

**AG 1 – Vertiefung der Basis-Info**

Bernd Huber / Christoph Schaffer

**Ergebnisse der Arbeitsgruppe**

**Frage 1:**

Wo sind der Umfang, die Anforderungen sowie der Zeitpunkt der ZfP-Prüfungen beschrieben?

**Antwort:**

- 5817/10042: Anwendungsnorm oder Vertrag
- HP0 z. B. gibt Verfahren, Prüfklasse usw. vor.
- Nichtmehr nach AD2000 → ISO 13480-5, 13445-5, usw. 12952 detaillierter inkl. Unregelmäßigkeiten
- Wichtig: im Vertrag Regelwerk festlegen

**Frage 2:**

Wie ist die Auswahl der ZfP-Prüfverfahren für einzelne Anwendungen festzulegen?

**Antwort:**

- Geometrie, Dicken,
- UT, RT, welche Isotope, welche Bildqualität soll erreicht werden
- Was wird geprüft und welche Fehler werden gesucht?
- Anwendungsnorm macht gewisse Vorgaben zum Verfahren.
- 17635 macht Empfehlungen (Tabelle)
- Genauere Spezifizierung im Vertrag möglich.

**Frage 3:**

„Qualifiziertes“ oder „zertifiziertes“ Personal. Was ist erforderlich?

**Antwort:**

- Vom Anwendungsregelwerk abhängig
- Qualifizierung ist teilweise ausreichend (1090)
- DGRL und 15085 fordern Zertifizierung

**Frage 4:**

Wer darf die Funktion einer Prüfaufsicht übernehmen?

**Antwort:**

- Sollte in der Lage sein, die Verantwortung für die genaue Durchführung der jeweiligen Prüfungen zu übernehmen.
- Zertifikat nicht unbedingt notwendig
- Benennung notwendig mit Unterschrift zur Zustimmung der benannten Person

**AG 1 – Vertiefung der Basis-Info**

Bernd Huber / Christoph Schaffer

**Ergebnisse der Arbeitsgruppe**

**Frage 5:**

Wie sind ZfP-Prüfausrüstungen zu überwachen? Welche Herausforderungen gibt es?

**Antwort:**

- Diverse Vorgaben/Hilfestellung durch Normung:
  - Anwendung von Vergleichskörpern
  - MT, PT nach jeweiligen Normen
  - UT 12668
  - RT wichtig: Kontrolle der Filmentwicklung durch vorbelichtete Filme
- Herausforderung: Beschreibung und Festlegung der Durchführung
  - Wo ist fremdkalibrierung notwendig: Anwendung, vielleicht auch nur Ausbildung.

**Frage 6:**

Wo ist die Radiographie mit Filmen noch gefordert und wann ist sie sinnvoll?

**Antwort:**

- Gefordert: Kerntechnik,
- Sinnvoll: Baustelle wegen Anfälligkeit der Speicherfolie für Beschädigungen
- Vorteil digital: großformatige Aufnahmen in großer Stückzahl (Schattenaufnahmen), Arbeit mit unterschiedlichen Graustufen

**Frage 7:**

Ultraschall: Wo sehen Sie die Einsatzgrenzen von Phased Array oder TOFD gegenüber dem klassischen Verfahren (Impuls Echo)?

**Antwort:**

- Winkel, Tiefe einstellbar, viele Möglichkeiten die beherrscht werden müssen
- Qualität des Personals (Ausbildung und vor allem Erfahrung → Kann der Prüfer alle Möglichkeiten des Verfahrens ausnutzen)
- Prüfkopfgröße
- Kleine Fehler rächen sich hier stärker → Fehlbedienungswahrscheinlichkeit hoch

**AG 2 – Heißrisse in CrNi-Stählen – Ursachen und Umgang**

Martin Lohr / Kevin Specker

**Ergebnisse der Arbeitsgruppe**

Ca. 40 Teilnehmer aus dem Bereich Druckgeräte, Rohrleitungen und Lebensmittel sowie Zertifizierer, Schweißzusatzhersteller.

**Frage 1:**

Was sind Heißrisse und wie lassen sie sich von anderen Risserscheinungen abgrenzen?

**Antwort:**

- „Hot Cracks“ entstehen während der Erstarrung oder im hochtemperierten Bereich unmittelbar nach dem Schweißen (ca. 900–1400 °C, je nach Werkstoff).
- Ursache: niedrig schmelzende Phasen an Korn- / Dendritengrenzen.
- Auftreten: im Schweißgut (mittig zur Raupe)
- Abgrenzung: Wiederaufschmelzrisse (auch Heißrisse) können zusätzlich in der WEZ auftreten. Längenbereich: wenige 1/10 mm bis ca. 5 mm.
- Formen: Längsrisse oder sternförmige Risse

**Frage 2:**

Welche Faktoren begünstigen Heißrisse in Schweißverbindungen an CrNi-Stählen?

**Antwort:**

Allgemeine Heißrisseffaktoren

- Niedrig schmelzende Elemente, wie S, P, Si, stellen den wichtigsten Faktor da.
- Als nächst wichtigster Faktor wurde ein großer Wärmeeintrag bzw. eine große Schmelzbadgröße genannt. Bei größeren Schmelzbädern steigt der Anteil niedrig schmelzender Phasen und zugleich erhöhen sich die Schrumpfspannungen bei der Erstarrung.
- Hohe Schrumpf- und Eigenspannungen quer zur Naht begünstigen ebenfalls die Heißrisseigung. Eine gänzliche Vermeidung ist beim Schweißen nicht möglich, eine bedingt Beeinflussung durch vorher genannten Punkt sowie einer günstige Nahtform, ist jedoch möglich.

Werkstoffspezifisch CrNi-Stähle

- Zu niedrige Ferritanteile begünstigen das Heißrissewachstum. Laut Literaturangaben liegt der optimale Bereich bei 3–10 FN im Schweißgut. Aus Praxiserfahrungen wird einen Ferritgehalt von >2 FN als heißrisse sicher im Teilnehmerkreis genannt. Der Ferritanteil allein ist jedoch keine wirksame Kennzahl zur Charakterisierung der Heißrisseanfälligkeit. Dieser ist immer im Zusammenspiel mit Aufmischung und Prozessparametern zu betrachten.

**AG 2 – Heißrisse in CrNi-Stählen – Ursachen und Umgang**

Martin Lohr / Kevin Specker

**Ergebnisse der Arbeitsgruppe**

- Werkstoffabhängiges Erstarrungsverhalten:
  - o 1.4539 kritisch (voll austenitisch)
  - o 1.4541 unkritischer (mit  $\delta$ -Ferrit)
  - o Grundregel: je mehr Austenit, desto höhere die Heißrissneigung

**Prozessabhängige Faktoren**

- Verfahren *ohne* Schweißzusatzwerkstoffe sind kritischer zu bewerten, da keine Aufmischung des Schmelzbades stattfindet. Der Schweißzusatzwerkstoff wird für üblich nicht als Quelle für niedrig schmelzenden Phasen angesehen.
- Besonders beim UP-Schweißen werde hohe Streckenenergie ( $>1,5$  kJ/mm) erreicht. Ebenfalls kann die Pulverbasizität Risiko den Ferritanteil beeinflussen und damit das Risiko für Heißrisse erhöhen.
- Schweißpositionen beeinflussen Wärmeeinbringung und Erstarrungsbedingungen.
- Zusätzlich können Verunreinigungen aus vorgelagerten Fertigungsschritten, insbesondere Kühlschmiermittel, die Rissneigung erhöhen – deshalb sollte gründlich gereinigt oder die letzte Bearbeitung trocken ausgeführt werden.

**Frage 3:**

Haben Sie Erfahrungen mit Heißrissen an CrNi-Stählen und wann haben Sie diese festgestellt?

**Antwort:**

Aus dem Teilnehmerkreis werden unterschiedlichste Erfahrungen und Fallbeispiele genannt. Unter anderem wird mehrfach die Erfahrung geteilt, dass Heißrisse nicht mit Isotopenquellen, jedoch mit Röntgenröhre detektiert werden konnten.

Ein weiteres Fallbeispiel beschreibt das gelegentliche Auftreten (2-3 %) von visuell nicht sichtbaren Heißrissen in der Wurzellage am Werkstoff 1.4539. Bei der Farbeindringprüfung dieser ersten Lage ließen sich Heißrisse immer sicher feststellen. Jedoch kann mit dem Farbeindringverfahren eine Rissfreiheit nicht immer sichergestellt werden. Ein weiterer Teilnehmer berichtet über Anzeigen von Heißrissen durch Farbeindringprüfung, jedoch erst weit über den üblichen Einwirk- und Entwicklungszeiten hinaus.

Einige Hersteller berichten von Heißrissen, die erst zu einem spätem Zeitpunkt bei der zerstörenden Prüfung im Mikroschliff festgestellt werden konnten. Gleichzeitig waren vorhergehenden ZfP- und ZP-Ergebnisse erfüllt.

Werkstoffseitig zeigen bestimmte Kombinationen eine erhöhte Heißrissneigung, etwa 1.4404 beim Laserstrahlschweißen – vermutlich aufgrund steigender Schrottanteile. Daher empfiehlt sich eine Materialbestellung mit Zusatzanforderungen wie Hochreinheit oder der Angabe von Cu und Co als sogenannte „Recyclingindikatoren“. Gestützt wird diese These durch erfolgreiche Ergebnisse mit der Werkstoffalternative 1.4571 bei ansonsten gleichen Parametern. Die Verwendbarkeit von Alternativen muss mit weiteren Eigenschaften wie Oberflächenpolierbarkeit abgestimmt werden.

**AG 2 – Heißrisse in CrNi-Stählen – Ursachen und Umgang**

Martin Lohr / Kevin Specker

**Ergebnisse der Arbeitsgruppe**

Wiederaufschmelzrisse tauchten bei ER304H-Weldolets nach einer Wärmebehandlung auf, obwohl die ZP während der Fertigung unauffällig war. Eine geringere Streckenenergie schaffte in dem Falle Abhilfe.

Auch bei superaustenitischen Werkstoffen wie 1.4539 wurden Heißrisse beobachtet, die im genannten Fall mit der Zugabe von Ni-basierte Zusatzwerkstoffen vermieden werden konnten.

Zusätzlich können Verunreinigungen aus vorgelagerten Fertigungsschritten, insbesondere Kühlschmiermittel, die Rissneigung erhöhen – deshalb sollte gründlich gereinigt oder die letzte Bearbeitung trocken ausgeführt werden.

**Frage 4:**

Wie lassen sich Heißrisse zuverlässig durch ZfP detektieren?

**Antwort:**

VT:

- Sehr schwierig, eher nicht
- Nur mit extremer Vergrößerung (Mikroskop), was keine klassische Sichtprüfung darstellt

PT:

- Ja, wenn längere Einwirkzeit (Praxiserfahrung: zufällige Heißrissdetektion am nächsten Tag nachdem nicht abgereinigt wurde.)
- ja, wenn Mindestgröße und offen zur Oberfläche
- ansonsten schwierig

RT:

- Röhre zu empfehlen
- Isotopen nicht zu empfehlen, da Heißrisse i.d.R. trotz Einhaltung der Prüfkriterien nicht erkannt werden.

Das Thema Prüfumfang im Hinblick auf Erfassung von Heißrissen mittels ZfP-Verfahren wird in der Arbeitsgruppe stark diskutiert. Prüfumfänge von 10 bis 25 % werden als ausreichend angesehen, da Heißrisse in aller Regel global und nicht vereinzelt auftreten. Allerdings erscheint eine generelle Prüfumfangerweiterung nicht sinnvoll, da der Großteil der klassischen CrNi-Anwendungen nicht akut von Heißrissen betroffen ist.

**AG 2 – Heißrisse in CrNi-Stählen – Ursachen und Umgang**

Martin Lohr / Kevin Specker

**Ergebnisse der Arbeitsgruppe**

**Frage 5:**

Welche vorbeugenden Maßnahmen können Heißrisse bereits in der Konstruktion und Fertigung minimieren?

**Antwort:**

- Spannungen jeglicher Art im Bauteil (nicht durch Betrieb!) vermeiden oder minimieren: kurze Nähte, kleine Nahtvolumen, keine Ansammlung von Nähten
- Verunreinigungen minimieren → Materialauswahl, Oberflächensauberkeit
- Verfahrensprüfungen werden wegen fehlender Chargenabhängigkeit, Eigenspannungen und Streckenenergie als wenig repräsentativ für die Ermittlung der Heißrisseanfälligkeit bewertet. Arbeitsproben sind nur aussagekräftig, wenn alle Fertigungsfaktoren berücksichtigt werden.
- Auswahl SZW:
  - o SZW werden generell als sehr sauber bewertet.
  - o Mangan wirkt als entschwefelndes Element im SZW zur Vermeidung von Heißrissen, besonders beim Fügen von Vollausteniten empfohlen.
  - o Vorsicht bei Nickel-Basis-Zusätzen. Eine Aufmischung mit Ni <50 % im Schweißgut ist kritisch zu bewerten. Daher nur unter hoher Zugabe von SZW anwenden.
  - o Praxiserfahrung: Auswahl von basischen Elektroden bei Reparaturverfahren zeigte bessere Ergebnisse als mit WIG-Verfahren (Achtung Arbeitsschutz!).
- Bei der Personalqualifikation ist darauf zu achten, dass ein „FM5-Schweißer, der gewöhnlich 1.4404 o. ä. schweißt, nicht ohne zusätzliche Erfahrung /Praxis bei herausfordernden Werkstoffen, wie z. B. 1.4539, eingesetzt werden soll.

**Frage 6:**

Gibt es mögliche Rahmenbedingungen für die Akzeptanz von Heißrissen? Was sind die Akzeptanzkriterien?

**Antwort:**

- ISO 5817 keine Zulässigkeit von Rissen
- AD 2000 HP 2/1 Tafel 1, Schliffbeurteilung:

„Bei Mikroschliffen ist eine Untersuchung auf Risse durchzuführen. Dabei sind nur Heißrisse zulässig, und solche nur dann, wenn sie nach Anzahl und Lage nur als vereinzelte Heißrisse festgestellt werden und Einvernehmen mit der zuständigen unabhängigen Stelle über deren Zulässigkeit im Hinblick auf Werkstoff und Anwendungsbereich vorliegt.“

**AG 2 – Heißrisse in CrNi-Stählen – Ursachen und Umgang**

Martin Lohr / Kevin Specker

**Ergebnisse der Arbeitsgruppe**

- EN 13445-4 Abs. 9.4.7 Mikroschliff:  
„Vereinzelt auftretende Mikrorisse mit einer Länge  $\leq 1,5$  mm dürfen vorhanden sein, sollten jedoch vermerkt werden.“
- Diese Anmerkungen aus den Anwendungsregelwerken finden in der Praxis keine Anwendung, weil man fehlende Akzeptanz beim Kunden und Abnehmer befürchtet und keine quantitative Entscheidungsgrundlage vorliegt.
- Wenig bekannt sind die Auswirkungen von Heißrissen auf die mechanisch technologischen Eigenschaften, oder anders formuliert, ab welcher Anzahl haben Heißrisse Auswirkung auf die mechanisch technologischen Werte?
- Sehr wohl ist aus verschiedenen Erfahrungsberichten bekannt, dass bei Anwesenheit von Heißrissen die mechanisch technologischen Werkstoffeigenschaften der Schweißverbindung eingehalten werden können.
- Fazit: Es fehlen verbindliche Akzeptanzkriterien. Praxisnahe Ansätze wären wünschenswert und hilfreich, wie z. B. Heißrisse, die röntgentechnisch nachweisbar sind, gelten als nicht akzeptabel. Heißrisse, die nur mikroskopisch sichtbar sind, können akzeptiert werden, wenn alle mechanisch technologischen Werte erfüllt werden, ggf. bei erhöhtem Prüfaufwand und unter Berücksichtigung der Spannungsnutzung.

**AG 3 – EN 10204: Prüfbescheinigungen und die Rollen von Bestellern, Herstellern, Händlern und Abnahmebeauftragten**

David Kunze / Dirk Rosenfeld

**Ergebnisse der Arbeitsgruppe**

**Frage 1:**

Welche Erfahrungen haben Sie mit Nichtkonformitäten oder abgelehnten Prüfbescheinigungen gemacht – unabhängig davon, ob die Ablehnung durch externe Prüfstellen oder Kunden erfolgt ist?

**Antwort:**

Gewindeeinsätze vom Hersteller abgelehnt, weil Prüfbescheinigung von QM-Stelle ausgestellt und mit vielen Fehlern;

Inhaltlich passen Angaben mit Vorgaben nicht überein.

Teilweise Rückmeldung, dass Teilnehmer selbst ihr eigenes Zeugnis auf Echtheit überprüfen sollen.

3.2 Abnahmeprüfzeugnis wurde ohne Unterschrift der externen Instanz ausgestellt – Grund: System war schneller als externe Instanz.

Prüfbescheinigungen wurden ohne produktspezifische Normen ausgestellt.

Der Originalhersteller wurde auf PDF-Zeugnis abgedeckt.

Aufgrund von Anpassungen des Sollwerts entgegen der spezifizierten Norm.

**Frage 2:**

In welchem Umfang und mit welcher methodischen Tiefe prüfen Sie die eingehenden oder selbst ausgestellten Abnahmeprüfzeugnisse auf Vollständigkeit, Plausibilität und Richtigkeit?

**Antwort:**

Finden von Fälschungen sehr schwierig. Man kann sich kaum schützen.

Beispiel eines Teilnehmers für 3-stufiges Prüfkonzep:

- Übersichtsprüfung; Norm, Material etc.
- Standardprüfung; spezifisch Materialwerte
- Detailprüfung; Alle referenzierten Normen und den technischen spez. Normen
- Ausnahme: Standardlieferanten wo mehrfach bestellt teilweise ausgenommen

Prüfschärfe in Abhängigkeit der Kategorien der DGRL

**Frage 3:**

Auf welcher fachlichen oder normativen Grundlage legen Sie den Umfang der statistischen bzw. repräsentativen Daten fest, die der Erstellung Ihrer Werksbescheinigungen (Typ 2.2) zugrunde liegen?

**Antwort:**

Keine fixen Grundlagen für den Umfang der Daten bekannt.

**AG 3 – EN 10204: Prüfbescheinigungen und die Rollen von Bestellern, Herstellern, Händlern und Abnahmebeauftragten**

David Kunze / Dirk Rosenfeld

**Ergebnisse der Arbeitsgruppe**

**Frage 4:**

In welchen Fällen fordern Sie für Schweißzusätze sowohl die chem. Analyse als auch mechanisch technologische Prüfungen in Form eines Abnahmeprüfzeugnisses 3.1 an? (Hinweis: Unterteilung chemischer Prüfungen (3.1) und mechanisch technologische Prüfungen (2.2))

**Antwort:**

Auf einem Zeugnis zwei unterschiedliche Zeugnistypen. Lieferung z. B. nach Belgien nur ein reines 3.1 gefordert.

Abhängig von RCC-M (französisches Regelwerk); die machen Proben auf dem Schweißdraht bzw. Schweißgut.

Kundenanfrage definieren, was sie wollen. Kunden wissen aber meistens nicht, was sie wollen. Auch bei der Bestellung bei einem Händler muss man genau drauf aufpassen.

Expliziter Verweis, dass die Prüfbescheinigung von reiner Schweißgutprobe sein soll; muss der Kunde definieren.

Genanntes Beispiel für ein komplettes 3.1 Zeugnis: Band+Pulver-Kombination

*Frage wer diese Zeugnisse außerhalb vom Stahlbau benötigt?*

Keine Anwendung außerhalb des Stahlbaus bekannt

Zusatz: Immer mehr Anfragen nach 3.1 auch für die Schweißgase werden gefordert. Zum Beispiel im Bereich der KTA.

**Frage 5:**

Welche normativen und vertraglichen Anforderungen müssen erfüllt sein, damit ein Prüflabor oder eine Abnahmeorganisation unabhängig vom Hersteller ein Abnahmeprüfzeugnis 3.1 ausstellen kann?

**Antwort:**

Leitlinie DGRL verweist auf werkstoffspezif. QM-System.

*Reicht nur ein ISO 9001 Zertifizierung?*

- Lösung: ISO 9001 Zertifizierung + auditiertes werkstoffspezif. QM-System
- Anderer Weg Zertifizierung nach Anhang I Abschnitt 4.3

Kommentar zur Kundenbestellung – spezifische Prüfung gefordert, Kunde will Preis aber nicht für 3.1 zahlen. Lösungsansatz des Teilnehmers: Kunde Also kriegt 3.1 mit Vermerk ohne diese Prüfungen, sondern nur spez. Maßkontrolle

Hinweis auf die EN 764-5 Abschnitt 5 als Möglichkeit

**AG 3 – EN 10204: Prüfbescheinigungen und die Rollen von Bestellern, Herstellern, Händlern und Abnahmebeauftragten**

David Kunze / Dirk Rosenfeld

**Ergebnisse der Arbeitsgruppe**

**Frage 6:**

Welche Erfahrungen haben Sie mit digital übermittelten Prüfbescheinigungen gemacht, insbesondere in Bezug auf die Echtheit?

**Antwort:**

Mit dem Einzug digitaler Zeugnisse steigt die Möglichkeit der Manipulation.

Digitale Signaturen in der Industrie noch nicht weit verbreitet.

Erläuterung der Arten der digitalen Signatur gemäß der europäischen Signaturreichtlinie

- Qualifizierte Signatur: Software gestützt
- Fortgeschrittene Signatur: Hardware gestützt

Automobilindustrie: Daten werden papierlos direkt in deren System eingespielt und freigegeben.

**Frage 7:**

Wie gehen Sie mit folgender Aussage aus DIN EN 10204, Abschnitt 6, „Wenn Kopien hergestellt werden, ist es zulässig, die Angabe der ursprünglichen Liefermenge durch die aktuelle Teilmenge zu ersetzen.“ um?

**Antwort:**

Meistens sehr schlecht Erfahrungen → kein Verweis mehr auf welche Losmengen

Deckblatt mit Umstempelbescheinigung zum Zeugnis ausgestellt → Händler hat Umstempelberechtigung

**AG 3 – EN 10204: Prüfbescheinigungen und die Rollen von Bestellern, Herstellern, Händlern und Abnahmebeauftragten**

David Kunze / Dirk Rosenfeld

**Ergebnisse der Arbeitsgruppe**

**Erste zusätzlich Frage:**

***Wareneingangsprüfung: Wer im Haus überprüft die eintreffenden Prüfbescheinigungen, also die Blechplatten, noch einmal selbst? Ist es wirklich die bestellte Platte?***

Qualitätsstelle sollte dies prüfen / teilweise wird es nicht gemacht – teilweise von einem Kunden OES gefordert

Verwechslungsprüfung Ergebnisse: HIT prüft Eignungsprüfung regelmäßig geprüft, auch oft zu viel Schwefel festgestellt / ohne Zeugnis sporadisch/ Kraftanlagen Abhängig vom Gefährdungspotenzial-Anweisung geschrieben.

Die Überprüfung der eintreffenden Prüfbescheinigungen sowie der gelieferten Erzeugnisse sollte grundsätzlich durch die Qualitätsstelle erfolgen. Diese ist dafür verantwortlich sicherzustellen, dass das tatsächlich gelieferte Erzeugnis mit der bestellten und in der Dokumentation spezifizierten Werkstoffqualität übereinstimmt.

In der Praxis wird diese Kontrolle jedoch nicht immer konsequent durchgeführt. Teilweise findet sie nur aufgrund spezifischer Kundenanforderungen statt – insbesondere dann, wenn Kunden Optische Emissions Spektroskopie (OES) oder Röntgen Fluoreszenz Analyse (XRF oder PMI) eine lückenlose Verwechslungsprüfung verlangen.

Erfahrungen aus der Vergangenheit zeigen, dass bei einem Teilnehmer regelmäßig Eignungsprüfungen durchgeführt wurden. Dabei kam es mehrfach zu Auffälligkeiten, beispielsweise zu erhöhten Schwefelgehalten, die nicht den Spezifikationen entsprachen. In Fällen, in denen Materialien ohne Prüfzeugnis angeliefert wurden, erfolgten lediglich sporadische Kontrollen.

Intensität der Prüfung hängt teilweise vom jeweiligen Gefährdungspotenzial der Bauteile ab. Für risikorelevante Komponenten wurden hierzu entsprechende Arbeitsanweisungen erstellt, um eine einheitliche und nachvollziehbare Vorgehensweise sicherzustellen.

**AG 3 – EN 10204: Prüfbescheinigungen und die Rollen von Bestellern, Herstellern, Händlern und Abnahmebeauftragten**

David Kunze / Dirk Rosenfeld

**Ergebnisse der Arbeitsgruppe**

***Zweite zusätzliche Frage: Thema 3.2 Abnahmeprüfzeugnis – Problem: Das Abnahmeprüfzeugnis wird nicht vom Hersteller, sondern vom Labor ausgestellt.***

TÜV kann 3.2 Abnahmeprüfzeugnisse vor Ort ausstellen jedoch können Nacherprobungen durch Prüflabor nur bestätigt werden.

Nacherprobung nur durch Hersteller des Produkts durch ein akkreditiertes Labor (ISO 17025) beauftragt, Teilnehmer kriegt kein Laborbericht, sondern nur ein 3.2 Zeugnis. Da das Labor kein Werkstoffhersteller im Sinne der EN 10204 ist, sollte kein 3.2 Abnahmeprüfzeugnis ausgestellt werden.

Klarstellung: Ein Werkstoffhersteller stellt Zeugnis aus, notifizierte Stelle macht eine unabhängige Prüfung.

Frage von den Teilnehmern: Gibt's rechtliche Konsequenzen?

- Lösung: Prüflabor haftet nicht und Verantwortung liegt bei Hersteller

**AG 4 – Additive Manufacturing (AM) im Druckgerätebereich ist auf dem Vormarsch!  
Herausforderungen bei der Umsetzung**

Dr.-Ing. Kati Schatz / Sebastian Schmidt

**Ergebnisse der Arbeitsgruppe**

**Frage 1:**

Welche Chancen und Herausforderungen sehen Sie bei der Einführung additiver Fertigung für Druckgeräte im Vergleich zu konventionellen Verfahren?

**Antwort:**

Chancen:

- Ersatzteile / schnelle Verfügbarkeit
- Materialersparnis bei „besonderen Werkstoffen“
- LaserPowderbedFusion (LPBF): bei kleineren, komplizierten Bauteilen und kleiner Stückzahl
- gerichtete Energieeinbringung (DED): bei größeren, weniger komplizierten Bauteilen
- Funktionsintegration,
- Topologieoptimierung,
- Gewichtsreduzierung,
- Ausnutzung der Freiheitsgrade, die die additive Fertigung bietet (z. B. kein nachträgliches Biegen mehr nötig für Rohrformteile)

Herausforderungen:

- Zitat: „Als Teilehersteller habe ich zu viel Verantwortung und kann diese nicht einhalten... bei fertigem Produkt ist Prüfbarkeit unklar und die Anforderungen sind nicht bekannt“
- Richtungsabhängigkeit bei DED ist maßgeblich bei der Dimensionierung / auch nach Normalisierung
- Betriebsbewährung für AM-Produkte fehlen oft
- Daten / Regelwerk für zyklische Belastung fehlt:
  - o Momentan läuft hierzu ein DVS-Projekt: ErmüDED
  - o EN-Ebene -> für die europäische AM-Roadmap wurde „Ermüdung“ bereits als Normierungswunsch detailliert vorgestellt; Nachtrag: Synergien zu Eurocode oder AD 2000 Merkblatt könnten ggf. genutzt werden
- Betreiberwiderstände z. T. noch gegeben

**AG 4 – Additive Manufacturing (AM) im Druckgerätebereich ist auf dem Vormarsch!  
Herausforderungen bei der Umsetzung**

Dr.-Ing. Kati Schatz / Sebastian Schmidt

**Ergebnisse der Arbeitsgruppe**

**Frage 2:**

Welche Regelwerke und gesetzliche Vorgaben sind bei der additiven Fertigung zu berücksichtigen / notwendig?

**Antwort:**

- Entwurf DIN EN 13445 Teil 14 „Zusatzanforderungen für additiv gefertigte Druckgeräte und deren Bauteile“ ist verfügbar; Beachtung der EN 13445-Reihe, Harmonisierung wird gerade angestrebt
- Aufbau des Entwurfs EN 13445-14
  - Ein Hauptteil, der grundlegende Anforderungen vorgibt, die in den Anhängen detailliert werden; zwei verschiedene AM-Technologien (Laser-Pulverbett-Verfahren LPBF und gerichtete Energieeinbringung mit Lichtbogen DEDwirearc) und verschiedene Werkstoffe (LPBF: Stahl und Nickel, DED: Stahl und Aluminium)
  - Für Druckgeräte und deren Komponenten
- Zur Erfüllung Anhang 1 der DGRL 2014/68/EU sind die Horizontalnormen EN 764-4 und 764-5 von zentraler Bedeutung
- Prüfbescheinigungen sollen der DIN EN 10204 entsprechen
- Anforderungen an Bediener für LPBF-Maschinen ist mit der DIN EN ISO / ASTM 52942 normativ geregelt

**Frage 3:**

Wie kann die Qualität und Sicherheit additiv gefertigter Druckgeräte nachgewiesen und sichergestellt werden?

**Antwort:**

- Anwendung des Normentwurfes DIN EN 13445 Teil 14 für additiv gefertigte Druckgeräte und deren Bauteile
- Review-Prozesse für Einzelkomponenten
- Enddokumentation nach DIN EN 13445-14 und DGRL 2014/68/EU geregelt
- Spezifische Anforderungen werden im Teil 14 definiert, Akzeptanzkriterien für zerstörende Prüfung (ZP) und zerstörungsfreie Prüfung (ZfP) sind einzuhalten.
- PMA ist als Designdokument wichtig insbesondere für LPBF; die Werkstoffspezifikation ist ein zentraler Bestandteil des PMA; Werkstoffspezifikation beruht auf Statistik – wichtig wäre zu wissen „was muss hier im Detail beachtet werden“ Stichwort z. B.: (chargenunabhängige) Schweißbarkeit
- Nachtrag: Abgestimmter Inspektions- und Testplan (ITP) kann als zentrales Lenkungsdocument ein wertvolles Werkzeug sein.

**AG 4 – Additive Manufacturing (AM) im Druckgerätebereich ist auf dem Vormarsch!  
Herausforderungen bei der Umsetzung**

Dr.-Ing. Kati Schatz / Sebastian Schmidt

**Ergebnisse der Arbeitsgruppe**

**Frage 4:**

Welche Erfahrungen haben Sie bereits mit additiver Fertigung in sicherheitskritischen Anwendungen?

**Antwort:**

- Rundnähte zwischen AM (LPBF)- und konventionell (Schmiedeerzeugnis) hergestellten Bauteilen und AM- und AM-Bauteilen:
  - o Qualifizierung durch zwei Verfahrensprüfungen; Herausforderung: Chargenspezifische Qualifizierung
  - o Leitfaden für Verbindungsschweißen zwischen Bauteilen wäre gewünscht.

**Frage 5:**

Wie können Hersteller, Prüfstellen und Betreiber besser zusammenarbeiten, um additive Fertigung für Druckgeräte zu etablieren?

**Antwort:**

- Inspektions- und Prüfplan (ITP) wurde in diesem Zusammenhang erwähnt.
- Involvierung von Betreiber ist scheinbar noch nicht so im Fokus, sollte aber frühzeitig mit vorgesehen werden:
  - o Festlegung und Detaillierung Prüfmethoden
  - o Prüfzeiten (eventuell Prüfzeitenverlängerung möglich durch mehr vorherige Nachweise (Dokumentierte Qualität)
- Der Nullpunktmessung sollte ein hoher Stellenwert beigestellt werden (ZfP Prüfung vor Inverkehrbringung - da mögliche gewisse AM typische Anzeigen vorhanden / erlaubt; Stichwort: Rauigkeit & PT Prüfung)
- ZfP sollte für Betreiberprüfungen mehr detailliert werden, da z.T. andere Ausgangsbedingungen bei additiv gefertigtem Material als bei konventionell hergestelltem Material vorhanden, z. B. Farbeindringprüfung / Ergebnis & Fehlanzeigen sind von Rauigkeiten abhängig.
- Betreiber sollten die Erfahrungen / Betriebsbewährungsdaten möglichst teilen, um eine höhere Akzeptanz auf dem Markt für additive Druckgeräte zu gewährleisten.

**AG 5 – ZfP Prüfprotokolle**

Benedikt Lorsbach / Jochen Mußmann

**Ergebnisse der Arbeitsgruppe**

**Frage 1:**

Welche Angaben müssen Prüfprotokolle der ZfP von Schweißnähten enthalten?

**Antwort:**

Im Vorfeld ist abzuklären, welcher Protokolltyp? => ASNT oder DIN EN ISO

Angabe der Bewertungsklassen nach DIN EN ISO 5817

Welche Prüfnormen & welche Verfahren?

Dazu wurden folgende Merkmale genannt:

- Prüfklasse (Bildgütezahl, usw....)
- Prüfparameter (Strahlungsquelle, Beleuchtungsquelle, Beleuchtungsstärke, usw.....)
- Beurteilungsgrundlagen
- Prüfgegenstand, Auftragsnummer, Nahtnummer, Filmlageplan, Schweißverfahren,
- Aufnahmeanordnung, Bildnummer, Schweißernummer,
- Prüfer
- Ordnungsnummer der Anzeigen/ Fehler mit Lage
- Seriennummer vom Prüfgerät (bei MT, UT und AT)
- Chargennummer (PT/ MT) / Ablaufdatum ggf. gleiche Produktfamilie / Produkthersteller
- Datum und Ort der Prüfung
- Prüfzeitpunkt (Vor- oder nach Wärmebehandlung)
- Prüforgанизation / ZfP-Firma
- Signatur Level 3

Sonstiges: Hinweise zu Inhalten von Prüfprotokollen sind auch in den jeweiligen ZfP-Prüfnormen zu finden.

**Frage 2:**

Wer ist berechtigt, ein Prüfprotokoll zu unterschreiben? Welche Erfahrungen haben Sie?

Muss die Qualifikation des Prüfers im Prüfbericht aufgeführt werden?

**Antwort:**

Prüfer vom Level 2, oder 3 im verwendeten Verfahren

Ein Prüfer der Stufe 1 darf prüfen; ein Prüfer der Stufe 2 darf zudem Prüfungsergebnisse bewerten und auch Prüfaufsicht für Prüfer der Stufe 1 und 2 sein. (Siehe ggf. DIN EN ISO 9712)

Wer muss unterschreiben? Prüfer oder Prüfaufsicht, je nach der Anforderung der jeweiligen Prüfnorm.

Dazu gehört Name und Qualifikation des Prüfers im entsprechenden Verfahren.

Wer ist Prüfaufsicht, wenn der Hersteller einen ZfP-Dienstleister beauftragt? Aus Sicht der Teilnehmer, muss vom Hersteller eine Prüfaufsicht benannt werden (siehe AD 2000 HP4).

**AG 5 – ZfP Prüfprotokolle**

Benedikt Lorsbach / Jochen Mußmann

**Ergebnisse der Arbeitsgruppe**

Ggf. ist eine Liste der eingesetzten Prüfer der Prüforganisation mit Angabe des Prüfverfahrens und der Stufe, sowie Ablaufdatum/ Rezertifizierungsdatum hilfreich.

**Frage 3:**

Wie ist das Vorgehen, wenn die Prüfstelle mit dem im Protokoll ausgewiesenen Ergebnis nicht einverstanden ist?

**Antwort:**

Wird das Ergebnis einer Prüfung nicht akzeptiert, so macht die Prüfstelle auf dem ZfP-Protokoll einen Vermerk „nicht erfüllt“ durch Paraffe/Name & Stempel;

Im Zweifelsfall wird ein weiterer unabhängiger ZfP-Prüfer zur Klärung dazu genommen.

Finden einer gemeinsamen Beurteilung.

Der Hersteller sollte eine qualifizierte Prüfaufsicht haben oder benennen.

**Frage 4:**

Sind digitale Signaturen in Prüfprotokollen zulässig? Was ist eine rechtlich zulässige digitale Signatur?

**Antwort:**

Eine gescannte und ins Prüfprotokoll eingefügte Unterschrift ist nicht gültig (=einfache el. Signatur, EES)

Diese sollte nicht genommen werden! Sie wird aber meistens akzeptiert, solange kein Widerspruch da ist.

Eine weitere Lösung ist die fortgeschrittene el. Signatur, FES (z. B. Adobe & DocuSign)

Wenn diese Dokumente nun ausgedruckt werden, geht die digitale Signatur und damit deren Nachvollziehbarkeit verloren.

Falls das Dokument nach der Signatur mit der Stempelfunktion (PDF Adobe) gekennzeichnet wird, bleibt die Nachvollziehbarkeit erhalten.

Bzgl. digitaler Unterschriften gilt in der EU die EU-Idas-Verordnung

Eine weitere Quelle liefert die ZLS: (Copy-Paste aus Vortrag ZLS-06-04 Rev.2 auf S.22 im Tagungsband)

**AG 5 – ZfP Prüfprotokolle**

Benedikt Lorsbach / Jochen Mußmann

**Ergebnisse der Arbeitsgruppe**

**Frage 5:**

Müssen Prüfprotokolle in Papierform unterschrieben vorliegen und dort unterschrieben werden oder reicht auch ein unterschriebenes und dann eingescanntes Dokument?

**Antwort:**

Diese Frage ist aus heutiger Sicht der Teilnehmenden nicht beantwortbar, da die Zulässigkeit z. B. auch von einer untersuchenden Behörde im Falle des Schadens abhängt.

Welche Form akzeptiert wird, hängt auch von der vertraglichen Regelung mit dem Besteller ab.

**Frage 6:**

Wie gehen Sie mit der Formulierung „.....ist zwischen den Vertragspartnern zu vereinbaren“ in den ZfP-Normen um?

**Antwort:**

Formulierung in der RT-Norm: DIN EN ISO 17636-1:2022 Abschnitt 7.2, bekannt als sogenannte Erleichterung,

wenn bei einer Prüfklasse B auch ein Präparat genommen werden darf, bezogen auf optische Dichte (Schwärzung) und geometrische Unschärfe, siehe Tabelle 5: optische Dichte.

Leider werden diese Punkte selten im Vorfeld zwischen Auftragnehmer und Besteller besprochen und einvernehmlich geklärt!

**AG 1 – Unterpulverschweißen in der Additiven Fertigung; Potentiale und Anwendungen im Behälter- und Anlagenbau**

Stephan Braun / Rolf Paschold / Prof. Dr.-Ing. Anton Schmailzl

**Ergebnisse der Arbeitsgruppe**

**Frage 1:**

Verwenden Sie im Betrieb additiv hergestellte Bauteile? Welche sind das und mit welchen Verfahren werden diese hergestellt?

**Antwort:**

Drei Teilnehmer berichtet über Erfahrungen mit dem WAAM-Verfahren und dem PBF-LB/M-Verfahren. Hier wurden die Werkstoffe 316L mit PBF-LB/M und Aluminiumlegierungen im WAAM-Verfahren erfolgreich verarbeitet. Auch gedruckte Bauteile (PBF-LB/M) wurden bereits erfolgreich miteinander als auch mit konventionell gefertigten Bauteilen geschweißt. Ein Teilnehmer berichtet über große Herausforderungen bei dem Schweißen von Aluminium-Legierungen, welche mit dem PBF-LB/M-Verfahren hergestellt wurden. Auch in der zivilen Raumfahrt wird die additive Fertigung bereits erfolgreich eingesetzt, erwähnte ein Teilnehmer.

**Frage 2:**

Haben Sie bereits Bauteile additiv mittels Unterpulverschweißen in Ihrer Fertigung selbst hergestellt?

**Antwort:**

Bislang hat keiner der 22 Teilnehmer von einem Einsatz des Unterpulverschweißens für die additive Fertigung berichtet, obwohl diese Technologie bereits seit den 70er Jahren bekannt ist als „formgebendes Schweißen“.

**Frage 3:**

Welche Werkstoffe und Teile wären für die Herstellung mittels Submerged-Arc Additive Manufacturing (SAAM) am besten geeignet?

**Antwort:**

Unter den Teilnehmern wurde die Gruppe der warmfesten Stähle als kritisch in der Beschaffung beurteilt. Die additive Herstellung bestimmter Bauteile könnte hier Abhilfe schaffen. Diskutiert wurden die besonderen Werkstoffeigenschaften wie die Dauerfestigkeit und die Qualifizierung der mittels SAAM hergestellten Bauteile. Als Beispiel wurden Werkstoffe 10CrMo9-10 und P91 genannt. Ebenso wurden große Potenziale bei CrNi- und CrNiMo-Werkstoffen von den Teilnehmern gesehen. Zur Zertifizierung gibt es zwei Wege. Zum einen kann der Grundwerkstoff, vergleichbar zu Schmiede- oder Gussbauteilen, nachgebildet werden. Zum anderen kann mit herkömmlichen Schweißzusätzen und deren bekannten mechanisch-technologischen Eigenschaften des reinen Schweißguts gearbeitet werden.

Im Vordergrund stehen die Fehlerfreiheit und die Gütewerte des Bauteils. Die geometrischen Toleranzen sind bei der additiven Herstellung von Bauteilen für Druckgeräte eher von untergeordneter Bedeutung, merkte ein Teilnehmer an.

**AG 1 – Unterpulverschweißen in der Additiven Fertigung; Potentiale und Anwendungen im Behälter- und Anlagenbau**

Stephan Braun / Rolf Paschold / Prof. Dr.-Ing. Anton Schmailzl

**Ergebnisse der Arbeitsgruppe**

**Frage 4:**

Welche Motivation unterstützt die additive Fertigung von Teilen mittels UP-Prozess?

**Antwort:**

Folgende Aspekte wurden von den Teilnehmern als Motivation für den Einsatz der additiven Fertigung mittels Unterpulverschweißen genannt:

- endkonturnahe, ressourcenschonende Fertigung
- höhere Abschmelzleistung gegenüber anderen DED-Verfahren
- hohe metallurgische Qualität
- hohes Potenzial zur Erreichung eines vollautomatisierten Fertigungsprozesses

Des Weiteren merkte ein Teilnehmer an, dass komplizierte Geometrien wie Rohrstutzen-Einschweißungen durch den Einsatz mittels SAAM hergestellter Baugruppen wirtschaftlich und zeiteffizient darstellbar ist. Am Beispiel des T-Stücks wurde in der Diskussion deutlich, dass das SAAM-Verfahren für planare Bahngeometrien gut geeignet ist, aber für eine „Sattelgeometrie“ nur bedingt einsetzbar ist. Im Allgemeinen kann das UP-Schweißen nur bis maximal 10° Gefälle angewandt werden, da sonst ein Vorlauf von Schmelzbad und Schlacke droht.

**Frage 5:**

SAAM als Rekonstruktionsverfahren: Welche verschlissenen Bauteile lassen sich durch Rekonstruktion von Geometrie-Elementen reparieren?

**Antwort:**

Analog zum Einsatz des WAAM-Verfahrens für die Rekonstruktion von Bauteilgeometrie können sich die Teilnehmer auch den Einsatz des SAAM-Verfahrens als qualitativ und wirtschaftlich hochwertige Lösung vorstellen. Im Maschinenbau werden zum Beispiel Turbinenläufer mittels mehrlagiger UP-Auftragschweißung regeneriert.

**Frage 6:**

SAAM zur Ersatzteilmontage: Für welche Bauteile in ihrem Betrieb ist eine schnelle Ersatzteilmontage von Bedeutung?

**Antwort:**

Als besonders interessant für die Branche ist die Fertigung von geometrisch einfachen T-Stücken mit großen Durchmesserunterschieden. Dieses Thema ist insbesondere bei Reparaturen von chemischen und petrochemischen Anlagen sowie Kraftwerken von großer Bedeutung, da unter Umständen die Dauer des Stillstandes der Anlagen verkürzt werden kann. Aktuell können keine Dienstleistungsunternehmen mit der SAAM-Fertigung betraut werden, da Unternehmen mit entsprechender Herstellerzertifizierung und SAAM-Anlagentechnik fehlen.

## **54. Sondertagung "Schweißen im Anlagen- und Behälterbau" vom 10.03.-13.03.2026**

Donnerstag, 12.03.2026

### **AG 1 – Unterpulverschweißen in der Additiven Fertigung; Potentiale und Anwendungen im Behälter- und Anlagenbau**

Stephan Braun / Rolf Paschold / Prof. Dr.-Ing. Anton Schmailzl

#### **Ergebnisse der Arbeitsgruppe**

##### **Frage 7:**

SAAM für Unikate mit Sonderwerkstoffen: Gibt es in ihrem Betrieb Unikate mit Sonderwerkstoffen?

##### **Antwort:**

Von den Teilnehmern wurden häufig Nickelbasislegierungen als relevante Werkstoffe genannt, insbesondere Inconel 625, 718, 617 sowohl für maritime Anwendungen als auch im Gas- und Dampfturbinenbau.

##### **Frage 8:**

SAAM für Großbauteile: Gibt es in ihrem Betrieb Unikate mit aufwendiger Geometrie, welche sich durch den Einsatz von additiver Fertigung u. U. kostengünstiger fertigen lassen?

##### **Antwort:**

Von den Teilnehmenden wurden viele Rohrleitungsbauteile genannt, welche Abmessungen von mehreren Metern und Stückgewichte von mehreren Tonnen haben können. Insbesondere wurden exzentrische Reduzierungen aus warmfesten Stählen sowie T-Stücke mit Sondergeometrien genannt.

**AG 2 – Inprocess-Qualitätssicherung mittels verschiedenster Sensorik(-kombinationen) sowie Echtzeit-datenanalyse**

Dr.-Ing. Andreas Breitbarth / Karl-Heinz Gunzelmann / Sascha Julia Römhild

**Ergebnisse der Arbeitsgruppe**

**Frage 1:**

Welche (optische) Sensorik setzen Sie aktuell ein; wo stoßen Sie dabei an Grenzen durch Prozessstörungen oder die Umgebung?

**Antwort:**

**1. Aktuelles Technologiespektrum und Anwendungsbereiche**

In der gegenwärtigen Produktionsumgebung finden primär drei Ansätze Verwendung:

Visuelle Prozessbeobachtung: Häufig kommen einfache VIS-Kameras (Visible Light) zum Einsatz. Diese dienen jedoch meist der reinen Echtzeit-Beobachtung durch den Bediener, ohne dass eine digitale Aufzeichnung oder eine automatisierte Bildauswertung für die Qualitätssicherung erfolgt.

Profil- und Kantendetektion: Zur aktiven Nahtführung werden verstärkt Linienscanner (Triangulationssensoren) genutzt. Ergänzend dazu erfolgt die Detektion der Schweißkante in vielen Fällen noch konventionell über die Drahtführung bzw. taktile Ansätze.

Spezialisierte Messtechnik: Der Einsatz komplexer Sensorik zur Analyse des Schmelzbades oder der thermischen Dynamik ist bisher nahezu nicht ein-/umgesetzt.

**2. Physische und räumliche Restriktionen**

Eine der größten Barrieren für die Integration optischer Systeme ist der begrenzte Bauraum. Insbesondere beim Schweißen in Zwangshaltungen oder bei komplexen Bauteilgeometrien kollidiert der Platzbedarf für Kameragehäuse, Schutzgläser und Beleuchtungseinheiten mit der Zugänglichkeit der Schweißstelle. In diesen Szenarien führt die physische Größe der Sensorik oft dazu, dass eine prozessnahe Montage technisch nicht realisierbar ist, wodurch eine lückenlose Überwachung verhindert wird.

**3. Methodische Hürden und Parameterisierung**

Neben den mechanischen Grenzen besteht eine signifikante Herausforderung in der Auswahl und Konfiguration der geeigneten Hardware. Es herrscht oft Unklarheit darüber, welche spezifischeameratechnik (z. B. HDR-Sensoren (Sensoren mit erhöhtem Dynamikumfang), Bandpassfilterung) und welche optischen Parameter notwendig sind, um kritische Prozessbereiche wie das Schmelzbad trotz der extremen Lichtbogenstrahlung aussagekräftig visualisieren zu können. Die Komplexität der Bildverarbeitungsalgorithmen und die notwendige Abstimmung auf die jeweilige Schweißaufgabe erfordern eine technologische Expertise, die über das konventionelle Schweiß-Know-how hinausgeht.

**AG 2 – Inprocess-Qualitätssicherung mittels verschiedenster Sensorik(-kombinationen) sowie Echtzeit-datenanalyse**

Dr.-Ing. Andreas Breitbarth / Karl-Heinz Gunzelmann / Sascha Julia Römhild

**Ergebnisse der Arbeitsgruppe**

**Frage 2:**

Wo ist Echtzeitauswertung sowie Regelung notwendig und wo reicht rudimentäres Feedback oder nachgelagerte Datenanalyse?

**Antwort:**

In der aktuellen industriellen Praxis ist die prozessbegleitende Echtzeitauswertung noch nicht flächendeckend etabliert; die Qualitätssicherung stützt sich stattdessen maßgeblich auf die subjektive Erfahrung und die Interventionsfähigkeit des Schweißfachpersonals. Es besteht jedoch ein wachsender Bedarf an technologischen Lösungen, die eine frühzeitige Fehlererkennung und proaktive Fehlervermeidung ermöglichen, um die Abhängigkeit von individueller Expertise zu reduzieren und die Prozessstabilität zu objektivieren.

**1. Echtzeitauswertung: Prozessregelung und aktive Nachsteuerung**

Die Implementierung einer Echtzeit-Auswertung ist dort zwingend erforderlich, wo der Prozess unmittelbar auf variierende Umgebungsbedingungen (z. B. Temperatur, Verunreinigungen) oder Materialtoleranzen (z. B. Spaltmaß) reagieren muss. Das primäre Ziel ist hier die aktive Nachsteuerung, bei der Sensordaten direkt in den Regelkreis der Maschine zurückfließen.

Besonderes Augenmerk liegt dabei auf der Überwachung von Grenzzuständen: Durch das kontinuierliche Messen von Prozessparametern können Instabilitäten und Drifts bereits identifiziert werden, bevor sie zu manifesten Fehlern führen. Diese präventive Regelung sichert die Nahtqualität bereits während der Entstehung und minimiert den Bedarf an kostenintensiver Nacharbeit oder Ausschuss.

**2. Nachgelagerte Analyse: Dokumentation und Qualitätssicherung**

Im Gegensatz dazu dient die nachgelagerte Datenanalyse primär der langfristigen Qualitätssicherung und der Erfüllung von Dokumentationspflichten. Hierfür werden hochaufgelöste Datensätze verwendet, die eine detaillierte Rekonstruktion des Schweißvorgangs ermöglichen. Während für die Echtzeitregelung die Geschwindigkeit der Datenverarbeitung (mit verringerter Datentiefe) im Vordergrund steht, liegt der Fokus der Post-Process-Analyse (zu Dokumentations-/Nachweiszwecken) auf der Tiefe und Genauigkeit der Daten. Diese Form der Auswertung liefert den objektiven Nachweis für die Einhaltung aller Vorgaben und bildet die Basis für kontinuierliche Prozessoptimierungen sowie die statistische Prozesskontrolle (SPC).

**3. Synthese aus Erfahrung und Sensorik**

Der Übergang zur digitalisierten Schweißtechnik bedeutet nicht den Verzicht auf menschliche Erfahrung, sondern deren Ergänzung durch objektive Messsysteme. Die Vision einer autonomen Fertigung verlangt nach einem hybriden Ansatz: Sensoren übernehmen die Überwachung kritischer Parameter in Millisekundentakt (Echtzeit), während die umfassende Datenanalyse die Grundlage für strategische Entscheidungen und rechtssichere Nachweise schafft.

**AG 2 – Inprocess-Qualitätssicherung mittels verschiedenster Sensorik(-kombinationen) sowie Echtzeit-datenanalyse**

Dr.-Ing. Andreas Breitbarth / Karl-Heinz Gunzelmann / Sascha Julia Römhild

**Ergebnisse der Arbeitsgruppe**

**Frage 3:**

Welche messtechnischen Daten verlangen Ihre Kunden explizit als Qualitätsnachweis und wie stellen Sie diese (aktuell) bereit?

**Antwort:**

Markttrends und Herausforderungen bei der Bereitstellung von Qualitätsnachweisen

Die Anforderungen an die Dokumentation in der Schweißtechnik unterliegen einem signifikanten Wandel. War es in der Vergangenheit oft ausreichend, lediglich aufgetretene Anomalien zu dokumentieren, fordern Kunden – insbesondere im Bereich der Druckgeräte – zunehmend den lückenlosen Nachweis, dass der gesamte Prozess über die gesamte Dauer im „In Ordnung“-Bereich (iO) verlief. Es zeichnet sich der Trend ab, dass technische Machbarkeit unmittelbar zu einer Marktanforderung konvertiert: Alles, was messtechnisch erfassbar ist, wird über kurz oder lang als obligatorischer Qualitätsnachweis eingefordert. Bereits heute ist die Vorlage von Schweißanweisungen (WPS) oft die Grundvoraussetzung für eine Auftragsvergabe, was die Transparenzhürden für Hersteller massiv erhöht.

Das Paradoxon der erhöhten Sensorpräzision

Eine kritische Begleiterscheinung der verbesserten Sensorik ist die Verschärfung von Fehlergrenzen. Durch die höhere Detektionsrate werden zunehmend Kleinstfehler (z. B. geringfügige Poren) sichtbar, die früher unentdeckt blieben, die Funktion der Bauteile jedoch über Jahrzehnte nicht beeinträchtigten. Dies führt zu einer problematischen Dynamik, in der Fehlertoleranzen enger gesetzt werden, als es die Bauteilsicherheit technisch erfordern würde, was wiederum die Ausschussraten künstlich erhöht und die Wirtschaftlichkeit belastet.

Strategien zum Datenschutz und zur Datensouveränität

Parallel zum Ruf nach Transparenz wächst die Sorge vor dem Verlust geschäftskritischen Know-hows. Die Offenlegung detaillierter Prozessparameter birgt das Risiko, einen „Digitalen Zwilling“ des Verfahrens zu schaffen, der die Reproduktion exklusiver Fertigungsprozesse durch Wettbewerber – etwa im internationalen Umfeld – ermöglicht. Unternehmen agieren daher zunehmend restriktiv und versuchen, den Informationsfluss auf das absolut Notwendige zu begrenzen. Es entsteht eine strategische Debatte darüber, ob ein vollständiger Datensatz oder lediglich die Dokumentation von Spitzenwerten (Peaks) und Anomalien übergeben werden muss. Ziel ist eine Strategie, bei der der volle Datensatz bis zur Endabnahme intern vorgehalten wird, während für die Langzeitdokumentation eine reduzierte, aber unverfälschbare Datenmenge (analog zur Röntgentechnologie in der Medizin) genügt.

Marktmacht und Verhandlungsposition

Letztlich ist die Tiefe der offenzulegenden Daten oft eine Frage der Marktposition. Hersteller mit exklusiven Alleinstellungsmerkmalen und hoher technologischer Differenzierung können die Bedingungen der Datenausgabe weitgehend diktieren. Bei austauschbaren Standardprodukten hingegen zwingt der Wettbewerbsdruck die Unternehmen häufig dazu, tiefgreifende Einblicke in ihre Verfahrensweisen und Schweißanweisungen zu gewähren, um im Bieterprozess nicht benachteiligt zu werden. Der Schutz der eigenen „Dateninseln“ wird somit zu einer zentralen Managementaufgabe im Zeitalter der Industrie 4.0.

**AG 2 – Inprocess-Qualitätssicherung mittels verschiedenster Sensorik(-kombinationen) sowie Echtzeit-datenanalyse**

Dr.-Ing. Andreas Breitbarth / Karl-Heinz Gunzelmann / Sascha Julia Römhild

**Ergebnisse der Arbeitsgruppe**

Die Dokumentationspflicht entwickelt sich von der ereignisbasierten Fehlerliste hin zum kontinuierlichen Prozessbeweis. Die Herausforderung für Hersteller besteht darin, rechtssichere und manipulationsgeschützte Nachweise zu liefern, ohne dabei die eigene Prozesshoheit und Wettbewerbsfähigkeit durch eine zu weitgehende Datenoffenlegung zu gefährden.

**Frage 4:**

Welche Qualitätsmängel treten bei Ihnen am häufigsten auf und warum werden diese mit Ihren aktuellen Methoden nicht früh genug erkannt?

**Antwort:**

**1. Multidimensionale Datenerfassung (Soll-Ist-Abgleich)**

Eine umfassende Qualitätssicherung erfordert die Erfassung verschiedenster Datensätze, die über die reine Prozessüberwachung hinausgehen:

- Geometrische Präzision: Detektion von Anomalien in der Nahtgeometrie sowie die Verfolgung des Nahtverlaufs (Seam Tracking).
- Physikalische Parameter: Kontinuierliches Monitoring von Strom, Spannung und Vorschubgeschwindigkeit zur Validierung der prozesstechnischen Stabilität.
- Innere Güte: Bestimmung der Einbrandtiefe und des Spaltüberbrückungsverhaltens, um strukturelle Integrität sicherzustellen.
- Metadaten-Verknüpfung: Korrelation von aktuellen Positionsdaten mit nachgelagerten Prüfergebnissen zur lückenlosen Rückverfolgbarkeit.
- Mögliche Qualitätsprobleme bei Schweißnaht: Bauteiltoleranz, Spalt, Kantenversatz, Endkrater

**2. Die ökonomische Diskrepanz (ROI-Hürde)**

Ein zentrales Hindernis für den flächendeckenden Einsatz hochpräziser QS-Methoden (Methoden der Qualitätssicherung) ist das wirtschaftliche Ungleichgewicht:

- Investitionskosten: Professionelle Sensorik-Systeme sind in der Anschaffung oft kapitalintensiver als die eigentliche Schweißquelle.
- Skalierungsproblematik: Während sich diese Systeme in der Großserienfertigung (Automotive) schnell amortisieren, fehlen für Einzelstück- und Kleinserienfertiger wirtschaftlich attraktive Einstiegs-lösungen.
- Marktdynamik: Zwar sinken die Preise für Hardwarekomponenten (Laser, Kameras) kontinuierlich, doch die hohen Initialkosten für Prototyping und Systemintegration schrecken Kunden ab, deren Erwartungshaltung oft deutlich unter den realen Marktpreisen liegt.

**AG 2 – Inprocess-Qualitätssicherung mittels verschiedenster Sensorik(-kombinationen) sowie Echtzeit-datenanalyse**

Dr.-Ing. Andreas Breitbarth / Karl-Heinz Gunzelmann / Sascha Julia Römhild

**Ergebnisse der Arbeitsgruppe**

**3. Technologische Limitationen und mangelnde Flexibilität**

Die Fehlerfrüherkennung scheitert häufig an der mangelnden Anpassungsfähigkeit der Systeme auf wechselnde Bedingungen:

- Prozessumgebung: Physikalische Effekte, wie die massive Blendwirkung des Lichtbogens, erschweren die optische Analyse des Schmelzbades mit Hilfe der bisher zumeist genutzten VIS-Kameras massiv.
- Mangelnde Standardisierung: Die Landschaft ist geprägt von proprietären Insellösungen der Maschinenhersteller. Das Fehlen einheitlicher Schnittstellen verhindert eine flexible, herstellerübergreifende Qualitätsstrategie.
- Algorithmische Starrheit: Viele Lösungen sind hochgradig auf spezifische Fehlerbilder optimiert. Bei einem Wechsel des Werkstücks oder der Anwendung müssen Algorithmen oft manuell und zeitaufwendig neu adaptiert werden.

**4. Systemische Defizite bei geringem Automatisierungsgrad**

Sensorik-Lösungen sind historisch für hochautomatisierte Prozesse konzipiert. In Fertigungsumgebungen, die nicht zu 100 % automatisiert sind, stoßen diese Systeme an ihre Grenzen:

- Es mangelt an universellen Sensorik-Konzepten, die flexibel auf unterschiedliche Bauteile reagieren können, ohne dass jedes Mal tiefgreifendes Expertenwissen für die Umprogrammierung nötig ist.
- Die Abhängigkeit von externer Kompetenz bei der Systemanpassung führt dazu, dass Fehler in agilen Produktionsumgebungen oft erst nachgelagert erkannt werden, statt sie proaktiv zu verhindern.

**Frage 5:**

Wo stoßen Ihre Mitarbeitenden beim Einarbeiten oder im Umgang mit Sensorik auf Herausforderungen?

**Antwort:**

**1. Komplexitätsmanagement und Integration (Plug-and-Play)**

Die zentrale Anforderung der Anwender liegt in einer radikalen Reduktion der Komplexität. Idealerweise sollte die Sensorik nach dem Plug-and-Play-Prinzip operieren. Ziel ist eine Benutzeroberfläche, die dem Leitsatz „so viel Bedienung wie nötig, so wenig wie möglich“ folgt. Die technische Komplexität der Algorithmen und der Signalverarbeitung muss als Kernaufgabe beim Hersteller (der Sensorik) verbleiben, um die Implementierungshürden auf Kundenseite zu minimieren.

**2. Flexibilität durch hybride Betriebsmodi**

Trotz des Wunsches nach Automatisierung ist die Möglichkeit zur manuellen Intervention essenziell. Gefordert wird ein hybrides System, das einen effizienten Automatikmodus mit der Option zur individuellen Feinjustierung (Expertenmodus) kombiniert. Insbesondere die Konfiguration der Startparameter ist kritisch, um das System präzise auf unterschiedliche Einsatzszenarien und Umgebungsbedingungen abstimmen zu können.

**AG 2 – Inprocess-Qualitätssicherung mittels verschiedenster Sensorik(-kombinationen) sowie Echtzeit-datenanalyse**

Dr.-Ing. Andreas Breitbarth / Karl-Heinz Gunzelmann / Sascha Julia Römhild

**Ergebnisse der Arbeitsgruppe**

**3. Servicequalität und operative Verfügbarkeit**

Ein signifikanter Engpass besteht in der unzureichenden Service-Infrastruktur vieler Hersteller. Lange Reaktionszeiten bei Störungen sind im industriellen Umfeld nicht tragbar, da Systemausfälle von bis zu zwei Wochen ein unkalkulierbares wirtschaftliches Risiko darstellen. Eine hohe Verfügbarkeit des technischen Supports und kurze Instandsetzungszyklen sind daher zwingende Voraussetzungen für die Prozessstabilität.

**4. Diskrepanz zwischen Zeitressourcen und Wissensaufbau**

In der Belegschaft herrscht zwar keine generelle Ablehnung gegenüber neuen Technologien, jedoch mangelt es massiv an der Ressource Zeit, um sich tiefgehend mit komplexen Sensorik-Konzepten und Algorithmen auseinanderzusetzen. Bestehende Hemmschwellen resultieren oft aus einer mangelnden fachlichen Expertise im Umgang mit High-End-Technologien.

**5. Informationsqualität und externe Kompetenz**

Die aktuelle Informationspolitik der Hersteller wird als unzureichend empfunden. Oftmals dominieren Marketingaussagen („Best-in-Class“) gegenüber fundierten, technischen Dokumentationen für die breite Masse der Anwender. Aufgrund des Fehlens interner Kapazitäten zur tiefgreifenden Einarbeitung wächst der Bedarf an externer Kompetenz und objektiv aufbereiteten Informationen, um eine effiziente Technologieadaption zu gewährleisten.

**AG 3 – Inprocess-Qualitätssicherung mittels verschiedenster Sensorik(-kombinationen) sowie Echtzeit-datenanalyse**

Elmar Floer / Stephan Loibl

**Ergebnisse der Arbeitsgruppe**

**Frage 1:**

Welche Anforderungen an den Schweißzusatz beim Einsatz nach DIN EN 13445 / AD 2000 / DIN EN 1090 sind gefordert? Wie erbringen Sie den oder die Nachweise?

**Antwort:**

EN 1090:

Dokumentation zur Rückverfolgbarkeit/Identifizierbarkeit:

- EN 1090-2: min. Werkszeugnis 2.2 gemäß EN 10204
- EN 1090-3: min. Werkszeugnis 2.2 gemäß EN 10204 für EXC2 und höher Abnahmeprüfzeugnis 3.1

Anwendungsnachweis:

CE-Kennzeichen + Produktklassifizierung nach EN ISO ...

AD 2000-Merkblatt W 0, Abschnitt 4:

Dokumentation zur Rückverfolgbarkeit/Identifizierbarkeit:

- min. Werkszeugnis 2.2 gemäß EN 10204 (Siehe AD 2000-Merkblatt W 0, Abschnitt 4.3)

Anwendungsnachweis:

- Eignungsnachweis der zuständigen unabhängigen Stelle (TÜV-Verband Kennblatt nach VdTÜV 1153)

EN 13445-4:2021+A1:2023:

Dokumentation zur Rückverfolgbarkeit/Identifizierbarkeit:

- min. Werkszeugnis 2.2 gemäß EN 10204 (Siehe Leitlinie G-10)

Anwendungsnachweis:

- Einige Hersteller berichten, dass der Fokus hierauf noch nicht
- EN 13445-2:2021 verweist derzeit noch auf die EN 13479:2004, welche wiederum dokumentierte Grundeignungsfeststellung nach EN 14532-1/2/3 mit resultierendem Geltungsbereich fordert. Dies erweist sich als oft als schwierig, berichten die Hersteller, da die Konsequenz aus dem datierten Verweis nicht wahrgenommen wird.

Ein Hersteller berichtet, dass generell TÜV-Verband Kennblätter gefordert werden, um den Nachweis nach EN 14532 zu erbringen.

**AG 3 – Inprocess-Qualitätssicherung mittels verschiedenster Sensorik(-kombinationen) sowie Echtzeit-datenanalyse**

Elmar Floer / Stephan Loibl

**Ergebnisse der Arbeitsgruppe**

**Frage 2+3:**

Welche Möglichkeiten gibt es, wenn ein entsprechender Nachweis über den Schweißzusatz nicht oder nicht vollständig vorliegt?

**Antwort:**

EN 1090:

- Keine Alternative, CE ist erforderlich + Leistungserklärung (DOP).

AD 2000:

- Durch Verfahrensprüfungen nach AD 2000-Merkblatt HP 2/1, Abschnitt 3.1.1 können Schweißzusätze, die nicht komplett durch ein TÜV-Verband Kennblatt abgedeckt ist oder gar kein Kennblatt existiert nachgewiesen werden. Es erfolgt dann eine Chargeneingrenzung und ggf. ein Zugversuch am reinen Schweißgut. Das AD 2000-MB HP 2/1 gibt nun auch eine Lösung bei Mischverbindungen, bei der nur ein Werkstoff im TÜV-Verband Kennblatt abgedeckt ist an die Hand, sofern diese Werkstoffkombination im Vereinbarung V-DK-010:2018-01 abgebildet ist (ohne Chargeneingrenzung).
- Es besteht die Möglichkeit der Erweiterung des TÜV-Verband Kennblatt-Geltungsbereichs durch eine Verfahrensprüfung nach AD 2000-MB HP 2/1 zu erweitern. Die Verfahrensprüfung wird beim Druckgerätehersteller durchgeführt, sollte aber in Abstimmung mit der zuständigen unabhängigen Stelle und dem Schweißzusatzhersteller im Vorfeld abgestimmt sein.

EN 13445-4:2021+A1:2023:

- Ein Hersteller berichtet: Der Nachweis wird im Einzelfall geführt - wie im AD 2000-MB HP2/1-. Generell findet dieses Vorgehen Akzeptanz bei den Kunden. Bei diesem Vorgehen weist der Verarbeiter die Produktanforderung chargenbezogen nach.

**AG 3 – Inprocess-Qualitätssicherung mittels verschiedenster Sensorik(-kombinationen) sowie Echtzeit-datenanalyse**

Elmar Floer / Stephan Loibl

**Ergebnisse der Arbeitsgruppe**

**Frage 4:**

Gemäß DIN EN ISO 15614-1 ist der Geltungsbereich im Schweißzusatz u. a. auf „vergleichbare mechanische Eigenschaften“ reduziert.

Was bedeutet das, wenn bei einer CE-Kennzeichnung die einzig erklärte Leistung die chemische Analyse ist?

**Antwort:**

Nach EN 13479:2017 erklärt der Hersteller die Leistung einzig und allein an der chemischen Analyse. Jedoch wird auch jeder Schweißzusatz vom Hersteller eine Klassifizierung des Schweißzusatzes durchgeführt, welche nach der entsprechenden Produktnorm EN ISO ... mechanisch technologische Werte am RSG erzeugt. Ggf. kann dies genutzt werden. Jedoch bezieht sich das einzig und allein auf das reine Schweißgut. Eine Bewertung von verwendeten Grundwerkstoffe wird hier völlig unterschlagen.

Folgende Punkte wurden noch diskutiert:

1. Ein Ansatz ist die Normenbezeichnung bzw. die Einstufung des Schweißzusatzes. Bei ferritischen Schweißzusätzen sind diese bereits in der Klassifikation enthalten, bei beispielsweise nichtrostenden Stählen ist es informativ in der Klassifizierungsnorm festgelegt.
2. Es wurde diskutiert, ob eine Verfahrensprüfung geschweißt mit 316L auch einen Schweißzusatz 316LSi abdeckt: Formal ist dies nicht möglich, da es da die chemische Zusammensetzung Abweichungen hat und es somit eine andere Klassifizierung ist. Für die Revision der EN ISO 15614-1 ist ein entsprechender Antrag für die Erweiterung des Geltungsbereichs in Planung.
3. „Z-Einstufungen“ sind nicht austauschbar.

**Frage 5:**

Abnahmeprüfzeugnis / Werkzeugeugnis nach DIN EN 10204 mit

3.1 Bescheinigung für chemische Analyse + 2.2 für mechanisch-technologische Prüfungen. Gelebte Praxis, ist das jedoch wirklich möglich?

**Antwort:**

Grundsätzlich spricht nichts dagegen, diese zwei Prüfen von Prüfbescheinigungen auf einem „Blatt Papier“ aufzuführen. Es muss jedoch klar ersichtlich sein, was 3.1 und was 2.2 ist und die Spezifikation/Anforderungen müssen klar erfüllt werden. Es findet Anwendung und Akzeptanz im Markt.

**AG 3 – Inprocess-Qualitätssicherung mittels verschiedenster Sensorik(-kombinationen) sowie Echtzeit-datenanalyse**

Elmar Floer / Stephan Loibl

**Ergebnisse der Arbeitsgruppe**

**Frage 6:**

Müssen für Schutzgase und Schweißpulver Zeugnisse nach DIN EN 10204 ausgestellt werden?

**Antwort:**

Üblicherweise wird ein Pulver in Kombination mit dem Draht erprobt und bescheinigt. Dies ist in der Regel unabhängig von der Leistungserklärung der chemischen Analyse des Pulvers.

Für Gase ist ein Abnahmeprüfzeugnis/Werkszeugnis nach EN 10204 erstmal nicht vorgesehen, lässt jedoch die Anwendung für nichtmetallische Erzeugnisse zu. Auch die EN 13479:2017 ist explizit nicht für Schutzgase (Abschnitt 1) anwendbar.

Erkenntnisquelle: Für Schutzgase gibt es ein Zertifikat nach EN ISO 6141 für die Gasanalyse.

**Frage 7:**

EN ISO 15610 beschreibt den Einsatz von geprüften Schweißzusätzen. Was bedeutet dies nach dem das einzige Leistungsmerkmal nach EN 13479:2017 die chemische Analyse ist, welche durch die Typprüfung bestimmt wird?

Auch die Produktnormen basieren i. d. R. nur Prüfungen des reinen Schweißguts.

**Antwort:**

Die Vorgängerversion der aktuellen Ausgabe der EN 13479:2017 war die EN 13479:2004. Diese sah noch eine Grundeignungsfeststellung nach EN 14532-1/-2/-3 mit dokumentierten Prüfungen und resultierendem Geltungsbereich vor. Dies ist nun nicht mehr der Fall. Nach VdTÜV 1153 und/oder DB VA 918 490 werden diese Prüfungen jedoch noch durchgeführt. In diesem Fall kann von geprüften Schweißzusätzen die Rede sein. Die EN ISO 15610 und auch Anwendungsregelwerke wie die EN 1090 „kennen“ jedoch eigentlich kein VdTÜV 1153 oder DB VA 918 490.

**AG 4 – Schadensfälle – Korrosion**

Daniel Röhrer / Dr.-Ing. Manuel Scholz

**Ergebnisse der Arbeitsgruppe**

**Frage 1:**

Welche Erfahrungen gibt es bei der schweißtechnischen Verarbeitung von Sondermaterialien wie Tantal hinsichtlich der Korrosionsbeständigkeit?

Fazit: Sonderwerkstoffe wurden in der AG wenig verarbeitet. Geringfügig Zr, Titan. Hierbei ist ebenfalls auf die Versprödung bei nicht fachgerechter Verarbeitung zu achten. Die Frage, wie oft die falsche Werkstoffauswahl eine Rolle spielt wurde diskutiert, mit dem Ergebnis, dass im Fall von Schadensfällen sich eine falsche Werkstoffauswahl und Verarbeitungsfehler in etwa die Waage halten. Bezüglich falscher Werkstoffauswahl wurde von falschen Werkstoffen aufgrund von Anlagenumwidmungen berichtet, ebenso von SpRK bei niedriglegierten Stählen aufgrund von falscher Dampfaufbereitung. Auch wurden Erfahrungen gemacht mit Korrosion aufgrund von verhältnismäßig aggressivem Trinkwasser.

**Frage 2:**

Wie lässt sich durch ein geeignetes Halterungskonzept der Rohrleitungen bereits in der Planung / Konstruktion das Auftreten von Spannungsrisskorrosion verringern?

Fazit: Die Gruppe berichtet mehrfach, dass sie in der Planung/Auslegung immer involviert sind. Wenn möglich, wird Auslegung und Berechnung selbst durchgeführt inklusive Halterungskonzepte, mindestens wird aber gegengeprüft. Es ist aber auch nötig die Halterungskonzepte nach Montage zu überprüfen, ob sie richtig umgesetzt und eingestellt sind.

**Frage 3:**

Welche Erfahrungen hinsichtlich des Einflusses der Werkstoffzusammensetzung auf Korrosionsschäden haben Sie?

Fazit: Viele Teilnehmer haben schon bei sich festgestellt, dass immer mehr „auf Linie“ legiert wird. Generell muss mehr kontrolliert werden, was man an Werkstoffen bekommt. Große Unternehmen können eine vernünftige Wareneingangskontrolle durchführen, für kleinere Unternehmen ist das oft nicht gegeben, da zu teuer. Es wurde beobachtet, dass man europäischen Zeugnissen weitestgehend vertrauen kann, aber insbesondere bei Zeugnissen aus Fernost eine Überprüfung dringend zu empfehlen ist, zeigt die Erfahrung aus der betrieblichen Praxis.

**AG 4 – Schadensfälle – Korrosion**

Daniel Röhrer / Dr.-Ing. Manuel Scholz

**Ergebnisse der Arbeitsgruppe**

**Frage 4:**

Was sind Ihre Erfahrungen mit den steigenden Kupfergehalten in austenitischen Stählen?

Fazit: Die Teilnehmer beobachten, dass in Zeugnissen nichts angegeben wird, was nicht angegeben werden muss, dadurch ist unter anderem der Kupfergehalt und andere Begleitelemente, die normativ nicht spezifiziert sind, oft nicht dokumentiert. In diesem Zusammenhang wurde von einem Beispiel mit zu viel Calcium im Stahl berichtet, was zu schwarzen Flecken in der Schweißnaht führt. Allgemein sind noch keine größeren Verarbeitungsprobleme im Zusammenhang mit Kupfer aufgetreten, deshalb bestellt man weiterhin nach Norm. Es wurde eingebracht, dass der Ansatz im ASME-Regelwerk hinsichtlich Begleitelemente diesbezüglich sinnvoll ist, da hier Begleitelemente in Summe eine bestimmte Grenze nicht überschreiten dürfen, ohne spezifische Grenzwerte für jedes einzelne Element festgelegt zu haben. Ein Teilnehmer berichtet von Problemen hinsichtlich des Kupfergehalts. Dabei konnte kein stabiler Lichtbogen aufgebaut werden, da dieser zu viel zwischen den Flanken hin und her gesprungen ist, wodurch das Material nicht schweißbar war.

**Frage 5:**

Wie treffen Sie Ihre Werkstoffauswahl? Wie stellen Sie sicher, dass Sie auch das bekommen, was Sie bestellt haben?

Fazit: Die Teilnehmer sind sich einig, dass viel mehr geprüft werden muss als früher. Einige berichten davon, dass sie dazu übergegangen sind, alles zu prüfen, Subunternehmer zu auditieren, nur selbst bestelltes Material von Subunternehmern verwenden zu lassen und eigene Handfertigkeitsprüfungen für Schweißer von Subunternehmen durchzuführen. Die Arbeitsgruppe berichtet, dass es insbesondere bei Werkstoffen, Halbzeugen und fertigen Produkten aus Ländern wie China und Indien besonderer Kontrolle bedarf, da die Erfahrung gemacht wurde, dass Zeugnisse nicht belastbar sind und Qualitätsmanagement-Prozesse und Problembearbeitungen in manchen Betrieben nicht westlichem Niveau entsprechen.

**Frage 6:**

Wie stellen Sie eine fachgerechte Vor- und Nachbereitung beim Schweißen sicher, um korrosionsbeständige Verbindungen zu erreichen?

Fazit: Zum Beispiel der Schlackeeinschlüsse in einer WIG-Schweißnaht aus der Präsentation von Herrn Dr. Scholz wurde berichtet, dass es durchaus früher üblich war, wenn ein passender WIG SZW nicht zur Verfügung stand oder keine große Menge gebraucht wurde, diesen SZW durch E-Hand Elektroden zu ersetzen, bei denen die Ummantelung abgeklopft wurde, was zu Einschlüssen führen kann.

**AG 4 – Schadensfälle – Korrosion**

Daniel Röhrer / Dr.-Ing. Manuel Scholz

**Ergebnisse der Arbeitsgruppe**

Dr. Scholz: *Haben Sie noch Fragen, die Sie in der Runde diskutieren möchten?*

Fazit: In der Arbeitsgruppe wurde die Frage diskutiert, wann das DVS-Merkblatt zu Anlauffarben erscheint. Hierzu wurde aus einer Arbeitsgruppe des DVS berichtet, dass das Merkblatt an sich fertig ist, es jedoch Probleme mit den Farbvergleichstafeln gibt, da diese ja jederzeit gleich aussehen müssen.

Fazit: In der Arbeitsgruppe wurde die Frage diskutiert, welche Probleme beim Wurzelschutz auftreten. Teilnehmer berichteten von verschiedenen Ar/H<sub>2</sub> Zusammensetzungen im Schutzgas, welche jeweils gut funktionieren. Es wurde diskutiert, dass mit höherem H<sub>2</sub> Gehalt Anlauffarben etwas leichter zu vermeiden sind.

Es wurde berichtet, dass teilweise schwer zu beurteilen ist, welche Anlauffarben „i.O.“ sind und welche nicht, da z. B. ein 1.4404 bei korrekter Formierung nach dem Schweißen blank vorliegt, während ein 1.4571 gelblich vorliegt aufgrund von Ti-Nitriden, welche sich auf der Oberfläche bilden, obwohl die sonstige Zusammensetzung gleich ist. Allgemein wurde von Erfahrungen berichtet, dass für korrektes Formieren häufiges Messen des Restsauerstoffgehalts notwendig ist und im Zweifelsfall lange vor Ausführung der Schweißnaht mit Formieren begonnen werden muss.

Es wurde außerdem von einem Versuch berichtet, bei dem Vakuum gezogen wurde, statt Formiergas zu verwenden, was nicht gut funktioniert hat. Dazu wurde die Vermutung geäußert, dass bei üblichen Vakuumdrücken der Restsauerstoffgehalt vermutlich zu groß war.

**AG 5 – Herausforderungen und Erfahrungen beim Schweißen von Mischverbindungen**

Pietro Sabatino / Arno Walter

**Ergebnisse der Arbeitsgruppe**

**Frage 1:**

Welche Erfahrungen mit Mischverbindungen zwischen unlegierten ferritischen Stählen und Duplex-Stählen insbesondere an Rohreinschweißungen liegen Ihnen vor?

**Antwort:**

Mischverbindungen zwischen ferritischen und Duplex-Stählen sind eher die Ausnahme. Insbesondere in Bereichen der Rohreinschweißungen sind diese nicht zu empfehlen. Bessere Lösungen sind plattierte Rohrböden. Bei der Verwendung von Ni-Basis besteht die Gefahr von Heißrissen, welcher durch geeignete fertigungstechnische Maßnahmen begegnet werden muss.

Im Rohrleitungsbau wurde als Alternative zur Mischverbindung die Flanschverbindungen diskutiert. Gängiger sind Mischverbindungen zwischen austenitischen und Duplex-Stählen.

**Frage 2:**

Wie wählen Sie Schweißzusätze für Mischverbindungen aus?

**Frage 3:**

Verwenden Sie bei der Schweißgutbestimmung Hilfsmittel, beispielsweise Schöffler-Diagramm, Espy-Diagramm, Merkblatt DVS 3011?

Wo sehen Sie Vorteile bzw. Nachteile der Werkzeuge?

Wo sehen Sie Änderungsbedarf im Merkblatt DVS 3011?

**Antwort:**

Bei der Auswahl von Schweißzusatzwerkstoffen für Mischverbindungen kommen neben einschlägiger Fachliteratur beispielsweise DVS-Merkblätter oder Auswahlhilfen von Schweißzusatzwerkstoffherstellern zum Einsatz. Zudem werden Vd-TÜV Schweißzusatz Kennblätter als Erkenntnisquellen herangezogen.

Verwendet werden neben dem artgleichen Schweißzusatz zu Duplex auch Ni-Basis-Schweißzusätze und Mischverbindung-Schweißzusätze Typ 2312 (309L). Letztere insbesondere im angelsächsischen Umfeld. Schöffler-, ESPY- oder DeLong-Diagramme werden als Werkzeuge zur Bewertung von Schweißzusätzen verwendet.

Bei Duplex-Mischverbindungen empfiehlt sich die Verwendung des ESPY-Diagramm, einem modifizierten Schöffler-Diagramm, welches zusätzlich den Stickstoffgehalt berücksichtigt.

Das DVS-Merkblatt 3011 ist aktuell in der Überarbeitung, Änderungswünsche seitens der Arbeitsgruppe bestehen nicht.

**AG 5 – Herausforderungen und Erfahrungen beim Schweißen von Mischverbindungen**

Pietro Sabatino / Arno Walter

**Ergebnisse der Arbeitsgruppe**

**Frage 4:**

Welche Erfahrungen liegen Ihnen mit Mischverbindungen in hochbeanspruchten Bereichen vor?

**Frage 5:**

Wer legt die Lage von Mischverbindungen in Ihrem Unternehmen fest? Wie ist die Schweißabteilung eingebunden?

**Antwort:**

In der Arbeitsgruppe bestand der Konsens, dass Mischverbindungen konstruktiv nicht in hochbeanspruchten Bereichen gelegt werden sollten. Jedoch gibt es im betrieblichen Alltag Zwänge, z. B. Kundenwünsche, Servicebedingungen, welche die Lage der Mischverbindung beeinflussen. Es wurde als notwendig erachtet, dass die Schweißabteilung frühzeitig bei der Festlegung von Mischverbindungen involviert wird. In vielen Unternehmen ist dies gelebte Praxis zur Minimierung des Risikos für den Hersteller.

**Frage 6:**

Liegen Ihnen Erfahrungen mit thermisch beanspruchten Mischverbindungen zwischen austenitischen und ferritischen-(martensitischen) Werkstoffen vor? Auf welche Schwierigkeiten/ Herausforderungen sind Sie während der schweißtechnischen Umsetzung gestoßen?

**Antwort:**

Je nach Branche kommen unterschiedliche Mischverbindungen zum Einsatz. Je nach Einsatztemperatur kommen Mischverbindungen von unlegierten (P265GH) über niedriglegierten (16Mo3, 13CrMo4-5 u. 10CrMo9-10) bis zu martensitischen Stählen (X10CrMoVNb9-1 [P91]) und hochwarmfesten austenitischen Stählen zum Einsatz.

Allgemeiner Konsens bestand darin, dass die Werkstoffsprünge so zu wählen sind, dass ein gemeinsames Wärmebehandlungsfenster der zu paarenden Werkstoffe sichergestellt wird. Dies kann durch die Verwendung von Übergangsstücken (favorisierte Methode) oder Pufferungen erfolgen.

Als Beispiel kann eine Mischverbindung zwischen 16Mo3 und 10CrMo9-10 mittels eines Übergangsstücks aus dem Werkstoff 13CrMo4-5 sicher ausgeführt werden.

Ein weiteres Beispiel wäre zwischen dem hochlegierten martensitischen Werkstoff P91 und hochwarmfesten CrNi-Stählen (z. B. 1.4910). Bei dieser Paarung muss der P91 mit Ni-Basis Schweißzusatzwerkstoffen, z. B. Inconel 82 oder Inconel 625, gepuffert werden, da die Wärmebehandlung den austenitischen Werkstoff schädigen würde.

Nach Glühung des gepufferten Bauteils erfolgt die Verbindung an den austenitischen Werkstoff ohne weitere Wärmebehandlung. Zur Vermeidung von Rissen ist es unabdingbar, dass diese Verbindung mit dem gleichen Ni-Basis Schweißzusatz ausgeführt wird.

**AG 5 – Herausforderungen und Erfahrungen beim Schweißen von Mischverbindungen**

Pietro Sabatino / Arno Walter

**Ergebnisse der Arbeitsgruppe**

In der Diskussion wurde festgestellt, dass die Anforderungen der Norm zur Verfahrensprüfung (EN ISO 15614 ff.) für Mischverbindungen nicht ausreichend sind. Beispielsweise ist es sinnvoll, Härtereihen in kritischen Bereichen zu fordern. Ein Beispiel für einen kritischen Bereich ist die Lage mit hoher Abmischung des Schweißgutes.

Ferner wird dies als nachteilig angesehen, dass in der EN ISO 15614-1 nur absolute Maximalwerte für die Härte definiert sind, nicht aber ein relativer Härteunterschied zwischen Schweißgut und Grundwerkstoff.

**Zusammenfassend ist die Empfehlung, Mischverbindungen, wenn möglich vermeiden!**