



Mehr Wert.
Mehr Vertrauen.

Veranstaltung der TÜV SÜD Industrie Service GmbH



Aktuelle Themen aus der Druckgeräteherstellung 22 Februar 2024

Donnerstag, 22.02.2024 15:15 bis 15:45
Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung

„Wärmetauscher – Rohreinschweißungsprüfung mittels Durchstrahlungs- und Dichtheitsprüfung“

Autor: Alexander WIENERROITHER
Metal Check GmbH Deutschland, Burgkirchen an der Alz

+49 8679 96662 00
aw@metal-check.at
www.metal-check.de



„Wärmetauscher – Rohreinschweißungsprüfung mittels Durchstrahlungs- und Dichtheitsprüfung“

Inhalte

- Standards / Typische & übliche Prüfungen bei Wärmetauschern
 - VT – PT – schaumbildende Mitteln (auf ET wird nicht eingegangen, da primär für Rohre)
 - Möglichkeiten einer verbesserten Standardprüfung PT
- Besonders hohe Anforderungen / Betreibervorgaben
 - **Möglichkeiten einer Sonderprüfung mittels Durchstrahlungsprüfung RT**
 - Möglichkeiten einer Sonderprüfung mittels Spezial-UT-Prüfkopf
 - **Möglichkeiten der Dichtheitsprüfung LT**
(Testgasverfahren mit Helium (auch Wasserstoff möglich))
- Zusammenfassung

„Wärmetauscher – Rohreinschweißungsprüfung mittels Durchstrahlungs- und Dichtheitsprüfung“

Warum?

Besonders hohe Anforderungen im Betrieb

Hohe Anforderung an die Belastbarkeit (Temperatur + Druck).

Hohe Anforderung an die Beständigkeit (aggressive Medien – Korrosionstypen).

Hohe Anforderung an die Standzeit und die Betriebstauglichkeit (Verlust von Medien).

Wie?

Nicht nur Oberflächenrissverfahren anwenden und auf die Festigkeitsprüfung alleine verlassen.

Eine Festigkeitsprüfung mit Wasser hat nichts mit einer Dichtheitsprüfung zu tun, auch wenn auf Flüssigkeitsverlust geachtet wird → Flüssigkeitsdicht $\neq$ Gasdicht.

Schweißnähte auch im Inneren bewerten (Volumen).

Integrale (und lokale) Dichtheit mit hochempfindlichen Testverfahren nachweisen.

„Wärmetauscher – Rohreinschweißungsprüfung mittels Durchstrahlungs- und Dichtheitsprüfung“

Welche Ursachen?

Rohreinwalzen

Unzureichende Einwalztiefe: Wenn die Rohre nicht ausreichend in die Rohrböden oder -platten eingewalzt werden, entsteht eine unzureichende Verbindung zwischen den Rohren und den Rohrböden. Dies kann zu Undichtigkeiten führen und die Effizienz des Wärmeübertragungsprozesses beeinträchtigen.

Übermäßige Einwalztiefe: Wenn die Rohre zu tief eingewalzt werden, kann dies zu Verformungen oder Beschädigungen der Rohre führen. Dies wiederum kann zu einer verringerten Strömungseffizienz, einem erhöhten Druckverlust oder sogar zu Leckagen führen.

Schiefes Einwalzen: Wenn das Einwalzen nicht korrekt und gleichmäßig erfolgt, kann es zu schiefen oder ungleichmäßigen Verbindungen zwischen den Rohren und den Rohrböden kommen. Dies kann zu Schwachstellen in der Struktur führen und die Stabilität des Wärmetauschers beeinträchtigen. Überdehnung der Rohre: Eine übermäßige Dehnung der Rohre während des Einwalzens kann zu Materialermüdung, Rissen oder sogar zum Bruch der Rohre führen. Dies kann zu Undichtigkeiten und dem Ausfall des Wärmetauschers führen.

Unzureichende Reinigung: Vor dem Einwalzen müssen die Rohre gründlich gereinigt werden, um Schmutz, Rost oder Ablagerungen zu entfernen. Wenn dies nicht ordnungsgemäß erfolgt, können diese Verunreinigungen zwischen den Rohren und den Rohrböden eingeschlossen werden, was die Haftung und die Abdichtung beeinträchtigt.

„Wärmetauscher – Rohreinschweißungsprüfung mittels Durchstrahlungs- und Dichtheitsprüfung“

Welche Ursachen?

Einschweißungen

Materialunterschiede: Wärmetauscher können aus verschiedenen Materialien, die für ihre spezifischen Zwecke optimiert sind, wie zum Beispiel Kupfer, Edelstahl oder Aluminium bestehen. Beim Schweißen dieser unterschiedlichen Materialien entstehen an den Schweißnähten Unregelmäßigkeiten, die möglicherweise nicht so widerstandsfähig gegenüber Korrosion oder thermischer Belastung sind wie das Hauptmaterial. Dies kann zu potenziellen Schwachstellen führen.

Spannungen: Beim Schweißen werden hohe Temperaturen und mechanische Kräfte auf das Material ausgeübt. Wenn die Schweißnaht nicht ordnungsgemäß ausgeführt wird oder das Material während des Schweißens nicht richtig abkühlt, können Spannungen in der Nähe der Naht entstehen. Diese Spannungen können zu Rissen oder Verformungen führen und die Integrität der Naht beeinträchtigen.

Qualitätskontrolle: Die Qualität der Schweißnaht hängt von der Fertigungstechnik, den verwendeten Schweißverfahren und den Fähigkeiten des Schweißers ab. Wenn die Schweißnaht nicht ordnungsgemäß ausgeführt wird, beispielsweise aufgrund von unzureichender Einbrands oder mangelhafter Schweißzusätze, kann dies zu unvollständigen oder schwachen Verbindungen führen.

Korrosion: Schweißnähte sind anfälliger für Korrosion als das Hauptmaterial. Dies liegt zum Teil daran, dass die Schweißnaht eine größere Oberfläche im Vergleich zum Hauptmaterial aufweist und somit anfälliger für den Angriff von korrosiven Medien ist.

Standards / Typische & übliche Prüfungen bei Wärmetauschern

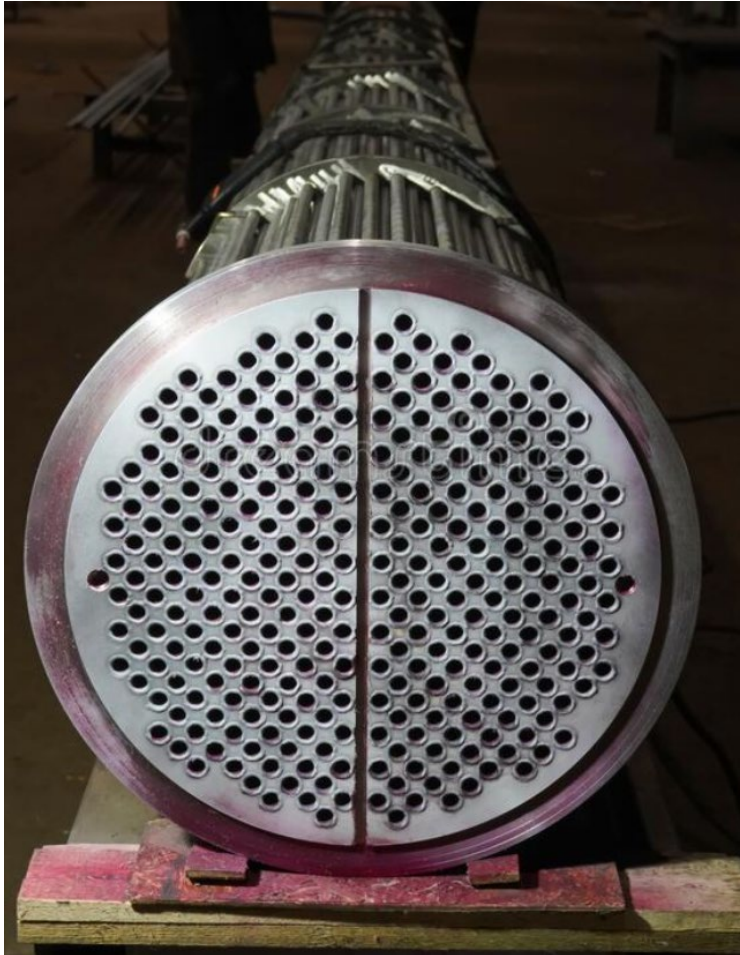
VT (visuelle Prüfung)



Visuelle Prüfung (Herstellung oder wiederkehrend) nach EN ISO 17637 bzw. EN ISO 5817 (sowie weiteren Anforderungen aus Produktnormen oder Betreiberspezifikationen)

Standards / Typische & übliche Prüfungen bei Wärmetauschern

PT (Eindringverfahren)



Farbeindringprüfung (Herstellung oder wiederkehrend) nach EN ISO 3452-1 bzw. EN ISO 5817 → EN ISO 23277 (sowie weiteren Anforderungen aus Produktnormen oder Betreiberspezifikationen)

Hinweis zur ISO 5817 / EN ISO 23277:

Selbst die anspruchsvollste Zulässigkeitsgrenze würde eine „Nichtlinienartige Anzeige“ von 4,0mm erlauben → **Änderung auf Anzeigenfreiheit sinnvoll**

Hinweis MT/PT bei C-Stahl:

MT wird als Verfahren meist dem PT Verfahren vorgezogen, weil es eine höhere Durchführungssicherheit bringt und deutlich empfindlicher auf lineare Anzeigen anspricht. Selbst eine minimal geschlossene bzw. verunreinigte Unregelmäßigkeit kann gefunden werden.

Bei Wärmetauscher geht es in den meisten Fällen jedoch um das Auffinden von nichtlinienartigen Anzeigen. Diese Anzeigen werden vom MT Verfahren schlechter aufgefunden.

Standards / Typische & übliche Prüfungen bei Wärmetauschern

Schaumbildende Mittel – LT Prüfung nach Druckänderungsmethodik



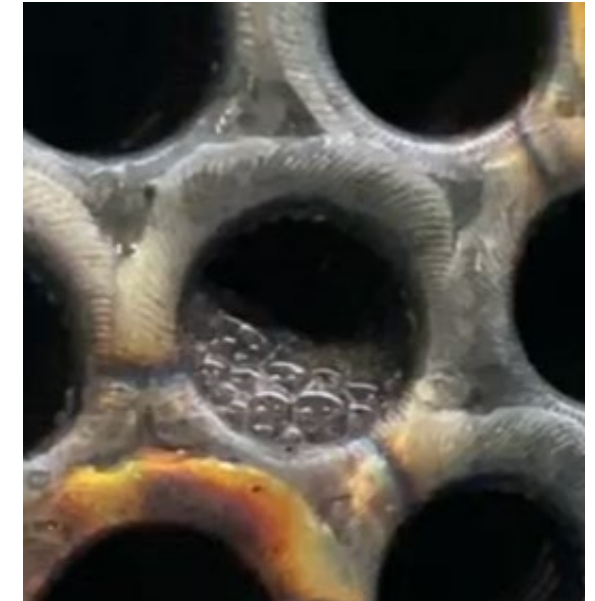
Dichtheitsprüfung mittels Gasdruckprüfung
(nach der Festigkeitsprüfung bzw. Gefährdung
durch Gasdruckprüfung beachten) nach
EN 1779 C.1 bis C.3

Nachweisgrenze ca. 10^{-2} bis 10^{-3} mbar x l / s

(Einheit = Druck-Volumen Durchfluss eines
bestimmten Fluids, das unter festgelegten
Bedingungen durch ein Leck fließt (SI Einheit
Pascalkubikmeter je Sekunde – üblich jedoch
meist Millibar Liter je Sekunde)

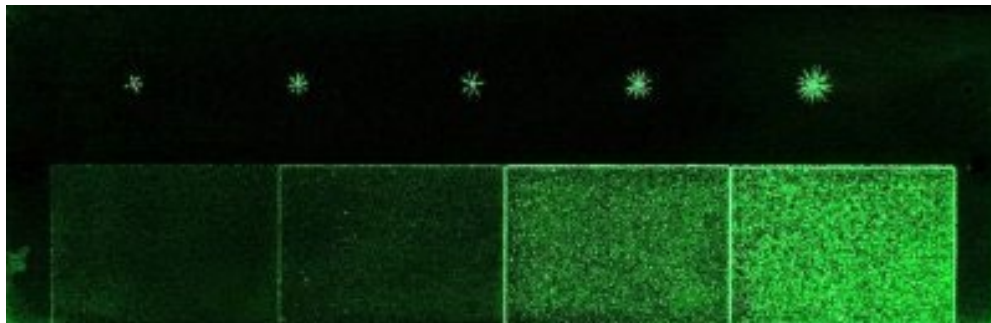
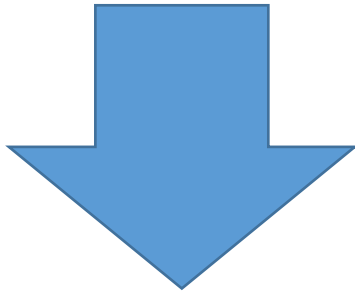
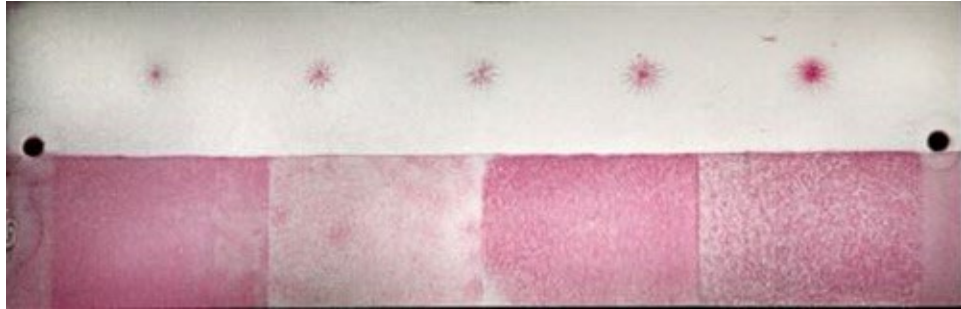
Einfluss auf die Prüfung: Art und Druck des
Gases & Betriebstemperatur

**10^{-2} mbar x l / s ... Lecks dieser Größe wurden vermutlich
bei der PT Prüfung übersehen.**



Standards / Typische & übliche Prüfungen bei Wärmetauschern

Möglichkeiten einer verbesserten Standardprüfung PT



Farbeindringprüfung (Herstellung oder wiederkehrend)
nach EN ISO 3452-1 bzw. EN ISO 5817 → EN ISO 23277
(sowie weiteren Anforderungen aus Produktnormen oder
Betreiberspezifikationen)

Hinweis zur ISO 5817 / EN ISO 23277:

Selbst die anspruchsvollste Zulässigkeitsgrenze würde eine
„Nichtlinienartige Anzeige“ von 4,0mm erlauben → **Änderung auf
Anzeigenfreiheit sinnvoll**

Anstelle der üblichen Farbeindringprüfung kann mittels
Fluoreszierender Eindringprüfung eine deutlich höhere
Empfindlichkeit erzielt werden.

Parallel steigen jedoch die Anforderung an die Sauberkeit
der Durchführung und an die Abwaschbarkeit.

Farbeindringprüfung → 2 Empfindlichkeitsklassen

Fluoreszierende Eindringprüfung → 5 Empfindlichkeitsklassen

Besonders hohe Anforderungen / Betreibervorgaben

Möglichkeiten einer Sonderprüfung mittels Durchstrahlungsprüfung RT

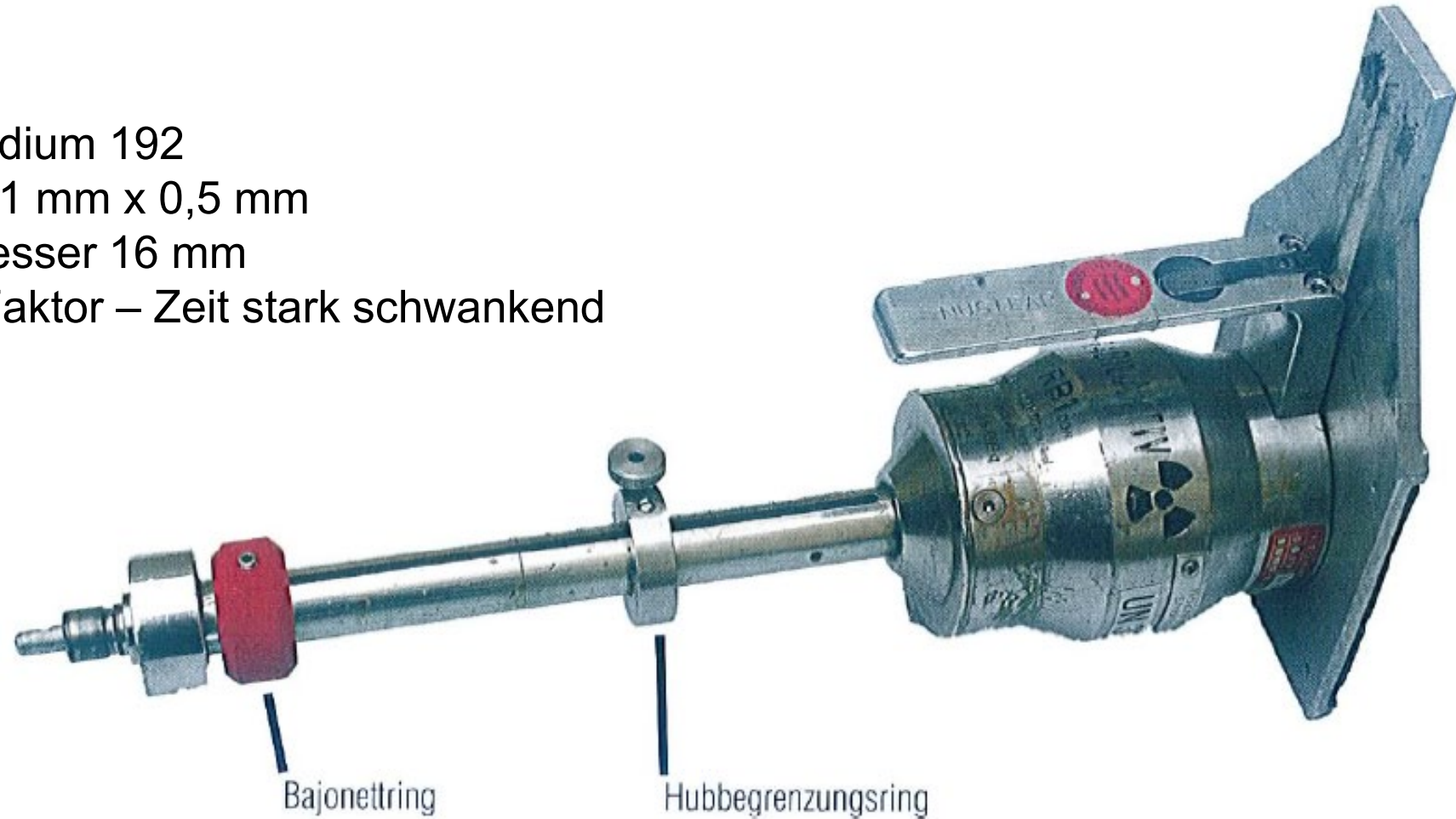
Isotopenprüfung mit Iridium 192

Isotopenquelle Iridium 192

Brennfleckgröße 1 mm x 0,5 mm

Ab Innendurchmesser 16 mm

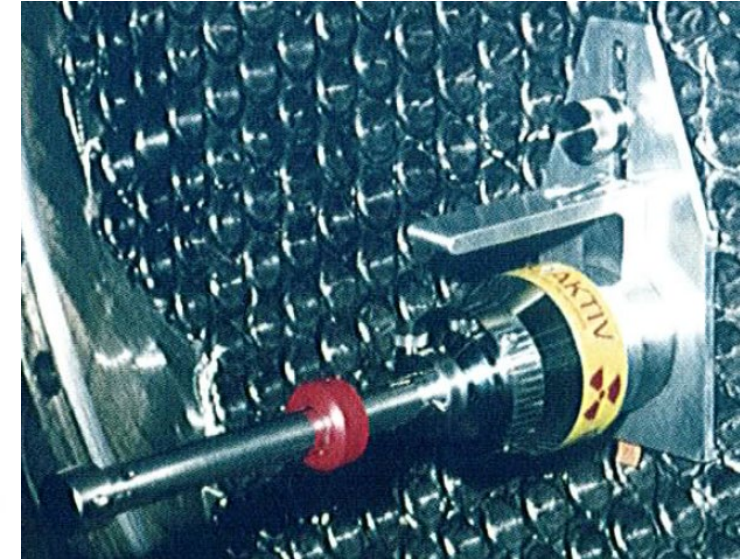
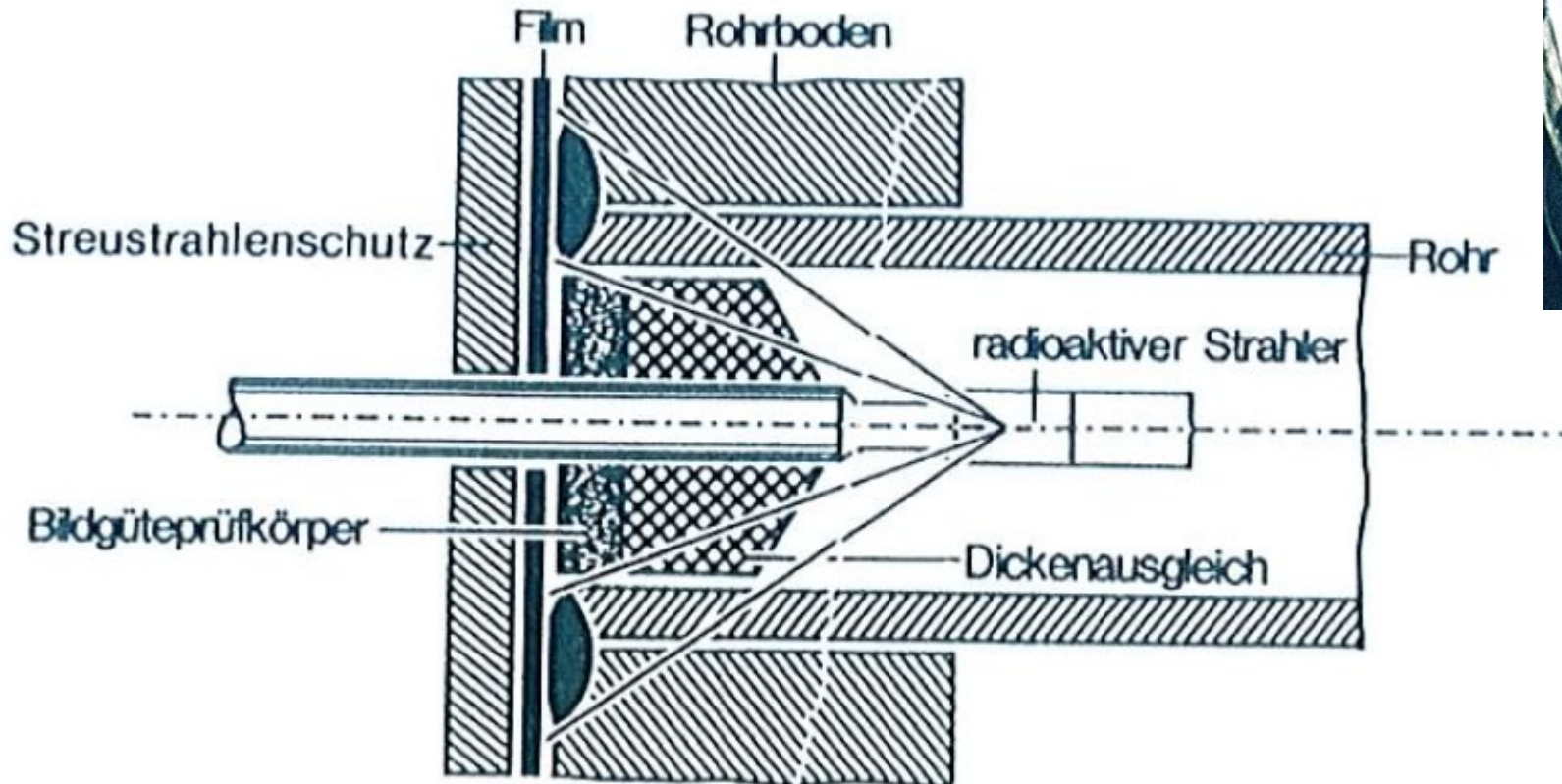
Wirtschaftlicher Faktor – Zeit stark schwankend



Besonders hohe Anforderungen / Betreibervorgaben

Möglichkeiten einer Sonderprüfung mittels Durchstrahlungsprüfung RT

Isotopenprüfung mit Iridium 192

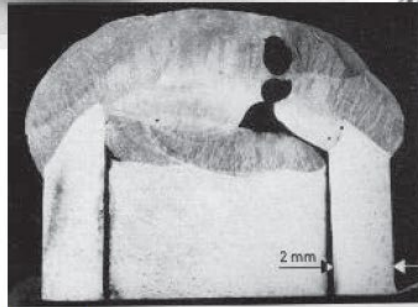
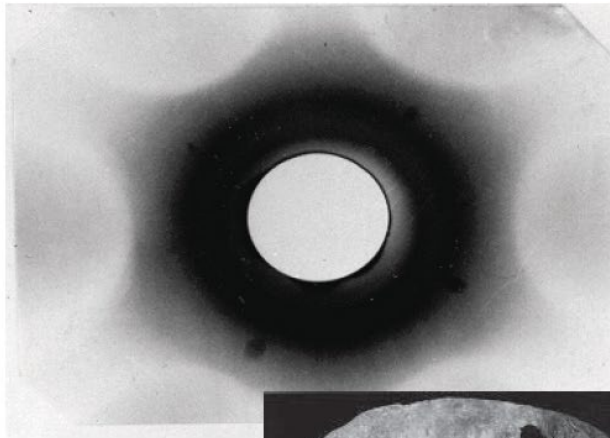


Besonders hohe Anforderungen / Betreibervorgaben

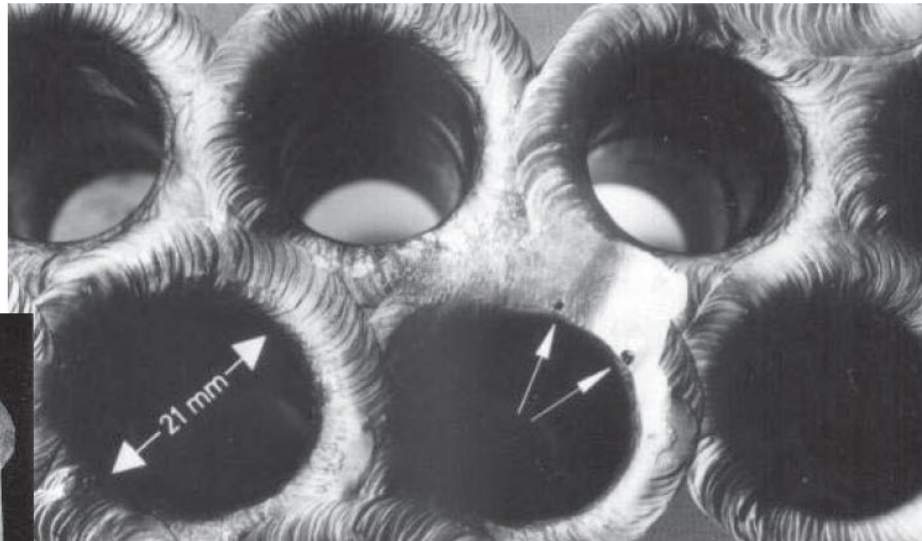
Möglichkeiten einer Sonderprüfung mittels Durchstrahlungsprüfung RT

Isotopenprüfung mit Iridium 192

Nachweis von **Poren**, **Schlauchporen**, Rissen, Bindefehlern



Poren, Schlauchporen



nach Anschleifen

BILDER: Unterstützung bzw. Quellen der Veröffentlichung
„DGZfP / BASF Vortrag – Digitale Durchstrahlungsprüfung
von Wärmetauschern“ <https://www.ndt.net/article/dgzfp-rt-2007/Inhalt/v03.pdf>

Besonders hohe Anforderungen / Betreibervorgaben

Möglichkeiten einer Sonderprüfung mittels Durchstrahlungsprüfung RT

Nachteile der Isotopenprüfung

Prüfung eines Stufenkeiles

niedrige

Energie
Röhre
geringe kV



mittlere

Energie
vergleichbar
mit
Selen

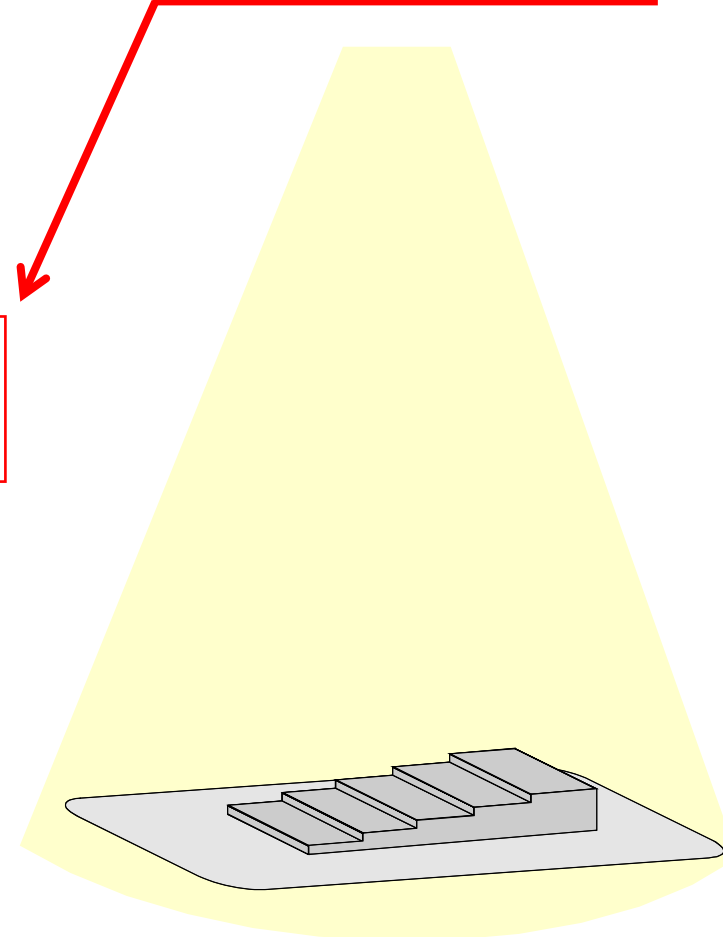


hohe

Energie
vergleichbar
mit
Iridium



- Geringer Kontrast =
- Fehlererkennbarkeit



Besonders hohe Anforderungen / Betreibervorgaben

Möglichkeiten einer Sonderprüfung mittels Durchstrahlungsprüfung RT

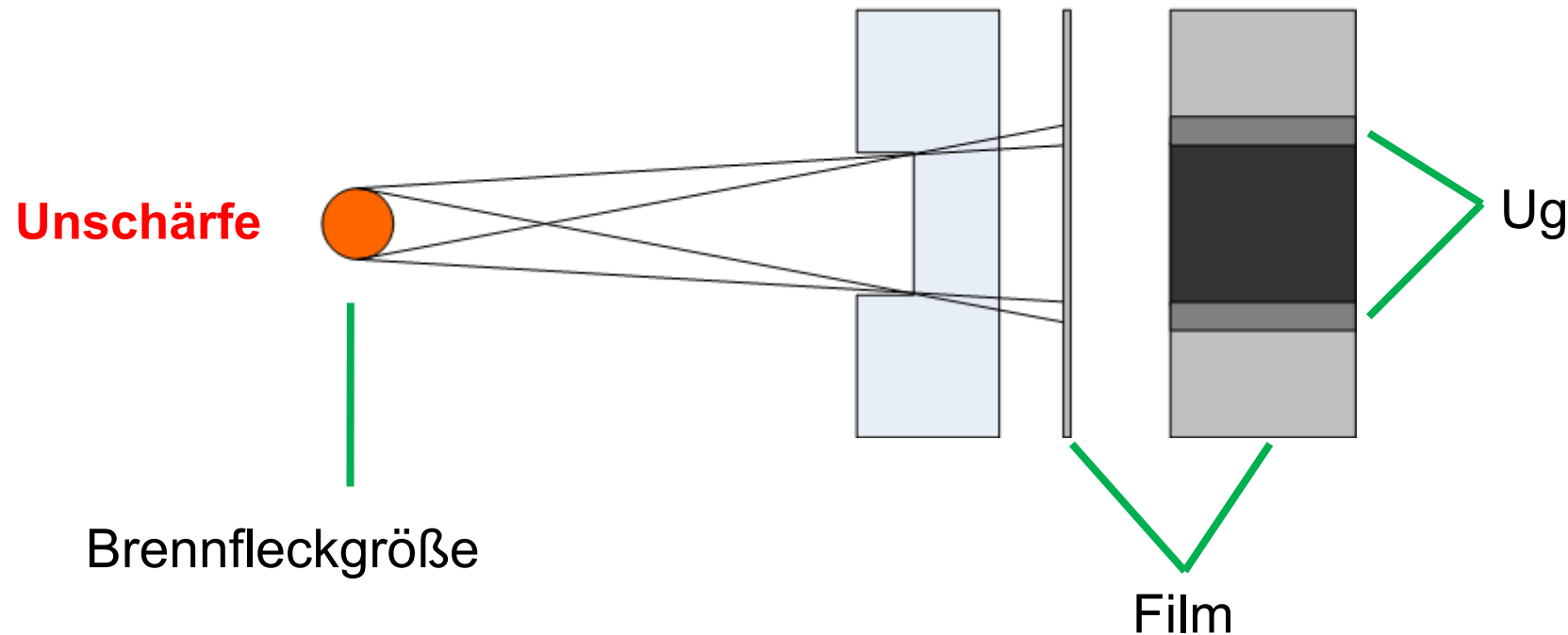
Nachteile der Isotopenprüfung – Optimierung des Brennflecks

Isotopenprüfung mit Iridium 192

Brennfleckgröße 1 mm x 0,5 mm

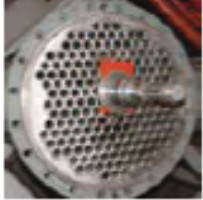
- großer Brennfleck =
- Unschärfe

Geometrische Unschärfe U_g

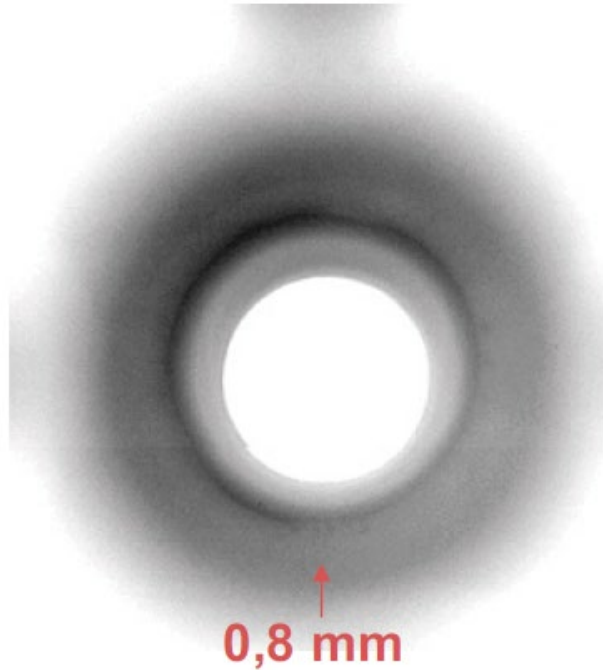


Besonders hohe Anforderungen / Betreibervorgaben

Möglichkeiten einer Sonderprüfung mittels Durchstrahlungsprüfung RT



Ir192 + Film



0,8 mm

Geringer Kontrast

= erkennbare Fehlergröße ca. 0,8mm

Hohe Belichtungszeit (schwankend!)

= wenig Durchsatz

= hohe Kosten

Risiko Film:

Filmentwicklung & Herstellung (Stanzen)

= Lichteinfall

Risiko Strahlung (Umgang & Transport):

= kein Ausschalten möglich (Dauerstrahlung)

**Nachweis erfolgt über Bildgüteprüf-
Körper mit Bohrungen und Nuten**

Besonders hohe Anforderungen / Betreibervorgaben

Möglichkeiten einer Sonderprüfung mittels Durchstrahlungsprüfung RT

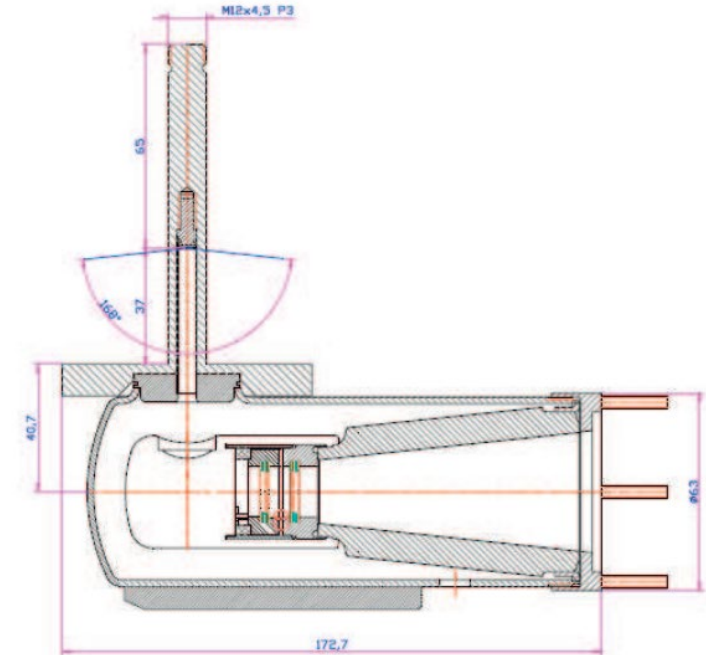
Prüfung mit Stabanodenröhre

Röhrenenergie von 20 bis 130kV

Brennfleckgröße 1,5 mm bei 130kV

Ab Innendurchmesser 12mm

Wirtschaftlicher Faktor – Zeit konstant



kV	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
mA	1,15	1,25	1,36	1,5	1,66	1,6	1,6	1,6	1,5	1,3	1,2	1,0	X

Verbesserung des Kontrastes / Verringerung der Durchdringung



Verringerung der Belichtungszeit / Erhöhung des Durchsatzes

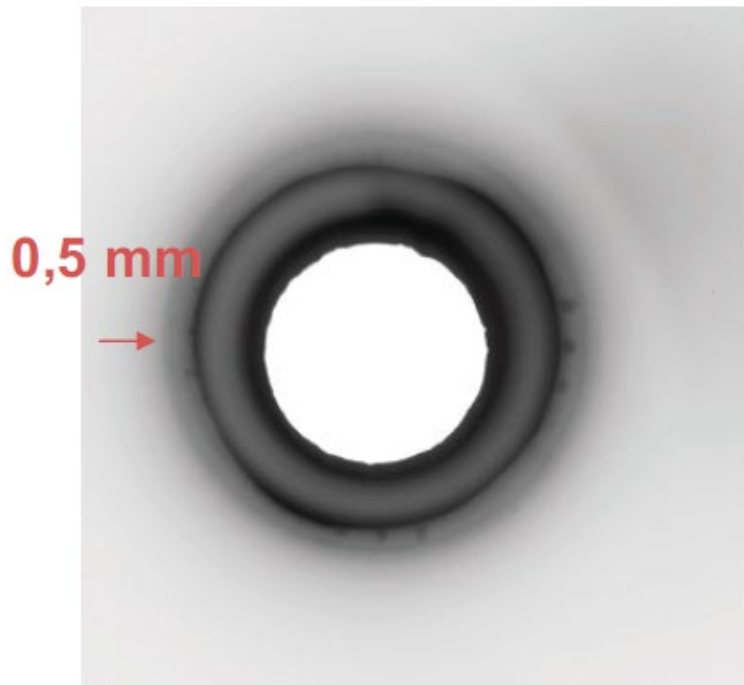


Besonders hohe Anforderungen / Betreibervorgaben

Möglichkeiten einer Sonderprüfung mittels Durchstrahlungsprüfung RT



Stabanode + Film



Höherer Kontrast

= erkennbare Fehlergröße ca. 0,5mm

Geringe Belichtungszeit

= hoher Durchsatz

= mittlere Kosten

Risiko Filmentwicklung

= Lichteinfall

Nachweis erfolgt über Bildgüteprüf- Körper mit Bohrungen und Nuten

Unterstützung bzw. Quellen der Veröffentlichung

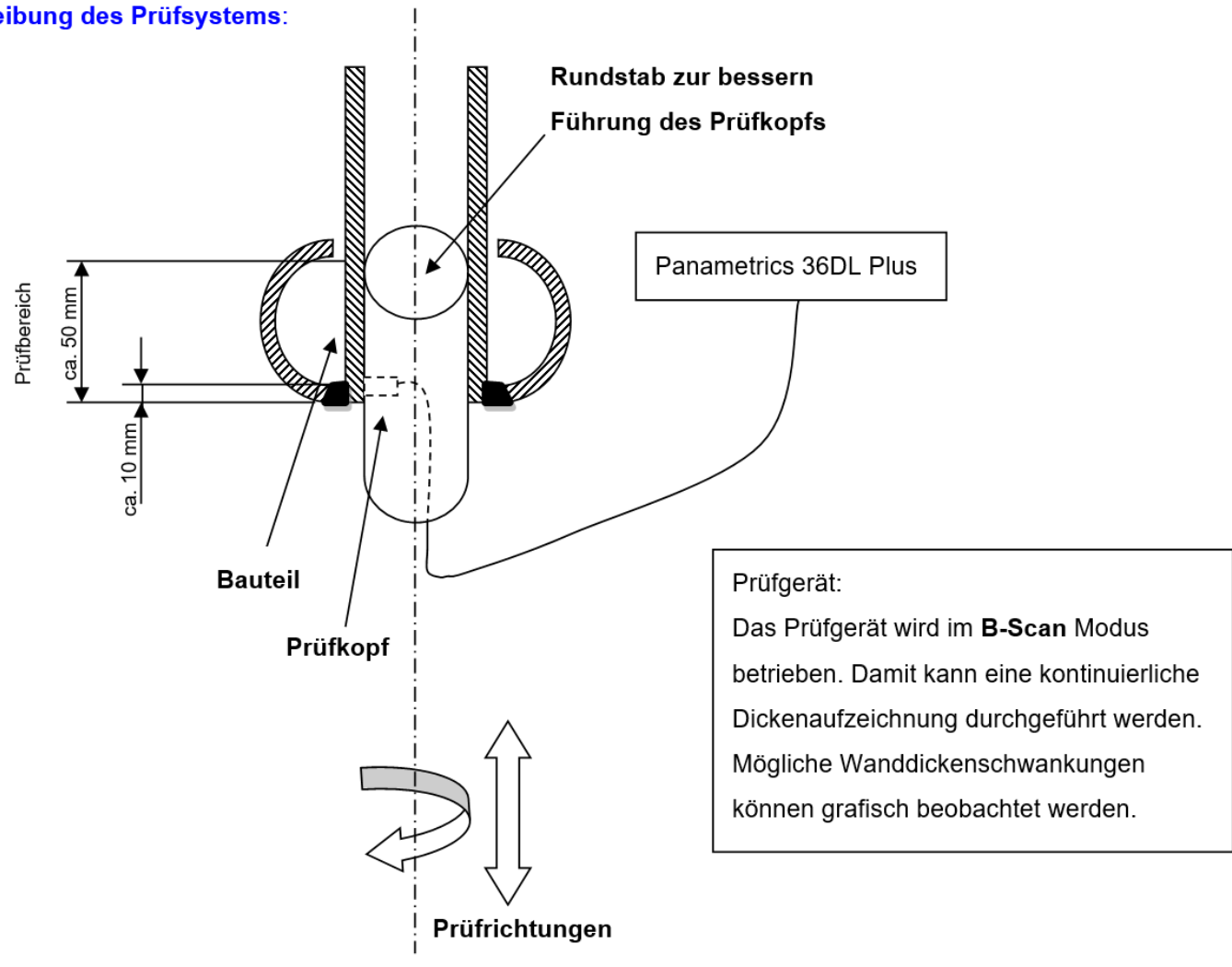
„DGZfP / BASF Vortrag – Digitale Durchstrahlungsprüfung

von Wärmetauschern“ <https://www.ndt.net/article/dgzfp-rt-2007/Inhalt/v03.pdf>

Besonders hohe Anforderungen / Betreibervorgaben

Möglichkeiten einer Sonderprüfung mittels Spezial-UT-Prüfkopf

Beschreibung des Prüfsystems:



Wiederkehrende
Prüfungen

Zum Kalibrieren des Systems wurden 2 Rohre unterschiedlicher Wandstärke benötigt. Die geringste Wanddicke war dem Grenzwert der Prüfung entsprechend zu wählen.

Verwendet wurden:

- 2,0 mm Wandstärke
- 3,6 mm Wandstärke

Besonders hohe Anforderungen / Betreibervorgaben

Möglichkeiten der Dichtheitsprüfung

LT – Dichtheitsprüfung mit Über/Unterdruck oder Vakuum

Häufigste Testgasmethode

Überdruck – Schnüffelmethode

Eine zu prüfender Behälterraum wird mit Helium-Testgas auf Überdruck gebracht.

Mit einem Heliumdetektor bzw. Messsensor werden alle relevanten Bereiche ab geschnüffelt. Um die Empfindlichkeit zu erhöhen wird meist mit einer Hülle und einer Haltezeit gearbeitet, um messbare Konzentrationen bei Undichtheit zu produzieren.

Dichtheitsanforderungen

Nachweisgrenze ca. 10^{-4} bis 10^{-5} mbar x l / s

(je nach Verfahren, abhängig von der Haltezeit)

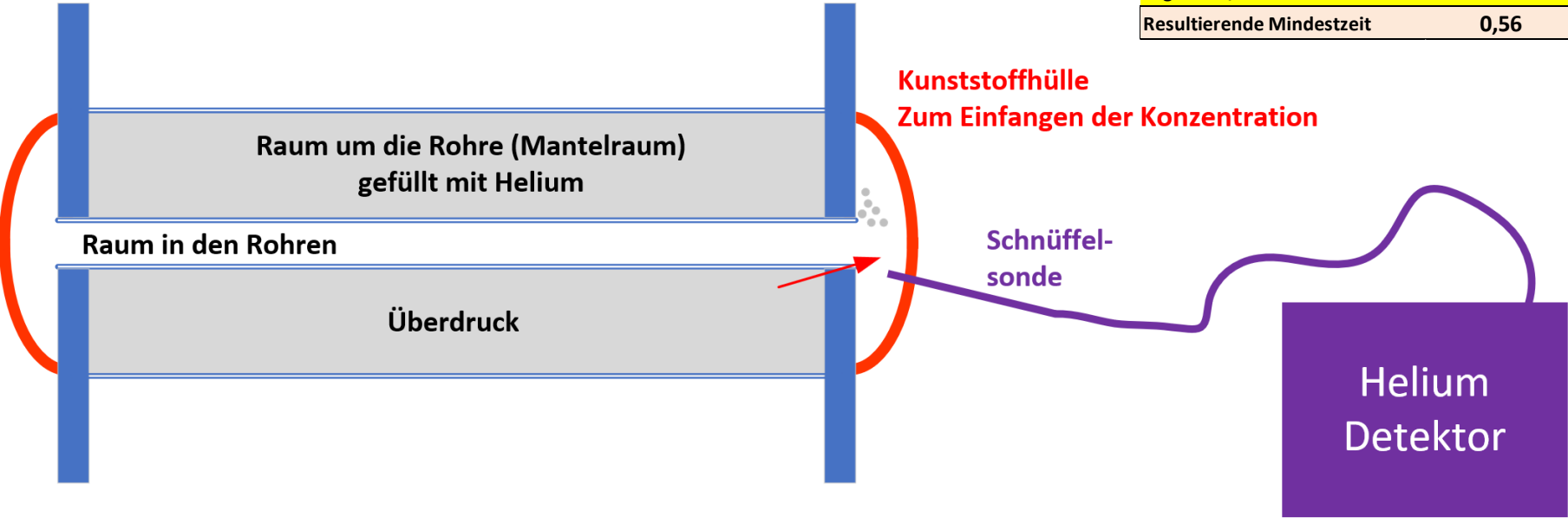


Besonders hohe Anforderungen / Betreibervorgaben
Möglichkeiten der Dichtheitsprüfung
LT – Dichtheitsprüfung mit Über/Unterdruck oder Vakuum

Häufigste Testgasmethode

Überdruck – Schnüffelmethode
Prüfdruck ≠ Betriebsdruck
Prüfmedium ≠ Betriebsmedien

Haltezeitberechner:				
	Gelbe Felder sind änderbar			
Zulässige Leckagenrate:	1,00E-04	mbar x l / s		
Hüllvolumen:	10	l		
Prüfgaskonzentration:	0,5	(als Faktor)		
pamb:	1013	mbar		
Mindestzeit -->	0,56	Stunden	Berechnung nach PA-LT-01.18	
Segmente/Einsteckstellen	1			
Resultierende Mindestzeit	0,56	Stunden		



Besonders hohe Anforderungen / Betreibervorgaben
Möglichkeiten der Dichtheitsprüfung
LT – Dichtheitsprüfung mit Über/Unterdruck oder Vakuum

Häufigste Testgasmethode

Überdruck – Schnüffelmethode
Integral & Lokal



Besonders hohe Anforderungen / Betreibervorgaben

Möglichkeiten der Dichtheitsprüfung

LT – Dichtheitsprüfung mit Über/Unterdruck oder Vakuum

Vakuumprüfung

Der zu prüfende Behälterraum wird evakuiert und mit einem Heliumdetektor verbunden. Außerhalb des Raums werden die zu prüfenden Bereiche mit Helium abgesprüht. Undichtheiten führen zu Messwerten.

Dichtheitsanforderungen

Nachweisgrenze ca. 10^{-6} bis 10^{-8} mbar x l / s
(je nach Betriebsart)



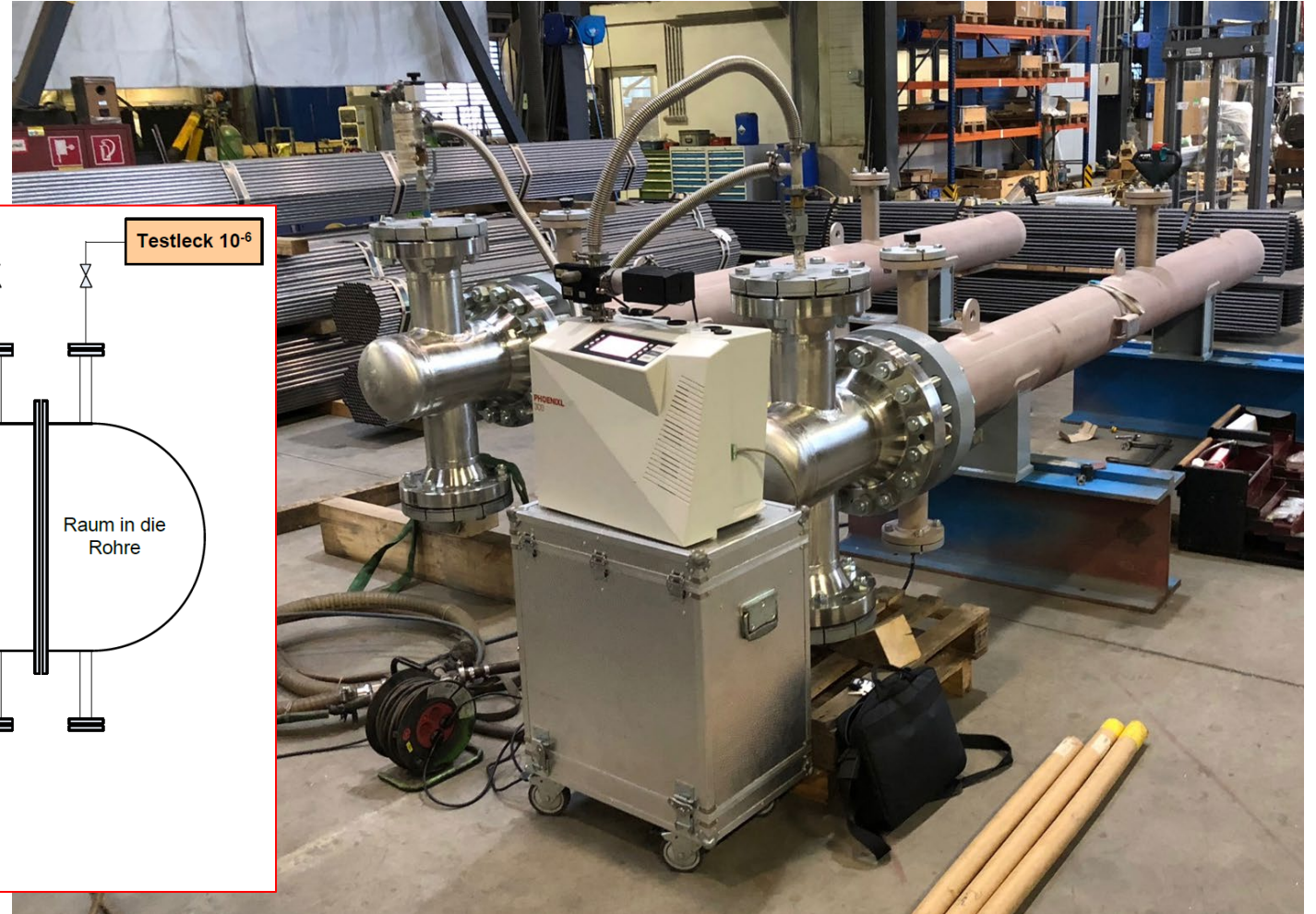
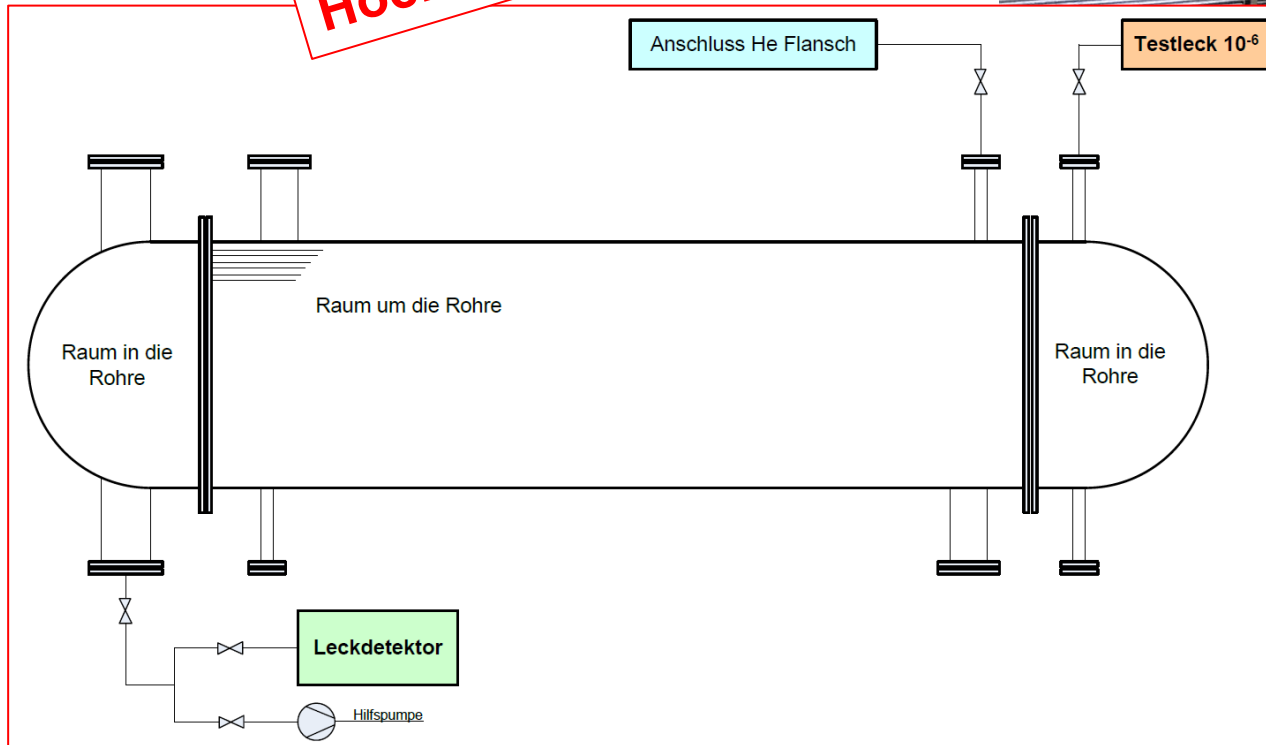
Besonders hohe Anforderungen / Betreibervorgaben

Möglichkeiten der Dichtheitsprüfung

LT – Dichtheitsprüfung mit Über/Unterdruck oder Vakuum

Vakuumprüfung

Höchste Anforderungen



Besonders hohe Anforderungen / Betreibervorgaben

Möglichkeiten der Dichtheitsprüfung

LT – Dichtheitsprüfung mit Über/Unterdruck oder Vakuum

Vakuumprüfung mit Vakuumkammer

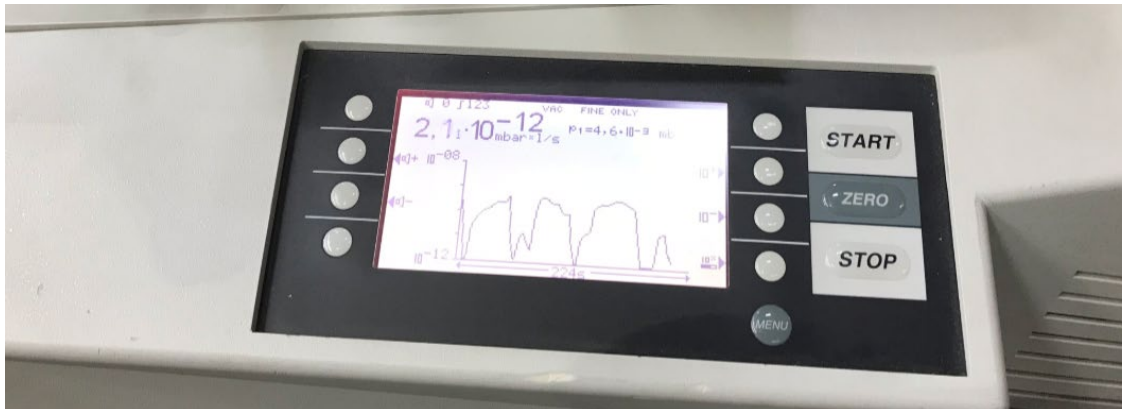
Der zu prüfender Behälter wird mit Helium beaufschlagt und in eine Vakuumkammer gefahren.

Dichtheitsanforderungen

Nachweisgrenze ca. 10^{-8} bis 10^{-12} mbar x l / s

(abhängig von der Qualität der Vakuumkammer)

Bei Wärmetauscher unüblich



„Wärmetauscher – Rohreinschweißungsprüfung mittels Durchstrahlungs- und Dichtheitsprüfung“

ZUSAMMENFASSUNG

Warum?

Besonders hohe Anforderungen im Betrieb

Hohe Anforderung an die Belastbarkeit (Temperatur + Druck).

Hohe Anforderung an die Beständigkeit (aggressive Medien – Korrosionstypen).

Hohe Anforderung an die Standzeit und die Betriebstauglichkeit (Verlust von Medien).

Wie?

Nicht nur auf Oberflächenrissverfahren anwenden und auf die Festigkeitsprüfung alleine verlassen.

Eine Festigkeitsprüfung mit Wasser hat nichts mit einer Dichtheitsprüfung zu tun, auch wenn auf Flüssigkeitsverlust geachtet wird →

Flüssigkeitsdicht ≠ Gasdicht.

Schweißnähte auch im Inneren bewerten (Volumen).

Integrale (und lokale) Dichtheit mit hochempfindlichen Testverfahren nachweisen.

Empfehlung/Erfahrung

- Bei gewalzten Rohren treten besonders häufig Undichtheiten auf. Sauberes Arbeiten ist besonders wichtig. Es reicht meist aus nach zu walzen. Bei geschweißten Rohreinschweißungen kommt es gelegentlich zu Undichtheiten. Fehlerhaftes Vormaterialien (Rohre) können ebenfalls Ursache von Undichtheiten sein. Die Helium-Schnüffelmethode ist vergleichsweise günstig und gewährleistet bei erfolgreicher Prüfung eine hohe Dichtheit. Undichtheiten können näher eingegrenzt und/oder sogar lokal gefunden werden. Häufigste Empfehlung bei den Anforderungen → **10^{-4} mbar x l / s**

ZERSTÖRUNGSFREIE WERKSTOFFPRÜFUNG

alle gängigen Verfahren & Advanced NDT

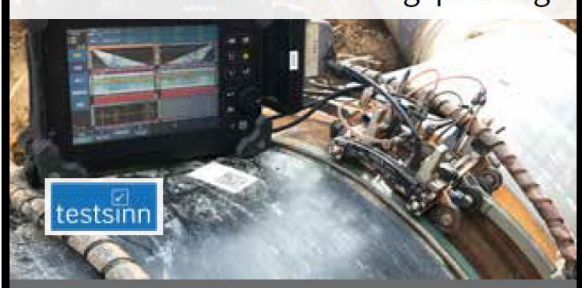


- Ultraschallprüfung (UT)
- Durchstrahlungsprüfung (RT Isotope)
- Röntgenprüfung (RT Röntgenröhre)
- Digitale Radiographie (RT CR/RT D)
- Oberflächenrissprüfungen (PT/MT)
- Visuelle Prüfung (VT)
- Dichtheitsprüfung mit Helium (LT)
- Dichtheitsprüfung mit Vakuum (LT)
- Advanced NDT (PAUT/TOFD)
- PMI/RFA – Bestimmung
- Mobile Härtemessung (HT)

METAL CHECK – EIN NAME SAGT ALLES

PAUT & TOFD PRÜFUNG

Die echte Alternative zur Durchstrahlungsprüfung



- Normgerecht in Anwendung und Bewertung (EN ISO und ASME)
- Keine Röntgenfenster, kein Strahlenschutz – Sicherheit auf Ihren Baustellen
- Ideal für große Stückmengen (Sammler und Flossenwände)
- PAUT Prüfkopfhöhe 17mm
- Einsatz ab Rohrdurchmesser DN15
- Wiederkehrende Prüfung - Korrosionsbestimmung



DIGITALE RADIOGRAPHIE

USB Stick statt analoge Röntgenfilme



EINSATZGEBIET IM APPARATE, BEHÄLTER UND ROHRLEITUNGSBAU

- RT CR – Normgerechte Schweißnahtprüfung
- RT D – Ultrahochauflösende Detektoren
- Mobiler Labworwagen – Auswertung vor Ort
- Bildübermittlung per Email
- Systemunterstützte Wanddickenermittlung
- Keine Archivierung analoger Röntgenfilme
- Höherer Objektumfang
- Wanddickenunterschiede mit einer Aufnahme

ZFP SOFTWARELÖSUNGEN

- Industrie 4.0 trifft ZFP -
Prüfberichterstellung mit wenigen Klicks, innerhalb von Minuten



INDIVIDUELLE SOFTWARELÖSUNGEN FÜR IHRE ZFP AUFGABEN

- online Zugang - Weltweit erreichbar
- Tablet & Smartphone kompatibel
- Auftragsmanagement
- Kundenbeauftragung direkt im System
- Prüfbericht- & Lieferscheinerstellung
- Qualitätsmanagement
- Equipmentverwaltung
- Zeiterfassung

ZEITERSPARNIS BEIM DOKUMENTIEREN
WENIGER TIPPEN -> MEHR KLICKEN

Metal Check Gruppe:

Metal Check GmbH Deutschland
METAL CHECK GmbH Österreich
Metal Check Service GmbH
Metal Check Engineering GmbH

Burgkirchen an der Alz
Braunau am Inn & Kremsmünster
Wien
Hamburg



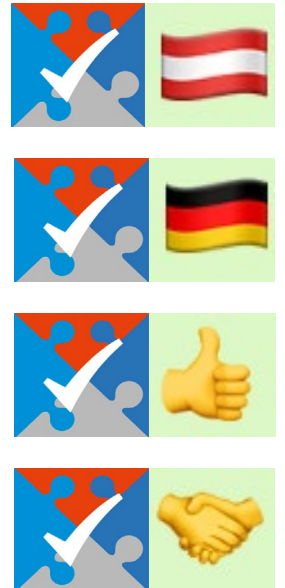
METAL CHECK
WWW.METAL-CHECK.DE

Standort Burgkirchen an der Alz

Metal Check GmbH Deutschland
Fuhrmannstraße 25
D-84508 Burgkirchen a. d. Alz

Tel. 0049 (0) 8679 / 96662 00
Fax. 0043 (0) 1 / 804 805 33 263
Mail info@metal-check.de

METAL CHECK GmbH
Deutschland, aktuell im
Akkreditierungsprozess nach
DIN EN ISO/IEC 17025 -
Erstakkreditierungsaudit
erfolgreich bestanden 😊



Danke für Ihre Aufmerksamkeit.