

Überprüfung der Aussagekraft der Ultraschallprüfung bei der Reflektorgrößenbestimmung

Beispiele aus Qualifikationen und von realen Bauteilen

Friedrich MOHR
intelligeNDT Systems & Services GmbH, Erlangen
AREVA NDE-Solutions

Kurzfassung. Die Zerstörungsfreie Prüfung ist Teil der Qualitätskontrolle an bestimmten Bauteilen und hat die Aufgabe, Fehlstellen aus der Fertigung bzw. betriebsinduzierte Veränderungen zu detektieren. Dies ist nur der erste Schritt.

Wird nun eine Fehlstelle gefunden, so stehen im zweiten Schritt die Fragen im Raum, wo genau liegt diese Fehlstelle, welche Ausdehnung hat diese Fehlstelle und welcher Art ist sie? Die Antworten auf diese Fragen sind Basis für die Berechnungen und deren Ergebnis bestimmt dann Umfang und Art der nächsten Aktionen bis hin zu der Einleitung einer nötigen Reparatur am Bauteil bzw. eines Austauschs des Bauteils. Die Folgen dieser Entscheidungen können sowohl enorme terminliche und/oder monetäre Auswirkungen haben.

Hieraus ergibt sich immer wieder die Fragestellung, mit welcher Genauigkeit kann die zerstörungsfreie Prüfung unter den gegebenen Randbedingungen diese geforderten Angaben liefern.

Kommt es dann tatsächlich zu einer Reparatur oder zu einem Austausch, so wird im Nachgang Ursachenforschung betrieben, um die Fragestellung nach der Ursache der Fehlstellenbildung beantworten zu können. Bei diesen metallographischen Untersuchungen werden auch die durch die zerstörungsfreie Prüfung ermittelten Werte der Fehlstelle überprüft. Die Erfahrung zeigt nun, dass oft gute Übereinstimmung vorliegt, aber auch Abweichungen auftreten können, die bezeichnend sind.

Mit der Ursache der Abweichungen möchte ich mich in meinem Vortrag befassen. Hier ist zu unterscheiden, ob einerseits die Prüftechnik die Anforderungen überhaupt erfüllen kann und andererseits, ob die Randbedingungen gegeben waren, um die geforderten Aussagen treffen zu können.

An Beispielen aus Qualifikationen und Untersuchungen an realen Bauteilen möchte ich diese Problematik näher beleuchten und aufzeigen. Es soll weiterhin gezeigt werden, dass wir einen sehr hohen technischen Stand in der zerstörungsfreien Prüfung haben, aber die erforderlichen Randbedingungen müssen auch eingehalten werden. .

Einführung

„(5) Die Aufgabe der vorliegenden Regel im Hinblick auf Wiederkehrende Prüfungen besteht darin, die relevanten Maßnahmen aus den folgenden Aufzählungen a bis d festzulegen, um den zum Zeitpunkt der Prüfung vorhandenen Zustand der Komponenten festzustellen und in Bezug auf den Sollzustand zu bewerten.“

Bild 1: Auszug aus der KTA 3211.4



„(7) Bei den wiederkehrenden Prüfungen werden Prüfverfahren angewendet, mit denen die im Betrieb auftretenden Fehler in der druckführenden Umschließung des Reaktorkühlmittels rechtzeitig vor Erreichen der Zulässigkeitsgrenze erkannt werden. Bei der Festlegung der Prüfmänge und Prüfabschnitte sind konstruktive Gestaltung, Werkstoffeigenschaften, Herstellungsverfahren und Beanspruchung der jeweiligen Komponente sowie Erfahrungen aus schon durchgeführten Prüfungen berücksichtigt.“

Bild 2: Auszug aus der KTA 3201.4

In beiden Zitaten aus unterschiedlichen kerntechnischen Regelwerken werden die Aufgabe und Zielsetzung von wiederkehrenden Prüfungen beschrieben. Die Methoden der wiederkehrenden Prüfung sind Prüfverfahren der zFP, der zerstörungsfreien Prüfung. Die Kerntechnik war aufgrund ihrer extrem hohen Sicherheitsanforderung lange Jahre der Treiber für die Entwicklung auf dem prüftechnischen Sektor. In Deutschland ist einer der größten Know-how-Träger mit mehr als 30 Jahren Erfahrung die intelligenteNDT System & Service GmbH, die wiederum seit Anfang 2010 in die Business Unit AREVA NDE-Solutions (Bild 3) integriert ist. Hier kommen zu der deutschen Kompetenz noch die Erfahrung und das Know-how der französischen und der amerikanischen Schwestereinheiten hinzu und bilden somit ein zFP-Kompetenzzentrum mit ca. 700 Mitarbeitern weltweit.

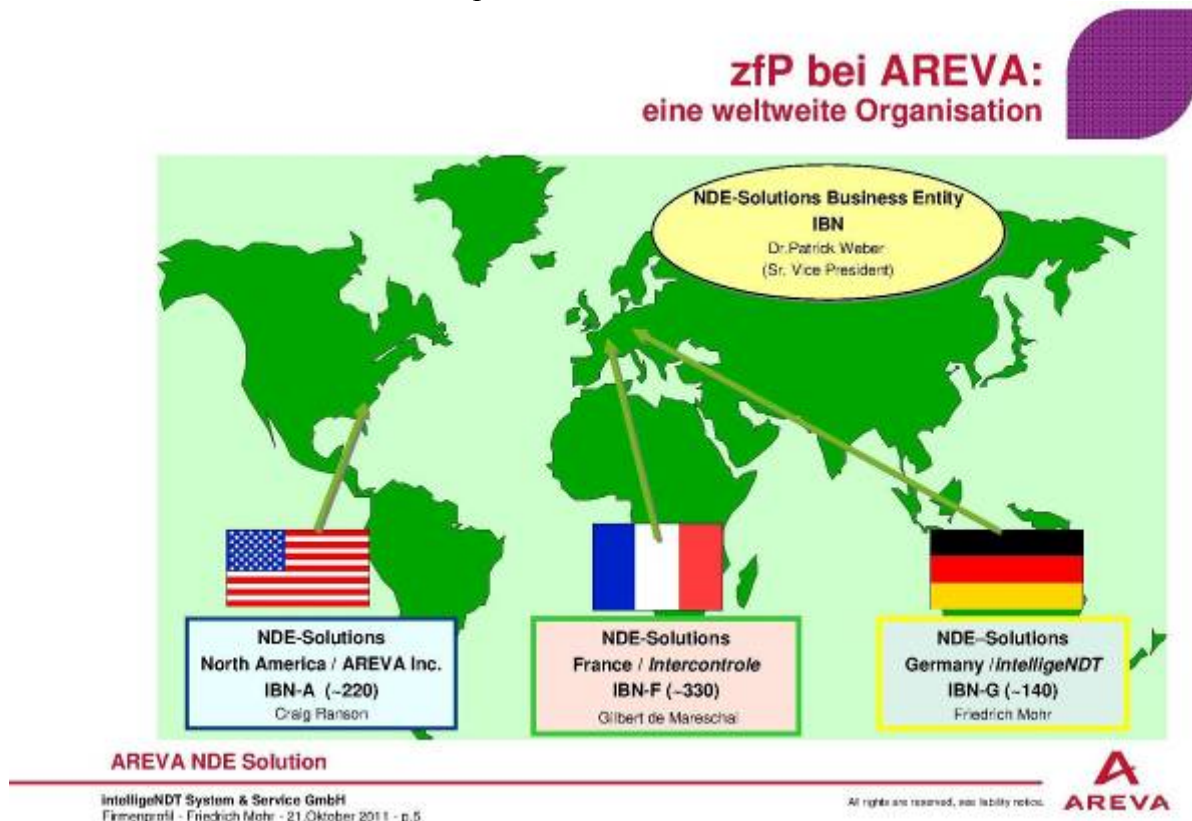


Bild 3: NDE Solutions

Losgelöst von der Kerntechnik kann man postulieren, dass die zerstörungsfreie Prüfung Teil der Qualitätskontrolle an definierten Bauteilen ist und die Aufgabe hat, Fehlstellen aus der Fertigung bzw. betriebsinduzierte Veränderungen zu detektieren.

Die Charakterisierung von Fehlstellen

Beide Zitate gehen aber in ihrer Aufgabenbeschreibung über das reine Auffinden von Fehlstellen bzw. Veränderungen hinaus. Dies ist nur der erste Schritt.

In Zitat 2 steht der Zusatz „rechtzeitig vor Erreichen der Zulässigkeitsgrenze“ und in Zitat 1 wird die Aufgabe erweitert „in Bezug auf den Sollzustand zu bewerten“. Beide Aussagen beschreiben Forderungen an die zerstörungsfreie Prüfung, die über das reine Auffinden hinausgeht. Denn, wird eine Fehlstelle in einem Bauteil gefunden, so steht im zweiten Schritt eine Bewertung an, die die Fragen gegenüber dem Sollzustand und der Zulässigkeit klären soll. Die endgültige Aussage über die Zulässigkeit kommt über die Berechnung der Bauteilbewertung, doch hierfür müssen die Eingangsparameter durch die zerstörungsfreie Prüfung bereitgestellt werden, wie z. B. „wo genau liegt diese Fehlstelle“, „welche Ausdehnung hat diese Fehlstelle“ und „welcher Art ist sie“? Durch die Ergebnisse der Berechnung wird dann bestimmt, welche nächste Aktion gestartet werden muss bzw. welchen Umfang die Aktion haben wird. Dies kann zu der Einleitung einer nötigen Reparatur am Bauteil oder auch eines Austauschs des Bauteils führen. Die Folgen dieser Entscheidungen können sowohl enorme terminliche als auch monetäre Auswirkungen haben.

Im ASME Code wird die Methode zur Charakterisierung einer Anzeige genauer beschrieben (Bild 4) und auch eine detaillierte graphische Erklärung geliefert. (Bild 5)

(a) Flaws detected by the preservice and inservice examinations shall be sized by the bounding rectangle or square for the purpose of description and dimensioning. The dimensions of a flaw shall be determined by the size of a rectangle or square that fully contains the area of the flaw.

(1) The length ℓ of the rectangle or one side of the square shall be drawn parallel to the inside pressure retaining surface of the component.

(2) The depth of the rectangle or one side of the square shall be drawn normal to the inside pressure retaining surface of the component and shall be denoted as a for a surface flaw and $2a$ for a subsurface flaw.

(3) The aspect ratio of a flaw shall be defined by a/ℓ . The flaw aspect ratio shall not exceed 0.5. (See Fig. IWA-3320-1, Flaw #3, as an example.)

(b) Flaws shall be characterized in accordance with IWA-3310 through IWA-3390, as applicable. If multiple

Bild 4: ASME Code XI, Edition 2004, Article IWA-3300

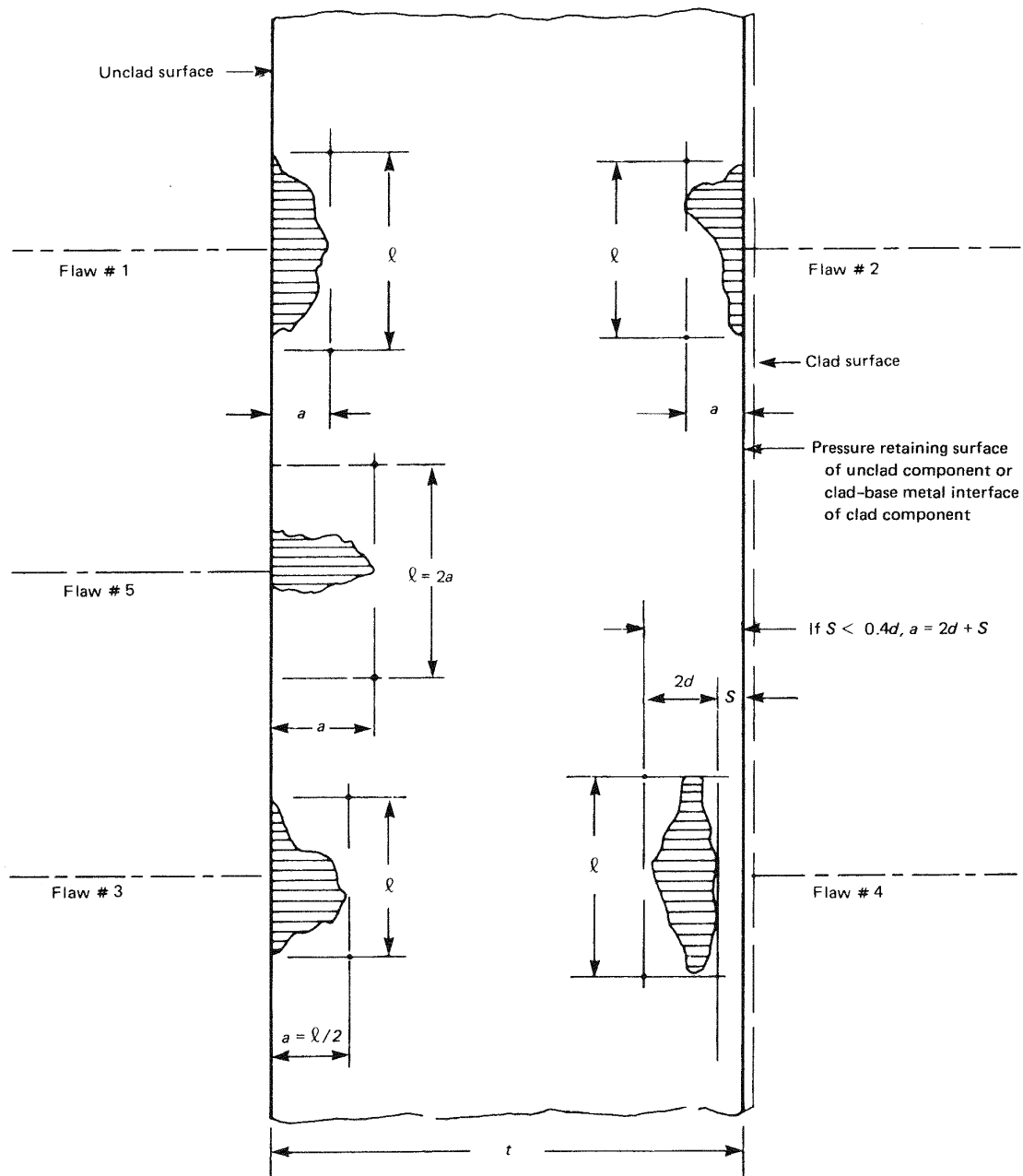


FIG. IWA-3310-1 SURFACE PLANAR FLAWS ORIENTED IN PLANE NORMAL TO PRESSURE RETAINING SURFACE
 Illustrative Flaw Configurations and Determination of Dimensions a and l
 ($\frac{1}{2}$ in. = 13 mm)

Bild 5: ASME Code XI, Edition 2004, Fig. IWA-3310-1

Bei der Charakterisierung einer Fehlstelle ergibt sich immer wieder die Fragestellung, mit welcher Genauigkeit kann die zerstörungsfreie Prüfung unter den gegebenen Randbedingungen diese geforderten Angaben liefern.

Diese Fragestellung muss grundsätzlich in 2 Bereiche untergliedert werden:

1. Kann die ausgewählte Prüfmethodik die geforderten Anforderungen generell erfüllen?
2. Sind die Randbedingungen bei dieser Analyse so gewährleistet, dass eine Aussage ohne Einschränkungen innerhalb des vorher definierten Rahmens uneingeschränkt getroffen werden kann?

Geeignete Prüfmethodik

Bei der Auswahl der Prüfmethodik ist nicht nur das Verfahren maßgeblich, es ist die gesamte Prüfkette zu berücksichtigen. Als Vorbereitung zu einer Prüfaufgabe ist prinzipiell ein Nachweis über die Machbarkeit zu führen. Idealerweise wird dies durch eine Qualifikation gemäß den ENIQ Richtlinien oder den Richtlinien vergleichbarer Qualifikationsverfahren (SQC, PDI, etc.) durchgeführt. All diese Richtlinien verlangen die Auflistung der Einflussgrößen. Am Beispiel einer Ultraschallprüfung möchte ich auf die diversen Einflussgrößen kurz eingehen. (Bild 6)

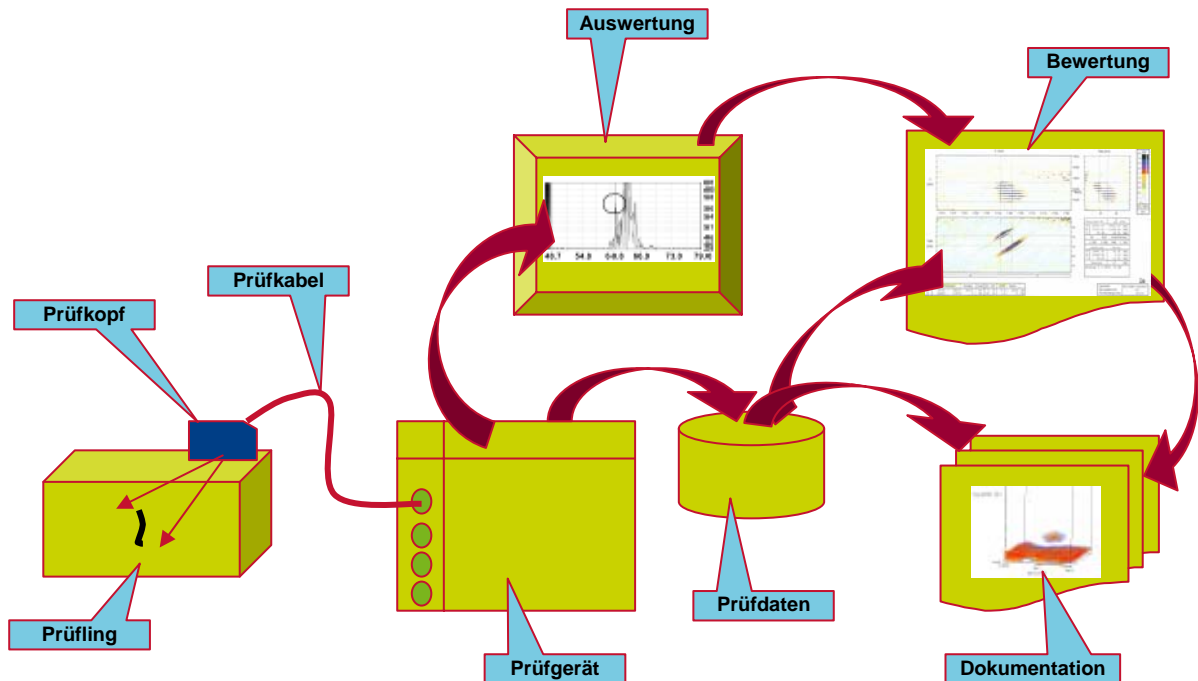


Bild 6: Prüfkette einer Ultraschallprüfung

Manipulator

Für eine belastbare Prüfaussage muss gewährleistet sein, dass die gemessenen Ultraschallsignale der Position auf der Komponente exakt zugeordnet werden können. Deshalb sind bei den Manipulatorsystemen (Manipulator inkl. Steuerung) die Positioniergenauigkeit und die Wiederanfahrergenauigkeit ebenso eine essentielle Größe wie z. B. Prüfgeschwindigkeit und Triggerabstand. Um speziell bei der Ultraschallprüfung eine gleichmäßige Datenqualität zu erreichen, muss das System an die Komponente angepasst sein. Die Zugänglichkeit muss gewährleistet sein, um den Prüfbereich auch abdecken zu können. Unregelmäßigkeiten an der Prüfoberfläche müssen durch das System ausgeglichen werden. Aus diesem Grunde gibt es eine Vielzahl von angepassten Manipulatorsystemen bis hin zu den immer häufiger eingesetzten Robotersystemen.

(Bild 7)

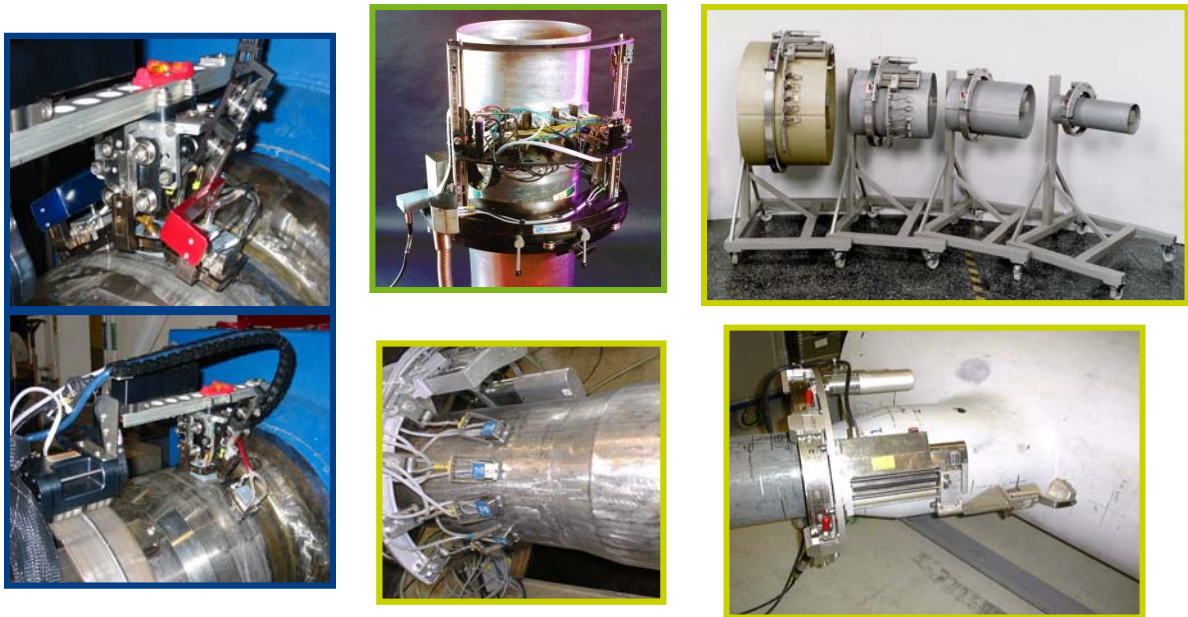


Bild 7: verschiedene Manipulationssystem für Rohrleitungsprüfungen

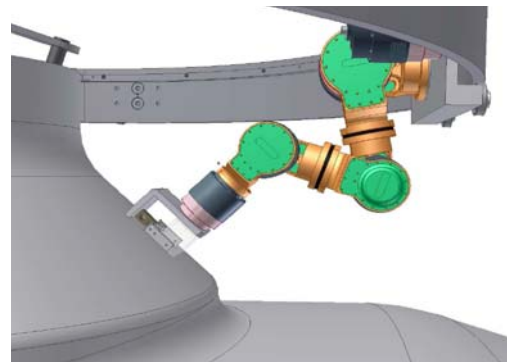


Bild 8: ein Robotiksystem neuester Art für Stutzenprüfungen

Prüfkopf

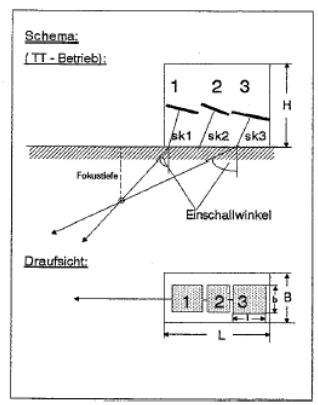
Die Prüfkette beginnt aber mit der Sensorik und den anschließenden Prüfkabeln, die in Länge und in elektrischer Eigenschaft angepasst sein müssen.

Um einen Reflektor optimal zu erfassen, ist das Schallfeld, der Wellenmode und der Einschallwinkel von essentieller Bedeutung. Weiterhin sind Schalldruck, Frequenz, Anregungsart, Schwingermaterial, Schwingergröße, Schwingerart, Sendespannung etc. genauso wichtig. Alle diese Parameter müssen qualitätsgesichert gemessen und dokumentiert werden (Bild 9).

Nenn-/Spezifikation

Frequenz (+/- 10 %): 2 MHz
 Wellenart: trans/long
 Einschallwinkel (+/- 2 Grad) in Ferrit: nach Betriebsart
 Schweißwinkel: ----
 Schwingermessungen: 1,6 x 12
 - Rechteck (l x b) in qmm: 2,4 x 12
 3,6 x 12
 Neigungswinkel: ----
 Fokustiefe (akust.): TT - Betrieb: 15mm
 TK - Betrieb: 3mm
 Fokuslänge (akust.): ----
 Kontaktfläche (L x B): 40 x 20 qmm
 Gehäuse (L x B x H): 40 x 20 x 30 cmm
 Wasseranschluß: ja
 Halterung: Bohrungen
 - Durchmesser: 2,4 mm
 - Höhe über PK-Schle: 6 / 10 mm

HERSTELLER: SIEMENS
 PRÜFKOPF-TYP: TTK 2
 PRÜFKOPF-NR.: 034/94



Prüfkopf-Sohle:
 - Radius in EE: ----
 - Radius senkr. EE: ----
 PK-Buchse(n): LEMO 00

Sonstiges: Schwinger 1:Sender45;Schwinger2: Empf.Kriechw.;Schwinger3:Empf.60

Meßdaten - Pulsspektrum

Mittenfrequenz (-3 dB): 1.94 MHz
 Bandbreite (-3 dB): 0.92 MHz
 Sonstiges:

Meßdaten - Schallfeld

Einschallwinkel in Ferrit: TT - Betrieb: 52.05Grad
 Einschallw.Austenit, berechnet:TT - Betrieb: 49.73Grad
 Gesamt-Öffnungswinkel (-3 dB):
 - in Einschallebene she. Richtcharakteristik
 - senkr. Einschallebene she. Richtcharakteristik
 Kellvorlaufstrecke Sk: sk1:ca.19mm TT - Betrieb: ca.18
 sk2:ca.17mm TK - Betrieb: ca.18
 sk3:ca.18mm
 Schallaustrittspunkt: S.45 :10 TT - Betrieb: 16
 E.60 :23
 E.K.: 24.5

Bild 9: Prüfkopfdokumentation

Weiterhin müssen die Prüfköpfe für die Oberfläche und die Manipulatoraufnahme optimiert sein, um das beste Prüfergebnis zu erzielen. (Bild 10)

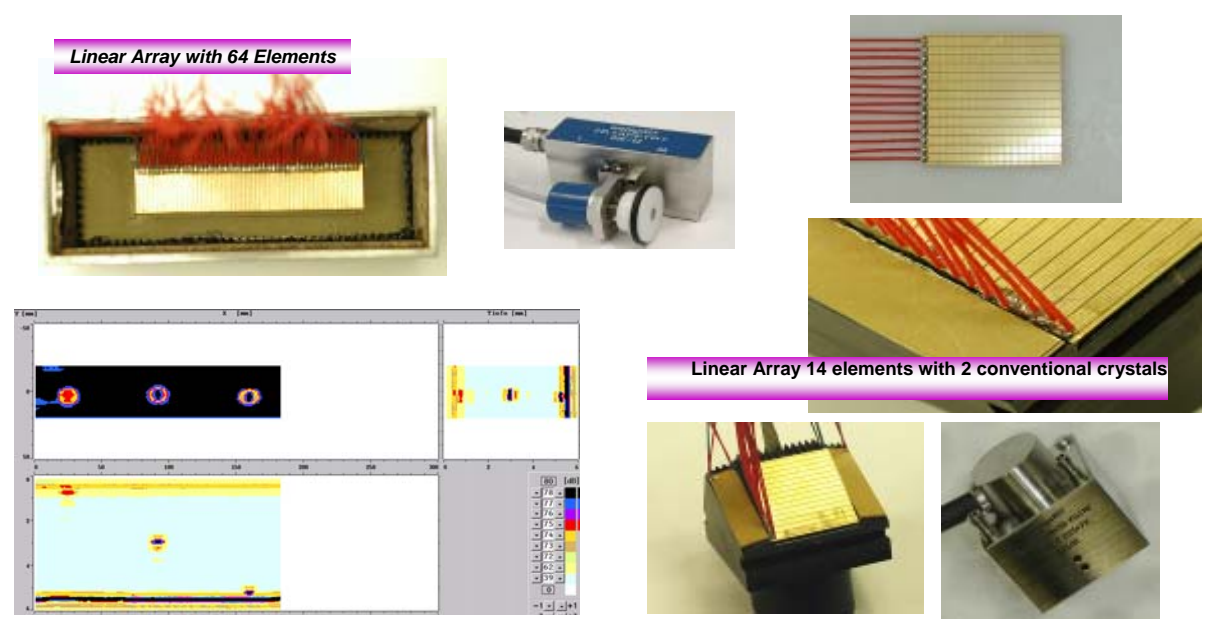


Bild 10: Variation von Prüfköpfen für unterschiedliche Anwendungen

Ultraschallgerät

Das Kernstück der Ultraschallmesskette ist das Ultraschallgerät mit der zugehörigen Aufnahme und Auswertesoftware. Der nötige Signalausgabestand (elektrisch und akustisch) muss gewährleistet sein. Zudem muss die Software alle Tools enthalten, um alle nötigen Parameter eingeben zu können und die detektierten Anzeigen mit allen Methoden „state of the art“ auswerten zu können. Die Geräteentwicklung passt sich an die Entwicklung, der verfügbaren elektronischen Bauteile an. Die Geräte werden komplexer, kleiner, schneller, leichter und somit effizienter (Bild 11).

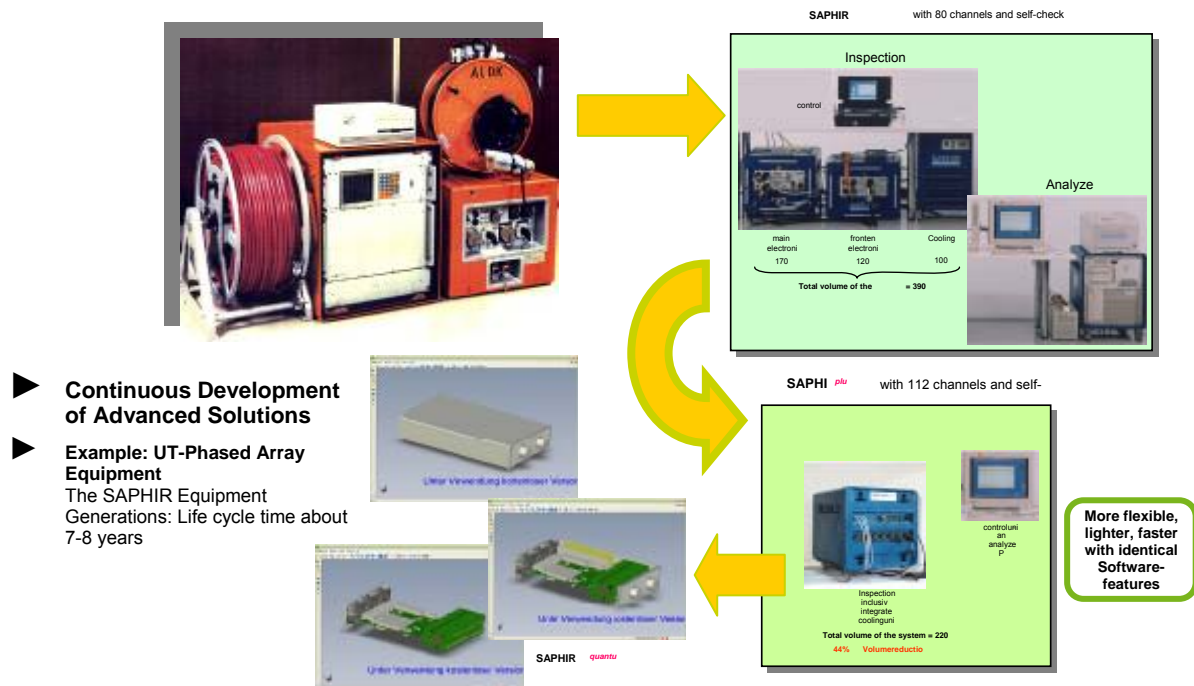


Bild 11: Ultraschallgeräte von AREVA

Software

Neben den Standard Modulen A-Bild, B-Bild und C-Bild mit Vermessungscursor stellt eine aktuelle Ultraschallgerätesoftware heute Hilfsmittel wie Tomographie, SAFT, TOFD, Simulationen und 3D-Darstellungen zur Verfügung. (Bild 12 / , Bild 13 / , Bild 14 und 15 /)

Im Vorfeld einer Prüfung muss die Vorgehensweise bei der Bewertung anhand eines definierten Fehlertypen (Referenzreflektoren) in der Prüfanweisung festgelegt werden. Dieses Vorgehen ist dann aber nur für den Bereich der Referenzreflektoren gültig.

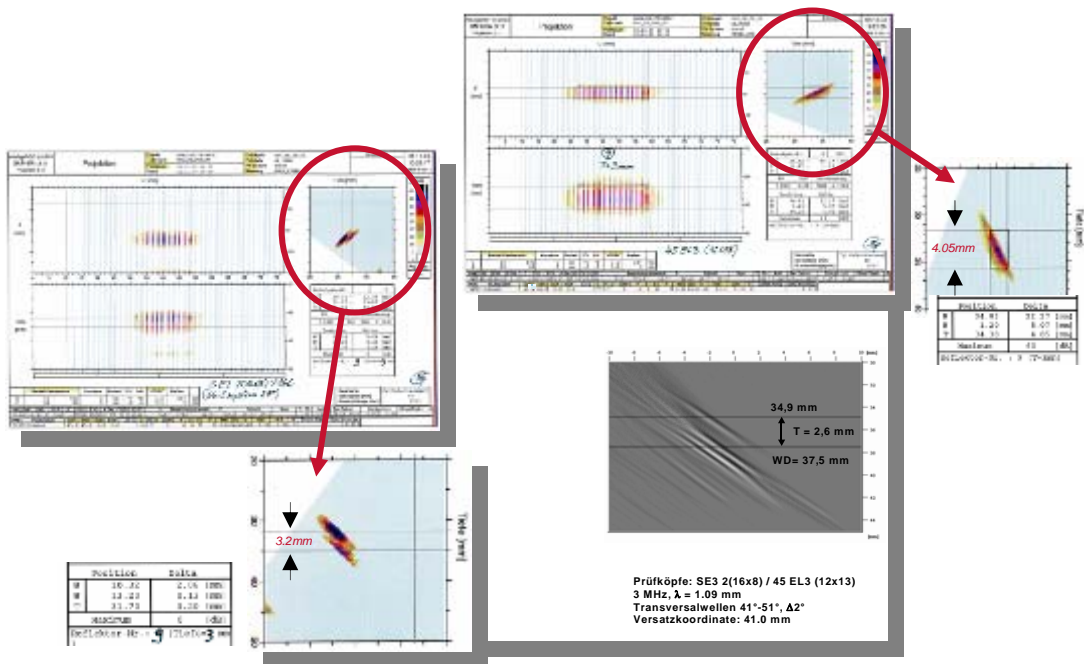


Bild 12: TOFD

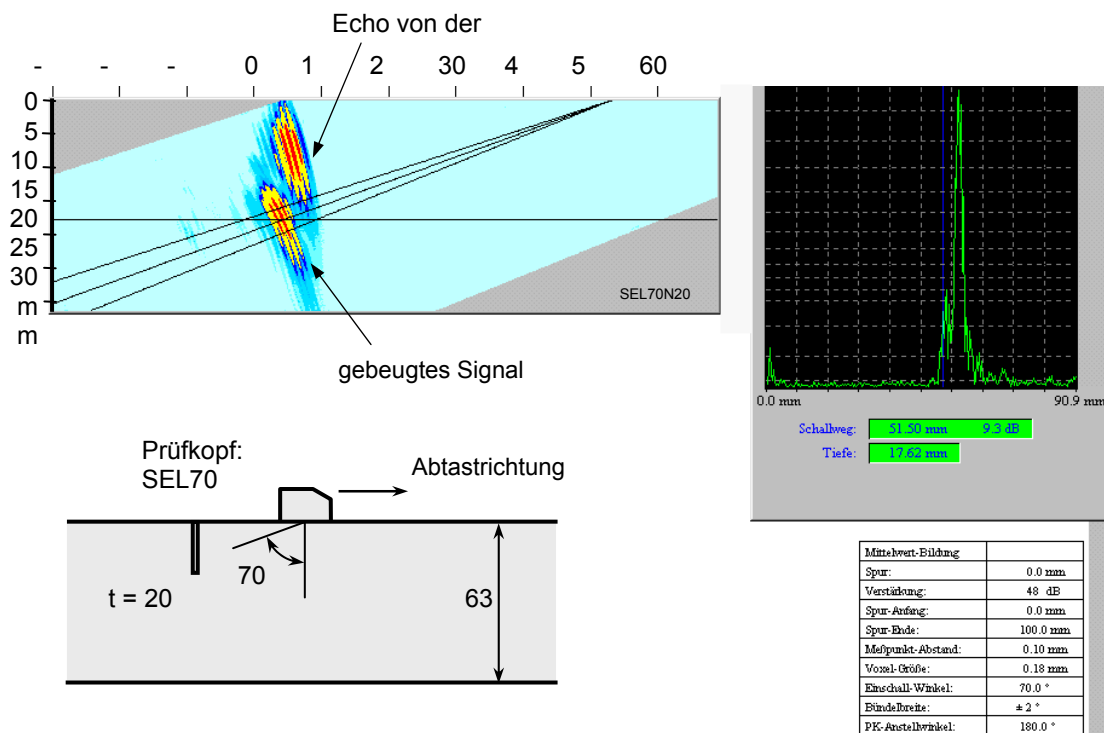


Bild 13: SAFT

Für die Absicherung der gewählten Prüftechnik werden Simulationen über den Schallverlauf bei gegebenen Einschallbedingungen und Material-, bzw. Bauteilbedingungen durchgeführt. Die Ergebnisse werden in einer technischen Begründung dokumentiert.

2) Manual Mode Probe with Central Beam

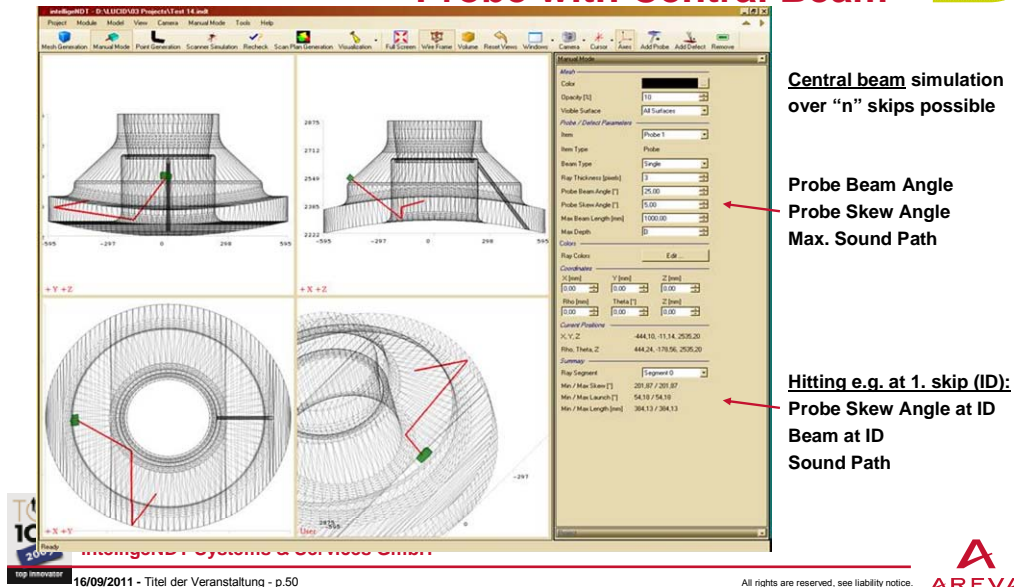


Bild 14: 3D Darstellung

Visualization, RPV NIR from ID 3-D Visualization with "as built flaws"

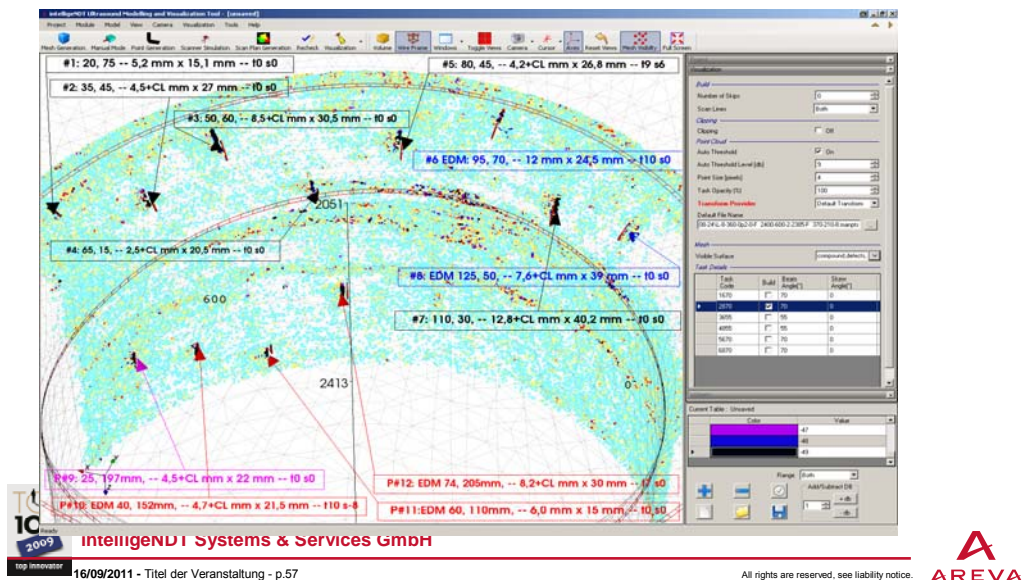


Bild 15: 3D Darstellung

Anwendung

Kommt es dann tatsächlich zu einer Reparatur oder zu einem Austausch, so wird im Nachgang Ursachenforschung betrieben, um die Fragestellung nach der Ursache der Fehlstellenbildung beantworten zu können. Bei diesen metallographischen Untersuchungen werden auch die durch die zerstörungsfreie Prüfung ermittelten Werte der Fehlstelle

überprüft. Die Erfahrung zeigt nun, dass oft gute Übereinstimmung vorliegt, aber auch Abweichungen auftreten können, die bezeichnend sind.

Beispiele aus der Praxis

Wie vorher beschrieben, sollte es für jede Prüfstelle eine Qualifikation der Prüftechnik an dem zu erwartenden Fehlergut geben. Aber erst der Nachweis an unbekanntem Fehlergut gibt wirklich den Rückschluss, wie exakt die ausgewählte Technik ist. Der Einsatzbereich der Prüftechnik ist bestimmt durch die vorgegeben Fehlerstellen zur Technikoptimierung. Weichen die Reflektoren im Blindtest davon ab, so kann die Qualifikation scheitern. Sind die Reflektoren im Prüfobjekt letztlich anderer Natur oder in einem anderen Größenbereich, so ist mit Ungenauigkeiten in der Bewertung zu rechnen. Hier sollte klar getrennt werden von der Fehlerauffindwahrscheinlichkeit und der Bewertung. Das Auffinden selbst kleinster Ungängen wird stets gewährleistet, schwieriger ist es, die richtige Ausdehnung zu bestimmen und nur um diese Aussage geht es hier.

Zurück zu den Beispielen.

Qualifikation an Rohrleitungsschweißnähten

Für die Qualifikation einer Prüftechnik an austenitischen Rohrleitungen wurden in der Optimierungsphase Testkörper mit bekanntem Fehlergut, zumeist Nuten, verwendet. Die Größe der Nuten war durch die Vorgaben im Regelwerk bestimmt.

Alle Reflektoren der „offenen“ Probetestkörper konnten detektiert und in der Größe mit ausreichender Genauigkeit bestimmt werden. Im zweiten Schritt sollte nun ein „blind“ Testkörper mit unbekanntem Fehlergut geprüft werden. (Bild 16)

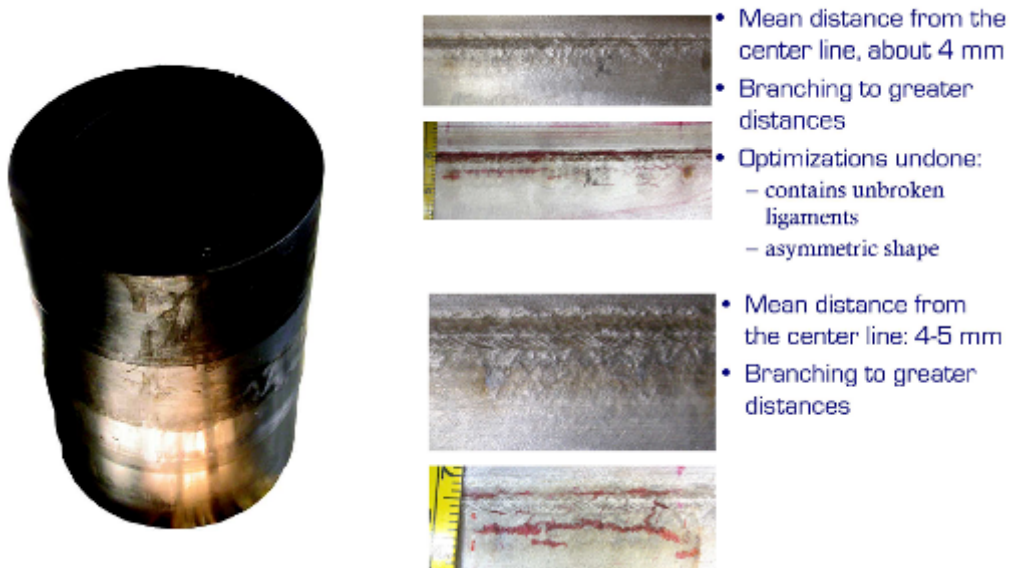


Bild 16: Testkörper

Das Auffinden der Fehler gestaltete sich wie erwartet. Reflektoren wurden detektiert und in ihrer Längenausdehnung vermessen. Bei der Tiefenausdehnung ließen sich aber keine eindeutigen Aussagen treffen. Nach langer Diskussion mit der Qualifizierungsstelle und dem Hersteller des „Blindtestkörpers“ stellte sich letztlich heraus, dass bei der Herstellung des Testkörpers mit quasi natürlichen Rissen auf eine möglichst geringe Rissöffnung geachtet

wurde, auch wenn die Fehlertiefe größer war. Die eingebrachten Reflektoren standen unter „Pressdruck“. (Bild 17)



Bild 17: Fehleranzeigen im Testkörper

Diese Randbedingungen entsprachen aber nicht den zu erwartenden Bedingungen im zu prüfenden Objekt und auch nicht den in „offenen“ Testkörpern. Die so gefertigten Reflektoren waren für die ausgewählte Prüftechnik eben keine Reflektoren, sondern durchschallbar. Somit waren die Tiefenaussagen nicht korrekt durchzuführen. Durch den Einsatz von Sondertechniken mit höheren Frequenzen (Bild 18) und SAFT wurde die Tiefenausdehnung partiell sichtbar gemacht. (Bild 19)

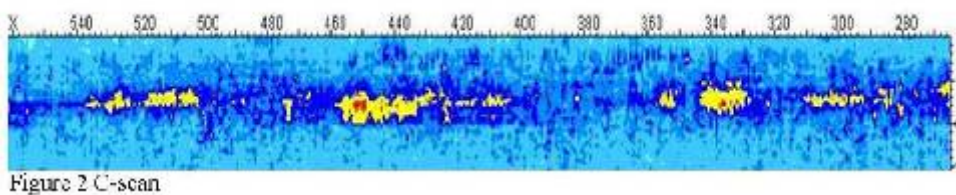
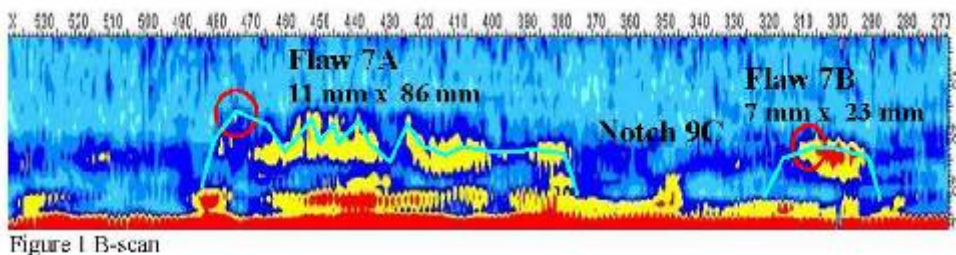


Bild 18: Risspitzen Darstellung

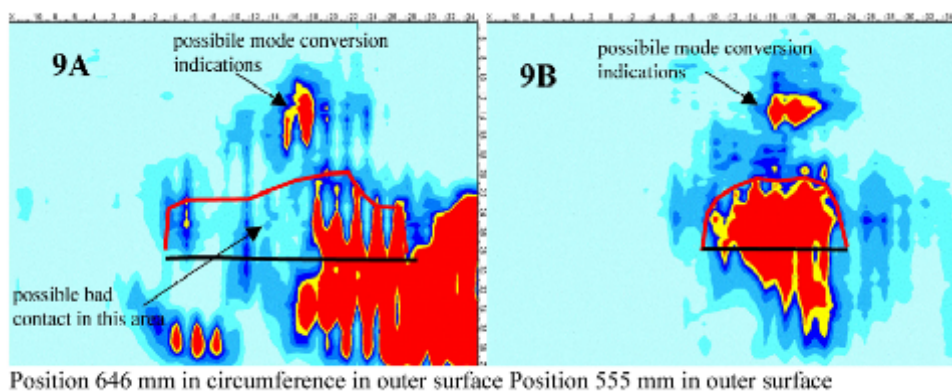


Bild 19: SAFT-Darstellung

Die von der Herstellung der Reflektoren dem „qualification body“ bekannten Reflektortiefen konnten aber nicht eindeutig nachgewiesen werden. Die Qualifikation musste mit einem anderen mehr realistischen Testkörper überprüft werden, was auch zur vollsten Zufriedenheit gelang.

Qualifikation an Stutzeinschweißnähten

Für die Prüfung an austenitischen Stutzeinschweißnähten wurde aufgrund der Regelwerksvorgabe eine Prüftechnik entwickelt, die die geforderten Reflektoren auffinden und nach dem Amplitudenkriterium bewerten sollte. (Bild 20)

Scope:

For a relevant indication in the weld area the ligament between indicant end and component surface shall be defined.

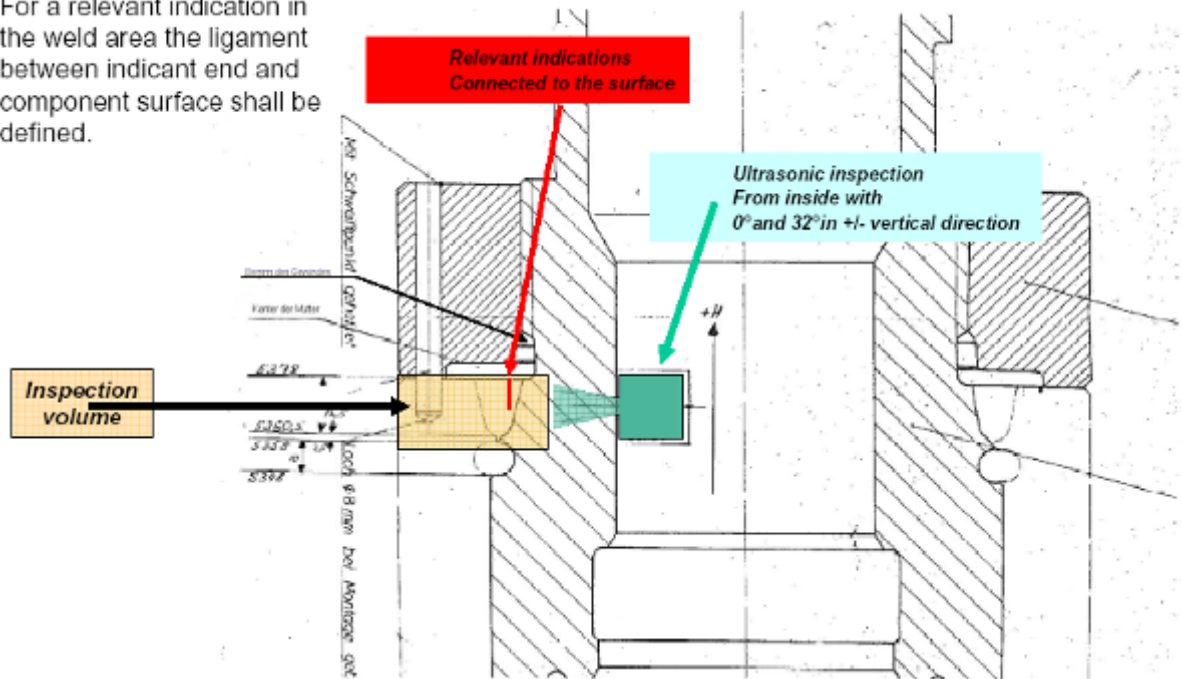


Bild 20: Prüfaufgabe

Gesucht wurden betriebsinduzierte Fehlstellen. Die Optimierung der Prüftechnik wurde an einem Testkörper mit Nuten und eingebrachten künstlichen Reflektoren durchgeführt. Alle Reflektoren konnten mit der geforderten Genauigkeit aufgefunden und nach Vorgabe bewertet werden.

Beim ersten Einsatz dieser Technik wurden Reflektoren detektiert, die in ihrem Fehlerbild nicht als Risse charakterisiert wurden. (Bild 21)

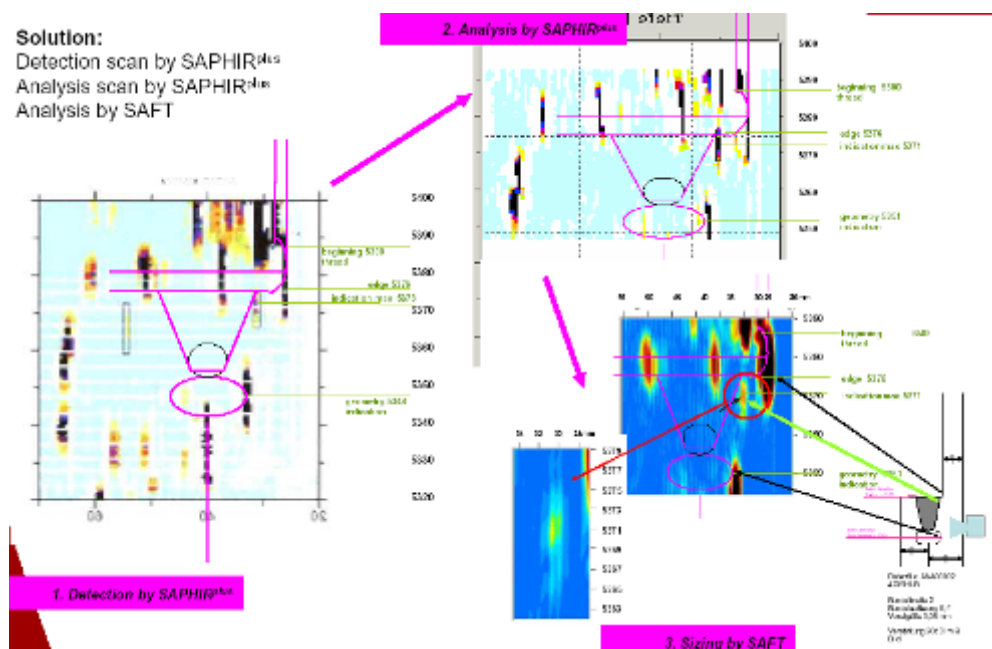


Bild 21: Anzeigendarstellung

Es stellte sich nun die Frage über die Ausdehnung dieser Reflektoren. Die bis dahin bestimmte Ausdehnung lag im unteren Bereich der zur Verfügung stehenden Vergleichsreflektoren. Weiterhin sollte bestimmt werden, ob es eine Verbindung des Reflektors zur Außenoberfläche und somit zur medienberührten Fläche gäbe, was eine gravierende andere Schadensberechnung zur Folge hätte.

Im ersten Ansatz wurde versucht, die eingesetzte Prüftechnik, Sensorik und somit Winkel und Frequenz beizubehalten, um die gute Aussagekraft beim schwer schallbaren Austenit beibehalten zu können und um nicht ein weiteres Prüfsystem einsetzen zu müssen. Hier spielten die Strahlenschutzaspekte auch eine große Rolle. Es zeigte sich, dass Fehlstellen ab einer bestimmten Ausdehnung mit guter Übereinstimmung bewertet werden konnten. Da es sich aber um nicht fokussierte Prüfköpfe handelte, war die Aussage über das Restligament auch erst ab einem gewissen Mindestabstand möglich.

Eine Fokussierung auf den Bereich der Reflektorlage wäre hier wünschenswert. Um dies zu erreichen, bediente man sich der rechnergestützten Fokussierung der SAFT (synthetischen Apertur Fokus Technik). Durch eine Nachauswertung der Messdaten und einer Weiterverarbeitung mit Hilfe von Rechenalgorithmen wurden die Anzeigen konkretisiert. Diese Optimierung wurde an dem zur Verfügung stehenden Testkörper mit den künstlichen Reflektoren durchgeführt. Die Auswertung zeigte, dass eine Verbesserung der Genauigkeit in der Bewertung bei den vorliegenden Reflektoren erzielt werden konnte. Der kleinste untersuchte Reflektor war 3 mm in seiner Höhenausdehnung und 2 mm im Abstand von der Außenoberfläche minimal. (Bild 22)

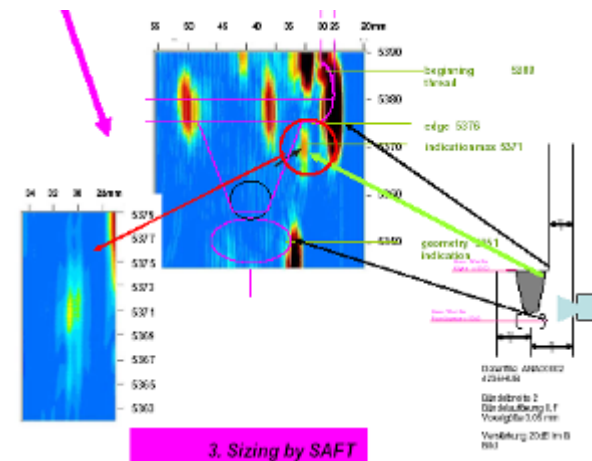


Bild 22: SAFT –Auswertung

Trotz dieser wesentlich verbesserten Technik ließen sich die vor Ort gefundenen Reflektoren noch immer nicht eindeutig bewerten.

Erst Vergleichsmessungen an einem realen Bauteil im Kernkraftwerk Tullnerfeld (Bild 23) in Österreich, das nie am Netz war und somit keine aktiven Komponenten hat, konnten den Sachverhalt weiter aufklären.

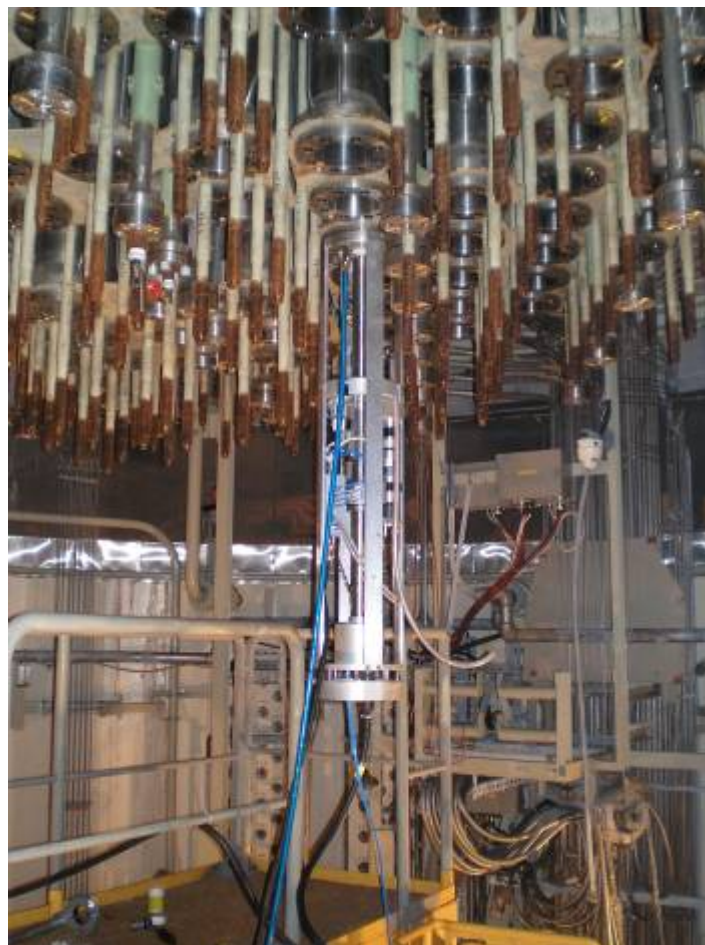


Bild 23: Vorortsituation

Zunächst wurden Messungen mit der gleichen Technik durchgeführt, um zu untersuchen, ob die baugleiche Komponente auch vergleichbare Reflektoren aufweist. Nach

diversen Messstellen wurden wir fündig. Die Anzeigen waren vom Anzeigenbild mit der Vor-Ort-Anzeige absolut vergleichbar (Bild 24). Dies war schon ein erster Hinweis auf die Richtigkeit der Aussage, dass es keine betriebsinduzierten Reflektoren sind, sondern anscheinend Ungängen aus der Fertigung.

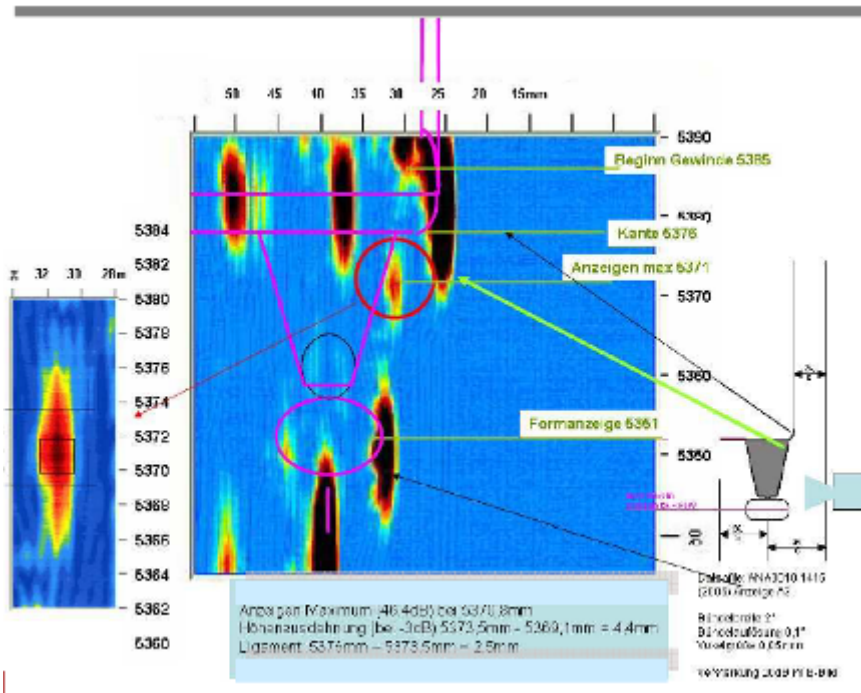


Bild 24: Anzeigenbild

Die Lage des Reflektors konnte mit der Prüftechnik genau bestimmt werden, und somit waren ein Heraustrennen und eine metallografische Untersuchung des Prüfteils möglich. Aus dem getrennten Stutzen wurden drei Proben für die weitere Untersuchung herausgeschnitten (Bild 25).

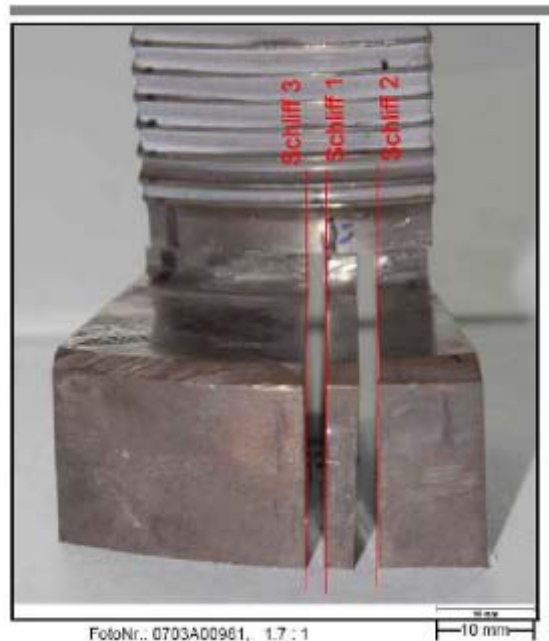


Bild 25: Stutzen mit Schnittpositionen

Nach der Bearbeitung der Schnittproben war das Ergebnis eindeutig. Bei dem Reflektor handelte es sich, wie vorher prognostiziert, um einen Fertigungsfehler, genauer

gesagt einen Lagebindefehler an der Schweißnahtflanke in der zweiten Lage von außen gesehen. Er hatte auch, wie durch die Ultraschallbewertung bestimmt, keinen Kontakt zur äußeren Oberfläche (Bild 26a).

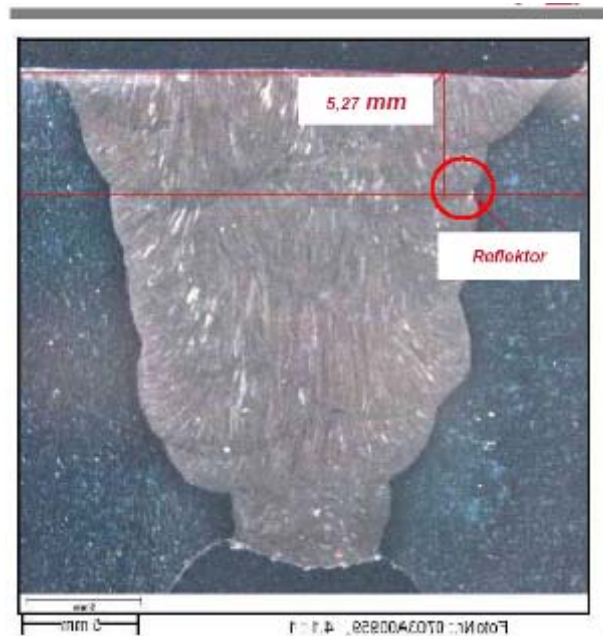


Bild 26a: Schnittbild der metallografischen Untersuchung

Bei genauer Auswertung der Ergebnisse ist allerdings eine starke Diskrepanz in der Ausdehnung der Anzeige in Höhenrichtung im Vergleich zur Ultraschallmessung zu erkennen. Die Ultraschall – SAFT Messung bewertete die Ausdehnung mit 2,5 mm, die Metallographie ermittelte für die Anzeige an der gleichen Stelle eine Ausdehnung in die gleiche Richtung mit nur 0,35 mm (Bild 26b).

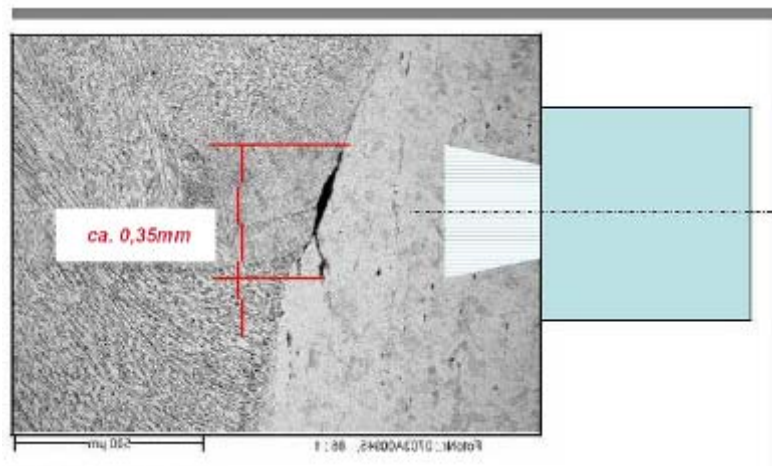


Bild 26b: Anzeigenausdehnung

Bemerkenswert ist die Tatsache, dass selbst so kleine Reflektoren mit diesem großen Signalrauschabstand gefunden werden, dies zeugt von großer Deutlichkeit. Unbefriedigend bleibt dennoch die starke Überbewertung der Höhenausdehnung. Hier muss man jedoch die „Kalibrierung“ der Messtechnik berücksichtigen. Die Qualifikation der Technik war an einem Fehlgut mit einer Höhenausdehnung 0,5 mm bis 4,0 mm durchgeführt worden. Kleinere künstliche Reflektoren sind äußerst schwierig, wenn überhaupt, definiert herstellbar. Betrachtet man den Prüfkopf, so ist ersichtlich, dass das Schallfeld die Reflektorausdehnung weit übersteigt, und somit das Schallfeld ausgemessen

wurde. Die SAFT Auswertung konnte nur auf die verfügbaren Daten zurückgreifen, es lag nur eine geringe Apertur vor. Der Prüfkopf hätte entweder divergenter sein müssen, oder aber es hätten mehr Einschallwinkel von weiteren Einschallpositionen zur Berechnung herangezogen werden müssen, was jedoch in diesem Fall durch die Geometrie nicht möglich war.

Zusammenfassend ist zu betonen: Die Technik war optimal ausgerichtet, um für Fehler ab 2,0 mm Höhenausdehnung eine aussagekräftige Bewertung zu ermöglichen. Für kleinere Reflektoren lagen keine Vergleichswerte vor. Aus sicherheitstechnischen Ansätzen ist immer der konservative Fall zu werten.

Ultraschallprüfung an einem Formstück

Ein weiteres Beispiel einer realen Prüfung an einem Formstück zeigt eine ähnliche Problematik bei der Fehlerbewertung.

Wiederum sollte an einem Prüfobjekt eine Prüfung gemäß Regelwerk durchgeführt werden.

Es handelt sich hier um ein Formstück beim Übergang eines Leitungssystems in ein weiteres Leitungssystem. Die Rohrleitung ist durch eine Mischnaht an den Stutzen angeschweißt. Innen ist in diesem Bereich ein Thermosleeve an das Formstück angearbeitet (Bild 27).

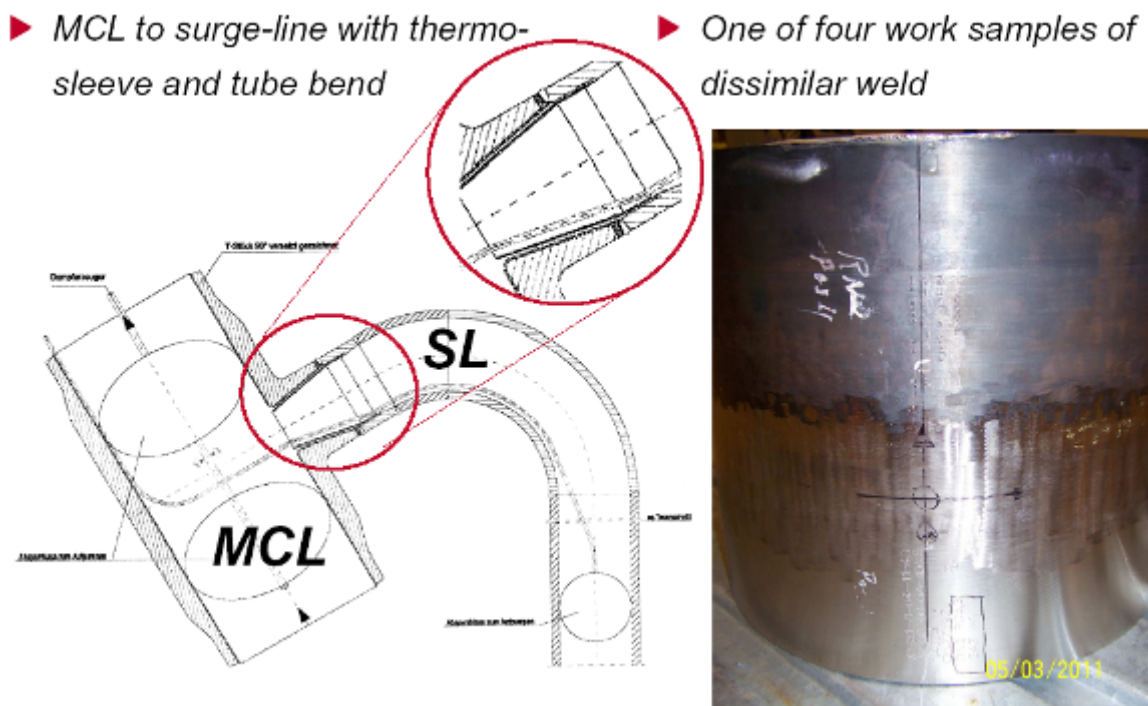


Bild 27: Darstellung des Formstücks

Die Prüfaufgabe beinhaltet als Prüfbereich sowohl die Mischnaht als auch den Verrundungs-bereich des Thermosleeves am Formstück (Bild 28, 29 und 30 /).

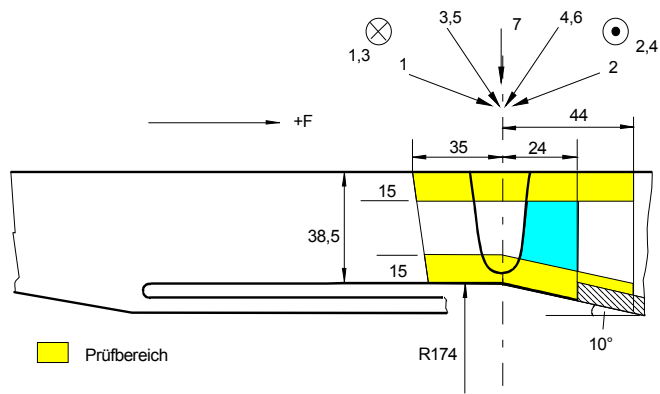


Bild 28: Prüfbereichsdarstellung

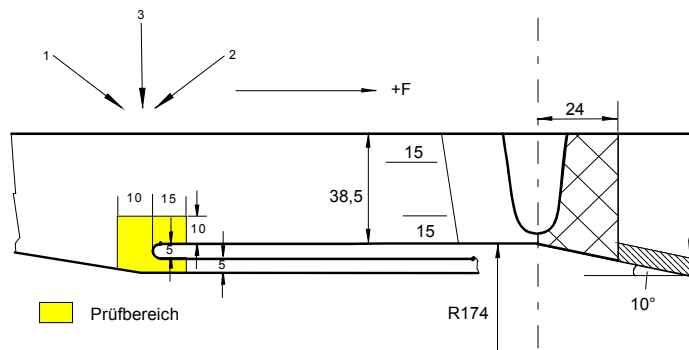


Bild 29: Prüfbereichsdarstellung

6.2.2 Nachzuweisende Fehler

Das Qualifizierungsvorhaben ist auf Fehler an der inneren Oberfläche der Prüfzone ausgerichtet.

Tabelle 4 - Prüfzone

Prüfzone	
a)	GW
b)	GW, unterhalb dieser Teil der Prüfzone wird nicht qualifiziert

Die Prüfzone der inneren Oberfläche schließt hier grundsätzlich vier Zonen ein, siehe Tabelle 5 - Oberflächen.

Tabelle 5 - Oberflächen

Oberfläche	
a)	GW, oben
b)	TSR, Verrundung
c)	TSR, oben

Bild 30: Prüfbereichsdarstellung

Bei der regelmäßigen wiederkehrenden Prüfung wurde eine Anzeige im Formstückprüf-bereich, in der Verrundung des Thermosleeves, detektiert. Aufgrund einer Änderung in der absoluten Amplitude dieser Anzeige, die über mehrere Prüfzyklen aufgefunden wurde, sollte die Prüftechnik überprüft und neu qualifiziert werden. Über die

Fehlersuche hinaus sollte auch eine Prüftechnik zur Größenbestimmung von Ungängen qualifiziert werden.

In den Diskussionen mit den Gutachtern einigte man sich auf die Grenzen der Qualifizierung, d. h. auf die Fehlergrößen der Vergleichsfehler. In diesem Falle sollten es Nuten sein, die in einen Testkörper mit vergleichbarer Geometrie und vergleichbarem Material eingebracht werden sollten.

Die Auswahl der Festfehler orientierte sich am Regelwerk und sollte gewährleisten, dass die ausgewählte Prüftechnik die unterschiedlichen Tiefen erkennen und mit einer gewissen Toleranz bewerten kann. Eine Sättigung der Signale war zu vermeiden.

Um den verschiedenen Fehlermechanismen bei der Bewertung Rechnung zu tragen, also auch Risse mit Verästelungen und Schräglagen zu simulieren, wurden auch verdrehte („tilt“) und gekippte („skew“) Nuten aufgenommen.

Das untere Ende der Reflektorenliste (kleinste Reflektoren) ist bestimmt durch die im Regelwerk vorgeschriebene Registriergrenze und einen Abstand zu dieser, um die Dynamik darstellen zu können. Außerdem durch die Machbarkeit der Fehlereinbringung (Bild 31).

Tabelle 9 – Ist-Maß-Protokoll VK VALTSR 1-2

Ist-Maße nach Herstellprotokoll VK VALTSR 1-2					Pos. a. Verr.	Tilt	Umfangsposition		
Pos	Typ	Soll	Ist	Grad			Millimeter		
B	A - 1	Nut	0,5 mm	0,54 mm	0,04 mm	0	0°	15,05°	56 mm
C	A - 3	Nut	2,0 mm	2,08 mm	0,08 mm	0	0°	84,05°	315 mm
D	A - 5	Nut	6,0 mm	6,20 mm	0,20 mm	0	0°	28,85°	108 mm
E	B - 5	Nut	6,0 mm	6,10 mm	0,10 mm	20	0°	70,25°	264 mm
F	A - 4	Nut	4,0 mm	4,15 mm	0,15 mm	0	0°	42,65°	160 mm
G	A - 2	Nut	1,0 mm	1,08 mm	0,08 mm	0	0°	111,65°	419 mm
H	B - 3	Nut	2,0 mm	2,10 mm	0,10 mm	20	0°	125,45°	471 mm
I	B - 1	Nut	0,5 mm	0,55 mm	0,05 mm	20	0°	97,85°	367 mm
J	B - 2	Nut	1,0 mm	1,10 mm	0,10 mm	20	0°	139,25°	523 mm
K	B - 4	Nut	4,0 mm	4,10 mm	0,10 mm	20	0°	56,45°	212 mm
L	D - 1	Nut	2,0 mm	2,10 mm	0,10 mm	0	20°	166,85°	626 mm
M	C - 1	Nut	0,5 mm	0,52 mm	0,02 mm	30	0°	180,65°	678 mm
N	C - 2	Nut	1,0 mm	1,06 mm	0,06 mm	30	0°	194,45°	730 mm
O	C - 3	Nut	2,0 mm	2,12 mm	0,12 mm	30	0°	208,25°	781 mm
P	C - 4	Nut	4,0 mm	4,15 mm	0,15 mm	30	0°	222,05°	833 mm
Q	C - 5	Nut	6,0 mm	6,20 mm	0,20 mm	30	0°	153,05°	574 mm
R	D - 2	Nut	4,0 mm	4,20 mm	0,20 mm	0	20°	235,85°	885 mm
S	D - 3	Nut	6,0 mm	6,15 mm	0,15 mm	0	20°	249,65°	937 mm
T	E - 1	Bohr.						263,50°	989 mm

Die Maßaufnahme erfolgte mit dem Erodierwerkzeug in der Werkstatt des Herstellers.

Bild 31: Reflektorliste

Wie aus der Reflektorliste ersichtlich ist, war hier die kleinste Reflektorgröße mit 0,5 mm vorgegeben. Unterschiedliche Reflektorpositionen und Orientierungen wurden simuliert (Bild 32).

Tabelle 6 - Fehlerrichtung

Fehlerrichtung	
a)	GW, oben – 10°
b)	Verrundung 10° – 30°
c)	Verrundung 90°
d)	Verrundung 180°
e)	TSR; i. Oberfl. unten

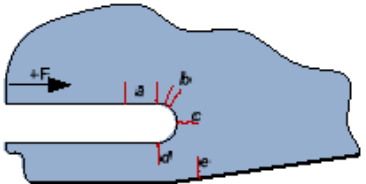


Bild 32: Reflektorlagen

Testkörper wurden gefertigt, Reflektoren eingebracht und das Bauteil qualitätsgesichert vermessen (Bild 33).

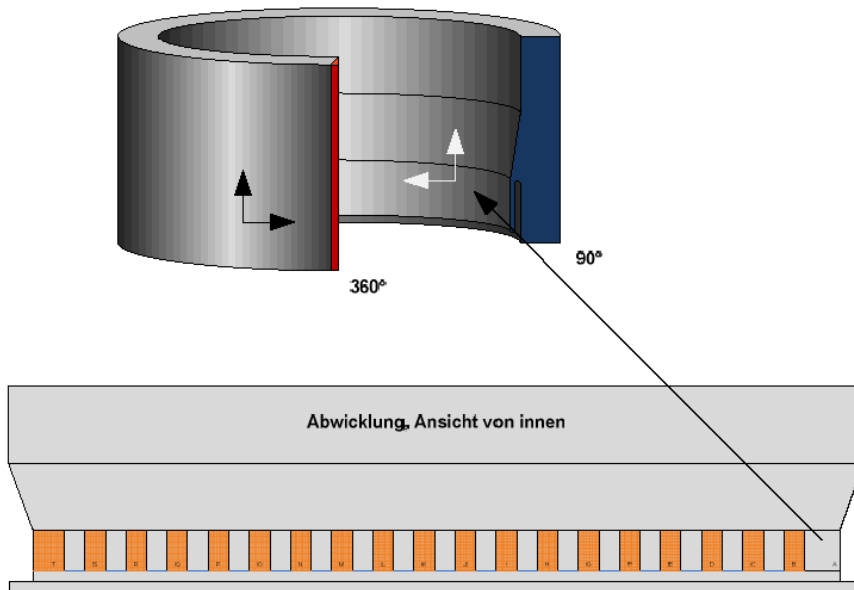


Bild 33: Testkörperskizze

Die Auswertung der Qualifizierungsmessungen ergab, dass die ausgewählte Prüftechnik alle Reflektoren mit ausreichendem Signal / Rausch-Abstand detektieren kann. Auch die Reflektoren mit Schräglagen konnten alle gefunden werden (Bild 34 und 35).

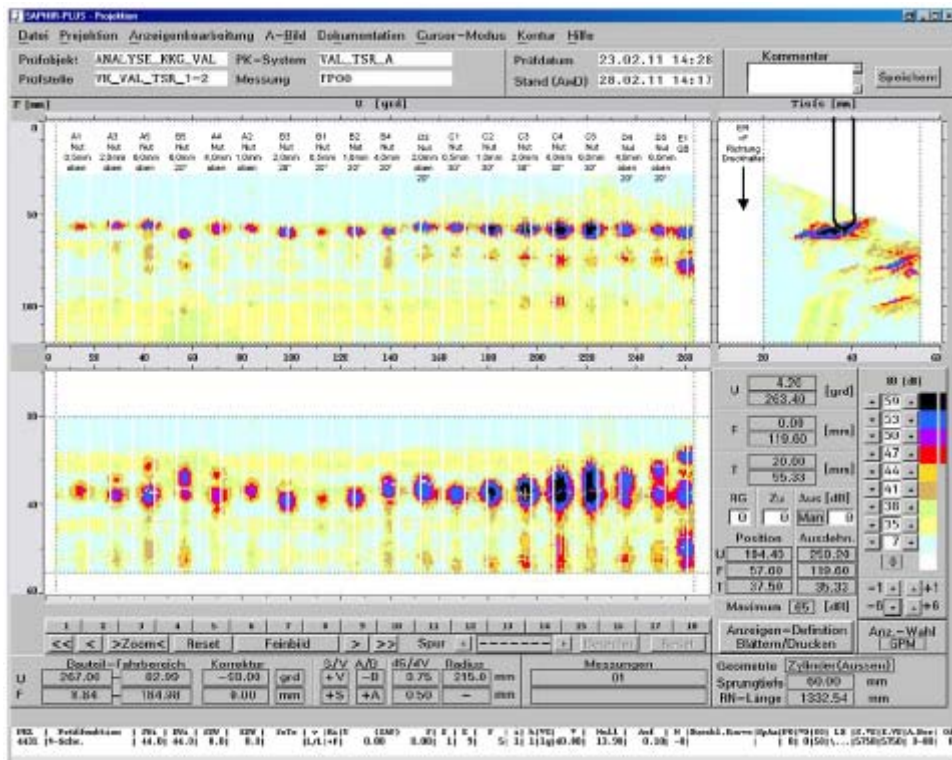


Bild 34: Auswertung des Testkörpers

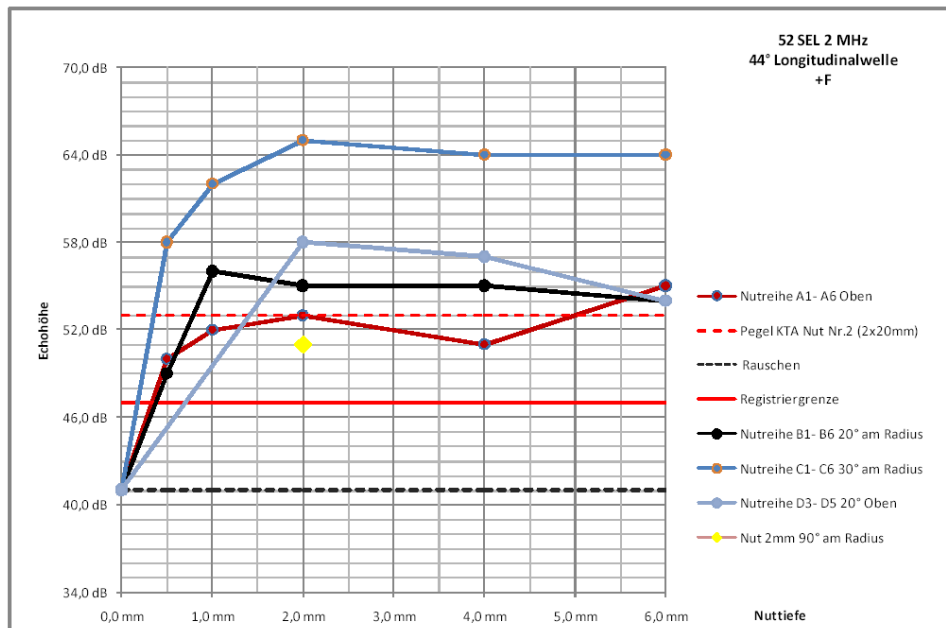


Bild 35: Auswertung des Testkörpers

Bei der Auswertung der Reflektortiefe zeigte sich, dass die Nuten mit einer Tiefe ≥ 2 mm mit der Nutspitzendetektion in Bezug zum Nutgrundecho mit ausreichender Genauigkeit in ihrer Tiefenausdehnung bestimmt werden konnten (Bild 36).

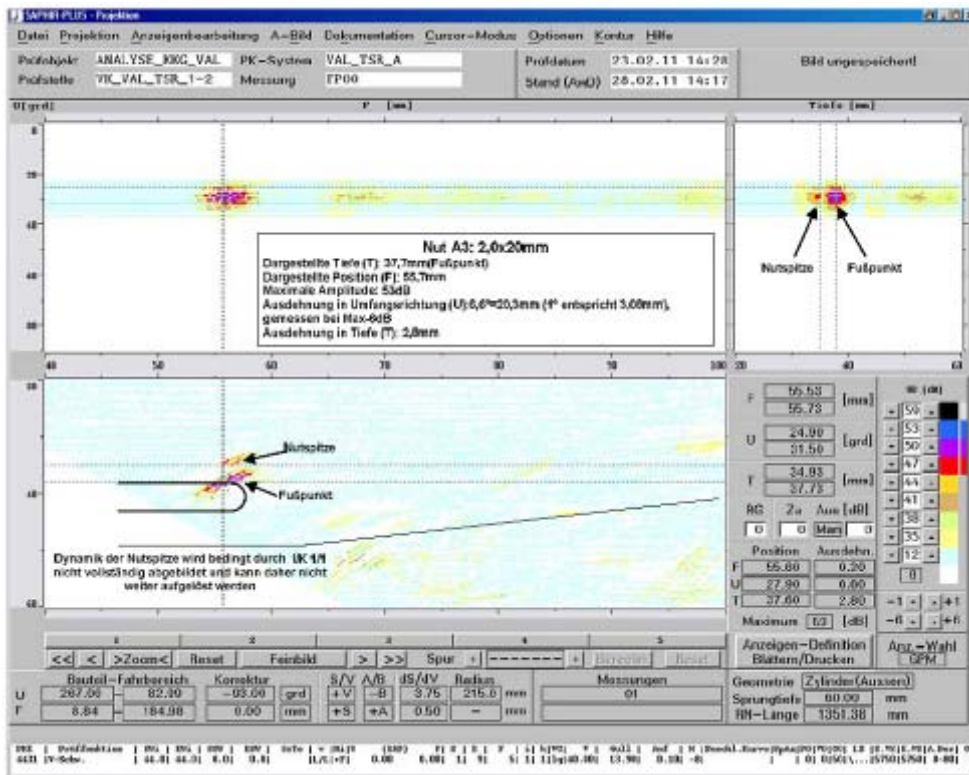


Bild 36: Sizing 2 mm Nut

Bei kleineren Reflektoren konnte das Nutspitzenecho nicht mehr eindeutig detektiert werden. Die Tiefe konnte nur aufgrund von Reflektionsverhalten und Anzeigenvergleich abgeschätzt werden (Bild 37).

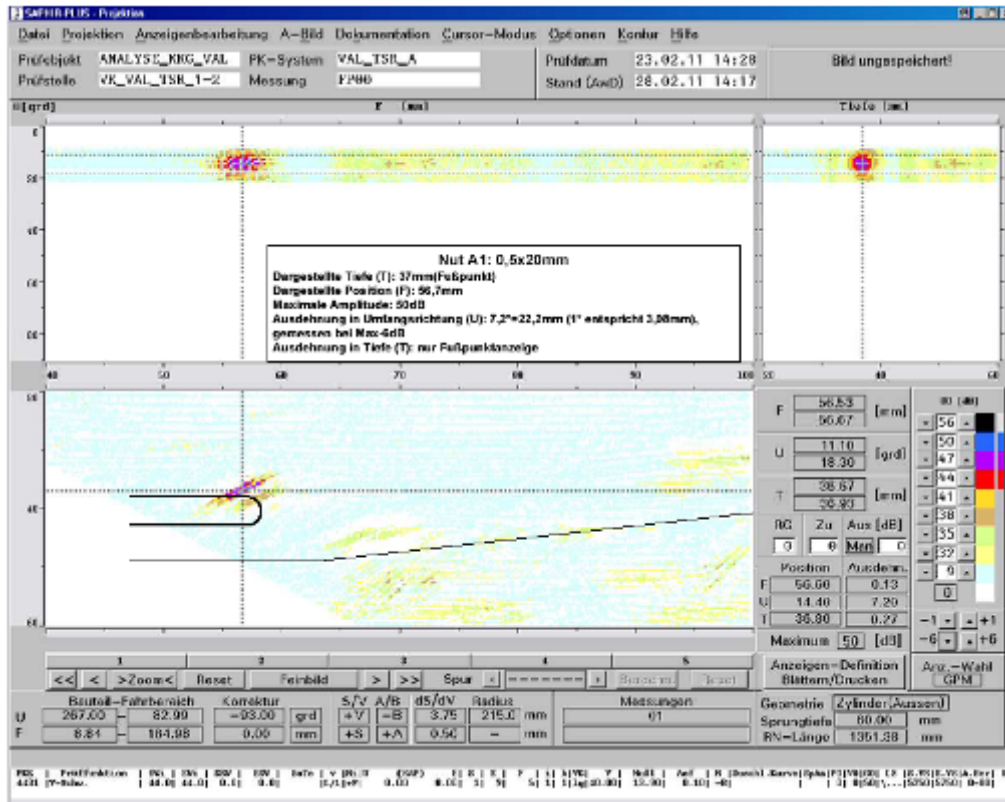


Bild 37: Sizing 0,5 mm Nut

Mit dieser qualifizierten Technik wurde eine Nachmessung durchgeführt und die Anzeige mit $< 2\text{mm}$ Tiefenausdehnung bewertet. Die Annahme war hier, dass die anderen Randparameter wie Geometrie und Gefüge ebenfalls den simulierten Bedingungen entsprechen. Diese Annahmen wurden, soweit machbar, durch Zusatzfunktionen wie Wandstärkenmessung und Geometrieverfolgung während der Messfahrt überprüft (Bild 38).

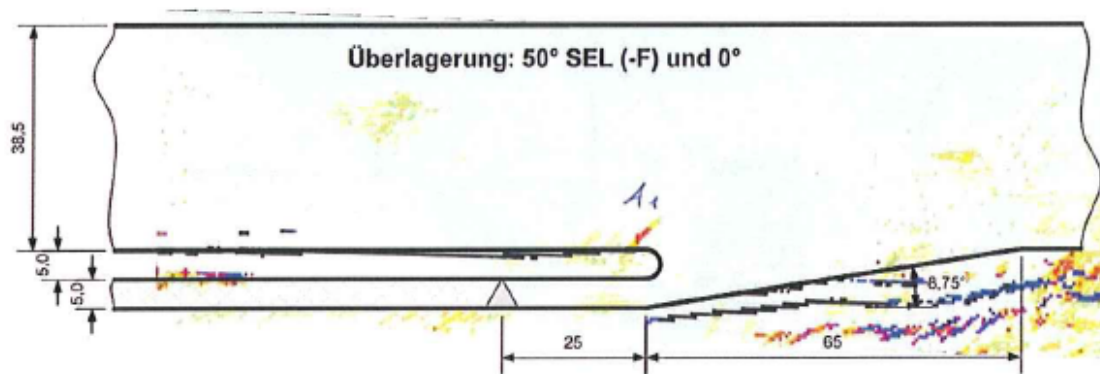


Bild 38: Anzeige aus der Vorortmessung

Die Anzeige wurde gemäß der vorher diskutierten Qualifizierungsanweisung bewertet. (Bild 39). Die Tiefenerstreckung der Anzeige wurde mit $< 2\text{mm}$ und maximal 1,6 mm bewertet.

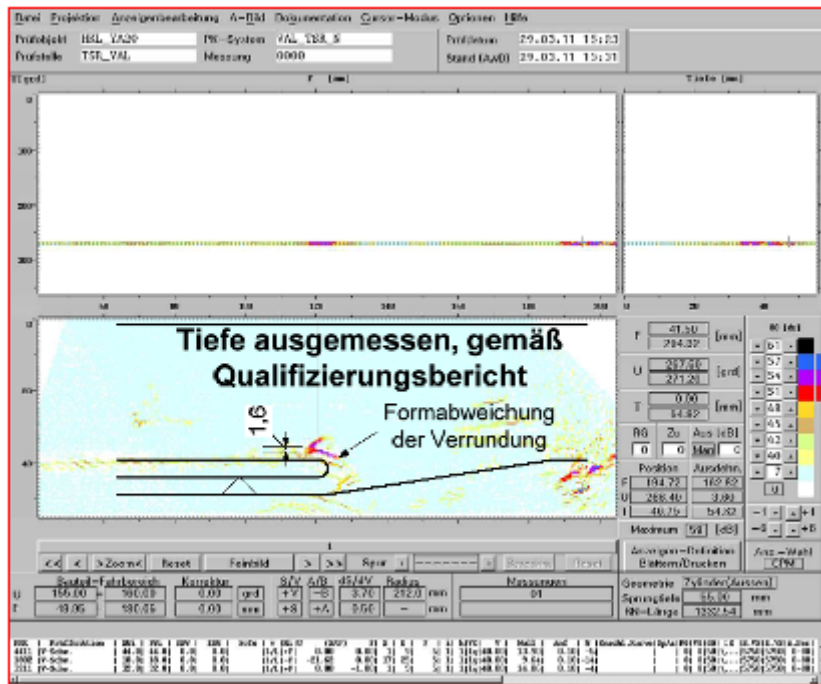


Bild 39: Anzeigenbewertung

Da ein mögliches Fehlerwachstum seit der letzten Überprüfung nicht vollständig ausgeschlossen werden konnte, wurde die Komponente letztlich geschnitten und metallografisch untersucht. Es wurden wiederum mehrere Schnitte in den durch die Prüftechnik vorgegebenen Umfangsbereichen gemacht. Das Endergebnis der zerstörenden Untersuchung zeigte einen Riss mit einer maximalen Tiefe von 0,3mm (Bild 40)

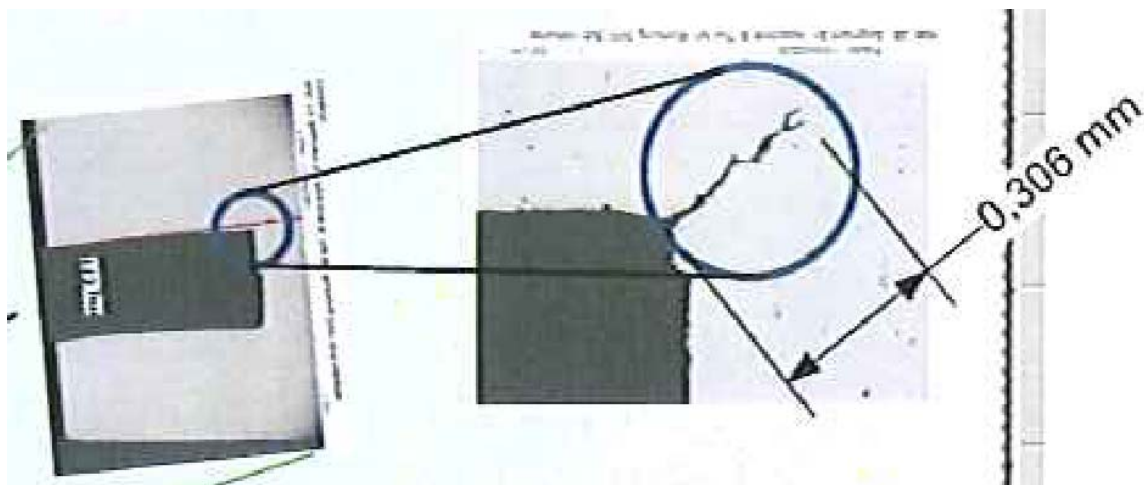


Bild 40: metallografische Untersuchung

Dieses Ergebnis führt zu 2 Statements über die eingesetzte Prüftechnik.

1. Selbst kleine Risse unterhalb der Registriergrenze können durch die ausgewählte Prüftechnik sicher gefunden werden.
2. Die tatsächliche Fehlertiefe war wie bewertet < 2 mm. Eine Fehlertiefenbestimmung unterhalb dieser Grenze konnte von vorn herein nur eine Schätzung sein.

Auch wenn die Ergebnisse der Prüfung aufgrund der Konservativität beruhigend sind, so wird doch weiter untersucht, wodurch die Abweichungen in der Bewertung verursacht wurden. Simulationen mit den unterschiedlichen geometrischen Randbedingungen geben erste Indizien für die unterschiedlichen Amplituden (Bild 41 und 42).

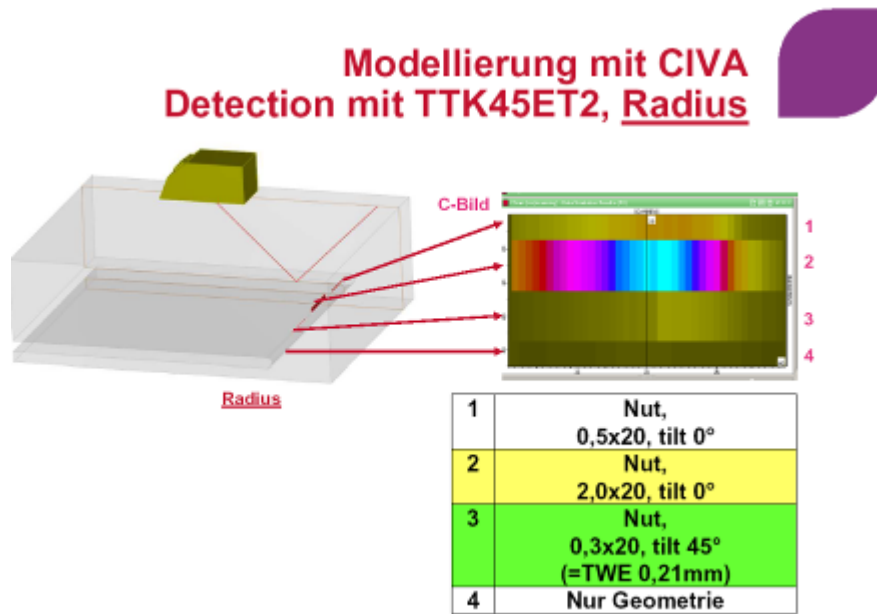


Bild 41: Civa-Berechnungen

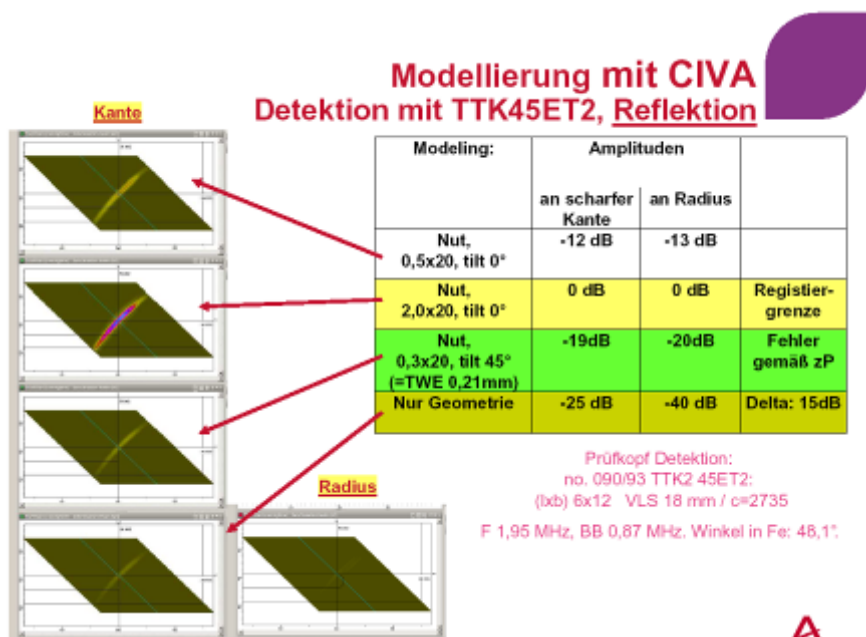


Bild 42: Civa-Berechnungen

Zusammenfassung

Ziel einer zerstörungsfreien Prüfung ist es, Fehlstellen und speziell betriebsinduzierte Fehlstellen aufzufinden. Für die Bewertung einer gefundenen Anzeige sind Prüfmethode im Vorfeld zu qualifizieren und dann im definierten Bereich einzusetzen. Die Ultraschallprüf-technik ist eine indirekte Prüfmethode. Es werden Signale, die man von der

Fehlstelle erhält, interpretiert. Alle vorgestellten Untersuchungen zeigen eindeutig, dass die qualifizierten Techniken stets konservativ waren und keine Anzeige unterschätzt wurde. Dennoch wurde auch deutlich, dass im Prüfalltag kleine reale Reflektoren speziell im austenitischen Material nur mit einer gewissen Ungenauigkeit in ihrer Tiefenausdehnung vermessen werden können. Betrachtet man den Qualifizierungsprozess, so sind die Grenzen vorgegeben. Dennoch wird versucht, den Bewertungsbereich darüber hinaus zu vergrößern und die Aussagen der Prüftechniker stärker zu werten als vorher qualifiziert.