kosten für das Schweißgut gegenüber der FeCrC-Auftragung wesentlich erhöhen, sollte der Auswahl des Schweißzusatzes nach Verschleißbeständigkeit immer eine ökonomische Gesamtbetrachtung hinzugefügt werden.

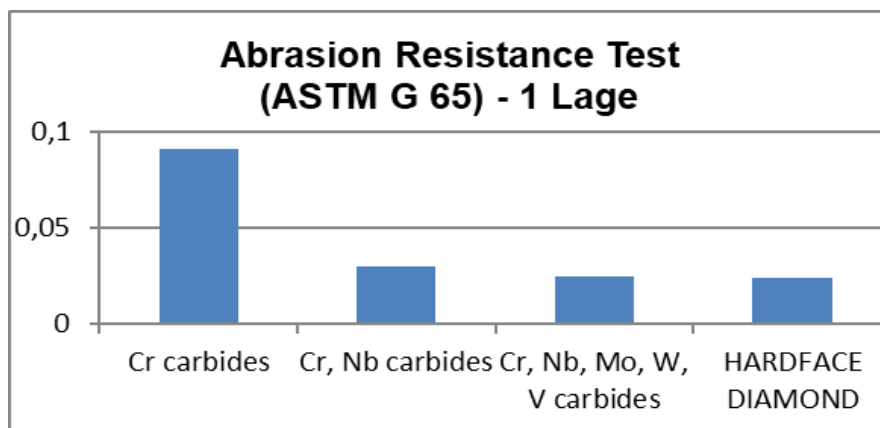


Abb. 7: Vergleich verschiedener Hartauftragungen im G65-Test, Gewichtsverlust in g

Neben der Optimierung des Verschleißes durch Materialauswahl kommt der Ausführung und dem Intervall der Regenerierung der Mahlwerkzeuge eine immer größere Bedeutung zu. Verfügbarkeit und Energieverbrauch sind beim Betrieb einer Mühle entscheidende Faktoren für die Kosten des Mahlgutes. Wird eine Mühle nach der Installation angefahren, hat sie in den ersten Wochen einen erhöhten Verschleiß bis sie in Ihr Optimum fährt. In Abb. 8 ist das die Zeit von 0 bis T<sub>1</sub>. Zwischen T<sub>1</sub> und T<sub>2</sub> arbeitet die Mühle dann im Optimum mit geringstem Energiebedarf/Tonne Mahlgut.

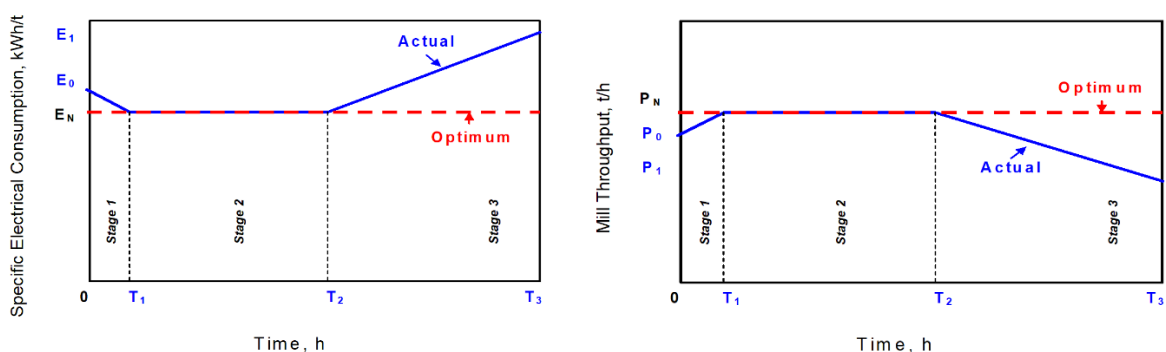


Abb. 8: Energieverbrauch, Mahl-Effizienz und Verschleißzyklus einer VRM [11]

Durch Verschleiß an den Mahlwerkzeugen wird die Oberflächenkontur verändert und die Mühle „wandert“ nach der Zeit T2 aus dem Optimum und verbraucht stetig zunehmend mehr Energie bei weniger Material-Ausstoß.

Welding Alloys hat viele Kunden überzeugt, ihre Revisionszyklen zu kontrollieren und zu überdenken und das „Smart-Welding Konzept“ umzusetzen.

Zur Verbesserung des Mahlprozesses, der Erhöhung der Effizienz und der Optimierung des Stromverbrauches wird das konturnahe Aufschweißen der Mahlwerkzeuge durchgeführt. Die Verschleißkontur wird nach der Einlaufphase an den Mahlwerkzeugen abgenommen und in einer Schablone umgesetzt. Genau diese Kontur stellt ein Optimum der Passung der Mahlflächen von Mahl-Walze und -Tisch dar, weil so die gesamte Funktion der Mühle beim Mahlprozess berücksichtigt wird.

Wenn der Durchsatz der Mühle zurückgeht, werden die Mahlwerkzeuge mit der Hartlegierung möglichst nah an der optimierten Verschleißkontur aufgeschweißt. Durchaus eine Herausforderung, da manche Mahlwalzen einen Durchmesser bis 3 m aufweisen und zudem unrund verschleifen. Dafür wird mit Open-Arc-Fülldrähten in Strichraupentechnik geschweißt, um mit möglichst dünnen Lagen (ca. 3,0 bis 3,5 mm) die Kontur effektiv nachzubilden. Der Anlagenbetreiber prüft mit seiner optimierten Schablone das Ergebnis der Regenerierung.



Abb. 9: Links: Schweißen einer Mahl-Walze mit Open-Arc-Fülldrähten in der VRM (Werksfoto WA)  
Rechts: Schweißen eines Mahltisches mit Open-Arc-Fülldrähten in der Mühle (Werksfoto WA)

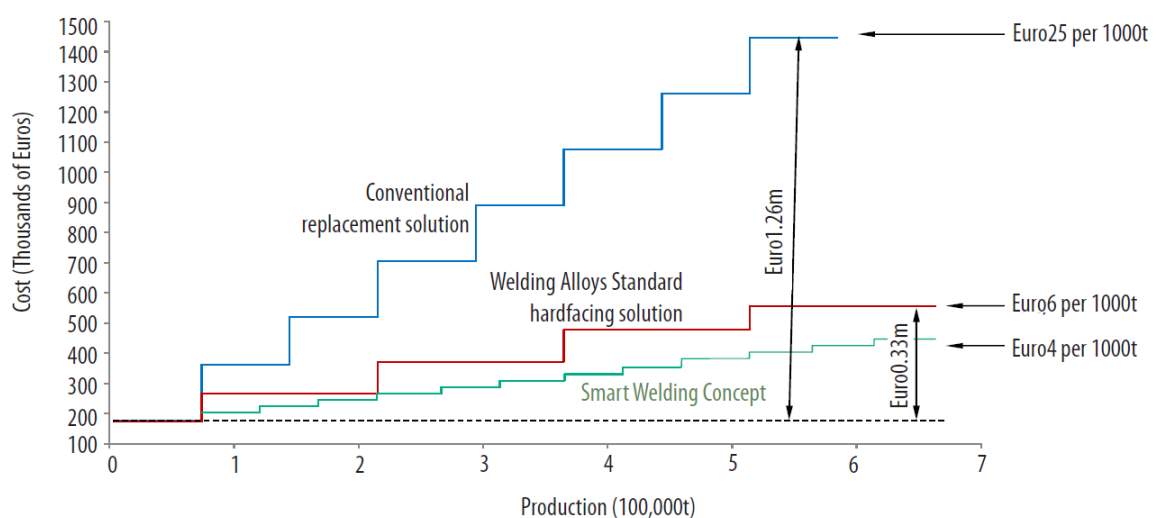


Abb. 10: Kumulative Kosten bei der Reparatur von Mahlwerkzeugen einer VRM [11]

Zusammenfassend kann festgestellt werden:

- Durch das konturnahe Schweißen wird die Einlaufzeit verringert und die Effizienz der Mühle gesteigert.
- Dem Verschleiß angepasstes Schweißgut verlängert den optimalen Zyklus.
- Durch Optimierung der Revisionszyklen wird der Energieverbrauch/t Mahlgut gesenkt.

Insgesamt kann durch dieses schweißtechnische Reparaturkonzept eine Erhöhung des Material-Ausstoßes um ca. 10 % bei gleichem Energieeintrag erreicht werden. Ein sehr positiver Nebeneffekt ist die Laufruhe der Mühle nach der Regenerierung.

#### 4.3 Verschleißschutz am VRM-Mühlengehäuse

Der Weg des Mahlgutes ist durch die Vermahlung nicht abgeschlossen. Allerdings wird aus groben nun ein feineres Mahlgut. Dem Weg des Mahlgutes folgend, wird anhand von 2 Beispielen gezeigt, dass „Smart Welding“ auch in anderen Bereichen der Mühle die Nachhaltigkeit erhöhen kann. [13]

Das Mahlgut wird vom Mahltisch nach außen gedrückt und über einen Luftstrom nach oben befördert. Die Strömung des nun feineren Mahlgutes sorgt für schmirgelnden Verschleiß an der Mühlenwand. Obwohl die Mühlenwände aus Blechen größerer Dicke gefertigt werden, reicht die Blechdicke nicht aus, um die gesamte Lebensdauer einer Mühle abzudecken. Ein direktes Aufschiessen zum Materialersatz ist zwar möglich, aber viel zu aufwendig und ohne verbessertem Verschleißschutz.

Nach einer verschleißtechnischen Begutachtung wird die Mühlenwand vermessen und Schleißplatten in gewichtsoptimierte Segmente aufgeteilt. Die Segmente werden entsprechend der Mühlenwand räumlich gebogen (Abb. 11, links). Meist werden diese dann an der Mühlenwand mit Umfangs- und zusätzlicher Lochschweißung geschweißt, wobei die Verbindungsnahte noch eine Hartauftragung erhalten. Eine Mühlenwand verschleißt jedoch nicht gleichmäßig. Insbesondere an Durchmesseränderungen oder neben eingebauten Türen/Luken kommt es zu erhöhtem Verschleiß. Angeschweißte verschlissene Platten wieder zu entfernen oder durch neue zu ersetzen ist sehr aufwendig.



Abb. 11: Links: Schleißplatten für die Auskleidung zum Schweißen vorbereitet, Werksfoto WA  
Rechts: Mühlenauskleidung mit Schleißplatten und Einhänge-Technik, Werksfoto WA

Statt Schleißplatten direkt an die Mühlenwand zu schweißen, bietet WA ein System mit Unterkonstruktion, an der die Platten mechanisch befestigt und dann miteinander verschweißt werden (Abb.11, rechts). Bei Verbindungsschweißungen muss immer dringend darauf geachtet werden, dass die Hart-schicht nicht angeschmolzen wird. Das würde unweigerlich Risse in der Verbindungsschweißung erzeugen und in diesem Fall die Bindung der Platten zueinander gefährden. Um den Verschleißschutz fertig-zustellen, erfolgt mit Open-Arc-Fülldrähten (TFe15 oder TFe16) die Hartauftragung auf die Verbindungs-schweißungen.

Trotz eines höheren Aufwandes bei der ersten Montage sind die Vorteile überzeugend:

- Auf die Mühle angepasste Hartauftragung verlängert die Lebensdauer.
- Übergangsfreie Oberflächen erzeugen weniger Angriffsmöglichkeiten für den Verschleiß.
- Verschleißschutzoptimierung ist für jedes Segment möglich, um hochbeanspruchte Bereiche dem Verschleißzyklus der restlichen Wand anzupassen.
- Austausch einzelner Segmente, statt einer generellen Überholung.
- Im Fall einer Reparatur ist eine einfache Bestellung und ein kurzfristiger Austausch möglich.

#### 4.4. Verschleißschutz an Sichern

Nach dem das Mahlgut die Mühlenwand „passiert“ hat, wird es durch den Luftstrom in den Sichter befördert. Der Sichter separiert das Mahlgut entsprechend definierter Kriterien wie z.B. Größe und Dichte. Die Teile des Mahlgutes, die die Kriterien erfüllen, gehen in die weitere Verarbeitung, der andere Anteil wird erneut dem Mahlprozess zugeführt. Dabei werden die unterschiedlichen Massenkräfte und Strömungswiderstände des Mahlgutes im Luftstrom genutzt. Von den verschiedenen Komponenten im Sichter wird die Instandsetzung des Sichterkorbes näher erläutert. Andere Beispiele siehe [14].

Häufig bestehen Sichterkörbe bereits aus verschleißfestem Stahl von ca. 400HB, z.B. W-Nr.: 1.8714, der gegenüber einer Fertigung aus allgemeinem Baustahl eine verbesserte Verschleißbeständigkeit besitzt. Diese Verschleißbeständigkeit genügt dennoch oft nicht den Anforderungen.



Abb. 12: Funktion des Sickers und Verschleiß am Sickerkorb

Das feine Mahlgut im Luftstrom ist hoch abrasiv. Sickerstäbe zeigen oft nach relativ kurzer Zeit Verschleißspuren und müssen bei hohem Verschleiß ausgetauscht werden. Wenn keine Zeichnungen vorhanden sind, werden Sichter und Sickerstäbe begutachtet, vermessen und deren Montagemöglichkeiten abgestimmt.

Effektiv kann man diese Stäbe aus Schweißplatten in Kombination von S235 und beidseitiger Hartauftragung mit TFe15 fertigen. Deren Fertigung erfolgt auf speziellen Schweißmaschinen, den „Plate-Cladern“, die mit mehreren Schweißbrennern ausgestattet sind. Auch bei der großflächigen Aufschweißung muss sich ein feinverteiltes Reißnetz in der Hartauftragung bilden. Beim anschließenden Walzen der Schweißplatten wird die Hartauftragung nochmals „entspannt“. Mit einer Plasmaanlage werden die Stäbe auf Maß geschnitten sowie mit den Lochungen für die Befestigungen versehen.

Zusätzlich zum Seitenschutz (TFe15) erhält der Sickerstab auf der äußeren Stirnseite eine verschleißfestere Hartauftragung (TFe16). Damit wird die Lebensdauer mit geringem Aufwand nochmals erhöht und die Effizienz des Sickers für einen längeren Zyklus gewährleistet.

Durch die Vorfertigung in der Werkstatt und dem Einbau in einer Kombination aus verschrauben und schweißen, ist der Stabwechsel am Sicker in kurzer Zeit möglich.

In der Praxis kann mit relativ geringem Materialaufwand, optimiertem Schweißzusatz und lokal verbessertem Verschleißschutz eine bis zu 3-mal höhere Standzeit des Sickerkorbes erreicht werden.

## 5. Zusammenfassung

Mehr denn je werden Konzepte nachgefragt, die die Nachhaltigkeit der Anlagen in der Produktion verbessern. Dafür werden bestehende Technologien, Abläufe und Materialien in Frage gestellt oder zumindest einer Revision unterzogen, um neue Ansätze zu finden.

Auch die Schweißtechnik kann zur ergiebigeren Nutzung von Material, Energie und der Wiederverwertung von bestehenden Ressourcen ihren Beitrag leisten. Wenn bei der Fertigung von Neuteilen bereits eine Regenerierung einbezogen wird oder in die Regenerierung neue Erkenntnisse und Konzepte einfließen, besteht eine gute Chance erheblich nachhaltiger zu werden.

In Anwendungsbeispielen werden Anlagen bzw. Anlagenteile mit hohem Verschleiß durch die Nutzung zur Vermahlung von Rohstoffen betrachtet. Als Ausgangspunkt dient eine Verschleißanalyse des Bauteiles mit Feststellung von der Verschleißart und Anforderung. Darauf aufbauend erfolgt eine optimierte Auswahl der Hartlegierung oder von Legierungskombinationen. Durch eine Nutzung von neuen Wegen bei der schweißtechnischen Fertigung kann man nicht nur die Effizienz, sondern auch die Konsistenz steigern. Das Smart-Welding-Concept oder andere ganzheitliche Betrachtungen im Verschleißschutz zeigen, dass neben technischen Vorteilen auch ökonomische Kennzahlen für den Betreiber verbessert werden können.

## 6. Literatur

- [1] Nachhaltigkeitsstrategien beim BUND Baden-Württemberg, „Worauf Warten?“, [www.blog.bundjugend.de](http://www.blog.bundjugend.de), 2023.
- [2] DIN EN 14700:2023-02: Schweißzusätze - Schweißzusätze zum Hartauftragen, Deutsche Fassung EN 14700:2022.
- [3] Merkblatt DVS 0941-1: Fülldrahtelektroden für das Verbindungs- und Auftragschweißen (Grundlagen und Begriffsbestimmung).
- [4] Merkblatt DVS 0941-6: Fülldrahtelektroden ohne Schutzgas für das Metall-Lichtbogenschweißen zum Auftragschweißen.
- [5] Broschüre WA Cored Wires „Fülldrahtelektroden für die Hartauftragung“, 2018.
- [6] Rosert, R., Winkelmann, R., Hermann, J.: Fülldrahtelektroden -Stand des technischen Wissens-; 10. Fachtagung Verschleisschutz von Bauteilen durch Auftragschweißen, Halle 2014.
- [7] Tiamont, W.: Shock Resist Roller Press; Interner WA Report, 2013.
- [8] Choomung, Ph.: Hardfacing of Hydraulic Roller Press in Thailand; Internal WA Report, Lissabon, 2015.
- [9] Du Plessis, P.: Shock Resist Roller Press Roller - WA Standard Operating Procedure, 2017.
- [10] Broschüre „Passion for Grinding“, Gebr. Pfeiffer, Kaiserslautern.
- [11] Michel, A., Bouquin, B.: The Smart Welding Concept. Global Cement, 2017.
- [12] Bastien, G., „Fundamentals of Hardfacing by arc welding“, Handbuch der Welding Alloys Group.
- [13] Broschüre „WA Applications for Cement Plants“, Welding Alloys Group, 2016.
- [14] Broschüre „Classifier Equipment – Wear prevention“, Welding Alloys Group, 2016.

# TransSteel Pulse

Infinite applications to unleash  
your welding potential

70 % weniger  
Nacharbeit



Mehr Informationen zur TransSteel Pulse  
Geräteserie unter: [www.fronius.de/transsteel](http://www.fronius.de/transsteel)

## Ihr robuster Partner im Stahlbau

Die Puls Funktion bei der TransSteel 3000 C Pulse, 4000 Pulse und 5000 Pulse ermöglicht schnellere Schweißgeschwindigkeiten bei größeren Materialstärken. Durch den Puls-Lichtbogen verringert sich auch die Nacharbeit, da weniger Schweißspritzer entstehen.



# TransSteel 2200c Set



MIG/MAG



## Lieferumfang

- TransSteel 2200c\*
- Massekabel 25 mm<sup>2</sup> 4 m
- Erstausrüstungsset - Starter Kit
- MIG/MAG-Schweißbrenner:  
MTG 2500S/FSC/3,5 m/45°
- Tool Case 120
- Druckminderer

Set-Preis\* € 1.840,00

Vorteilspaket Nr. 4

# TransSteel 3000c Pulse Set



MIG/MAG



## Lieferumfang

- TransSteel 3000c Pulse\*
- Massekabel 35 mm<sup>2</sup> 5 m
- Erstausrüstungsset - Basic Kit
- Vorschubrollen U 0,9-1,0  
(4 Stk.)
- MIG/MAG-Schweißbrenner:  
MTG 320i/FSC/3,5 m/45°
- Druckminderer

Set-Preis\* € 3.650,00

Vorteilspaket Nr. 7.1



<https://warranty.fronius.com/de>

\* Unverbindliche Preisempfehlung. Nur in teilnehmenden Shops in Deutschland und auch bei MSS Magdeburger Schweißtechnik GmbH erhältlich.

Die Preise verstehen sich zzgl. MwSt. und Versandkosten. Gültig bis 30.06.2023.

## Autorenverzeichnis

**Dr.-Ing. Django Baunack**, Ingenieurbüro Dr.-Ing. D. Baunack, Gerstungen  
[d.baunack@outlook.de](mailto:d.baunack@outlook.de)

**M.Sc. Shahman Bayat**, SEH Engineering GmbH, Hannover  
[shahman.bayat@seh.eiffage.de](mailto:shahman.bayat@seh.eiffage.de)

**Andreas Behnke**, SEH Engineering GmbH, Hannover  
[andreas.behnke@seh.eiffage.de](mailto:andreas.behnke@seh.eiffage.de)

**B.Eng. Sebastian Derrix**, Welding Alloys Deutschland GmbH, Wachtendonk  
[sebastian.derrix@welding-alloys.com](mailto:sebastian.derrix@welding-alloys.com)

**Dr. Stephan Egerland**, Fronius International GmbH, Thalheim bei Wels, Austria  
[egerland.stephan@fronius.com](mailto:egerland.stephan@fronius.com)

**Alfred Hartinger**, Fronius International GmbH, Thalheim bei Wels, Austria  
[hartinger.alfred@fronius.com](mailto:hartinger.alfred@fronius.com)

**Patrick Hauser**, Fronius International GmbH, Thalheim bei Wels, Austria  
[hauser.patrick@fronius.com](mailto:hauser.patrick@fronius.com)

**Dipl.-Ing. Dirk Horstkott**, Stahlotec GmbH, Hagen  
[d.horstkott@stahlotec.de](mailto:d.horstkott@stahlotec.de)

**M.Sc. David Hüls**, ZEISS Industrial Quality Solutions, Neubeuern  
[david.huels@zeiss.com](mailto:david.huels@zeiss.com)

**Dr.-Ing. Alexander Liehr**, Universität Kassel, Kassel  
[liehr@uni-kassel.de](mailto:liehr@uni-kassel.de)

**Dipl.-Ing. Jochen W. Mußmann**, VAIS Verband für Anlagentechnik und IndustrieService e.V., Düsseldorf  
[j.mussmann@vais.de](mailto:j.mussmann@vais.de)

**Dr.rer.nat. Hans Mühlbauer**, Welding Alloys Deutschland GmbH, Wachtendonk  
[hans.muehlbauer@welding-alloys.com](mailto:hans.muehlbauer@welding-alloys.com)

**M.Eng. Martin Seidel**, SEH Engineering GmbH, Hannover  
[martin.seidel@seh.eiffage.de](mailto:martin.seidel@seh.eiffage.de)

**Martin Wiesinger**, Fronius International GmbH, Thalheim bei Wels, Austria  
[wiesinger.martin@fronius.com](mailto:wiesinger.martin@fronius.com)

# Posterbeiträge

# Herstellung von Aluminiumschaumstrukturen mittels Draht- und lichtbogenbasierter additiver Fertigung

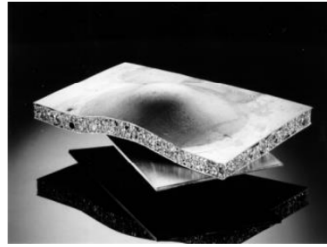
## Technische Problemstellung und Projektidee

### Aluminiumschäume

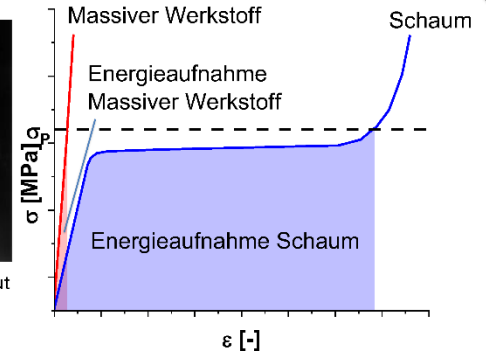
- hohes Energieaufnahmevermögen
- recyclebar
- gutes Masse-Steifigkeits-Verhältnis

→ Potenzial im Einsatz für **crashabsorbierende Strukturen** im Fahrzeugbau oder für Explosionsschutz

- **ABER: Formgebung beschränkt** auf einfache Blech oder Profilstrukturen
- **UND:** Schweißtechnische Verarbeitung schwierig



Quelle: J. Banhart / Fraunhofer Institut für angewandte Materialforschung (1998)



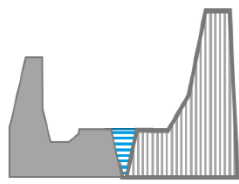
### Projektidee: Entwicklung einer additiven Herstellmethode für Aluminiumschaumstrukturen

- Verwendung eines additiven MIG Schweißprozesses (engl. **Wire and Arc Additive Manufacturing**)
  - Entwicklung einer geeigneten **Aluminium-Drahtelektrode**

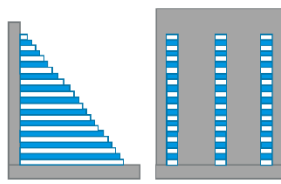
### Potenzielle Anwendungsbeispiele



Modifikation von Bauteilen mit Crashabsorbierender Struktur



Quasi-Artgleiches Verbindungsschweißen von Massiv- und Schaumbauteilen



Herstellung von Versteifungsstrukturen mit hohem Leichtbaupotenzial

### WAAM-Versuchsanlage (Wire & Arc Additive Manufacturing) CNC-Maschine mit MSG-CMT-Schweißbrenner

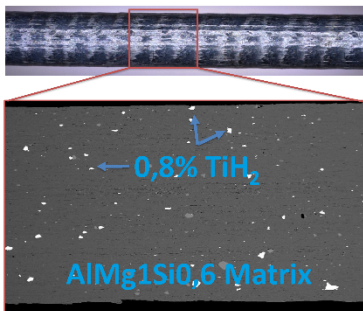


Additive Herstellung schaumartiger Blockstrukturen

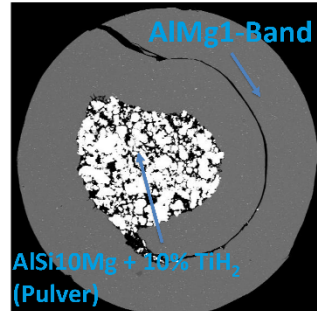
### Technologische Umsetzung

#### Verwendung 2er experimenteller Elektrodentypen

Al-Drahtelektrode D1,6 mm (Prozess: Kontinuierliches Pulverstrangpressen)

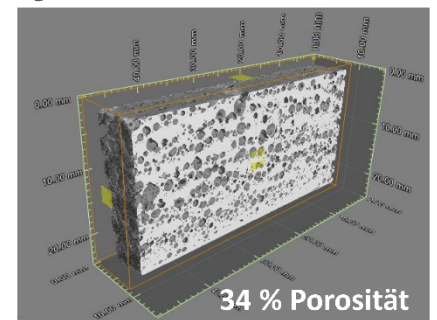


Al-Fülldrahtelektrode mit Treibmittelfüllung (D1,6 mm)



#### Strukturanalyse

Porosität : Computertomographie  
Energieaufnahme: Druckversuch



# Vereinfachte Prüfmethode zur Bewertung der Gefahr wasserstoffinduzierter Kaltrisse (HACC) beim Lichtbogenschweißen hochfester Stähle

## Ausgangssituation

- Hydrogen Assisted Cold Cracking (HACC) → Degradation mechanischer Eigenschaften des Werkstoffs
- verschiedene H-Quellen beim Schweißen (z.B. Feuchtigkeit in Zusatz- und Hilfsstoff, Kondenswasser)

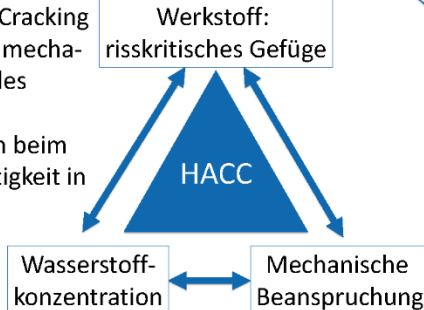


Bild 1: Einflussgrößen auf HACC

## Stand der Technik

- Bestimmung des Gehalts an  $H_{diff}$  im Schweißgut nach ISO 3690
- Prüfkörpersatz entspricht keiner realen Schweißung
- Prüfung der Kaltrissanfälligkeit erfolgt mit zusätzlichen Proben

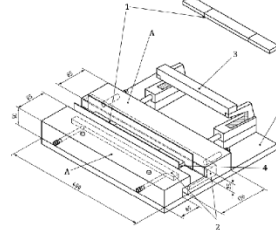


Bild 2: Probenstet und Vorrichtung für die  $H_{diff}$ -Bestimmung nach ISO 3690

## Ablaufplan

- Entwicklung einer Ersatzprobengeometrie
- Entwicklung einer Konstant-Last-Prüfvorrichtung
- Beeinflussung der HACC-Empfindlichkeit
- Nachweis der Schweißprozessunabhängigkeit (UP, MSG)
- Ermittlung der Gefährdungsdauer durch HACC
- Norm-Entwurf

## Versuchswerkstoffe

- Hochfeste Feinkornbaustähle: S690 QL, S960 QL (t = 10 mm und 20 mm) mit guter Schweißbeignung
- Massivdrahtelektroden
- ED-FK1 (S690) und ED-FK1000 (S960) mit Drahtdurchmesser 1,2 mm

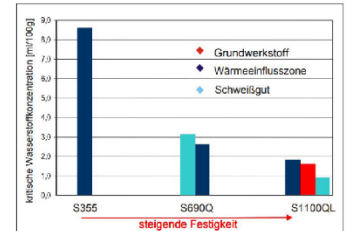


Bild 3: Kritische Wasserstoffgehalte bei steigender Festigkeit (Zimmer P. et al., IIW Doc II-A-141-04)

## Versuchsmethodik

Entwicklung einer Ersatzprobe für MSG und UP-Schweißen

- Ein- und Auslauf
- Analysesegmente
- Zugproben
- Einspannbacken

Die Ersatzprobe kann beliebig durch Segmente erweitert werden.

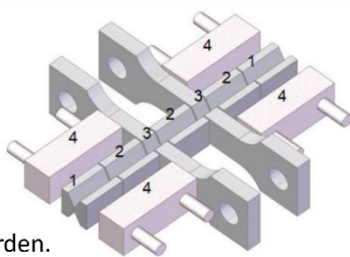


Bild 4: Ersatzprobengeometrie

Auswirkung  
Werkstoff, Technologie + externe  
Wasserstoffquellen

Messung des Gehaltes an  $H_{diff}$  mit  
Trägergas-Heißgasextraktion



Bild 5: Bruker Galileo G8 mit Massenspektrometer

Konstant-Last-Prüfung an Zugproben

- konstante Last über mind. 24 h
  - Detektion der Risse und Aufzeichnung des Risswachstums mittels Schallemissionsanalyse
- Lastabnahme über die Zeit sowie Beschreibung des Rissfortschritts möglich

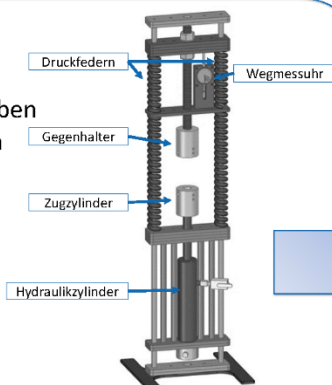


Bild 6: Konstant-Last-Vorrichtung

Bestimmung des Wasserstofftransportverhaltens in Grundwerkstoff, WEZ und Schweißgut  
→ Ermittlung der Diffusionsgeschwindigkeit und des resultierenden Diffusionskoeffizienten durch Permeationsmessungen

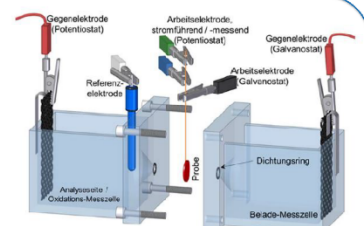
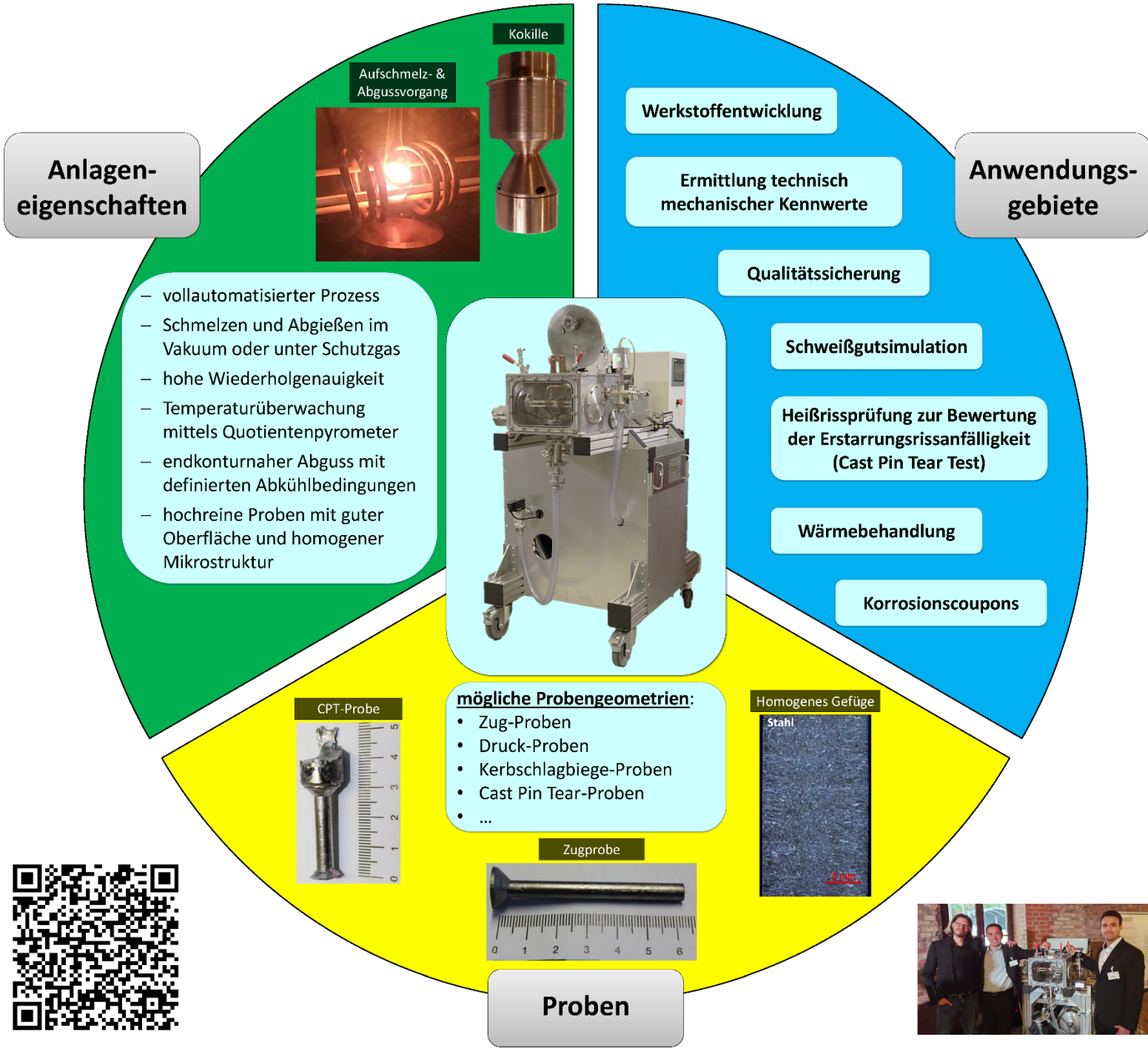


Bild 7: Permeationsmessung - Versuchsaufbau

## INDI-Melt - automatisierte Induktionsschmelz- und Gießanlage

Projekt: Erweiterung des Konstitutionsschaubildes für hoch Mn-haltige Stähle in Mischschweißverbindung durch Gefährdungsbereiche (FOSTA P 1413 B / AiF IGF 20.244 BR/1)

F. Urban, C. Judex, N. Kauss, M. Zinke, S. Jüttner



<b>Untersuchungsgegenstand</b>	vollautomatisierte Anlage zum induktiven Aufschmelzen und Abgießen von endkonturnahen Probengeometrien für die normgerechte Werkstoffprüfung unter Feinvakuum oder in Schutzgasatmosphäre
<b>Abgussprozesse</b>	Schwerkraftguss und Suction Casting
<b>Werkstoffe</b>	Stahl, Nickel, Aluminium, Kupfer, Titan, Cobalt usw.

Das IGF-Vorhaben IGF-20.244 BR/1 / FOSTA-P-1413 "Erweiterung des Konstitutionsschaubildes für hoch Mn-haltige Stähle in Mischschweißverbindung durch Gefährdungsbereiche" der FOSTA – Forschungsvereinigung Stahlanwendung e. V., Düsseldorf, wird über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Das Vorhaben wird am IWF der OvGU- Magdeburg durchgeführt.



Forschungsvereinigung  
Stahlanwendung e. V.



Gefördert durch:  
Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz  
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages



INSTITUT FÜR  
WERKSTOFF- &  
FÜGETECHNIK

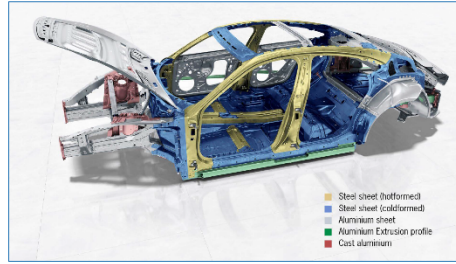
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg  
Institut für Werkstoff- und Fügetechnik  
Lehrstuhl Fügetechnik  
Universitätsplatz 2  
39106 Magdeburg

M.Sc. Florian Urban / florian.urban@ovgu.de  
M.Sc. Christian Judex / christian.judex@ovgu.de  
Dr.-Ing. Manuela Zinke / manuela.zinke@ovgu.de  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Sven Jüttner / sven.juttner@ovgu.de

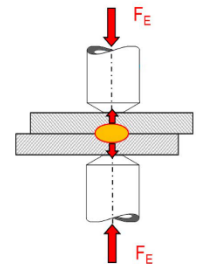
# Methodik zur Bewertung eines Widerstandspunktschweißprozesses auf Grundlage der Elektrodenbewegung

## Ausgangssituation

- Stetig steigende Herausforderungen für die Widerstandsschweißtechnik durch die Verwendung **neuer Materialien und Beschichtungen** und deren Kombination
- **Prozessparameter** müssen **gezielt** auf die jeweilige Fügeaufgabe **abgestimmt** werden
- **Mehrjährige Erfahrung** des Anwenders in der Prozessparametrierung **notwendig**, um die Wechselwirkungen der Einflussgrößen zu identifizieren und zu optimieren



Quelle: Dr.-Ing. h.c. F. Porsche AG, „Die Karosserie: intelligenter Materialmix für höchste Festigkeit“, (2019)

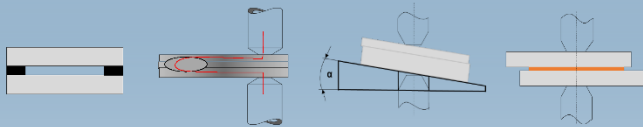


## Versuchswerkstoffe und Anlagenaufbau

### Automobilnahe Werkstoffkombinationen

- **Zweiblechverbindungen** aus:
  - HX340+Z150 ( $t_{1/2} = 1,5 \text{ mm}$ )
  - DP800+ZE100/100 ( $t_{1/2} = 1,5 \text{ mm}$ )
  - 22MnB5+AS150 ( $t_{1/2} = 1,5 \text{ mm}$ )
- **Dreiblechverbindung** aus:
  - DC06+ZE50/50 ( $t_3 = 0,75 \text{ mm}$ )
  - HX340+Z150 ( $t_2 = 1,5 \text{ mm}$ )
  - 22MnB5+AS150 ( $t_1 = 2,0 \text{ mm}$ )

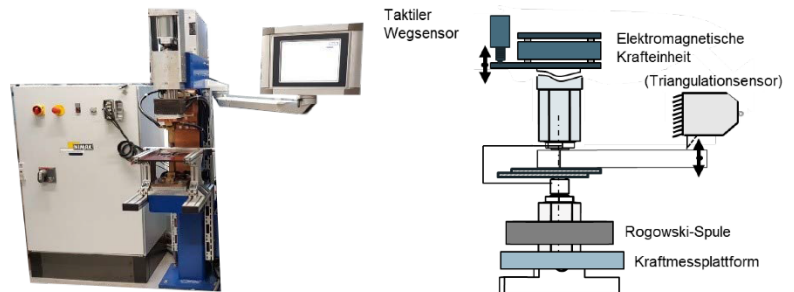
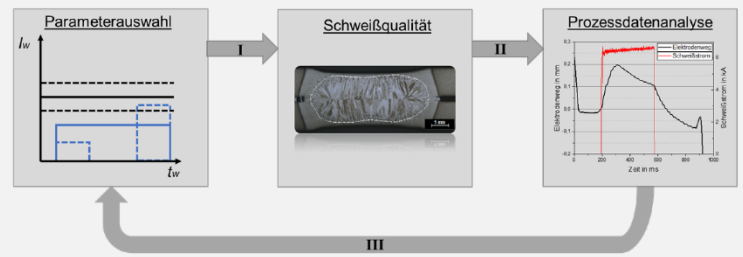
### Untersuchung von Störgrößen:



- Variation der **Elektrodenkraft und Kapengeometrie**

## Projektidee

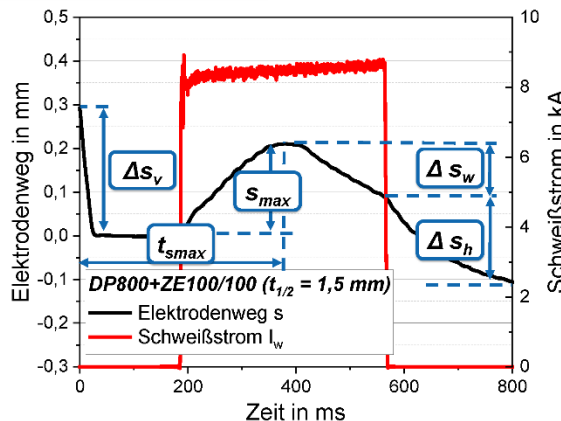
- **Identifikation von Prozesssignalen** zur Prozessanalyse
- **Prozessbewertung, Überwachung und Optimierung**  
→ Herleitung **optimaler Prozessparameter**



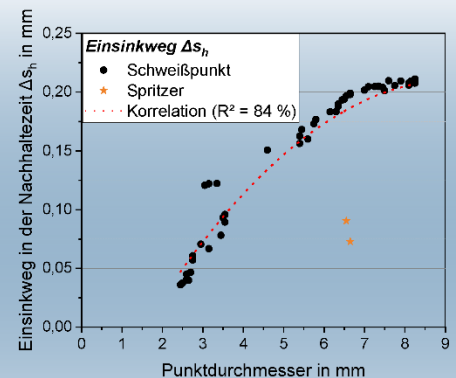
## Versuchsmethodik

Widerstands-Schweißprozess

- Elastische Deformation
- Thermische Expansion
- Beginn der Schmelz-Bildung
- Thermische Expansion
- Erweichung des Grundmaterials
- (Spritzerbildung)



### → Korrelation der Kenngrößen mit der Schweißqualität



- Vergleich mit **Stell- und Störgrößen**
- Untersuchung der **Übertragbarkeit**
- **Parameteroptimierung** an komplexer Anwendung



# Vorankündigung

Die nächste

## Schweißtechnische Fachtagung

findet statt am:

**16. Mai 2024**

im IGZ Innovations- und Gründerzentrum GmbH  
in der Steinfeldstraße 3  
in 39179 Barleben.

**Schweißtechnische  
Lehranstalt Magdeburg**  
Gemeinnützige GmbH



**DVS** VERBAND  
DVS BV-MAGDEBURG





[www.dvs-magdeburg.de](http://www.dvs-magdeburg.de)

**ISBN 978-3-948749-35-4**

**DOI 10.25673/101933**

**© 2023**