



Mehr Wert.
Mehr Vertrauen.

Veranstaltung der TÜV SÜD Industrie Service GmbH

METAL CHECK
GROUP

15. Europäische Druckgerätetage

1. - 2. Juli 2025

Fürstenfeldbruck bei München

Mittwoch, 2. Juli 2025 09:30 bis 10:00

Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung

**Prüftechniken zur Volumenprüfung gemäß EN 13445-5 / EN 17635:
RT vs. UT im Vergleich**

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

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



Mehr Wert.
Mehr Vertrauen.

Inhalte

- Rückblick – Gegenwart – Zukunft
- Verfahrensbeschreibung
 - RT-F (Film konventionell)
 - RT-D (Digital)
 - UT konventionell
 - UT PAUT
 - UT TOFD
 - **UT PAUT**
dünnwandig – Zukunft, heute schon möglich
- Zusammenfassung
- Zukunftsausblick

Volumenprüfung

RT-F \neq RT-D

UT \neq PAUT

UT \neq TOFD

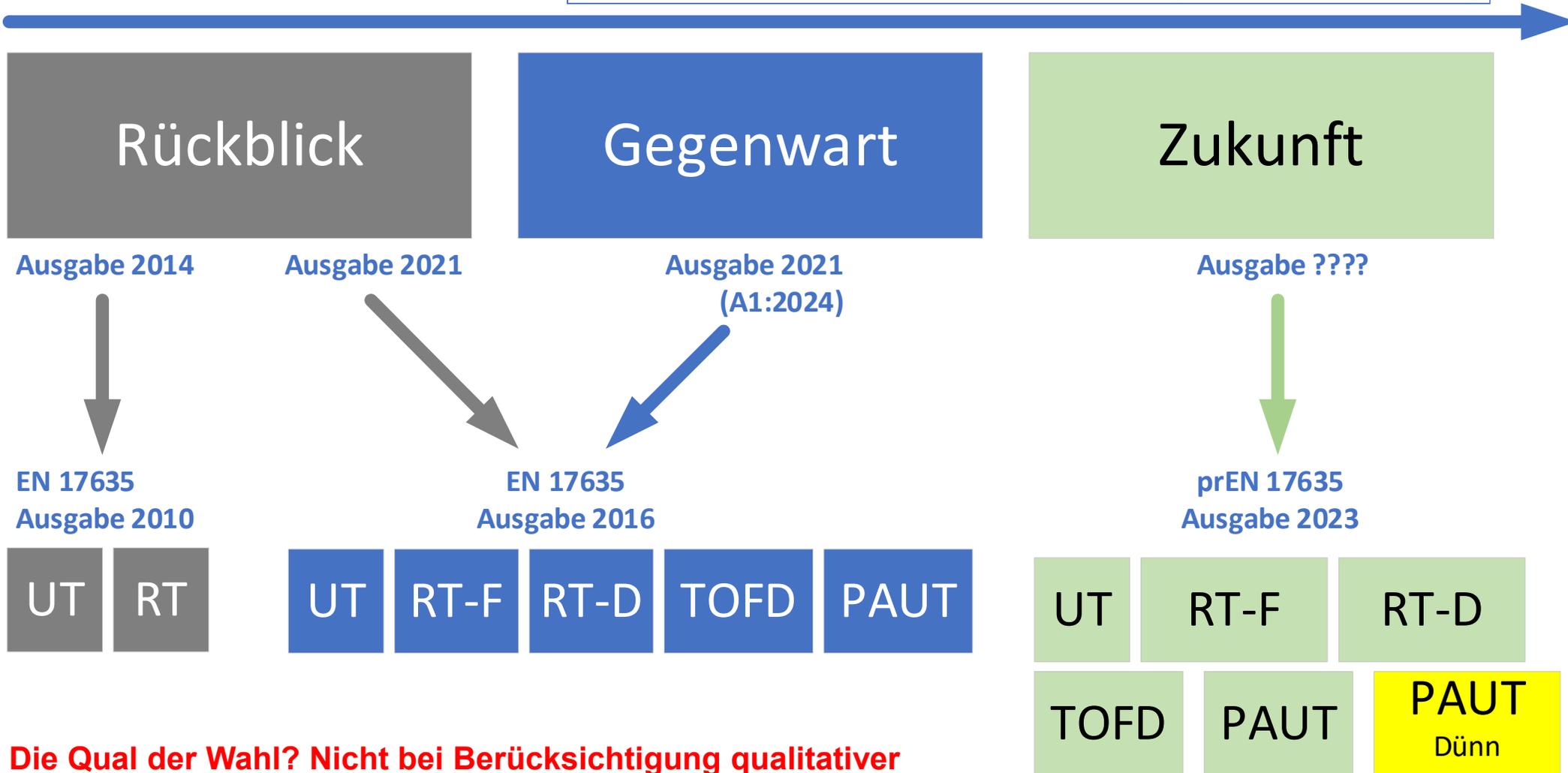
TOFD \neq PAUT

RT \neq UT

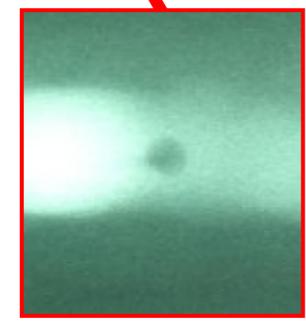
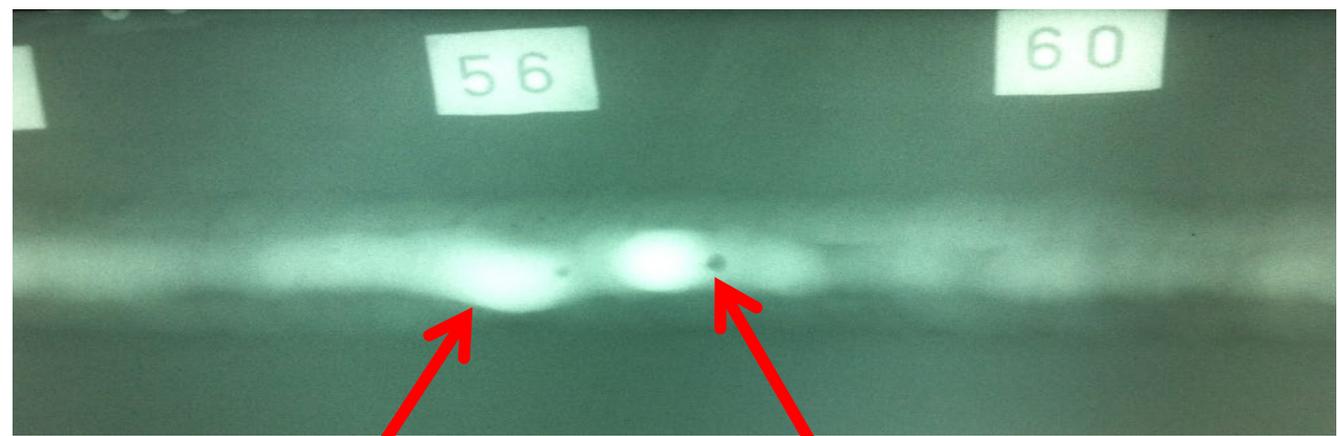
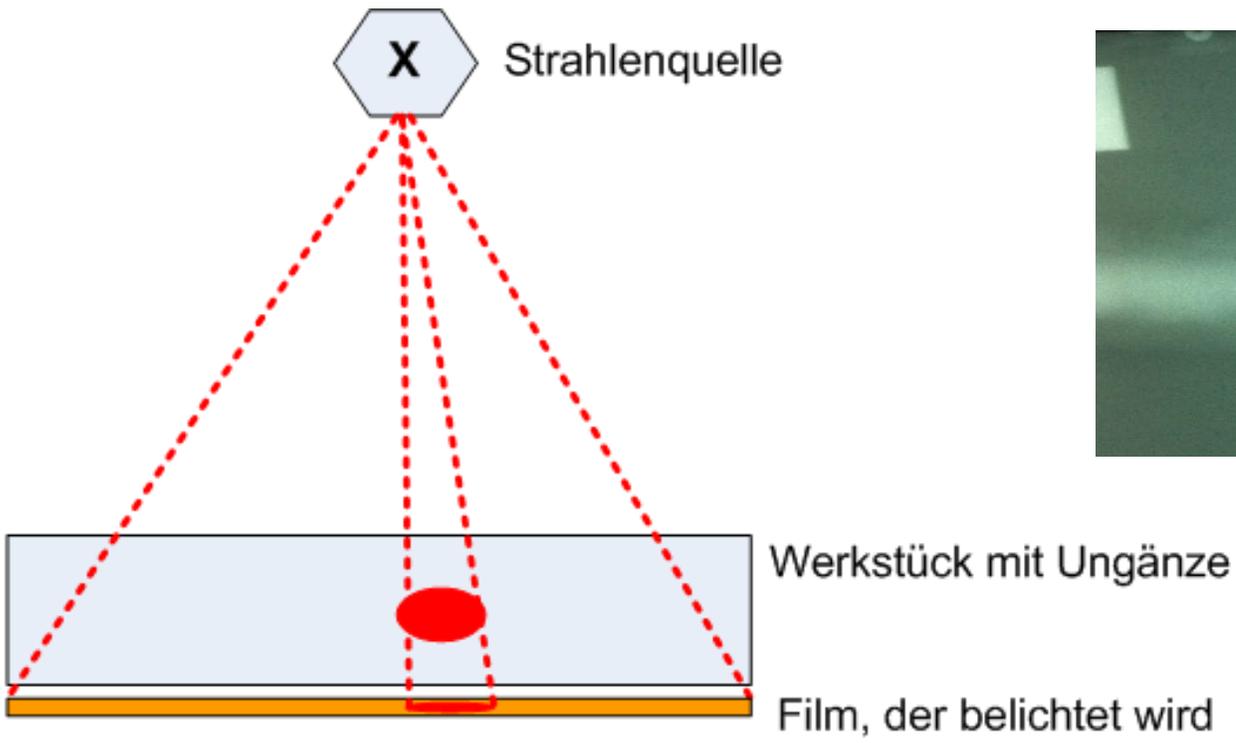
EUROPÄISCHE NORM

EN 13445-5

Unbefeuerte Druckbehälter - Teil 5: Inspektion und Prüfung



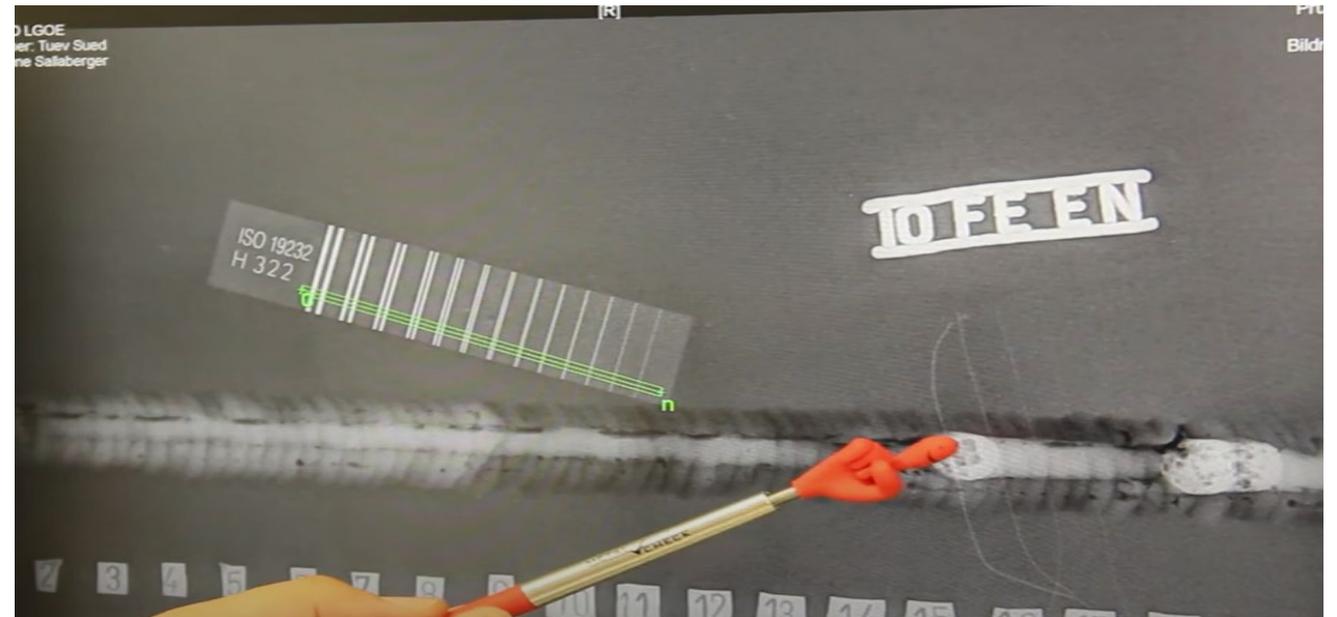
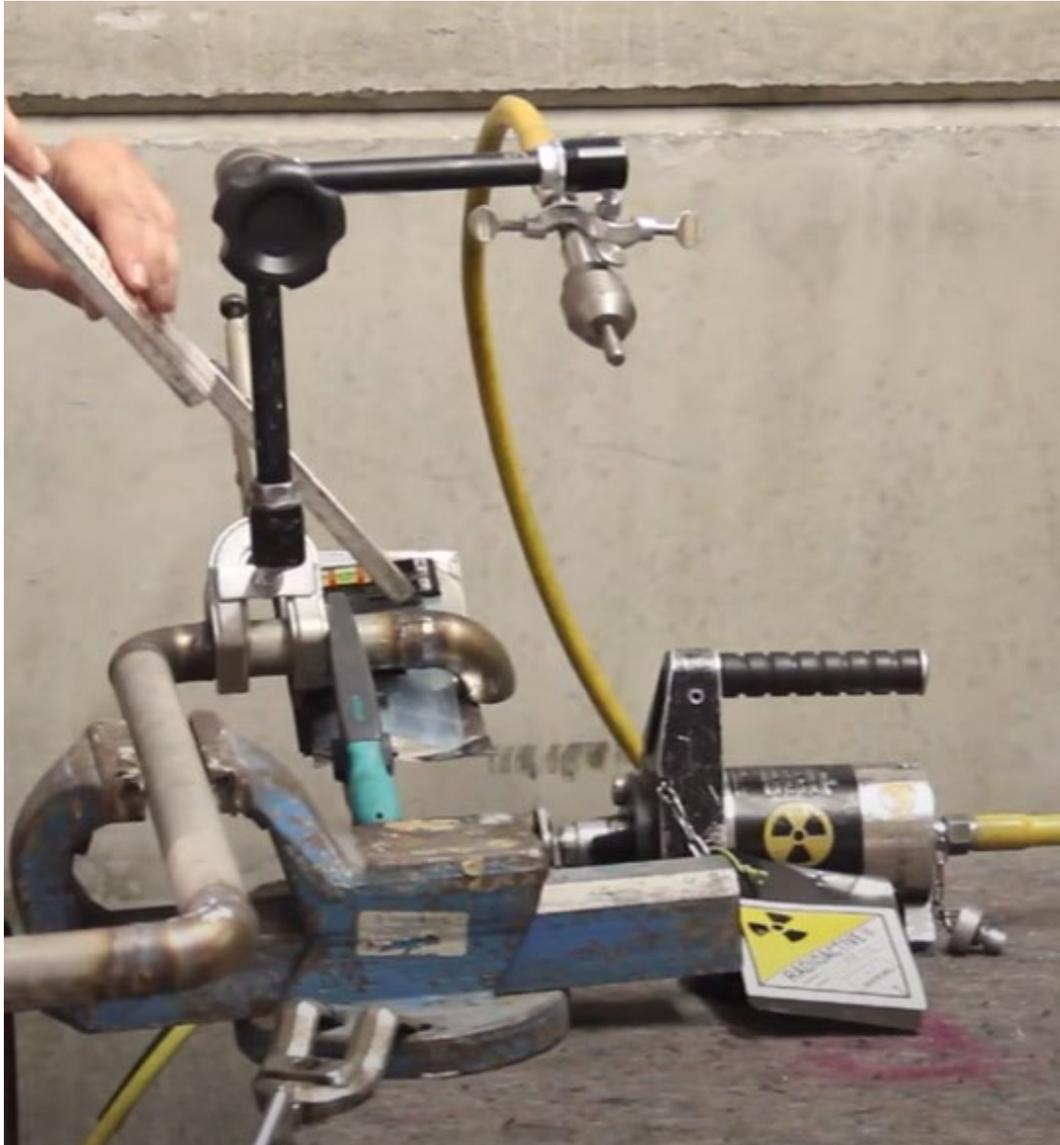
Die Qual der Wahl? Nicht bei Berücksichtigung qualitativer und wirtschaftlicher Gesichtspunkte.



Der mittlere Bereich stellt die Schweißnaht dar. Unterschiedliche Raupenhöhen werden mit anderer Schwärzung dargestellt. Diese helle Ausdehnung stellt eine Raupenüberhöhung dar.
Material wird dicker = weniger Strahlung kommt durch = der Film bleibt an dieser Stelle heller

Hier wurde der Film stärker belichtet (=dunkler).
Der Grund: weniger Material oder genau = hier befindet sich eine Pore (Hohlraum)

RT-F seit 1900 (1920) und RT-D seit 1980 (1990)



Isotop Selen 75 – Analoger Film (RT-F) & digitale Aufnahme (RT-D)

RT konventionell (RT)	RT Digital (RT CR)	Bemerkung
Schwärzung	Graustufen	Prüfung jeder Aufnahme RT CR: digital wird das sogenannte Signal-Rausch-Verhältnis SNR geprüft
Bildgüte über Einzeldraht Bildgüteprüfkörper	Bildgüte über Einzeldraht Bildgüteprüfkörper	Prüfung jeder Aufnahme RT CR: Betrachteter Graustufenbereich muss optimiert werden
	Platin-Doppeldraht-BPK	RT CR: Folien & Strahlenenergie Auflösung muss geprüft werden (indirekt – ohne Steg auf Aufnahme / direkt – mit Steg auf Aufnahme)
	Phantombild	RT CR: Jährliche Prüfung der Gesamtauflösung und Kontraste des Analog-Digitalwandlers
Rückstrahl-B	Rückstrahl-B	Prüfung jeder Aufnahme
Größter Nachteil (egal ob RT-F oder RT-D)		STRAHLENSCHUTZ und damit verbundene Einschränkungen → Zeit, Kosten, Ausbildung!

Digitale Radiographie gewinnt immer mehr an Bedeutung, die Gründe:

- Ökologische Aspekte (keine Entwickler-Chemie)
- Relativ schnelle Auswertung, da anstelle von Entwicklung ein Scan deutlich schneller ist
- Insbesondere bei gleichbleibenden Bedingungen (Serie) unglaublich durchsatzstark
- **Digitale Archivierung** und Möglichkeiten der digitalen Versendung von Aufnahmen
- **Deutlich größerer Objektumfang** (verschiedene Dicken mit einer Aufnahme möglich)
- Vorteile bei der Bewertung durch hohe Anzahl an Grauwerten (keine Filter)
- Analoge Filmauswerter benötigen nur wenig Mehrkenntnisse um digital auswerten zu können (wichtigste Aspekte – 1 bis 2 Tagesschulung)

Einige Nachteile im Vergleich zur konventionellen Röntgenprüfung bleiben bestehen

- Hohe Streustrahlenempfindlichkeit (Zusätzliche Maßnahmen nötig)
- Hohe Empfindlichkeit der Speicherfolien in Bezug auf Nutzung
- Hoher Ausbildungsaufwand beim durchführenden Personal
- Hohe Erstinvestitionskosten

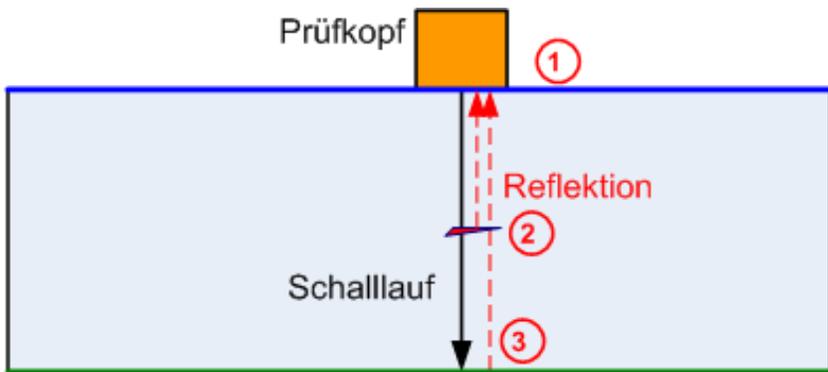
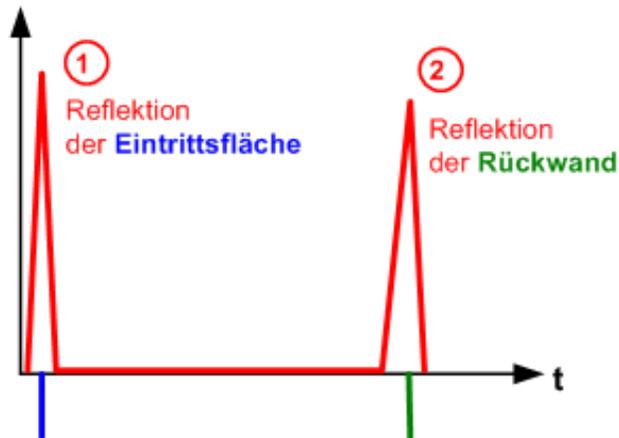
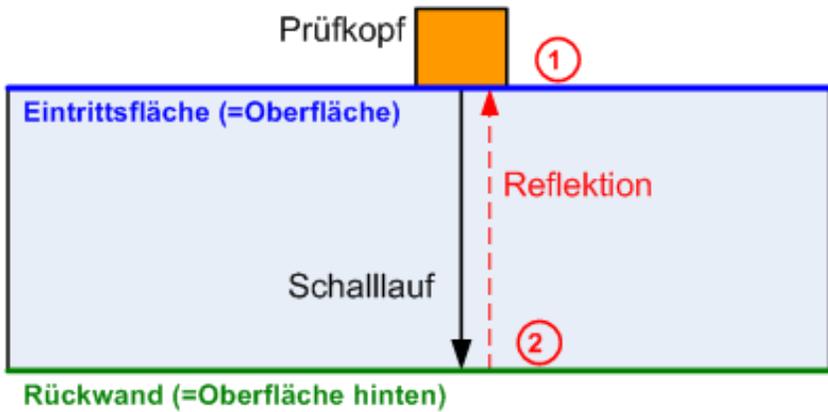
RT-F seit 1900 (1920) und RT-D seit 1980 (1990)

The screenshot displays the METAL CHECK software interface. The main window shows a grid of X-ray images, each with a label indicating the file name and date. A large window in the foreground shows a detailed view of a weld joint, with a histogram and processing tools visible on the right side. The interface includes a menu bar, a toolbar, and a status bar.

File Name	Date
Röntgen sonstige u... 03.09.2019 0	03.09.2019 0
V1436_N9	27.07.2019 0
V1436_N12	27.07.2019 0
V1436_N15	27.07.2019 0
V1436_N8	27.07.2019 0
V1436_N10	27.07.2019 0
V1436_N14	27.07.2019 0
V1036_N16_70-110	26.07.2019 0
V1436_N1Reparat...	26.07.2019 0
V1436_N12_25-45	26.07.2019 0
V1436_N15_60-0-10	26.07.2019 0
V1436_N15_45-60	26.07.2019 0
V1436_N15_25-45	26.07.2019 0
V1436_N14_45-60	26.07.2019 0
V1436_N14_60-0-10	26.07.2019 0
V1436_N16_20-60	26.07.2019 0
V1436_N16_110-0-20	26.07.2019 0
V1436_N12_25-45	26.07.2019 0
V1436_N16_40-80	26.07.2019 0
V1436_N11_40-60	26.07.2019 0
V1436_N11_60-0-10	26.07.2019 0
V1436_N11_10-25	26.07.2019 0
V1436_N11_25-40	26.07.2019 0
V1436_N13_20-60	26.07.2019 0
V1436_N13_110-0-...	26.07.2019 0
V1436_N13_40-80	26.07.2019 0
V1436_N10_15-55	26.07.2019 0
V1436_N13_75-115	26.07.2019 0
V1436_N10_110-0-...	26.07.2019 0

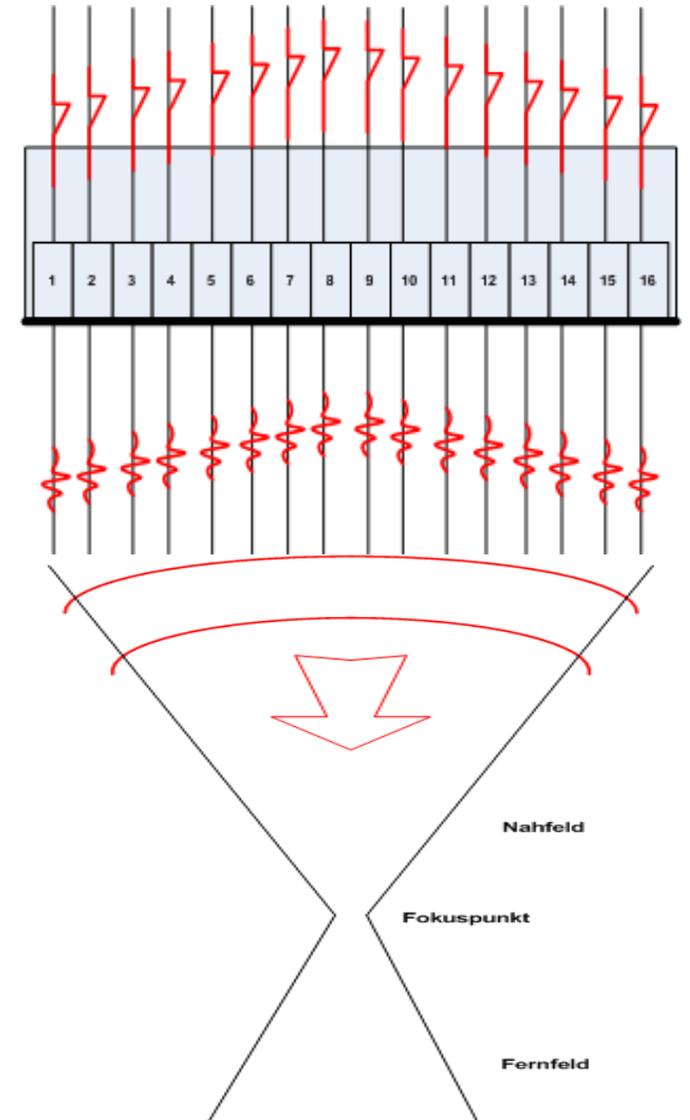
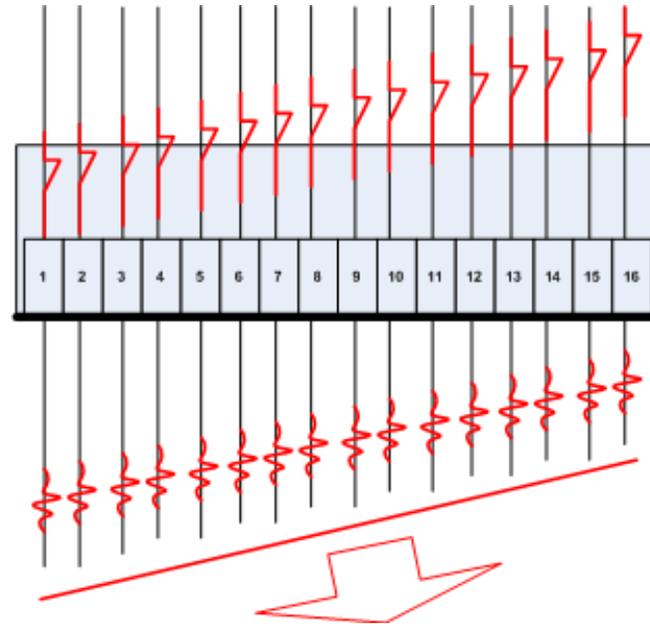
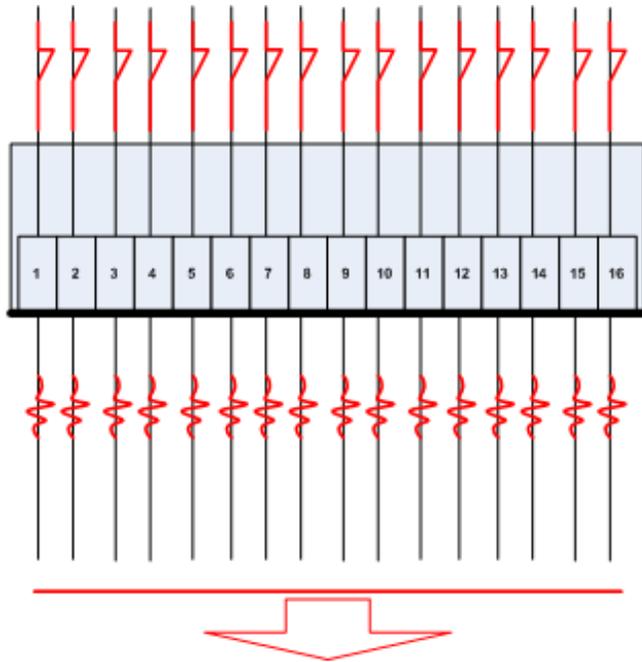
Leitungsarchivierung mit Datenabspeicherung (Bsp: 4 Teilaufnahmen je Schweißnaht)

UT ... konventionell seit 1929 (1940)

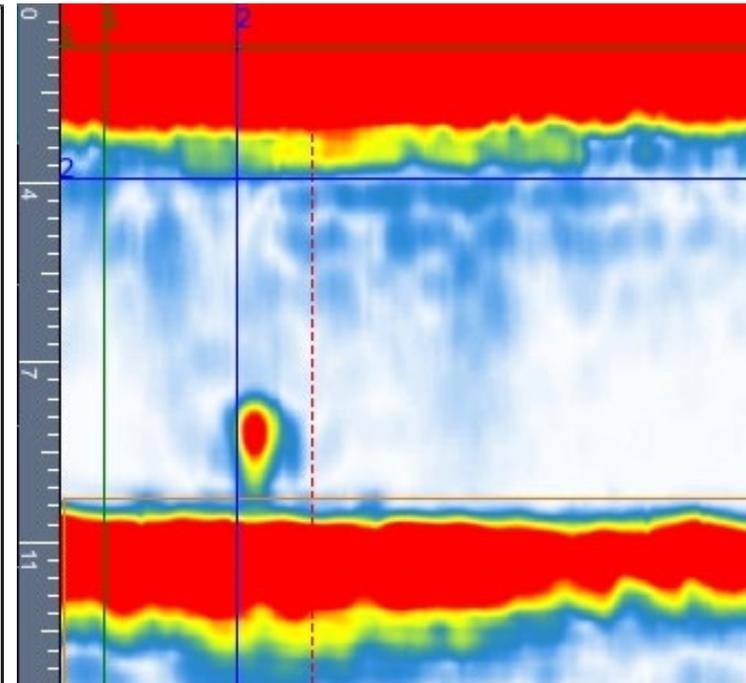
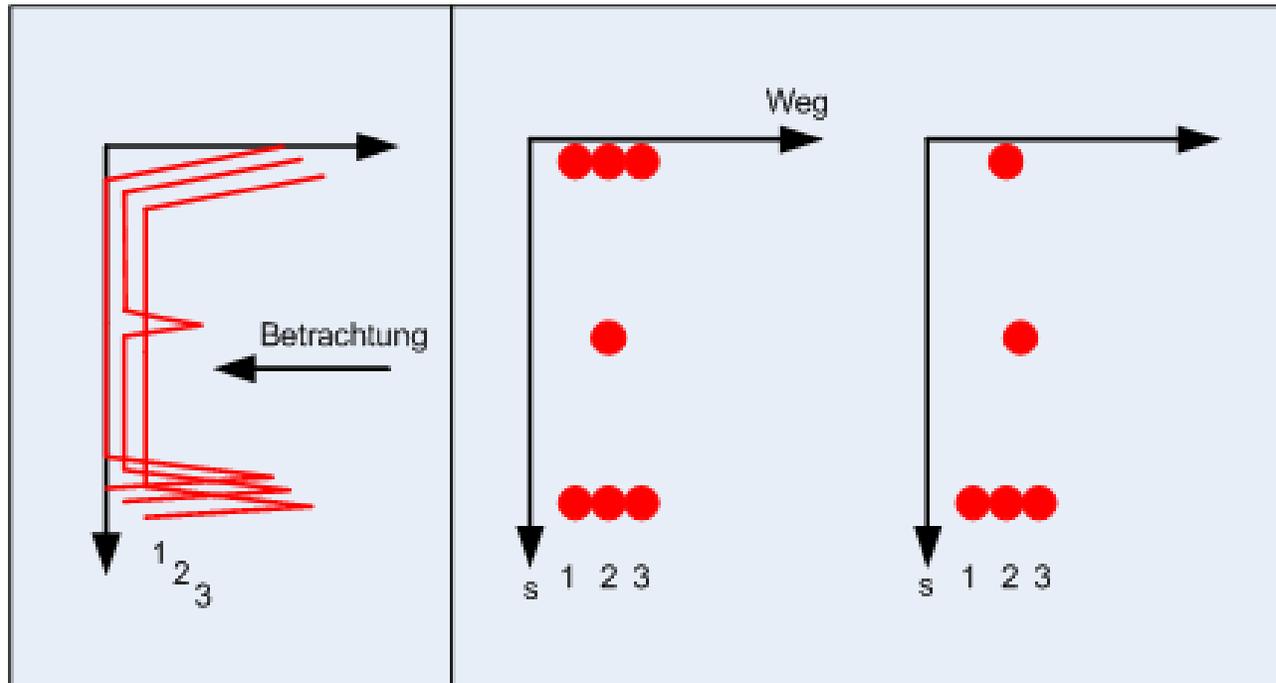
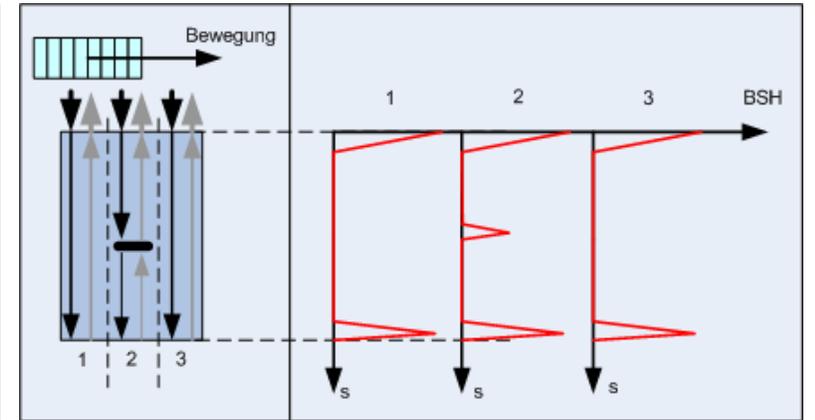
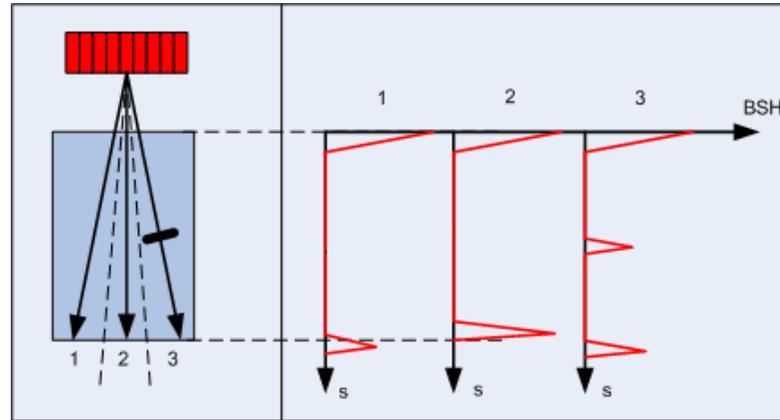
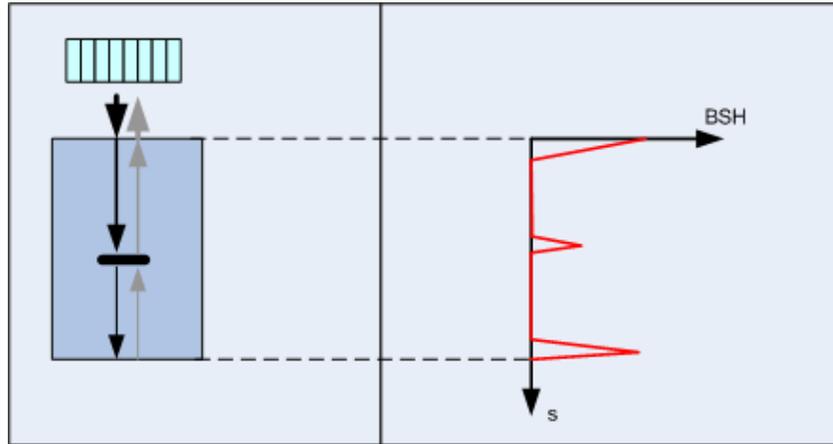


- Kein bildgebendes Verfahren – Vertrauenssache
- Nicht für alle Wandstärken geeignet (<8mm), nur für C-Stahl (Austeniten-Prüfung = Sonderprüfung!)
- *Überspitzt: Qualifiziertes Personal für UT-Prüfungen ist seltener als qualifizierte Schweißer. (inkl. PAUT/TOFD Prüfer)*

PAUT ... Phased Array UT

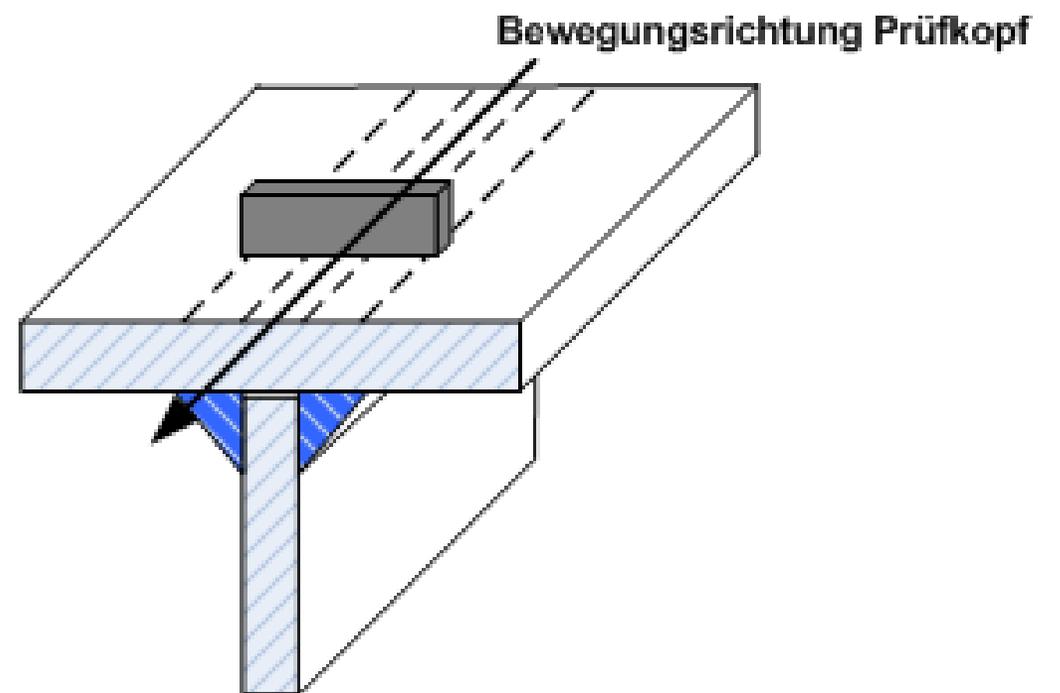
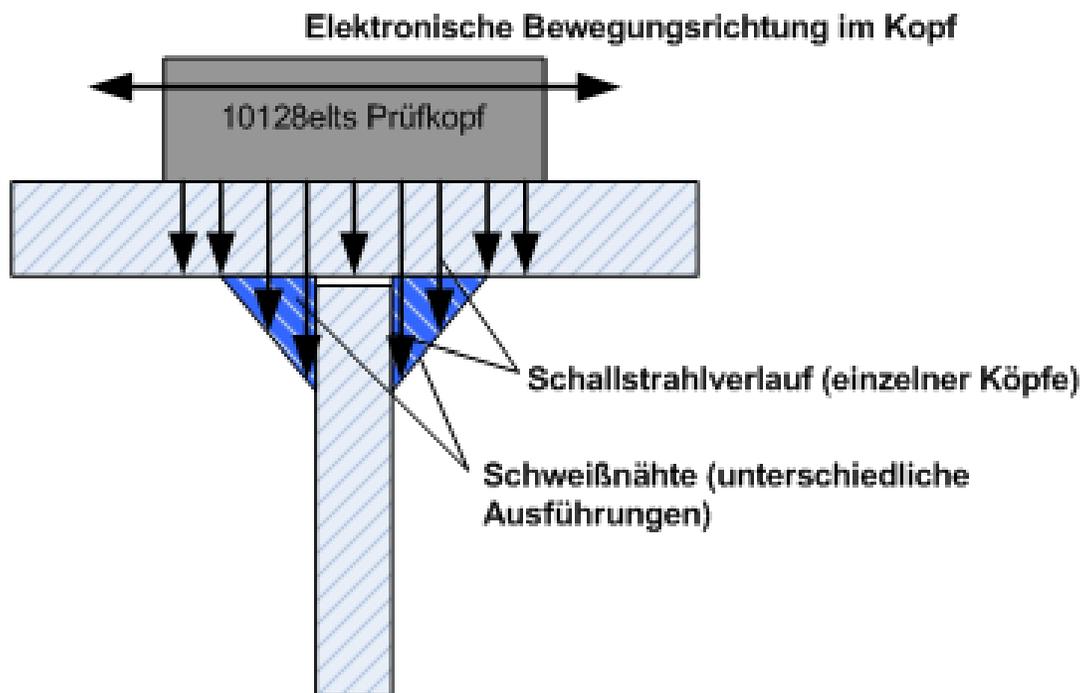
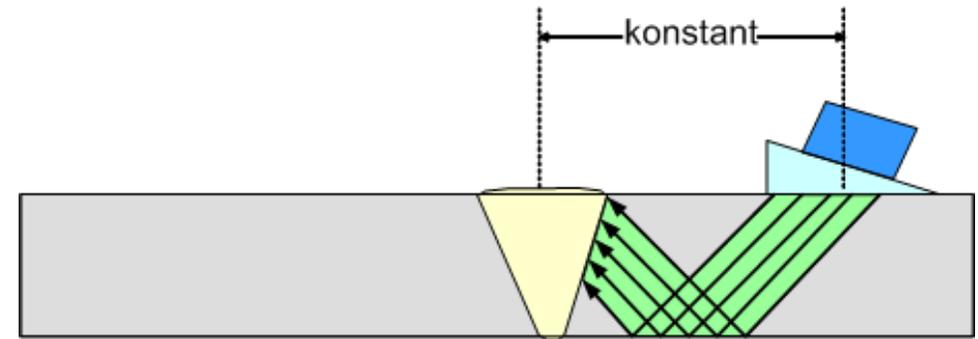
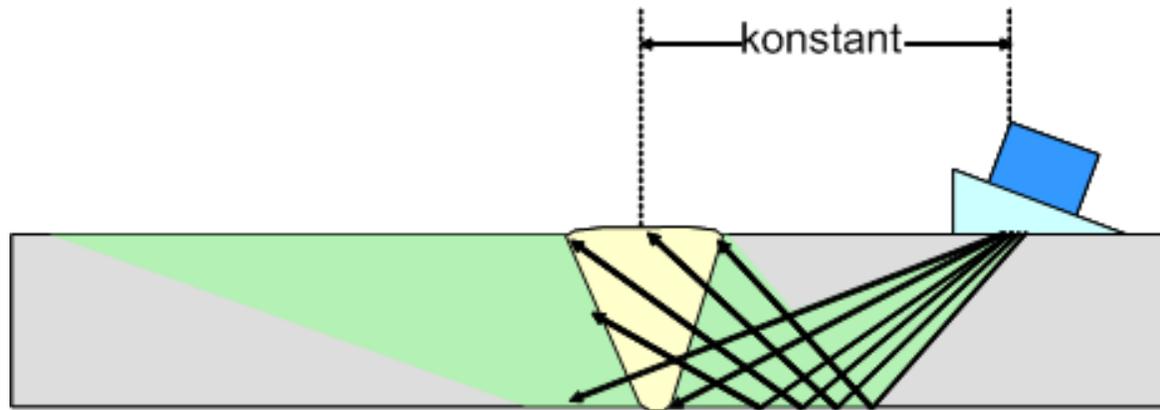


Durch die Teilung und Gruppierung von Einzelementen in Verbindung mit einer leistungsfähigen Elektronik lassen sich Prüfköpfe selbst erstellen (Winkel, Fokus, ...) und mit verschiedensten Aufzeichnungsmöglichkeiten Bildgebend verarbeiten.

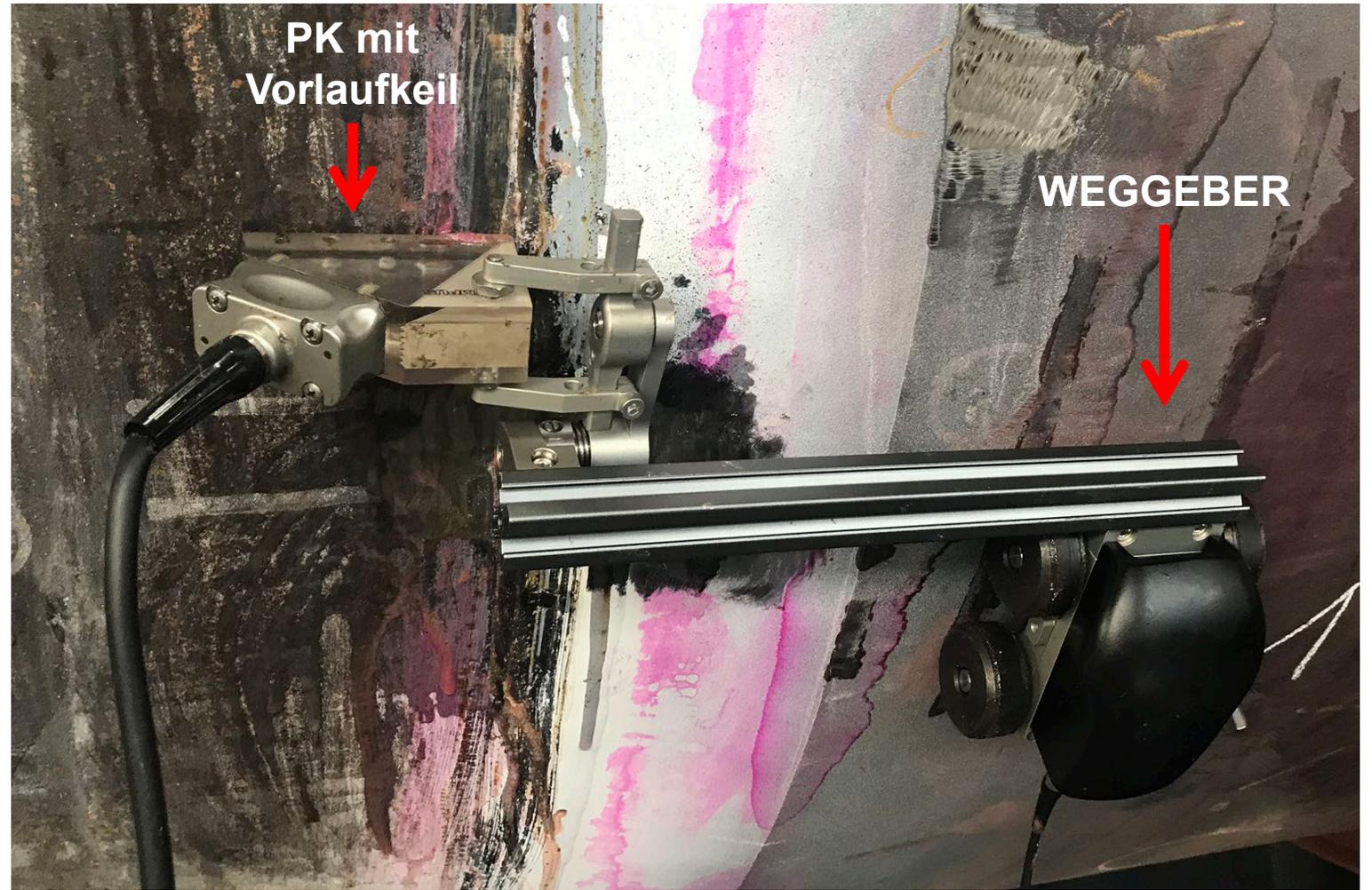


PAUT ... Phased Array UT

METAL CHECK
GROUP

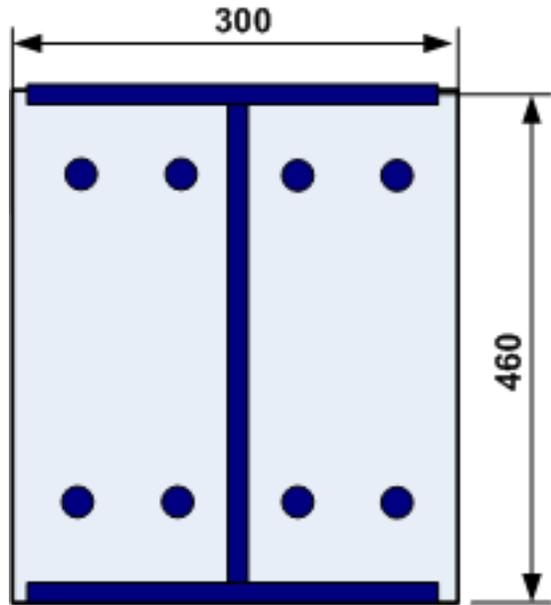


PAUT ... Phased Array UT

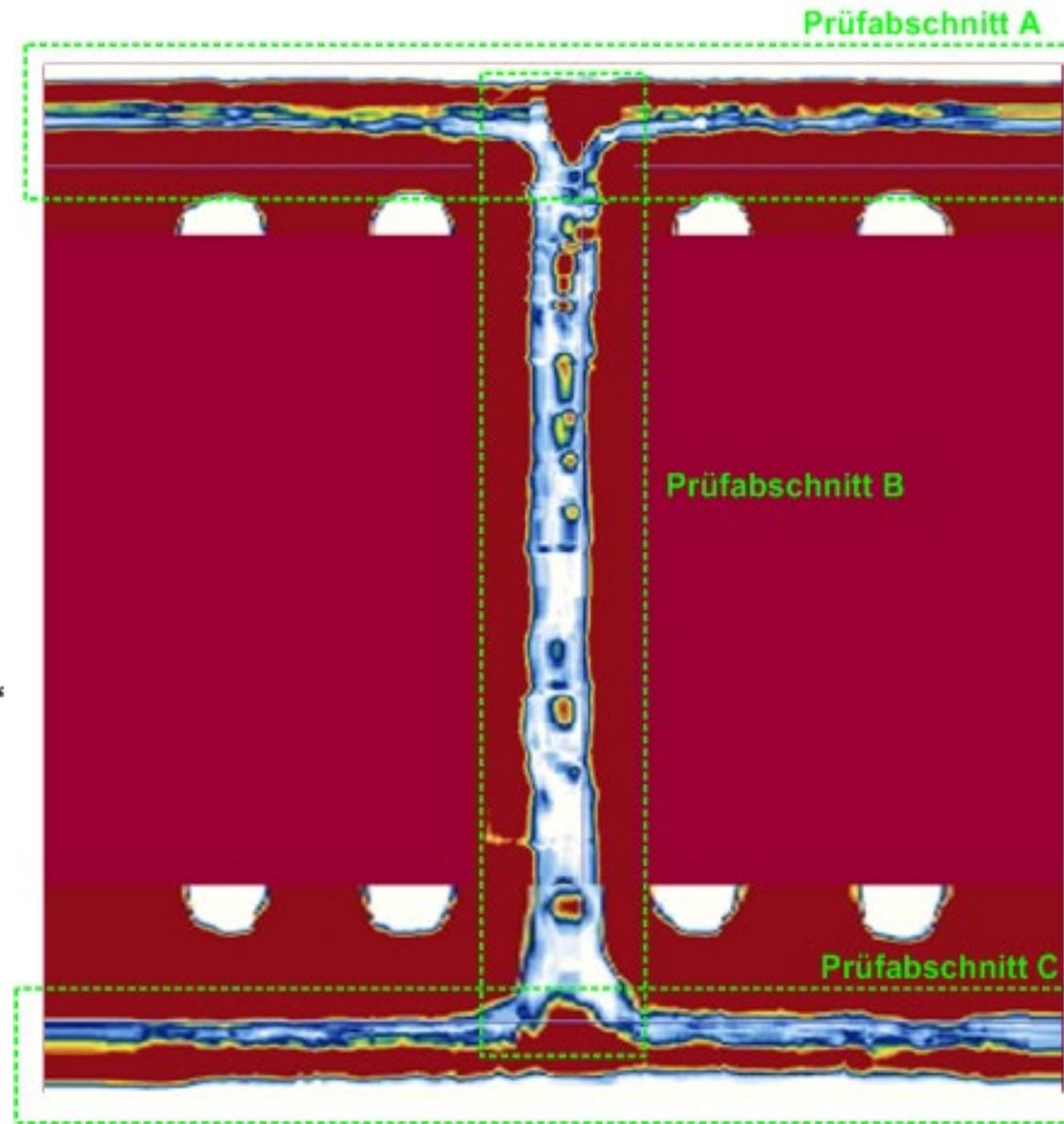
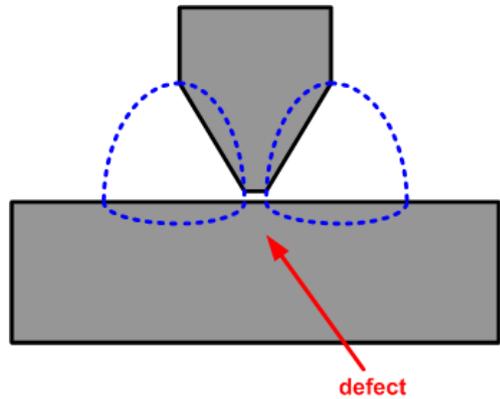


Behälter Rundnaht $t=60\text{mm}$ geprüft mit Linear-Winkel Prüfkopf 64EE 5MHz (vP 12 Elemente)

PAUT ... Phased Array UT

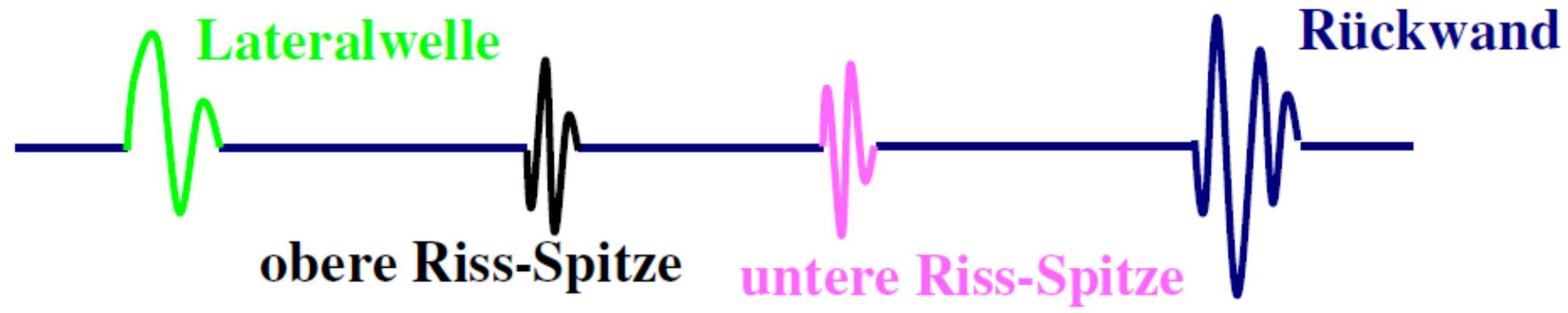
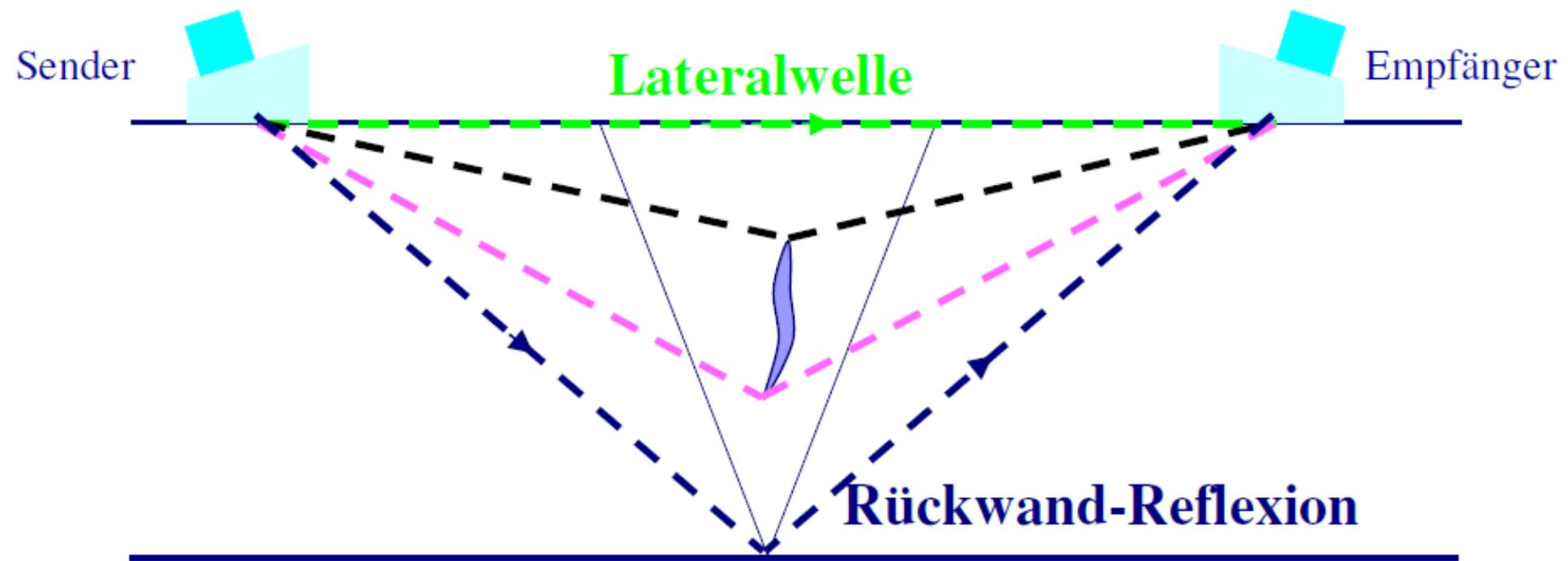


Skizze 2.6 „Bauteilskizze / Abmessungen“



HV-Nahtprüfung – bildgebend mit dem gleichen Prüfkopf (jedoch 0° Vorlaufkeil) – 64EE 5MHz

TOFD ... Time of Flight Diffraction



TOFD ... Time of Flight Diffraction

In Amerika / GB seit Jahrzehnten im Einsatz, mit vielen Vorteilen:

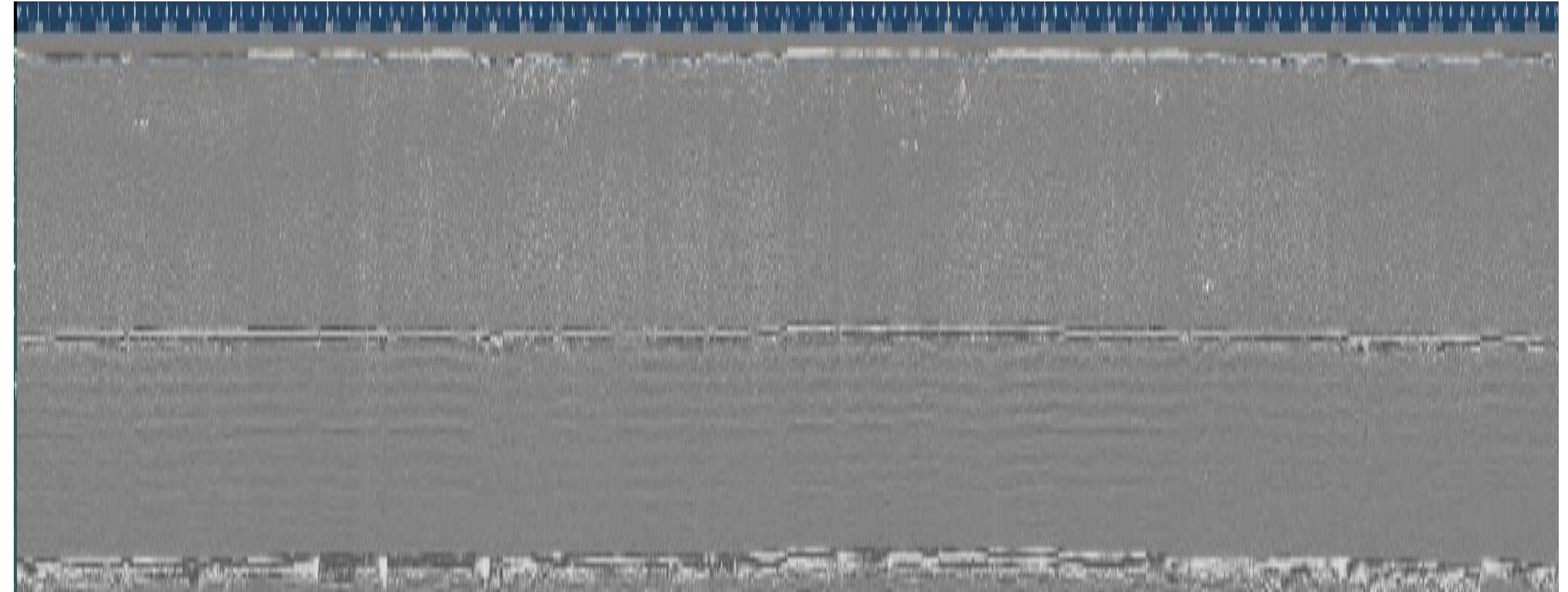
- Kein Strahlenschutz, keine zusätzlichen Kosten für Spätschicht, Filme, ...
- Bildgebendes Verfahren (bei Einsatz von Scannern)
- **Die Lage der Unregelmäßigkeit ist unerheblich, da durchschallt und nur die Beugung des Schalls erkannt wird, kann nahezu jede Lage gefunden werden.**
- Deutlich höhere Auffindwahrscheinlichkeit, als bei konventionellem UT
- Eines der schnellsten Scan Verfahren – es können bei richtiger Justierung dutzende Meter geprüft werden = günstigstes Verfahren bei hohem Prüfumfang

Nachteile:

- Erst ab höheren Dicken sinnvoll (Norm ab 6mm ?)
- Nur für Ferritische Stähle geeignet – abhängig vom Gefüge ggf. auch legierte
- Testkörper zur Kalibrierung – Standardtestkörper je Dickenbereich reicht jedoch
- **Nur für Stumpfnähte** geeignet (da Durchschallung)



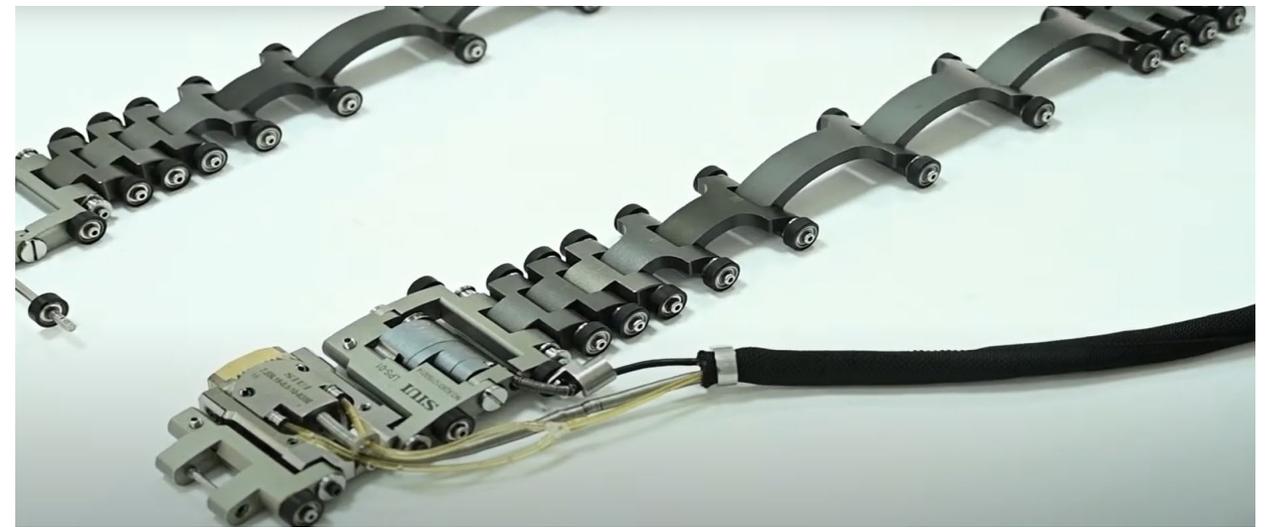
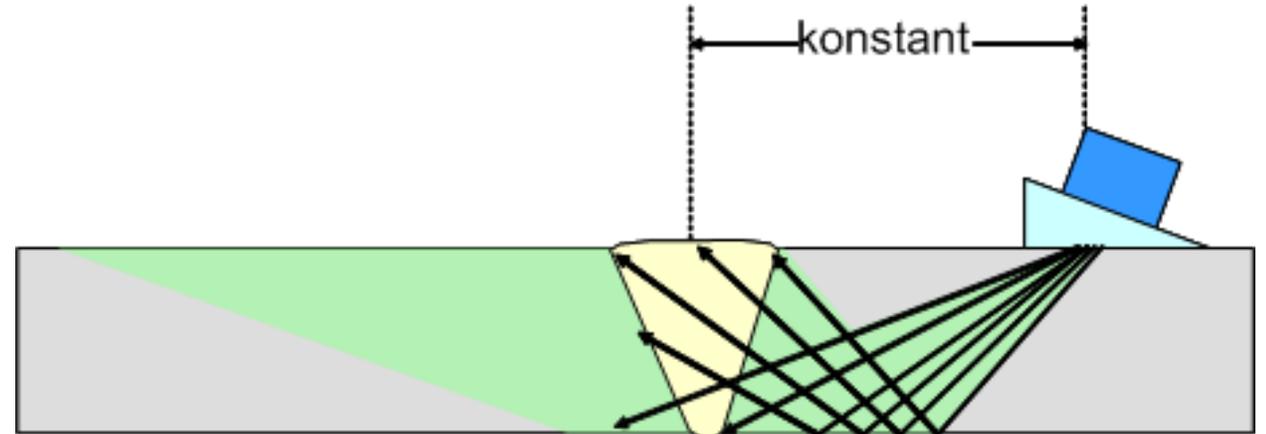
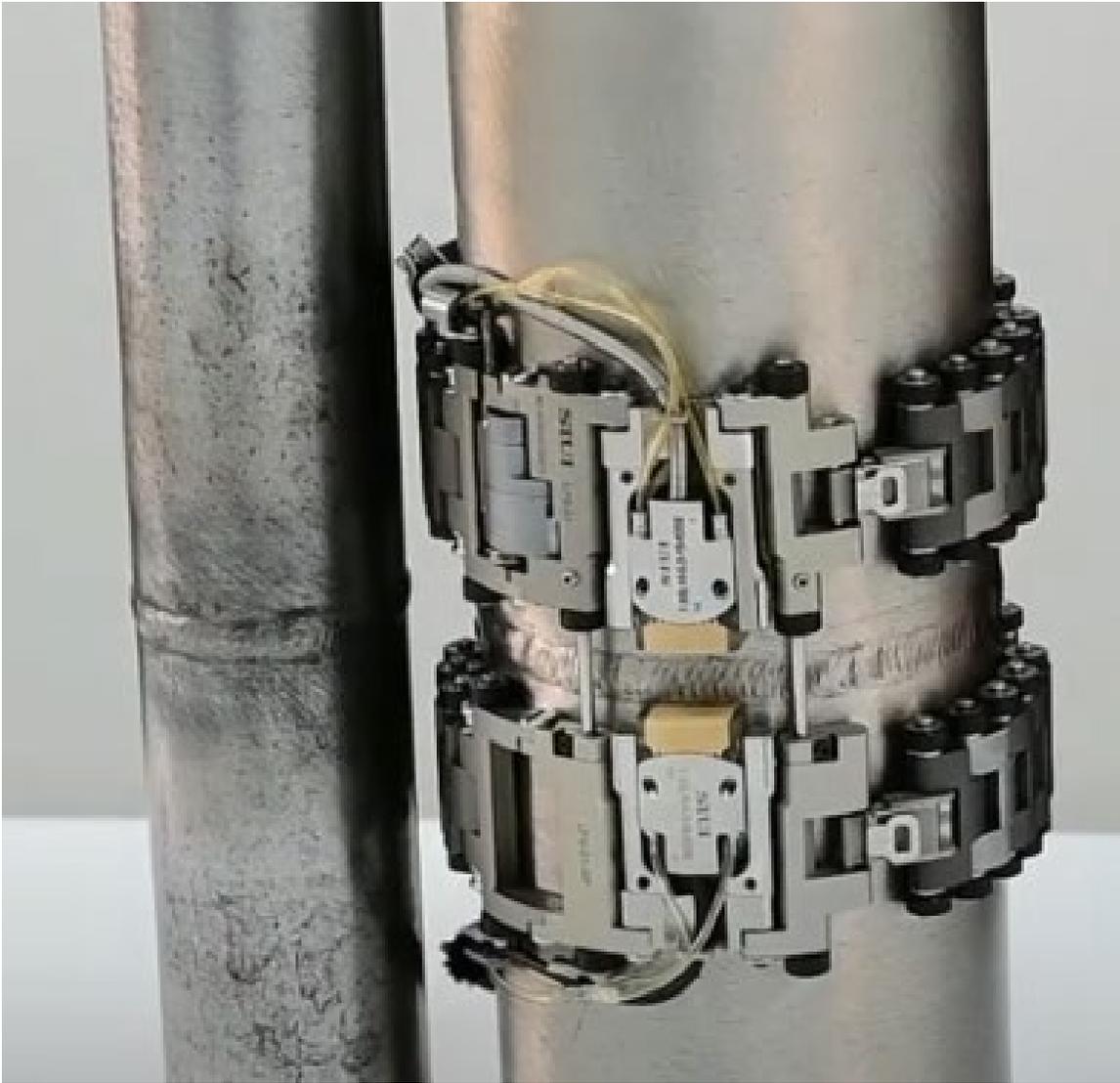
TOFD Prüfung am Stahlbau (Brücke) und an einer Ronde (t=90mm)



Prüfung eines 90mm Blech – Aufnahme zeigt die komplette Schweißnahtlänge von 4200mm

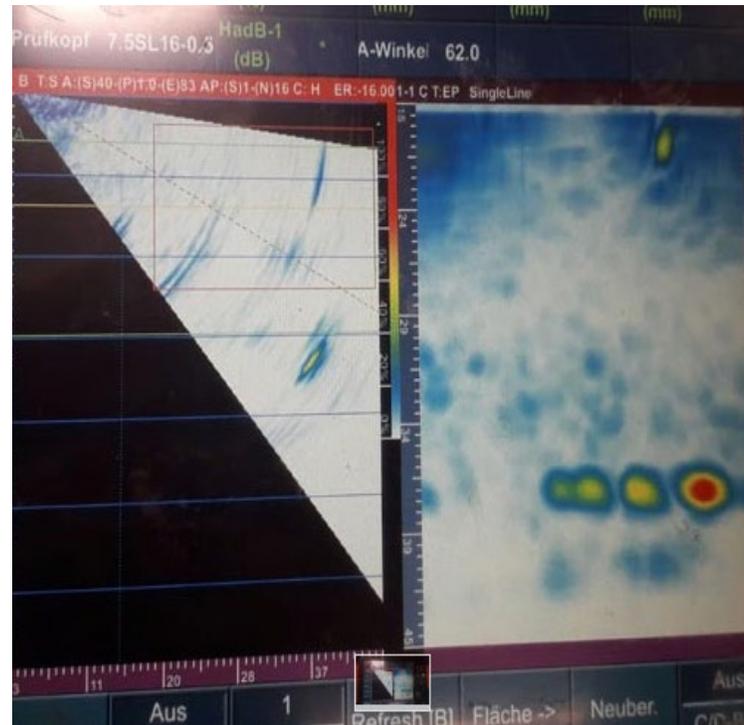
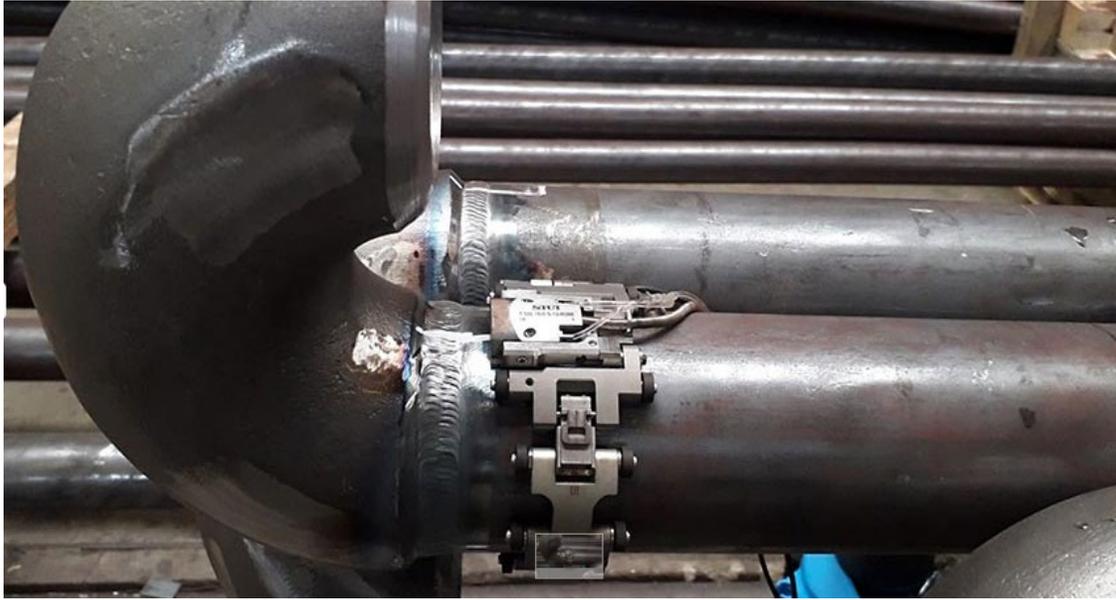
PAUT dünnwandig (ab 3,2mm)

METAL CHECK
GROUP



METAL CHECK Low Profil Scanner 01 – 7,5 MHz Prüfkopf mit 16 Elementen für DN20 bis DN800

PAUT dünnwandig (ab 3,2mm)



Prüfung von DN80 x 8,8 mm Rohr-Bogen-Schweißnähten einseitig / PK A

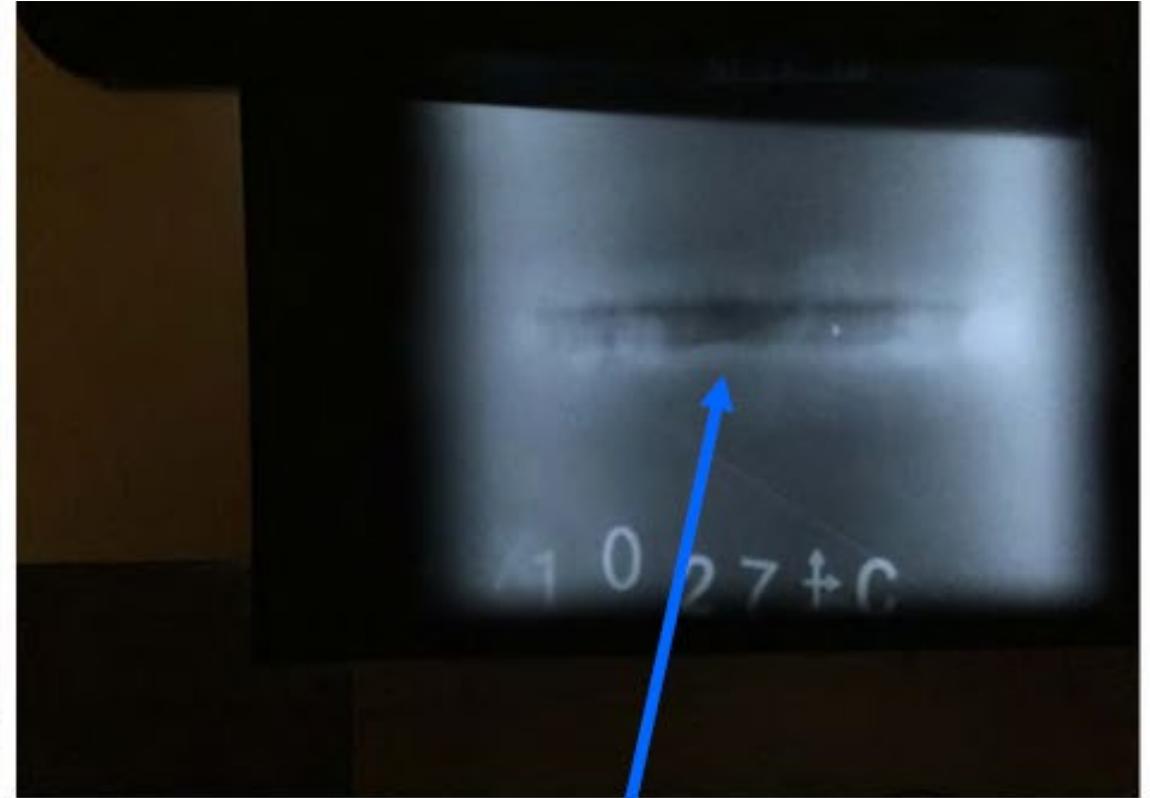
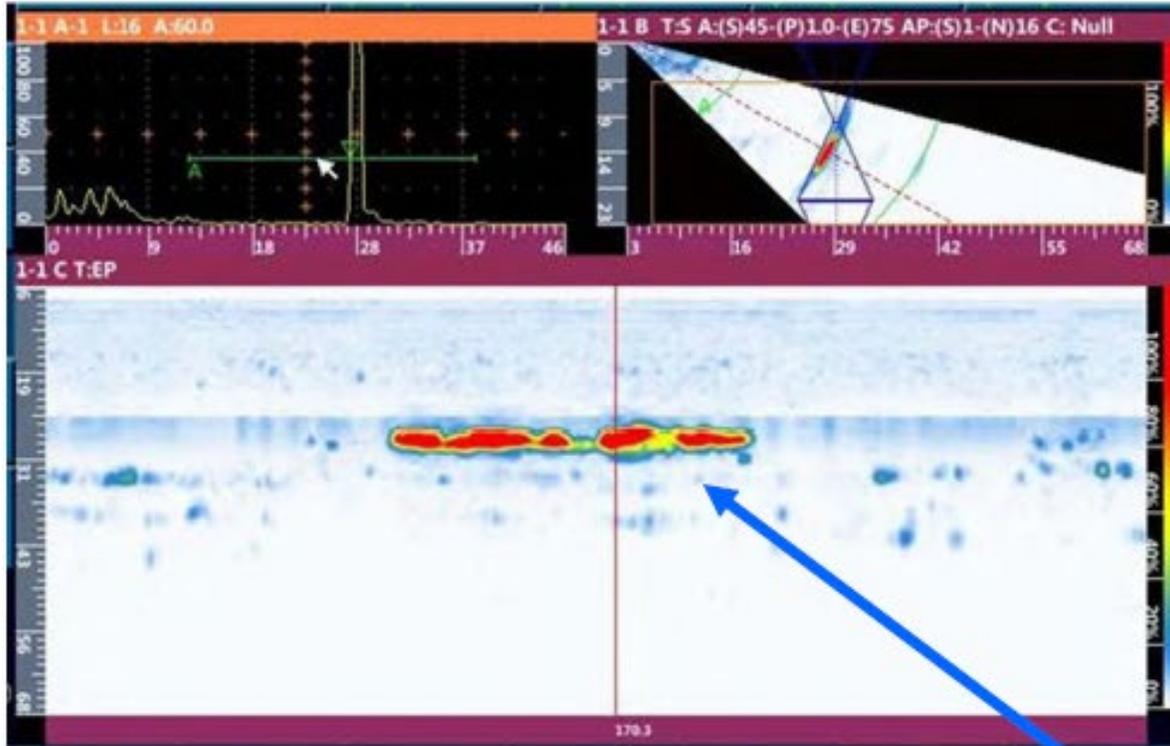
PAUT dünnwandig (ab 3,2mm)

METAL CHECK
GROUP



Hohe Durchsatzstärke bei gleichbleibender DN – Beispiel Sammler

PAUT dünnwandig (ab 3,2mm)



PAUT Scan eines Bindefehlers – Vergleichsaufnahme RT

Low Profil Scanner 01 – 7,5 MHz Prüfkopf mit 16 Elementen im Vergleich

PAUT dünnwandig (ab 3,2mm)

**ZfP an
Schweißverbindungen
in DN-Rohrformaten
mit geringer
Wanddicke**

Robin Kluth¹, Andreas Bowitzky¹

Kurzfassung. Die ZfP ist entscheidender Schritt bei der Qualitätssicherung von Schweißnähten in DN-Rohrformaten mit geringer Wanddicke, wie sie unter anderem bei Rohr an Rohr und Rohr an Formstück-Verbindungen vorkommen. Diese Verbindungen sind für Rohr-Nennweiten mit einem Nenndurchmesser (im folgenden DN genannt) von 300 mm und geringer vor allem bei Rohr an Formstück-Schweißverbindungen für die ZfP mit Ultraschall nur einseitig zugänglich. Die radiografische Prüfung (im folgenden RT-Prüfung genannt) ist bisher der Goldstandard. Eine Entscheidung für die radiografische Prüfung wird zunehmend abgewogen, weil sie hohe Anforderungen an die Sicherheit auf der Baustelle birgt, gleichzeitige Arbeiten in Baustellennähe nicht möglich sind und damit höhere Stillstandzeiten erfordert.

Statistischer Vergleich RT - PAUT

Fehlergruppe	Poren				Bindefehler		
	2011 Pore	2013 Poren-nest	2014 Poren-zeile	2016 Schlauch-pore	4011 Flanken-bindefehler	4013 Wurzelbinde-fehler	402 Ungenügende Durch-schweißung
Anzahl Fehler ausschließlich in RT gefunden	11	11	4	4	12	10	9
Anzahl Fehler in RT und UT gefunden	29	39	35	12	18	20	59
Anzahl Fehler ausschließlich in UT gefunden	22	4	11	2	17	21	7
Übereinstimmungsrate der Fehlerart	73 %	78 %	90 %	75 %	60 %	67 %	87 %
Erfassungsrate der Fehlergruppe	128 %	86 %	118 %	88 %	117 %	137 %	97 %
Übereinstimmungsrate der Fehlergruppe	79 %				76 %		
Erfassungsrate der Fehlergruppe	106 %				111 %		

Tabelle 3: Differenziertes Ergebnis der RT- und PAUT-Prüfung

Leseempfehlung:

Der DGZfP Beitrag bietet fundierte fachliche Einblicke und praxisnahe Informationen – besonders lesenswert für alle, die sich mit aktuellen Entwicklungen im Bereich der zerstörungsfreien Prüfung beschäftigen.

Quelle:

Robin Kluth / Andreas Bowitzky in: **DGZfP-Zeitung**, Ausgabe 04/2025, Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e. V.

Verfahren	Norm zur Durchführung	Geltungsbereich Wanddicke / Werkstoff		Bemerkung
RT-F (Film)	EN ISO 17636-1		Stahl, Aluminium, Kupfer, Titan	Dicke begrenzt durch Strahlenquelle (RR, Se, Ir)
RT-D (Digital)	EN ISO 17636-2		Stahl, Aluminium, Kupfer, Titan	Wie RT konventionell, jedoch mit hohem Objektumfang
UT konventionell	EN ISO 17640	≥ 8,0 mm	C-Stahl	Geringste Auffindwahrscheinlichkeit
PAUT	EN ISO 13588	≥ 6,0 mm	Stahl (C-Stahl und hochlegierte Stähle in Verbindung mit ISO 22825)	Referenzkörper notwendig
TOFD	EN ISO 10863	≥ 6,0 mm	C-Stahl	Nur bei Stumpfnähten möglich
PAUT Dünnwand	EN ISO 20601	3,2-8,0mm	C-Stahl	Referenzkörper notwendig

RT-F (Film)	Vorteile	Bekanntes Verfahren Aussagekräftige Filme	Nachteile	Strahlenschutz und damit verbundene Probleme Teuer
RT-D (Digital)		Wie RT-F Aussagekräftige Aufnahmen Hoher Objektumfang Beste Archivierbarkeit		Wie RT-F Nicht so robust wie RT-F Teuer
UT konventionell		Kein Strahlenschutz Für Einschweißungen / T-Stöße geeignet Erst ab 8mm möglich Günstig		Hoher Ausbildungsgrad erforderlich Nur für ferritische Stähle
PAUT		Wie UT konventionell Bildgebend (Weggeber/Aufzeichnung) Besser Parametrierbar / Anpassbar an Prüfaufgabe Auch für Sonderwerkstoffe möglich Ideal für flächige Unregelmäßigkeiten		Hoher Ausbildungsgrad erforderlich Referenzkörper nötig Hohe Abhängigkeit vom Reflektionsvermögen (Voluminöse Unregelmäßigkeiten werden schlechter aufgelöst – bsp Poren) Teuer
TOFD		Wie UT konventionell Bildgebend (Weggeber/Aufzeichnung) Hoher Durchsatz bei gleichbleibender Dicke Hoher Durchsatz bei hohen Dicken über 60 bis 300 mm		Hoher Ausbildungsgrad erforderlich Referenzkörper nötig Nur für unlegierte Stähle (Teuer, außer bei hohem Durchsatz)
PAUT Dünnwand		Wie UT konventionell Bildgebend (Weggeber/Aufzeichnung) Besser Parametrierbar / Anpassbar an Prüfaufgabe Hoher Durchsatz bei gleichbleibenden Dimensionen		Hoher Ausbildungsgrad erforderlich Referenzkörper nötig Nur Längsfehlerprüfung (Teuer, außer bei hohem Durchsatz)

Gründe für den zögerlichen Einsatz von PAUT und TOFD:

- ~~Fehlende Normen~~ **Weder in der Durchführung, noch in der Bewertung!**
- Konservative Gutachter und Schweißaufsichten
- Nicht ausgebildetes Personal
- ~~Geringere Auffindwahrscheinlichkeit im Vergleich zum RT Film~~ **Verfahrensspezifische Vor- und Nachteile**

Rohrleitungsbau

RT ist nach wie vor für besonders dünnwandige oder austenitische Werkstoffe die bevorzugte Wahl. Es gibt aber eine ganze Reihe von Anwendungen (>3,2mm, hohe gleichbleibende Stückzahl) die den Einsatz der PAUT und TOFD Verfahren rechtfertigen. In manchen Anwendungsbereichen stellen diese Verfahren sogar eine **bessere Alternative** zum Röntgen dar.

Behälterbau

Insbesondere bei dickwandigen Schweißnähten ist der Einsatz von PAUT und TOFD nicht nur kostengünstiger sondern auch aussagekräftiger. Im mittleren Dickenbereich kann insbesondere die TOFD Prüfung bei hohen Prüfumfängen deutlich günstiger durchgeführt werden, als die RT Prüfung.

Des Weiteren sind mit den Normen ISO 22825 (Verfahrensnachweis) nun auch alle Sonderwerkstoffe mit Funktionsnachweis und **ISO 20601 dünnwandige Schweißnähte ab 3,2 mm** prüfbar.

Zum Thema Auffindwahrscheinlichkeiten – die Physik und ihre Grenzen

- VT Die visuelle Prüfung zeigt uns die Realität, in den Grenzen der Wahrnehmung!
- PT Die Anzeigengrößen beruhen auf dem Kapillareffekt & der daraus resultierenden Ausblutung von zur Oberfläche offenen Unregelmäßigkeiten.
- MT Die Anzeigengrößen beruhen auf der magnetischen Wechselwirkung von Luftspalt (Trennung) zu Prüfmittel (Eisenpartikel) nahe der Oberfläche.
- RT-F/D Die Anzeigengrößen beruhen auf 2-dimensionaler Projektion & dem Schwächungsverhalten der Unregelmäßigkeit an Oberflächen & im Volumen.
- UT Die Anzeigengrößen beruhen auf dem ultraschallphysikalischen Reflektionsverhalten der Unregelmäßigkeit an Oberflächen & im Volumen.
- TOFD Die Anzeigengrößen beruhen auf dem ultraschallphysikalischen Beugungsverhalten der Unregelmäßigkeit im Volumen
- PAUT Die Anzeigengrößen beruhen auf dem ultraschallphysikalischen Reflektionsverhalten der Unregelmäßigkeit an Oberflächen & im Volumen, mit einem großen Spektrum an Parametrierung.

Veröffentlichungen

📄 Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung – Die Qual der Wahl - Eine Auswahl möglicher Verfahren und Alternativen

📄 Wärmetauscher – Rohreinschweißungsprüfung mit RT & LT

📄 Schweißnahtqualität nach EN ISO 5817



← Link zum Download-Bereich

Normenübersichten Allgemein und für Schweißnähte

Normenübersicht über die gängigsten zerstörungsfreien Werkstoffprüfverfahren

📄 Normenübersicht in der ZFP

Normenübersicht über Schweißnahtqualitäten nach ISO 5817 und die Möglichkeiten der Prüfung

📄 Normenübersicht über Schweißnahtqualitäten

Öffentliche Vorträge

VAIS Vortrag 2022 – Prüfverfahren PAUT / TOFD in Verbindung mit der aktuellen Normung (EN ISO & ASME) – Möglichkeiten / Vorteile als Prüfverfahren in der Herstellung

📄 VAIS Vortrag 2022

DVS Vortrag 2021 – Der aktuelle Entwicklungsstand der digitalen Radiographie im Vergleich zum konventionellen Röntgenfilm

📄 DVS Vortrag 2021

DVS Vortrag 2019 – Die neue Erdgasfernleitung MONACO und wie sie geprüft wurde

📄 DVS Vortrag 2019

DVS Vortrag 2018 – Moderne ZFP Verfahren im Apparatebau

📄 DVS Vortrag 2018



EN ISO 5817
Schweißen — Schmelzschweißverbindungen an Stahl, Nickel, Titan und deren Legierungen (ohne Strahlschweißen) — Bewertungsgruppen von Unregelmäßigkeiten

Bewertungsgruppen beruhend auf der tatsächlichen Größe der Unregelmäßigkeiten

EN ISO 5817
Bewertungsgruppe B

EN ISO 5817
Bewertungsgruppe C

EN ISO 5817
Bewertungsgruppe D

ZFP Verfahrensübertragung
EN ISO 17635

Beste Qualität
Hohe Anforderungen

Mäßige Qualität
Mittlere Anforderungen

Geringste Qualität
Geringe Anforderungen

Sichtprüfung / Visuelle Prüfung

VT	Durchführung		Keine Prüfklassen [direkt oder indirekt]		Keine Prüfklassen [direkt oder indirekt]		Keine Prüfklassen [direkt oder indirekt]
	EN ISO 17637						
	Bewertung						
	EN ISO 5817						
	Bewertungsgruppe B		Bewertungsgruppe C		Bewertungsgruppe D		

EN ISO 5817 → EN ISO 17635 → Durchführung & Bewertung



Sichtprüfung / Visuelle Prüfung

Volumenprüfungen

RT	Durchführung	B [verbesserte Technik]	B (Teilaufnahmen nach A) [verbesserte Technik]	A [Standardtechnik]
	EN ISO 17636			
(+ RT CR)	Bewertung	Zulässigkeitsgrenze 1	Zulässigkeitsgrenze 2	Zulässigkeitsgrenze 3
	EN ISO 10675-1			

Anzeigengrößen beruhen auf 2-dimensionaler Projektion & dem Schwächungsverhalten der Unregelmäßigkeit an Oberflächen & im Volumen

UT	Durchführung	B [mehr Einschallungen]	A [Standardtechnik]	Nicht festgelegt
	EN ISO 17640			
	Bewertung	Zulässigkeitsgrenze 2	Zulässigkeitsgrenze 3	Nicht gefordert
	EN ISO 11666			

Anzeigengrößen beruhen auf dem ultraschallphysikalischen Reflektionsverhalten der Unregelmäßigkeit an Oberflächen & im Volumen

TO	Durchführung	C [Testkörper notwendig]	B [Testkörper notwendig]	A [Standardtechnik]
	EN ISO 10863			
FD	Bewertung	Zulässigkeitsgrenze 1	Zulässigkeitsgrenze 2	Zulässigkeitsgrenze 3
	EN ISO 15626			

Anzeigengrößen beruhen auf dem ultraschallphysikalischen Beugungsverhalten der Unregelmäßigkeit im Volumen

PA	Durchführung	B [verbesserte Technik]	A [Standardtechnik]	A [Standardtechnik]
	EN ISO 13588			
UT	Bewertung	Zulässigkeitsgrenze 2	Zulässigkeitsgrenze 3	Zulässigkeitsgrenze 3
	EN ISO 19285			

Anzeigengrößen beruhen auf dem ultraschallphysikalischen Reflektionsverhalten der Unregelmäßigkeit an Oberflächen & im Volumen



Danke für Ihre Aufmerksamkeit.