

BMU-Vorhaben 3611R01312

Zentrale Untersuchung und Auswertung von Herstellungsfehlern und Betriebsschäden im Hinblick auf druckführende Anlagenteile von Kernkraftwerken

Fortführung spezieller Untersuchungen

Technischer Bericht

Erste Bewertungen der Ultraschallprüfung von Mischschweißverbindungen
mit Längsrissen

MPA-Auftrags-Nr. 8438 000 000

Dezember 2013

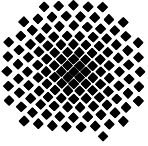
Materialprüfungsanstalt (MPA) Universität Stuttgart

Anmerkungen:

Dieser Bericht ist von der MPA Universität Stuttgart im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) im Rahmen des Vorhabens 3611R01312 erstellt worden. Die Verantwortung für den Inhalt liegt jedoch allein beim Auftragnehmer.

Dieser Bericht gibt die Meinung und Auffassung des Auftragnehmers wieder und muss nicht mit der Meinung des auftraggebenden BMU übereinstimmen.

Die MPA Universität Stuttgart und die Autoren übernehmen keine Haftung für Schäden, die aufgrund von weiterführenden oder fehlerhaften Anwendungen der in diesem Bericht dargestellten Ergebnisse entstehen.



BMU-Vorhaben 3611R01312

Zentrale Untersuchung und Auswertung von Herstellungsfehlern und Betriebsschäden im Hinblick auf druckführende Anlagenteile von Kernkraftwerken

durchgeführt im Auftrag des Bundesministeriums
für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

Fortführung spezieller Untersuchungen

Technischer Bericht

Erste Bewertungen der Ultraschallprüfung von Mischschweißverbindungen mit Längsrissen

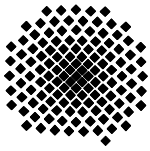
MPA-Auftrags-Nr. 8438 000 000

Verfasser: Dr.-Ing. Sandra Dugan

Projektleiter: Dr.-Ing. Sandra Dugan

Stuttgart, Dezember 2013

- Leerseite -



BMU-Vorhaben 3611R01312

K u r z f a s s u n g

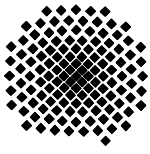
Problemstellung und Zielsetzung

Die in der Vergangenheit in verschiedenen ausländischen kerntechnischen Anlagen aufgetretenen betriebsbedingten Rissbildungen durch interkristalline Spannungsrisskorrosion in Mischnähten aus Nickellegierungen waren Anlass, die Leistungsfähigkeit der zerstörungsfreien Werkstoffprüfungen dahingehend zu überprüfen. Die entdeckten Risse waren sowohl quer als auch längs zur Schweißnaht orientiert. Die Risse befanden sich ausschließlich im Schweißgut, der Grundwerkstoffbereich war bisher nicht betroffen. Bei Rissausbreitung ausschließlich im Schweißgut bleibt bei Querrissen die Risslänge auf die Breite der Schweißnaht begrenzt, während der Längsfehler nicht durch angrenzenden Grundwerkstoffbereich im Längenwachstum begrenzt wird. Daraus ergibt sich die Anforderung, dass solche Fehler mit Hilfe der Ultraschallprüfung mit ausreichender Sicherheit nachgewiesen werden können. Somit besteht ein erhöhtes Interesse an Fragestellungen zum Fehlernachweis mit zerstörungsfreier Prüfung.

An der MPA Stuttgart sollte ein Mischnahttestkörper mit interkristallinem Spannungskorrosionsriss längs zur Schweißfortschrittsrichtung gefertigt und Untersuchungen mittels Ultraschallprüfung durchgeführt werden. Ziel war es, eine erste Bewertung der Prüfaussage in Bezug auf natürliche Längsrisse infolge interkristalliner Spannungsrisskorrosion in Mischnähten vorzunehmen und ggf. einen Änderungsvorschlag für das kerntechnische Regelwerk zu erarbeiten.

Ergebnisse

Es wurde ein Mischnahttestkörper mit Plattierung und Pufferung geschweißt. Nachdem sich im vorangegangenen Vorhaben die Rohrleitungsgeometrie als schwierig erwiesen hatte in Bezug auf das Einbringen ausreichender Spannungen zur Erzeugung eines Risswachstums innerhalb der vorgesehenen Zeit, wurde als Testkörpergeometrie eine ebene Platte gewählt, um die Verwendung der bewährten Methoden zur Fehlereinbringung anwenden zu können. Am Mischnahttestkörper mit Riss und einem vergleichbaren Testkörper mit erodierter Nut wurden Ultraschallprüfungen durchgeführt und bewertet. Mit Standardprüftechnik gelang der Nachweis von Nut und Riss im Bereich Übergang Pufferung/Schweißnaht von mindestens einer Seite. Erwartungsgemäß sind zwischen Riss und Nut deutliche Unterschiede im Ultraschallsignal zu erkennen.



BMU Project 3611R01312

S u m m a r y

Problem and general aim

A number of cases of inter-granular stress corrosion cracking (IGSCC) in dissimilar metal welds in nuclear power plants around the world have led to an increased interest in the reliability of non-destructive testing of these welds. The challenges related to ultrasonic testing of dissimilar metal welds result from acoustic anisotropy of the material in combination with the grain structure of the weld. This inhomogeneous, anisotropic structure of the weld affects sound propagation and leads to a decrease in signal-to-noise ratio, thus complicating the interpretation of ultrasonic signals. As a result, cracks located exclusively in the weld material are usually harder to detect. Detection of cracks inside the weld material is particularly important in the case of a circumferential crack in a pipe weld, which could otherwise grow to a critical size before being detected.

The aim of this project was to manufacture a dissimilar metal weld test block with an inter-granular stress corrosion crack for a preliminary assessment of ultrasonic testing for circumferential cracks in a dissimilar metal pipe weld.

Results

A dissimilar metal weld test block with an inter-granular stress corrosion crack for ultrasonic testing was manufactured in the lab at MPA University of Stuttgart. Based on previous experiences with growth of IGSCC in austenitic test blocks, a strip-like geometry was chosen for the test block. An austenitic stainless steel plate was connected with a ferritic low alloy steel plate with a butt weld. The ferritic side has an austenitic cladding on the inner surface; an austenitic buttering was applied before connecting the plates with a U-groove austenitic weld. To achieve crack growth in the weld, a corrosive medium was applied at the inner surface over an EDM starter notch, and a 3-point-bending load was applied. For detection of crack initiation and crack growth, the position of the starter notch was monitored with non-destructive testing methods. \\Ds-fs1\56200\56210\Ablage_Mitarbeiter\Dugan\BMU-BfS\3611R01312 Erweiterung AP 2.2 Ultrasonic testing of the IGSCC test block and of a reference test block with an EDM notch showed that a crack located at the transition between buttering and U-groove weld can be detected using a standard UT technique. As expected, the ultrasonic signals for the IGSCC and the EDM notch clearly indicate strong differences in the reflection behavior.



Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 Einleitung	1
2 Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse	2
Ausgangssituation, Erfahrungen aus Vorhaben SR 0801312	2
Werkstoffauswahl und Schweißung der Testkörper	2
Fehlereinbringung.....	3
Überwachung von Rissinitiierung und Risswachstum	4
Ultraschallprüfungen.....	4
3 Zusammenfassung.....	5
4 Unterlagen	6
5 Abbildungen	7

1 Einleitung

Die in ausländischen kerntechnischen Anlagen aufgetretenen betriebsbedingten Rissbildungen durch interkristalline Spannungsrisskorrosion in Mischnähten aus Nickellegierungen (Inconel), bezeichnet als PWSCC (Primary Water Stress Corrosion Cracking), waren Anlass für Fragestellungen zur Leistungsfähigkeit zerstörungsfreier Prüfungen in Bezug auf den Nachweis von Spannungskorrosionsrissen in Mischnähten. Bei den in Anlagen entdeckten Rissbildungen handelte es sich zunächst um quer zur Schweißnaht ausschließlich im Schweißgut verlaufende Rissbildungen, dann wurden auch längs zur Schweißnaht orientierte, also in Rohrumfangsrichtung verlaufende Risse gefunden. Die Risse verliefen ausschließlich im Schweißgut, Grundwerkstoffbereiche waren nicht betroffen. Während somit bei den Querrissen die Risslänge auf die Breite der Schweißnaht begrenzt bleibt, ist eine solche Begrenzung für die Längsfehler nicht gegeben. Hieraus ergibt sich die Anforderung an die Ultraschallprüfung, diese Fehler mit ausreichender Sicherheit nachzuweisen. Aus früheren Untersuchungen [1/-/3] ist bekannt, dass sich das Reflexionsverhalten interkristalliner Spannungskorrosionsrisse bei der Ultraschallprüfung deutlich unterscheiden kann von dem künstlicher Testreflektoren. Für eine Einschätzung des Nachweisvermögens von Längsrissen mit Ultraschall sollte an der MPA Universität Stuttgart ein geeigneter Mischnaht-Testkörper mit interkristallinem Spannungskorrosionsriss hergestellt und erste Untersuchungen mittels Ultraschallprüfung durchgeführt werden.

Bei austenitischen Cr-Ni-Stähle und Nickellegierungen sind für die Ultraschallprüfung besondere Eigenschaften zu betrachten. Bei den Schweißnähten aus diesen Werkstoffen ergeben sich Schwierigkeiten durch die Kornstruktur in Kombination mit der akustischen Anisotropie. Sind die Korngrößen klein gegenüber der Ultraschallwellenlänge und die Kornorientierung statistisch verteilt, verhält sich der Werkstoff makroskopisch wie ein isotropes Material. Beim Gießen und auch beim Schweißen von austenitischen Stählen und Nickellegierungen bilden sich bei der Erstarrung sehr große, stängelige Körner, welche entsprechend der Abkühlbedingungen (Temperaturgradienten) in Vorzugsrichtung orientiert sind. Dadurch macht sich die akustische Anisotropie makroskopisch bemerkbar und die Ultraschallausbreitung in der Schweißnaht wird beeinflusst, d.h. die Ausbreitung erfolgt im Allgemeinen nicht mehr geradlinig wie im isotropen Werkstoff. Zusätzlich kommt es zu vermehrter Streuung und zu Reflexionen am Interface und an den Korngrenzen. Dadurch wird das Signal-Rausch-Verhältnis bei der Ultraschallprüfung vermindert und die Interpretation von Signalen erschwert.

2 Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Ausgangssituation, Erfahrungen aus Vorhaben SR 0801312

Im vorangegangenen Vorhaben SR 0801312 AP 2.2 wurde versucht, unter Laborbedingungen einen Längsriss in eine Mischschweißnaht einzubringen, welche als Rohrrundnaht ausgeführt war /5/. Das Aufbringen einer Spannung als Voraussetzung für die Spannungsrissskorrosion war in diesem Fall nur in Form einer axialen Zugbeanspruchung des Rohrtestkörpers möglich. Es stellte sich heraus, dass so im Bereich der gewünschten Rissposition im Übergang von der Pufferung zur Verbindungsnaht kein ausreichendes Spannungsniveau erreicht werden konnte, um innerhalb der Projektlaufzeit eine Rissinitiierung zu erreichen.

Aufgrund der Erfahrungen wurde für die hier dargestellten Arbeiten im Vorhaben statt der möglichst praxisnahen Testkörpergeometrie die bewährte Form einer ebenen Platte gewählt, die zur Risseinbringung in einzelne Streifen zerteilt wurde. Für diese Testkörperform lagen aus vergangenen Vorhaben umfassende Erfahrungen vor zur Erzeugung interkristalliner Spannungskorrosionsrisse in austenitischen Schweißnähten unter Laborbedingungen innerhalb kurzer Zeit, so dass auch die Erfolgsaussichten für die Mischnähte als gut einzuschätzen waren. Für die Prüfung auf Längsfehler sind die Unterschiede zwischen der Rohrleitungsschweißnaht mit großem Durchmesser und dem ebenen Testkörper als gering einzustufen.

Werkstoffauswahl und Schweißung der Testkörper

Aus dem an der MPA vorhandenen Materialbestand wurden als Material für den Mischnahttestkörper zwei Platten ausgewählt: eine Platte von ca. 45 mm Dicke aus dem ferritischen Stahl 20MnMoNi5-5 (WSt.-Nr. 1.6310) sowie eine Platte aus dem austenitischen Stahl X5 CrNiMo17-12-2 (WSt.-Nr. 1.4401), ebenfalls ca. 45 mm dick.

Als erster Schritt wurde auf der ferritischen Seite eine austenitische zweilagige Plattierung aufgeschweißt. Da die Eigenschaften von Schweißnähten aus austenitischem Stahl was die Ultraschallausbreitung betrifft vergleichbar sind mit denen von Schweißnähten aus Nickellegierung wurde für die Schweißung von Pufferung und Verbindungsnaht ebenfalls ein austenitischer Schweißzusatzwerkstoff verwendet. Für diesen Werkstoff lagen aus vorangegangenen Untersuchungen an der MPA Universität Stuttgart bereits Erfahrungen mit der Einbringung von interkristallinen Spannungskorrosionsrisse vor. Daher waren die Erfolgsaussichten bezüglich der Erzeugung von Korrosionsrisse als besser einzuschätzen verglichen mit einer Verwendung von Schweißzusatzwerkstoff aus Nickellegierung.

Nach Schweißen der Plattierung wurde auf der Ferritseite auf der Fläche zur späteren Verbindungsnaht hin mehrlagig die Pufferung aufgeschweißt, wobei für den Bereich der späteren Rissposition ein korrosionsempfindlicher Schweißzusatzwerkstoff verwendet wurde. Für die Verbindungsschweißnaht wurde die Nahtvorbereitung der beiden Platten als U-Naht (Tulpe) mit

einem Steg von 2 mm Höhe vorbereitet. Beim Schweißen der Wurzellage und der ersten Fülllagen wurde ebenfalls der korrosionsempfindliche Schweißzusatzwerkstoff verwendet.

Die fertig geschweißte Platte wurde in mehrere Streifen von jeweils ca. 40 mm Breite gesägt, so dass mehrere Testkörper mit jeweils etwa 40 mm Nahtlänge entstanden.

Auf Basis der Erfahrungen aus den vorangegangenen Testkörperfertigungen wurde abschließend eine Sensibilisierungsglühung der Mischnaht-Testkörper bei 650°C für 30 Minuten mit anschließender Abkühlung im Ofen vorgenommen.

Fehlereinbringung

Als vorgesehene Fehlerposition im Mischnaht-Testkörper wurde der Übergangsbereich zwischen Pufferung und Verbindungsschweißnaht gewählt. Wie bereits in /5/ dargestellt, erreicht man auf diese Weise für die Ultraschallprüfung auf Längsfehler in der Schweißnaht den ungünstigsten Fall unter der Annahme, dass die Schweißnaht für eine Prüfung von beiden Seiten zugänglich ist: Der Anteil des Schallwegs, der im Schweißgut liegt, ist für beide Seiten relativ groß und somit die Beeinflussung der Schallausbreitung durch die Schweißnaht jeweils maximal. Bei Anschallung des Testfehlers von der Austenit-Seite aus muss die Verbindungsnaht durchschallt werden, bei der Einschallung von der Ferrit-Seite aus die Pufferung.

Voraussetzungen für das Entstehen von Spannungskorrosionsrissen sind neben dem für Korrosion empfindlichen Werkstoff auch mechanische Spannungen und ein korrosives Medium. Bei Komponenten sind oft erhöhte Eigenspannungen, z.B. im Bereich von Reparaturstellen, dafür verantwortlich, dass es nach einem längeren Zeitraum zur Rissinitiierung kommt. Im Laborversuch wählt man hohe Lasten, um die Zeit bis zur Rissinitiierung deutlich zu verkürzen.

Durch die Verwendung der flachen Testkörpergeometrie konnte der bewährte Versuchsaufbau zum Einbringen von Korrosionsrissen verwendet werden. Um die Initiierung des einzubringenden Korrosionsrisses an der gewünschten Position zu erreichen, wurde mittels Funkenerosion eine Starternut von 40 mm Länge (über die gesamte Testkörperbreite) und ca. 1,5 mm Tiefe eingebracht. Zum Aufbringen des korrosiven Mediums wurde um diese Starternut herum eine Wanne geklebt. Der so vorbereitete Testkörper wurde dann in einem Rahmen mit Stempel eingesetzt zum Aufbringen einer 3-Punkt-Biege-Beanspruchung, siehe Abbildung 1. Auf diese Weise konnte der Bereich der größten Spannungen auf die Position der Starternut konzentriert werden.

Die Belastung des Testkörpers erfolgte über mehrere Wochen bei Raumtemperatur, wobei das Bad mit dem korrosiven Medium ständig aufgefüllt und regelmäßig erneuert wurde. Zudem wurde zwischendurch der Nutgrund der erodierten Starternut leicht mit einer Säge nachbearbeitet, um eine angeraute Oberfläche zu schaffen.

Überwachung von Rissinitiierung und Risswachstum

Da erfahrungsgemäß nach Rissinitiierung der interkristalline Spannungskorrosionsriss unter der im Labor realisierten Beanspruchung schnell wächst, wurde die vorgesehene Rissposition während der Beanspruchung überwacht. Wie schon im Vorgängervorhaben /1/ kam dabei die Ultraschallprüfung in der Kombination Durchschallung und Impuls-Echo zum Einsatz. Dazu wurde auf jeder Seite des Testkörpers je ein Senkrechtprüfkopf (0°) angekoppelt. Durch Umschalten am Ultraschallgerät konnte so entweder das vom Empfänger aufgenommene Signal des Ultraschallpulses nach Durchlaufen des Testkörpers dargestellt werden (Durchschallung) oder zum Sender zurück reflektierte Signale (Impuls-Echo). Durch einen in Dickenrichtung wachsenden Riss würde ein Teil des Ultraschallpulses reflektiert, was eine Veränderung sowohl im Signal der Durchschallung als auch im Impuls-Echo-Betrieb zur Folge hätte, siehe Abbildung 2. Mit dieser Art der Überwachung kann ein Risswachstum erst ab einer Tiefe von mehreren Millimetern festgestellt werden, da schon ohne Vorhandensein des Risses die Reflexionen an Interface und der Kornstruktur innerhalb des Schweißgutes zu Signalen aus dem Bereich der Schweißnaht führen. Hinzu kommen Schwankungen in der Ankopplung. Daher wurde zusätzlich in regelmäßigen Abständen von ca. 24 Stunden der Fehlererwartungsbereich auf beiden Seitenflächen des Testkörpers mittels Farbeindringverfahren zerstörungsfrei geprüft. In Abbildung 3 und Abbildung 4 ist das Ergebnis der Eindringprüfung nach Abschluss des Risswachstums zu sehen. Sowohl bei der Rissorientierung als auch bei der Risstiefe sind leichte Unterschiede zwischen den beiden Seiten zu erkennen. Dies ist typisch für die interkristallinen Spannungskorrosionsrisse und einer der Gründe für das gegenüber den glatten Nuten oder Schwingrisen unterschiedliche Reflexionsverhalten bei der Ultraschallprüfung.

Nach erfolgtem Risswachstum wurde der Testkörper bearbeitet (abgefräst), um die Starternut auf der Unterseite und die Decklage der Verbindungsschweißung auf der Oberseite zu entfernen und somit jeweils eine glatte Oberfläche zu schaffen (entsprechend einer vollständig beschliffenen Schweißnaht an der Komponente). Die gesamte Risstiefe für den erzeugten interkristallinen Spannungskorrosionsriss lag damit nach Bearbeitung bei etwa 6-7 mm. In einen zweiten Mischnahttestkörper wurde als Referenzreflektor mittels Drahterodieren eine Nut mit einer Tiefe von 5 mm eingebracht.

Ultraschallprüfungen

An den Testkörpern mit Nut bzw. mit interkristallinem Spannungskorrosionsriss wurden Ultraschallprüfungen durchgeführt, um eine erste Einschätzung des Nachweisvermögens mit Ultraschall sowie der Unterschiede zwischen Nut und Riss vorzunehmen. Der verwendete Prüfkopf SET 45° 1 MHz für die Prüfung mit Transversalwellen in SE-Technik entspricht einer typischerweise bei Mischnähten dieser Geometrie eingesetzten Prüftechnik. Die Ultraschallprüfungen wurden durchgeführt als mechanisierte Prüfungen mit

Fließwasserankopplung. Für den Mäander-Scan über den Bereich der Schweißnaht entsprach die Scanachse der Testkörper-Längsachse, die Indexachse wurde parallel zur Schweißfortschrittsrichtung gewählt. Der Fahrbereich umfasste 110 mm für die Scanrichtung und 24 mm für die Indexrichtung, wobei der Abstand für die Datenaufnahme in Scanrichtung 1 mm betrug und der Versatz in Indexrichtung 2 mm. Die Prüfanordnung ist schematisch in Abbildung 5 dargestellt. Geprüft wurde jeweils von beiden Seiten der Schweißnaht, also mit Einschallung von der Ferrit-Seite aus sowie von der Austenit-Seite aus.

Die Ergebnisse der Ultraschallprüfung finden sich in Abbildung 6 bis Abbildung 9. Dargestellt sind jeweils die Projektion der Prüfdaten auf die Seitenfläche (B-Bild) und die Projektion auf die Prüffläche (C-Bild) und zwar als Summenbilder, d.h. als Summe der Daten aus allen Spuren bzw. aus allen Tiefen. Der Nullpunkt bezogen auf die Längsachse wurde jeweils so festgelegt, dass die Mitte der Verbindungsschweißnaht bei Position $y = 0$ liegt. Der Vergleich zwischen Abbildung 6 und Abbildung 7 zeigt, dass bei der Einschallung von der Austenit-Seite aus die Nut über die gesamte Testkörperbreite (vertikale Achse im C-Bild) mit gutem Signal-Rausch-Verhältnis nachweisbar ist, während der Riss über die Testkörperbreite hinweg deutliche Schwankungen in der Signalamplitude aufweist. Dennoch ist auch der Riss bei der Prüfung aus dieser Richtung klar nachweisbar. Für die Einschallung von der Ferrit-Seite ist der Unterschied zwischen Nut und Riss sehr viel deutlicher ausgeprägt. Während die Nut wieder über die gesamte Breite des Testkörpers sehr gut nachweisbar ist (Abbildung 8), erhält man für den Riss nur an einer Seite des Testkörpers ein Signal mit ausreichendem Signal-Rausch-Verhältnis (Abbildung 9). In der Testkörpermitte ist der Riss kaum nachweisbar. Dies ist in Abbildung 10 im Einzel-B-Bild zu erkennen, welches statt des Summenbildes nur die Daten in einer Schnittebene parallel zur Seitenfläche in Testkörpermitte darstellt.

3 Zusammenfassung

Für die Durchführung erster Untersuchungen zur Aussagefähigkeit der Ultraschallprüfung für den Nachweis von interkristallinen Spannungskorrosionsrissen in Mischschweißnähten mit Orientierung in Schweißfortschrittsrichtung (Längsriss) wurde im Labor der MPA Universität Stuttgart ein Mischnahttestkörper mit interkristallinem Spannungskorrosionsriss hergestellt. Basierend auf den Erfahrungen aus früheren Vorhaben wurde die bewährte flache Testkörperform gewählt. Für die Prüfung auf Längsfehler ist der Unterschied zur gekrümmten Rohrrundnaht mit großen Durchmessern so gering, dass eine Übertragbarkeit der Ergebnisse gewährleistet ist. Die Position des Testfehlers wurde so gewählt, dass für die Ultraschallprüfung von beiden Seiten der Naht jeweils der ungünstigste Fall vorliegt.

Am hergestellten Testkörper mit interkristallinem Spannungskorrosionsriss sowie einem Referenz-Testkörper mit erodierter Nut als Testreflektor wurden Ultraschallprüfungen mit einer Standardprüftechnik durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass der Riss nachweisbar ist,

allerdings im Vergleich zum künstlichen Reflektor ein deutlich ungleichmäßiges Signalmuster und stark schwankende Signalamplitude über die Länge zeigt. Anhand der Ergebnisse kann lediglich eine erste Einschätzung über den Nachweis von interkristallinen Spannungskorrosionsrissen mit Orientierung parallel zur Schweißnaht in Mischnähten erfolgen. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Standardultraschallprüftechnik in der Lage ist realistische Testfehler mit ausreichendem Signal-Rausch-Verhältnis nachzuweisen. Wie bereits aus den früheren Untersuchungen bekannt, ist bei der verwendeten 45°-Transversalwellen-Prüftechnik die Signalamplitude für den interkristallinen Spannungskorrosionsriss deutlich geringer als die der Nut und variiert über die Länge des Risses. Diese Unterschiede zwischen dem üblicherweise für Vergleichskörper verwendeten künstlichen Reflektor (Nut) und dem Riss müssen bei der Bewertung von Prüfergebnissen berücksichtigt werden.

4 Unterlagen

- /1/ U. Mletzko und S. Zickler: „Verbesserte Bewertung der Aussagefähigkeit von zerstörungsfreien Prüfungen an Komponenten aus Nickelbasislegierungen oder austenitischen Werkstoffen“, BMU Vorhaben SR 2501, Technischer Bericht 1.2, MPA Universität Stuttgart, 2007
- /2/ S. Dugan, S. Wagner, S. Zickler: „Herstellung von Testkörpern mit realistischen Fehlern für die Ultraschallprüfung“, Berichtsband BB 122-CD DGZfP-Jahrestagung (2010), DGZfP, Berlin.
- /3/ S. Dugan, X. Schuler, G. Wackenhut, S. Zickler: “Influence of Uncertainties in NDT on the Assessment of the Integrity of Components.” In: Proceedings of the 8th International Conference on NDE in Relation to Structural Integrity for Nuclear and Pressurised Components 2010, Berlin, Germany.
- /4/ M. Spies, H. Rieder, A. Dillhöfer, S. Dugan: “Abbildung und Größenbestimmung von Spannungskorrosionsrissen in austenitischen Komponenten mittels Synthetischer Apertur Fokus Technik“, Berichtsband BB-127-CD DGZfP-Jahrestagung (2011), DGZfP, Berlin.
- /5/ S. Dugan, „Erste Bewertung der Aussagesicherheit von zerstörungsfreien Prüfungen an Mischschweißverbindungen auf Längsrisse“, BMU-Vorhaben SR 0801312, Technischer Bericht 2.2, MPA Universität Stuttgart, Juli 2011

5 Abbildungen

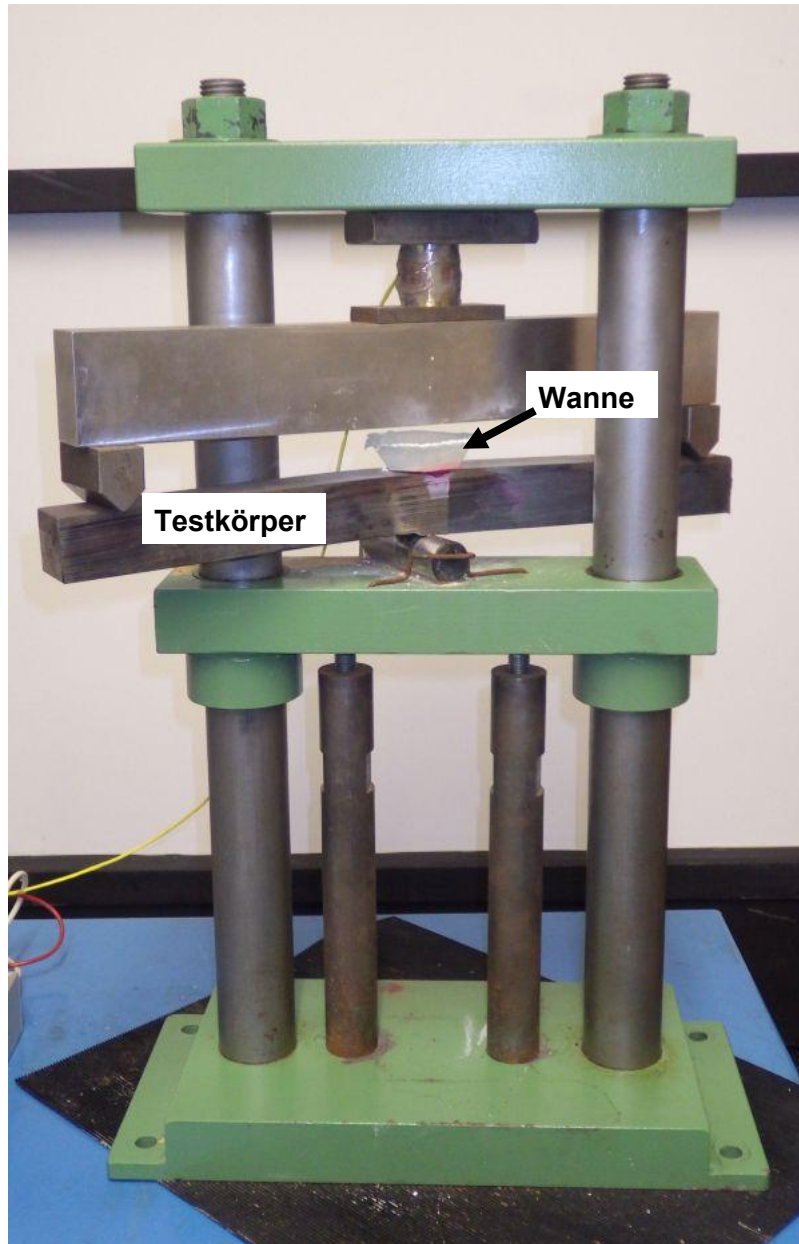


Abbildung 1: Mischnaht-Testkörper im Belastungsrahmen zur Fehlereinbringung.

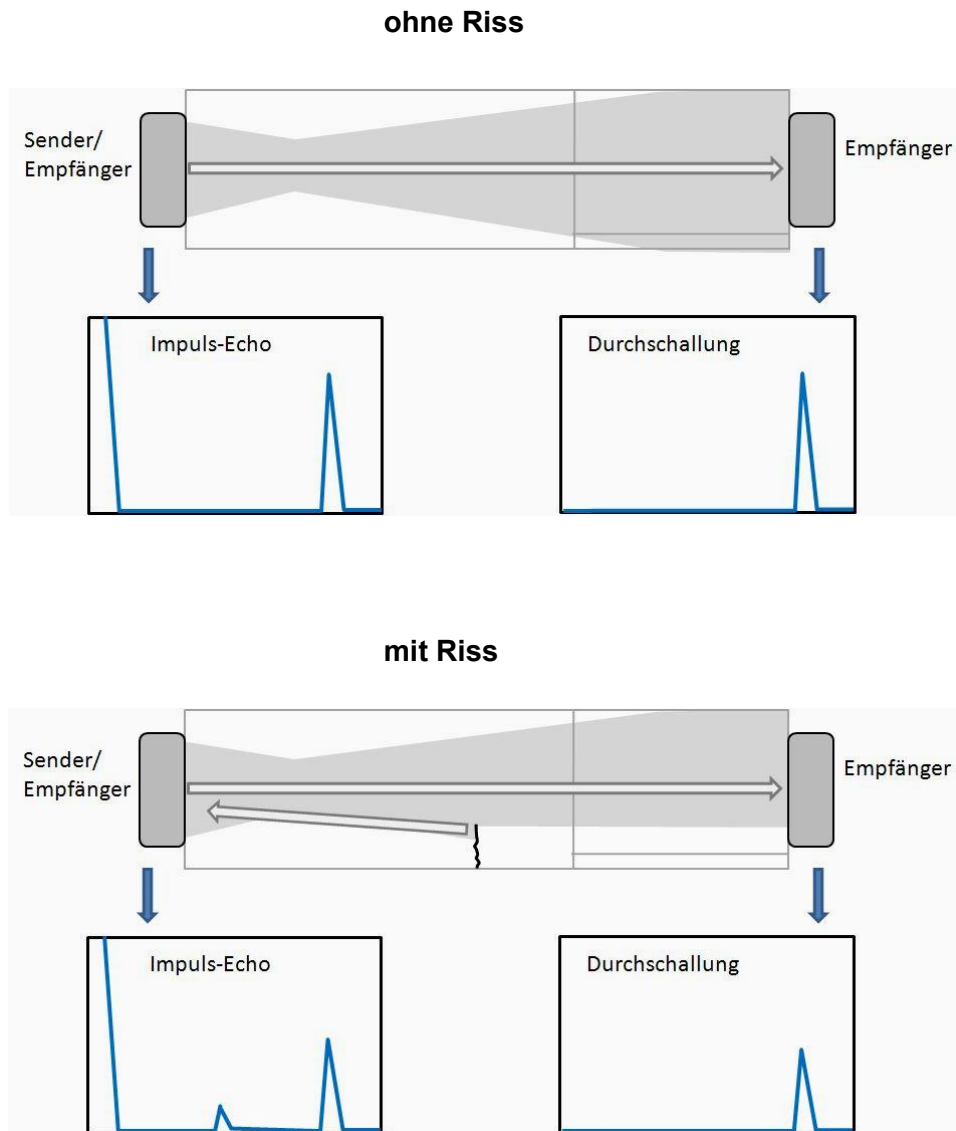


Abbildung 2: Prinzip Ultraschall-Überwachung des Risswachstums (aus [1/])

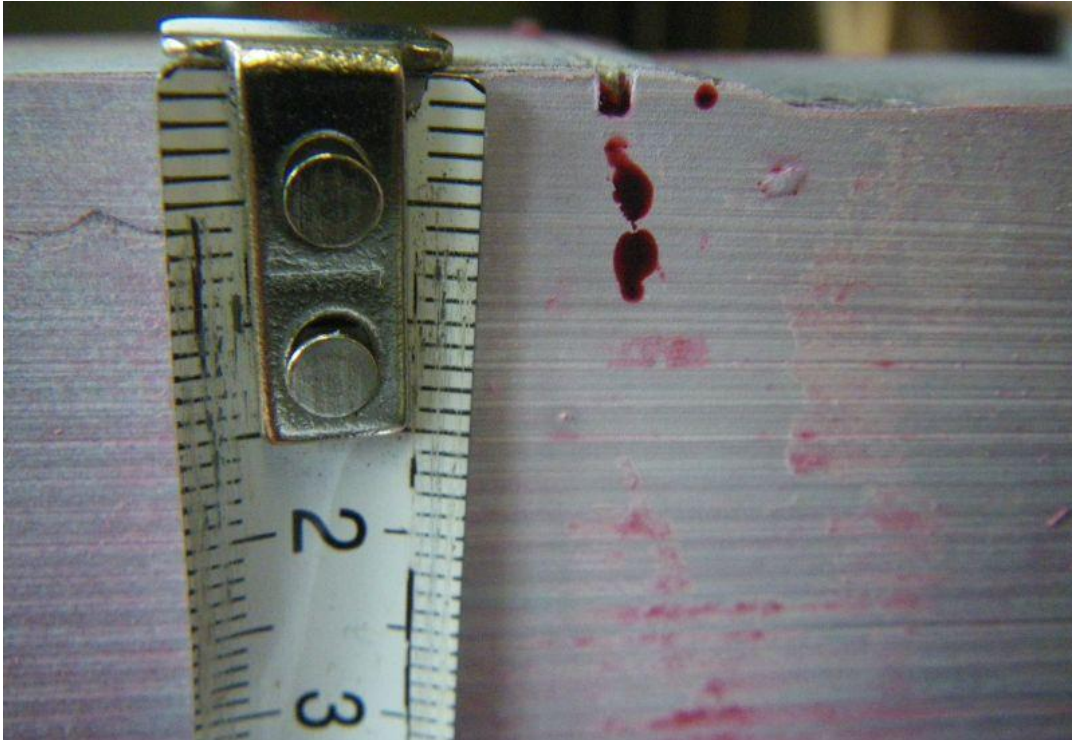


Abbildung 3: Überprüfung Risswachstum mittels Farbeindringprüfung (Testkörperseite 1).

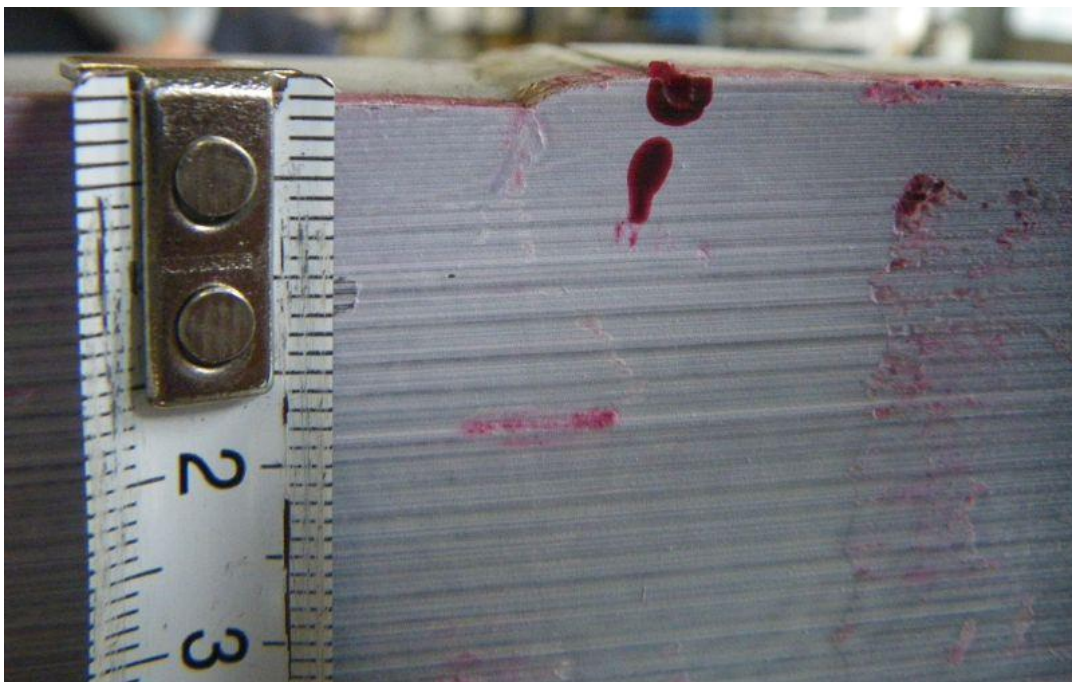


Abbildung 4: Überprüfung Risswachstum mittels Farbeindringprüfung (Testkörperseite 2).

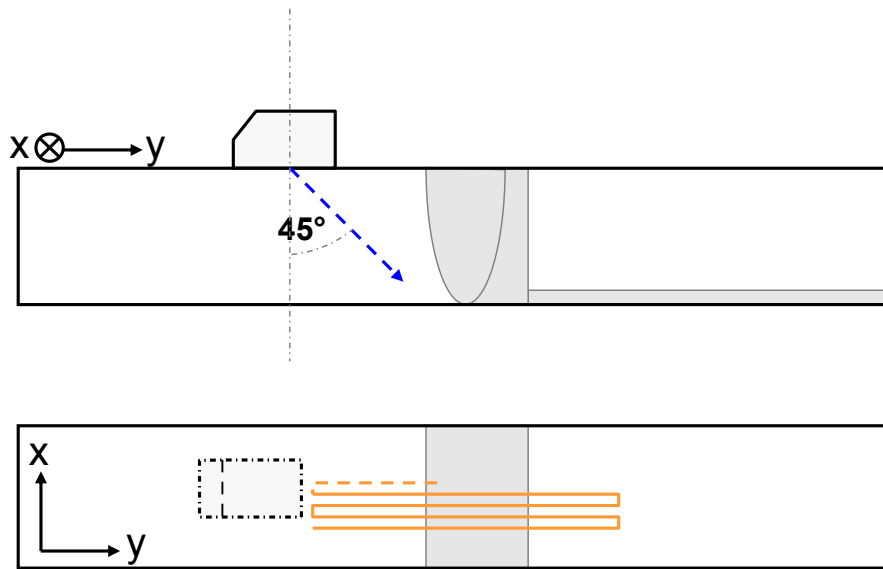


Abbildung 5: Prüfanordnung für die mechanisierte Ultraschallprüfung (schematisch).

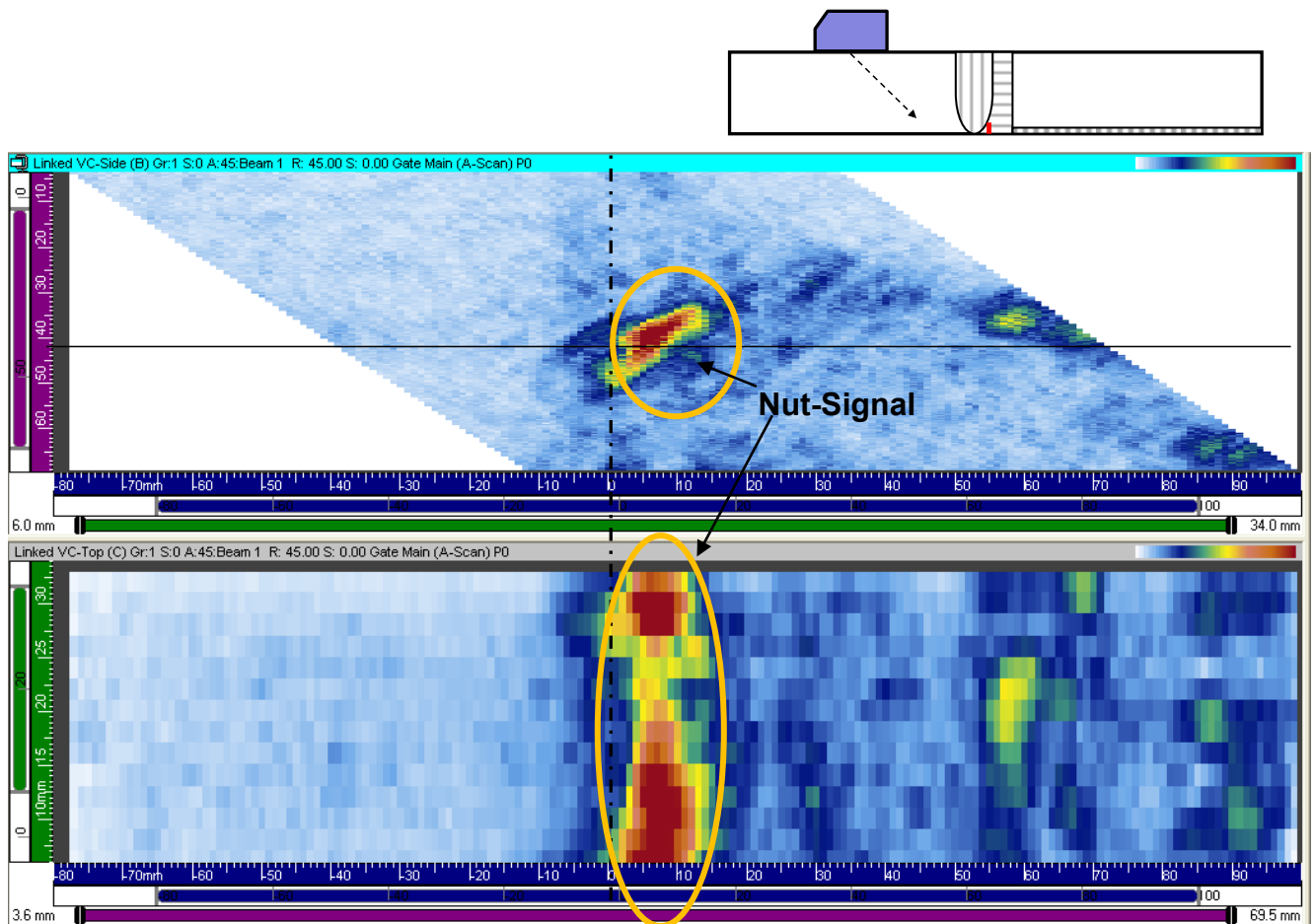


Abbildung 6: Ultraschall B-Bild (oben) und C-Bild (unten) für die Prüfung am Testkörper mit Nut, Einschaltung von der Austenit-Seite

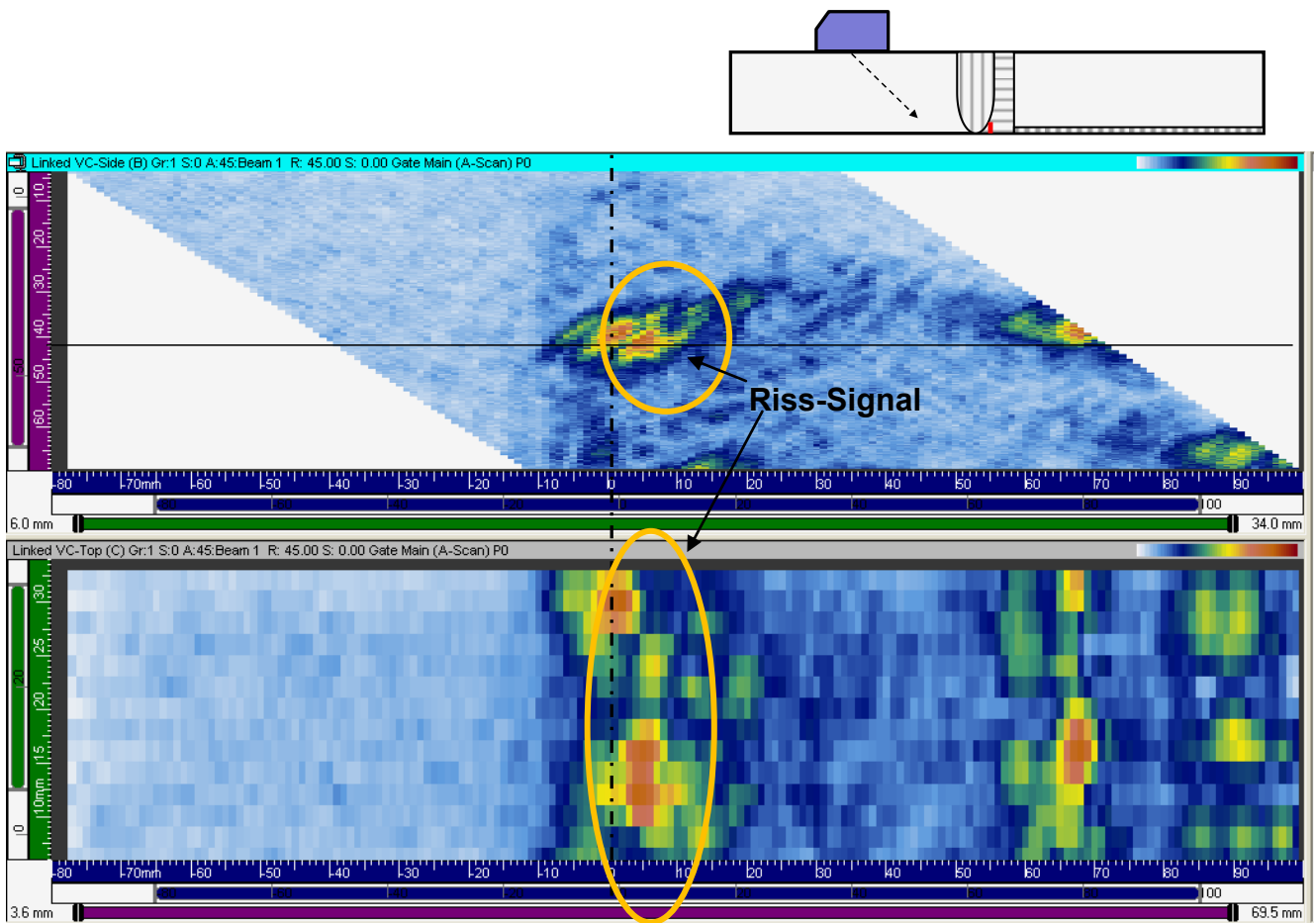


Abbildung 7: Ultraschall B-Bild (oben) und C-Bild (unten) für die Prüfung am Testkörper mit Riss, Einschaltung von der Austenit-Seite

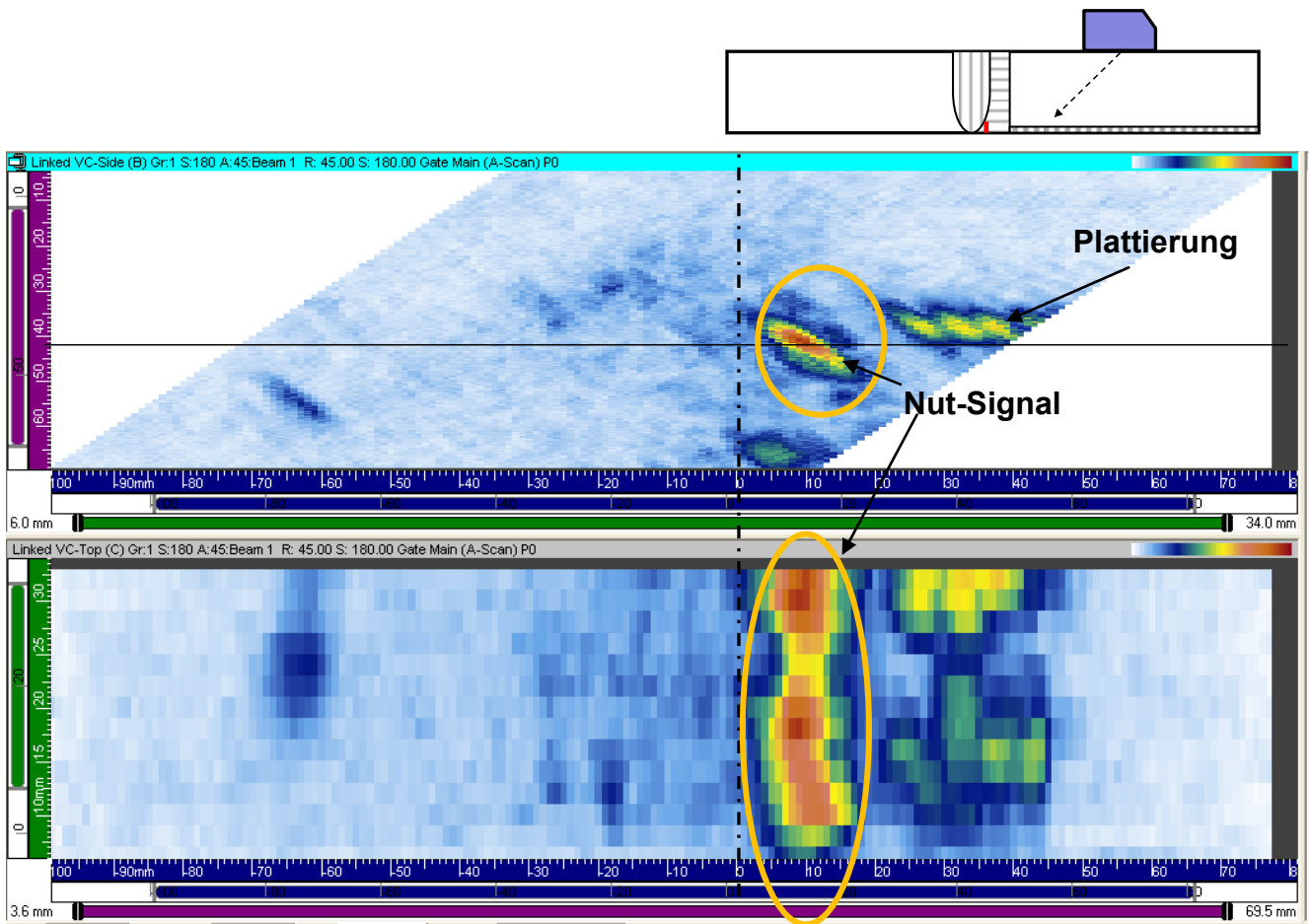


Abbildung 8: : Ultraschall B-Bild (oben) und C-Bild (unten) für die Prüfung am Testkörper mit Nut, Einschaltung von der Ferrit-Seite

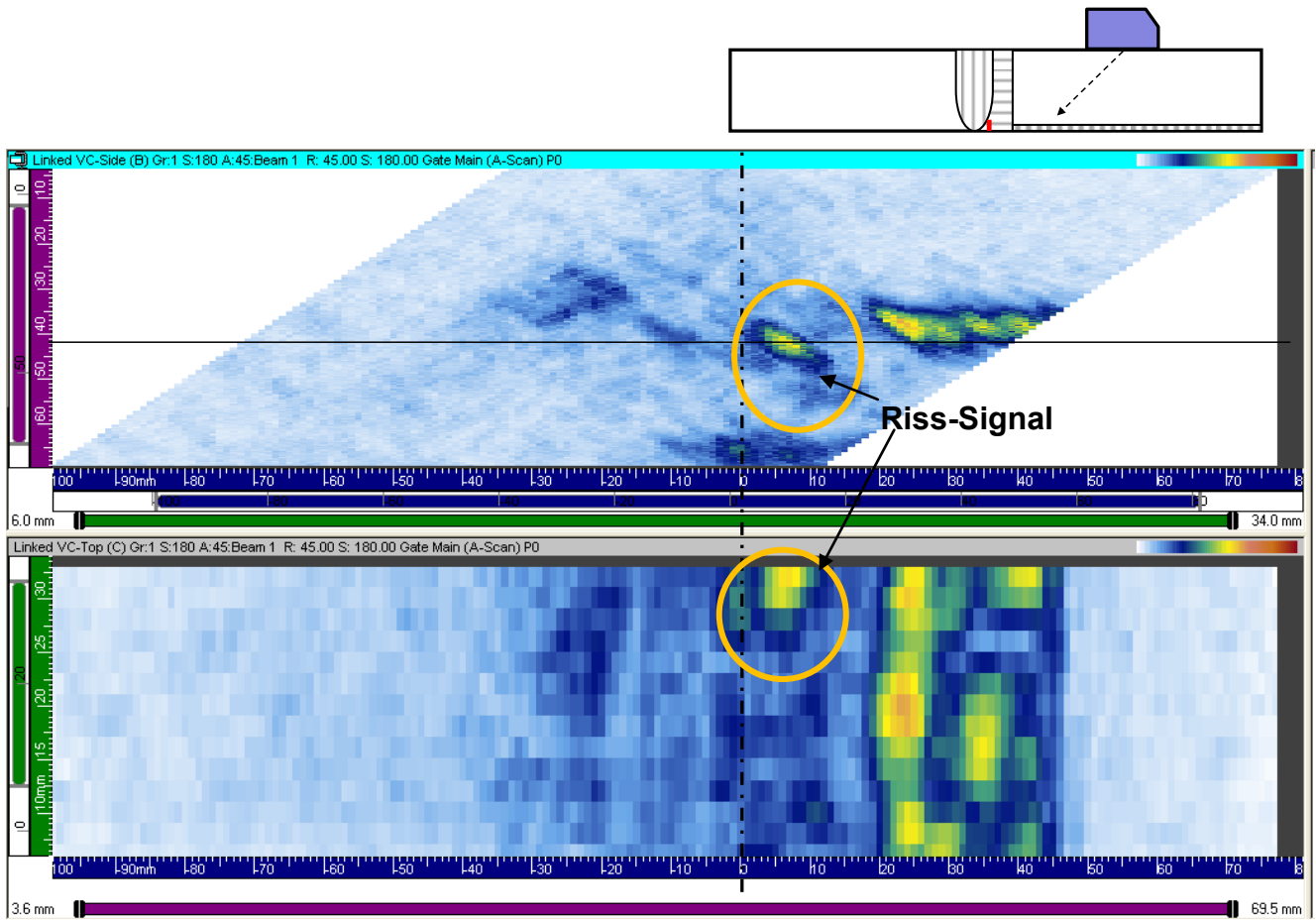


Abbildung 9: : Ultraschall B-Bild (oben) und C-Bild (unten) für die Prüfung am Testkörper mit Riss, Einschallung von der Ferrit-Seite

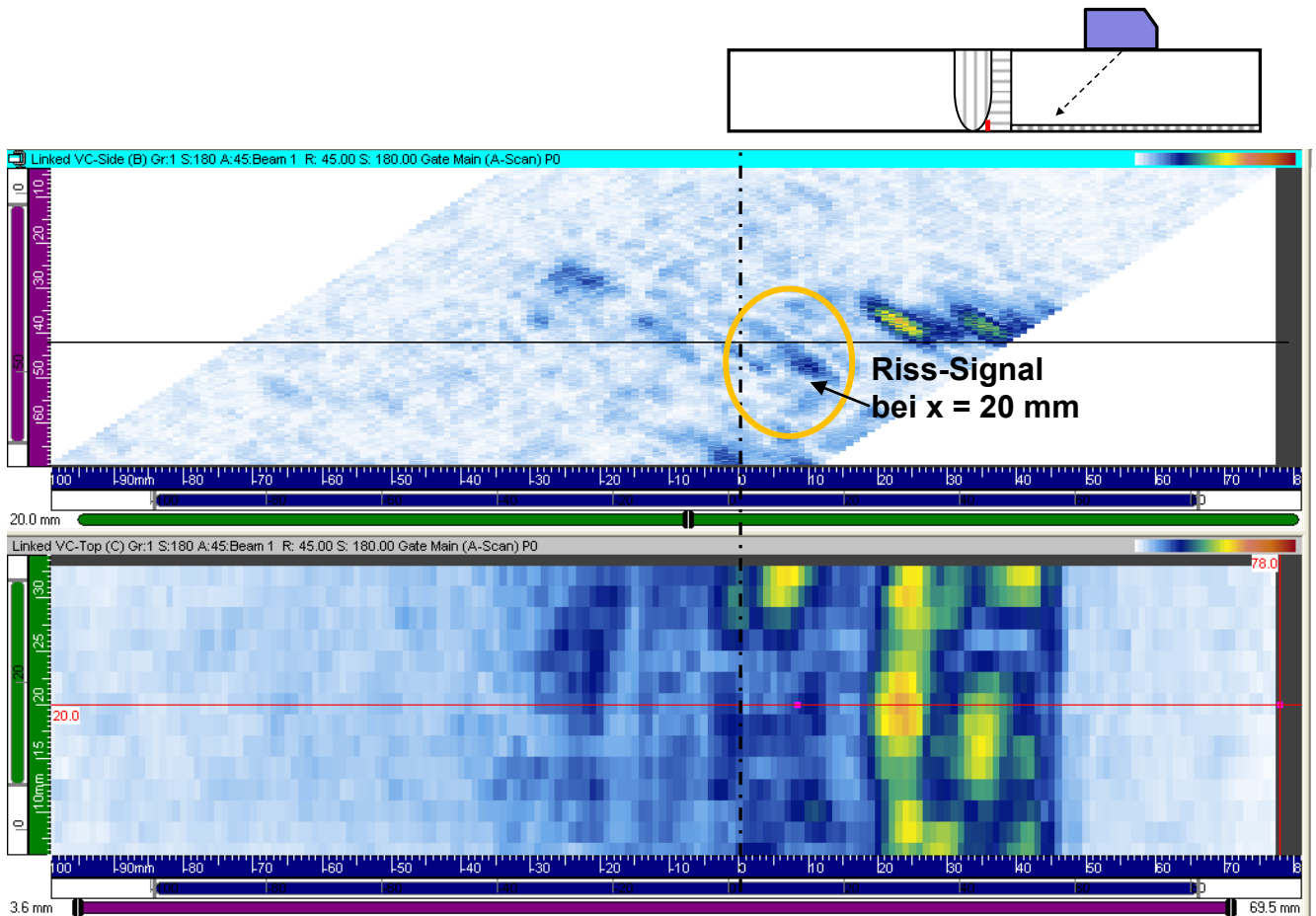


Abbildung 10: Ultraschall B-Bild (oben) als Schnittbild in Testkörpermitte (Cursorposition im C-Bild unten) für die Prüfung am Testkörper mit Riss, Einschallung von der Ferrit-Seite