

Manuelle Schweißnahtprüfung mit Ultraschall – Konventionell oder mit Phased Array?

Dr. (USA) Wolfram A. Karl DEUTSCH, Dipl.-Geol. Stefan KIERSPEL
Karl Deutsch Prüf- und Messgerätebau GmbH + Co. KG
Otto-Hausmann-Ring 101
42115 Wuppertal
w.deutsch@karldeutsch.de
kierspel@karldeutsch.de

Kurzfassung. Seit es Ultraschall-Handgeräte mit Gruppenstrahlertechnik gibt, wird über Einsatzmöglichkeiten dieser Geräte diskutiert. Es stellt sich die Frage, inwieweit die Gruppenstrahlertechnik den klassischen Ultraschall in Zukunft verdrängen kann. Eine der häufigsten Ultraschall-Anwendungen ist die klassische, manuelle Schweißnahtprüfung. Im vorliegenden Text werden beide Verfahren für diese Anwendung nebeneinandergestellt und verglichen, und zwar im Hinblick auf ihre in der gängigen Praxis tatsächlich übliche Art und Weise der Handhabung. Im Ergebnis bieten beide Verfahren sowohl Vor- und Nachteile, so dass die Auswahl des Verfahrens eine Abwägung hinsichtlich der Zielvorgaben erfordert. Hierbei spielen insbesondere Faktoren eine Rolle, welche Komplexität der Prüfung und Auswertung, Prüfungsgeschwindigkeit, Art der Dokumentation, Qualifikation des Prüfers und nicht zuletzt die Kosten betreffen.

Einführung

In den vergangenen Jahren hat die Entwicklung der Gerätetechnik im Bereich der Ultraschallprüfung mit der Phased Array Technik große Fortschritte gemacht. War der Einsatz zunächst hauptsächlich auf die automatisierte Prüfung beschränkt, so ist man inzwischen durch Miniaturisierung von elektronischen Komponenten und verbesserte Rechenleistungen integrierbarer Computer in der Lage, kleine, portable Geräte herzustellen, die einen mobilen Einsatz wie bei der konventionellen Ultraschallhandprüfung ermöglichen. Inzwischen sind zahlreiche kleine Handgeräte auf dem Markt erhältlich, so dass die Frage zu stellen ist, inwieweit die Gruppenstrahlertechnik den klassischen Ultraschall verdrängen kann und wird, bzw. inwieweit eine solche Verdrängung technisch und wirtschaftlich sinnvoll ist. Für einige spezielle Anwendungsfälle kann dies bereits positiv beantwortet werden, es bleibt die Frage offen, ob dies auch für die klassischen Felder der Ultraschallprüfung gilt.

Hier ist insbesondere die manuelle Schweißnahtprüfung zu nennen. Diese aus ultraschalltechnischer Sicht vergleichsweise einfache Anwendung steht auf Grund ihrer Verbreitung und ihrer Zeitaufwendigkeit immer unter dem Druck, möglichst effizient durchgeführt zu werden. Neue Techniken sind dabei stets willkommene Möglichkeiten.

Dennoch stehen Anwender nach wie vor dem Problem beurteilen zu können, ob es in ihrem speziellen Falle sinnvoll ist, Zeit und Geld in die neue Technik zu investieren oder bei der herkömmlichen Vorgehensweise zu bleiben. Im Folgenden sollen daher die Vorgehensweisen bei beiden Techniken, konventioneller Ultraschall und Phased Array, nebeneinandergestellt und verglichen werden. Abschließend werden dann ohne Wertung die Vor- und Nachteile der jeweiligen Technik für den speziellen Fall der manuellen Schweißnahtprüfung herausgearbeitet. Anwender können diese Nebeneinanderstellung dann als Entscheidungshilfe bei o.g. Problemstellung nutzen.

Es sei ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die Beschreibung der Vorgehensweise beider Verfahren die in der tatsächlichen Praxis vorkommenden Abläufe berücksichtigt. So wird z.B. vorausgesetzt, dass bei der manuellen Schweißnahtprüfung mit Phased Array ein Wegaufnehmer genutzt wird, um die tatsächliche Position des Prüfkopfes entlang der Schweißnaht zu bestimmen. Bei der konventionellen Prüfung kommen solche Hilfsmittel in der Regel nicht zum Einsatz.

Auf eine Darstellung der Funktionsweise der Phased Array Technik wird hier bewusst verzichtet, da deren Grundzüge inzwischen weitestgehend bekannt sein dürften.

1. Manuelle Schweißnahtprüfung mit konventionellem Ultraschall

1.1 Auswahl der Prüfausrüstung

Zu Beginn einer jeden Schweißnahtprüfung steht die Auswahl des entsprechenden Prüfsystems. Gerätetechnisch werden hier in der Regel digitale Universalgeräte verwendet, vereinzelt kommen aber auch noch ältere Geräte mit Analogtechnik zum Einsatz. Dies führt zu Unterschieden bei der Vorgehensweise in Bezug auf die Justierung des Systems und der Dokumentation, nicht jedoch bei der Durchführung der eigentlichen Prüfung. Da digitale Geräte weitaus verbreiteter sind und ein direkter Wechsel vom analogen Ultraschall zur Phased Array Technik ohnehin nur schwer denkbar ist, wird die folgende Beschreibung ausschließlich auf der Verwendung von digitalen Geräten beruhen.

Aufwendiger ist die Auswahl des richtigen Prüfkopfes. Hier kommen zumeist Winkelprüfköpfe zum Einsatz, wobei bei der Auswahl auf die richtige Frequenz und den richtigen Einschallwinkel zu achten ist. Zum Teil stehen auch verschiedene Baugrößen mit unterschiedlichen Schwingergrößen zur Verfügung. Je nach Prüfvorschrift sind verschiedene Winkel für die Prüfung vorgeschrieben, so dass auch mehrere Prüfköpfe auszuwählen und nacheinander anzuwenden sind.

1.2 Festlegung des Prüfbereiches

Nach Auswahl des Prüfsystems muss der eigentliche Prüfbereich festgelegt werden. Um den kompletten Schweißnahtquerschnitt zu erfassen, ist der Prüfbereich so festzulegen, dass zwischen halbem und ganzem Sprung geprüft wird (Abb. 1).

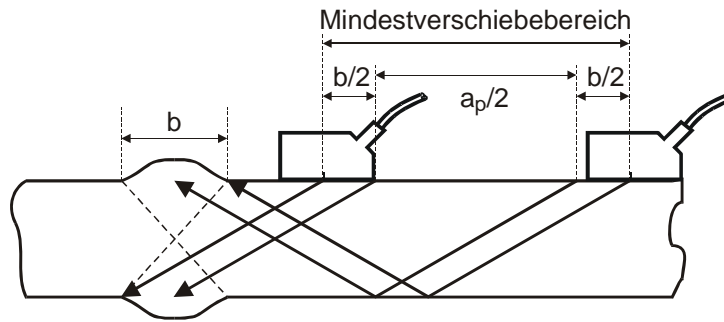


Abb. 1. Festlegung des Prüfbereiches

Der Mindestverschiebebereich, d.h., der Bereich, in dem der Prüfkopf während der Bewegung entlang der Schweißnaht senkrecht zur Naht hin- und herverschoben werden muss, ergibt sich dabei aus der Materialdicke und dem Einschallwinkel. Sinnvollerweise wird dieser Bereich mit zwei parallel zur Schweißnaht verlaufenden Linien markiert.

1.3 Gerätejustierung

Vor der eigentlichen Prüfung muss das Prüfsystem justiert werden. Die Messlängenjustierung erfolgt entweder an entsprechenden Standardjustierkörpern (K1 oder K2), oder, falls das zu prüfende Material eine abweichende Schallgeschwindigkeit aufweist, an einem entsprechenden Vergleichskörper mit gleicher Schallgeschwindigkeit. Ist diese bekannt, so kann sie bei digitalen Geräten direkt per Hand eingegeben werden. Moderne Digitalgeräte verfügen zudem über eine Prüfkopfdatenbank, so dass bei Anwahl des korrekten Prüfkopfes die Prüfkopfvorlaufstrecke bereits richtig eingegeben ist. Die Messlängenjustierung ist somit abgeschlossen und kann als Datensatz gespeichert und im Bedarfsfall direkt wieder aufgerufen werden.

Die Empfindlichkeitsjustierung wird an Prüfteilen mit eingebrachten Testfehlern, oder, bei Verwendung der AVG-Methode, bei Eingabe von entsprechenden Daten zur Schallschwächung und ggf. Materialoberfläche auch an der Rückwand eines Vergleichskörpers durchgeführt.

Ist der Einsatz verschiedener Prüfköpfe gefordert, so wird die Justierung des Systems für jeden Prüfkopf erneut ausgeführt.

1.4 Durchführung der Prüfung

Bei der eigentlichen Prüfung wird der Prüfkopf mäanderförmig innerhalb des festgelegten Mindestverschiebebereichs an der Schweißnaht entlang geführt (Abb. 2). Hierdurch wird sichergestellt, dass die Schweißnaht sowohl in ihrer Längsausdehnung als auch in ihrem Querschnitt komplett erfasst wird. Um auch planare Fehlstellen zu erfassen, die nicht parallel zur Schweißnaht liegen, wird der Prüfkopf während des Prüfvorganges geschwenkt (Abb. 3). Dieser Vorgang ist recht zeitaufwendig und dauert bei erfahrenen Prüfern zwischen 15 und 30 Minuten für einen Meter Schweißnahtlänge.

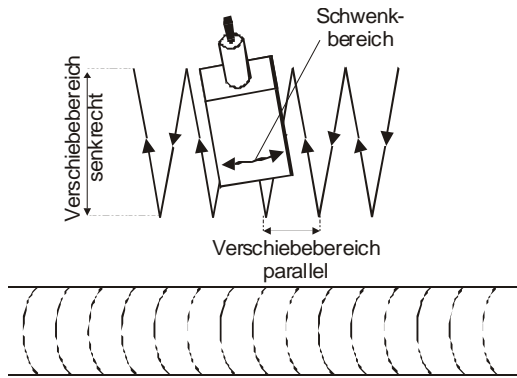


Abb.2. Mäanderförmiges Abfahren der Schweißnaht

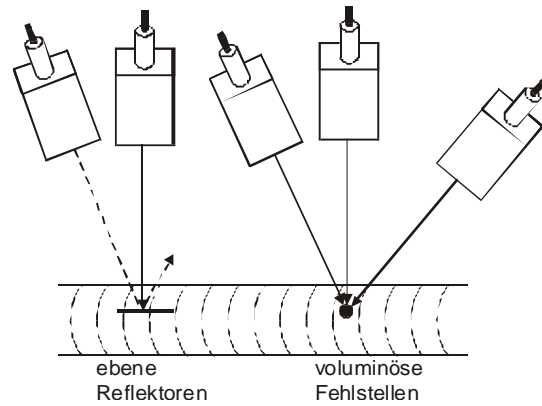


Abb.3. Schwenken des Prüfkopfes

1.5 Fehlerortung- und Bewertung

Nachdem ein Fehler im Material bzw. in der Schweißnaht gefunden wurde, wird dieser erst geortet, d.h. in seiner Lage bestimmt und anschließend seine Größe ermittelt und der Fehler bewertet.

Sind die relevanten Parameter wie X-Maß, Materialdicke und Einschallwinkel korrekt in das digitale Ultraschallgerät eingegeben worden, so zeigt das Gerät die Fehlerlage relativ zum Prüfkopf an. Der Fehler wird dann direkt am Bauteil markiert oder in eine Bauteilzeichnung eingetragen bzw. als numerischer Wert bezogen auf einen zuvor festgelegten Nullpunkt auf dem Bauteil angegeben.

Zur Größenermittlung werden Amplitudenbewertungsmethoden wie AVG oder DAC oder bei großen Fehlern der Amplitudenabfall (6 dB Methode) herangezogen. AVG und DAC sind vergleichende Verfahren, welche die Amplitude der Fehlstellenanzeige in Bezug zur Amplitudenanzeige eines bekannten Reflektors setzen. Die Fehlergrößenbestimmung ist dementsprechend ungenau, dennoch sind die Verfahren mangels Alternativen anerkannt und gebräuchlich.

1.6 Dokumentation

Für die Dokumentation steht bei der konventionellen Ultraschallprüfung als automatisch generiertes Dokument lediglich das vom Gerät auf den PC übertragbare A-Bild mit den entsprechenden Messgrößen (z.B. Amplitudenhöhe, Kreisscheibenäquivalent, Projektionsabstand, Tiefe) zur Verfügung (Abb. 4). Ggf. können auch noch die Einstellparameter übertragen werden. Ansonsten müssen alle weiteren Angaben zur Fehlerlage zeichnerisch oder tabellarisch angegeben werden.

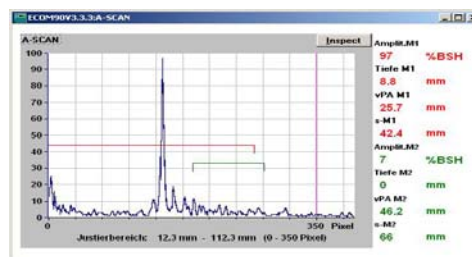


Abb. 4. A-Bild mit Messwerten

2. Manuelle Schweißnahtprüfung mit Phased Array

2.1 Auswahl der Prüfausrüstung

Auch bei der manuellen Schweißnahtprüfung mit Phased Array steht zunächst die Auswahl des entsprechenden Prüfsystems an. Allerdings ist hier bereits bei der Geräteauswahl darauf zu achten, ob die technischen Eigenschaften für die in der Prüfvorschrift geforderten Einstellungen ausreichend sind. So ist u.a. darauf zu achten, dass die Anzahl der parallelen und seriellen Kanäle die geforderte Prüfmethode ermöglicht. Die Rechengeschwindigkeit und die Anzahl der berechenbaren „Focal-Laws“ müssen ausreichend groß sein.

Bei der Prüfkopfauswahl muss zunächst darauf geachtet werden, dass der Anschlussstecker mit dem des Gerätes übereinstimmt. Dies ist zwar auch beim konventionellen Ultraschall zu beachten, es gibt hier aber deutlich weniger unterschiedliche Anschlussformen, und notfalls stehen in der Regel Adapter zur Verfügung.

Die Auswahlkriterien bei Phased Array Prüfköpfen beziehen sich vornehmlich auf die Prüffrequenz, die Anzahl und Anordnung der Elemente, die Elementbreite und –länge sowie die Abstände der Elemente zueinander. Bei der Schweißnahtprüfung werden hauptsächlich Prüfköpfe mit 16 oder 32 linear angeordneten Elementen mit Prüffrequenzen von 2 und 4 MHz verwendet.

Für die Winkeleinschallung muss zudem ein schräger Vorlaufkeil montiert werden, der die geforderte Einschallrichtung ermöglicht und optimal unterstützt.

2.2 Festlegung der Prüfmethode

Vor der Prüfung wird festgelegt, ob diese mit einem Sektor-Scan mit verschiedenen Winkeln oder einem Linien-Scan mit einem festen Winkel durchzuführen ist. Beim Sektor-Scan werden in der Regel alle zur Verfügung stehenden parallel geschalteten Kanäle auf eine entsprechende Anzahl von nebeneinander liegenden Elementen angewendet. Mit dieser Gruppe wird dann der Schallstrahl zwischen einem kleinsten und einem größten Winkel geschwenkt, so dass ein kompletter Sektor abgescannt wird (Abb. 5)

Der Linien-Scan mit festem Winkel arbeitet mit nur einem Einschallwinkel, der die gesamte Länge des Prüfkopfes nutzend elektronisch einen horizontalen Bereich des Prüfteils absannt (Abb. 6). Hierfür werden sinnvollerweise lange Prüfköpfe mit 64 oder mehr Elementen verwendet. Allerdings muss auf der Prüfoberfläche genügend Platz sein, um Köpfe solch großer Bauart aufnehmen zu können. Dies gilt im Übrigen generell für diese Art Prüfung, da die Sensoren hier größer sind als beim konventionellen Ultraschall.

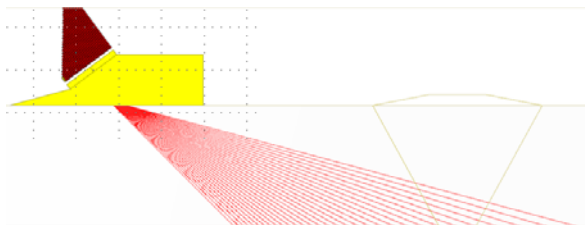


Abb. 5. Sektor-Scan

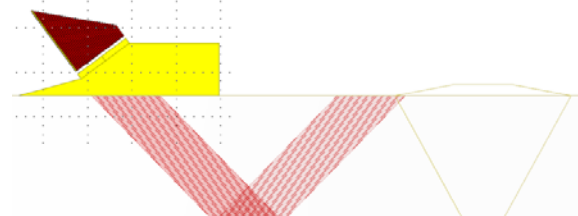


Abb. 6. Linear-Scan

2.3 Festlegung des Prüfbereiches

Auch bei der manuellen Schweißnahtprüfung mit Phased Array wird zwischen halbem und ganzem Sprung geprüft, nur dass die Schallfeldbewegung nicht mechanisch sondern elektronisch erfolgt. Im Falle des Sektor-Scan wird eine komplette Überdeckung des Schweißnahtquerschnittes dadurch erreicht, dass der flachste Einschallwinkel (z.B. 70°) im halben Sprung kurz vor der Nahtwurzel und der andere Grenzwinkel (z.B. 40°) im ganzen Sprung kurz vor der Decklage auftrifft (Abb. 7)

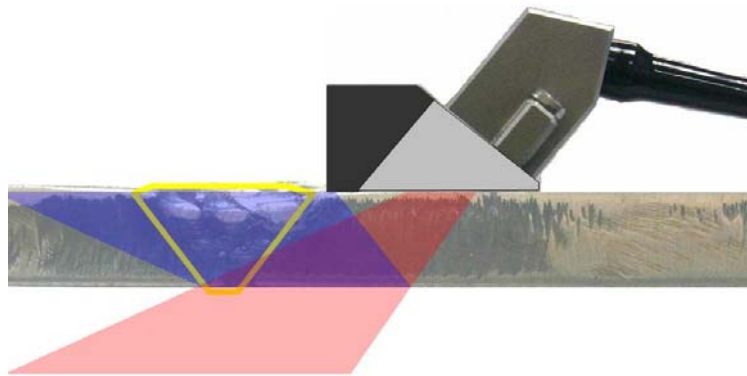


Abb. 7. Nahtüberdeckung beim Sektor-Scan

2.4 Gerätejustierung

Die Gerätejustierung ist bei der manuellen Phased Array Prüfung deutlich komplexer als beim konventionellen Ultraschall. So muss bei der Messlängenjustierung beachtet werden, dass sich bei der Winkeleinschallung bei jedem Winkel der Schallaustrittspunkt und somit die Vorlaufstrecke ändert. In der Regel verfügen manuelle Phased Array Geräte über Hilfsfunktionen, die den Justierablauf unterstützen. Dennoch ist dieser Vorgang nicht ganz unproblematisch und bedarf einer gewissen Erfahrung durch den Anwender. Als Justierkörper kann der K1 verwendet werden.

Bei der Empfindlichkeitsjustierung sind zwei separate Vorgänge zu unterscheiden. Zunächst müssen die vorhandenen Empfindlichkeitsunterschiede der einzelnen Elemente ausgeglichen werden, damit jeder einzelne erzeugte Schallstrahl mit der gleichen Intensität ausgestattet ist. Auch hierzu gibt es Hilfsfunktionen in den meisten Geräten.

Zur Justierung der Fehlerempfindlichkeit werden die im konventionellen Ultraschall üblichen Verfahren angewendet.

2.5 Festlegung des Koordinatensystems

Ein entscheidendes Kriterium bei der manuellen Phased Array Prüfung ist die Möglichkeit, Bilder mit lagegenauen Fehleranzeigen zu generieren. Hierzu muss aber erst ein Koordinatensystem am Prüfteil festgelegt und dieses korrekt an das Gerät und den entsprechenden Encoder weiter gegeben werden. Werden hierbei Fehler gemacht kann dies die gesamte Fehlerortung verfälschen. Das bedeutet, dass speziell dieser Vorgang mit entsprechender Sorgfalt ausgeführt werden muss.

Theoretisch ist es zwar möglich, auch ein konventionelles Ultraschallsystem mit einem Wegaufnehmer auszustatten. Dies wird z.B. bei automatischen Prüfanlagen durchaus praktiziert. Im Falle der manuellen Prüfung ist dies jedoch unüblich, da zur Generierung entsprechender Bilder zusätzliche Bildsoftware benötigt wird.

2.6 Durchführung der Prüfung

Ist das Gerätesystem justiert und die Koordinaten korrekt an den Encoder weitergegeben worden, kann die Prüfung beginnen. Im Gegensatz zum konventionellen Ultraschall wird der Prüfkopf nicht mehr mäandrierend an der Schweißnaht entlang geführt, sondern auf einer Linie parallel zur Naht verschoben. Diese Art der Prüfung ist um einen Faktor 10- bis 20-mal schneller als beim konventionellen Ultraschall. Allerdings werden immer nur Abschnitte von 20-40 cm Länge geprüft, da die anfallende und zu speichernde Datenmenge längere Scans schwierig macht. Auch ist vielfach das einfache mechanische Handling längerer Scans problematisch. D.h., der Scan muss alle 20-40 cm unterbrochen, gespeichert, neu angesetzt und gestartet werden.

2.7 Darstellung der Prüfergebnisse

Ein bemerkenswerter Vorteil gegenüber der konventionellen Ultraschallprüfung ist die Möglichkeit, lagerichtige Fehlerdarstellungen aus verschiedenen Blickwinkeln in unterschiedlichen Schnittlinien zu erzeugen. Die Abbildung 8 zeigt eine typische Darstellung eines Phased Array Scans entlang einer Schweißnaht.

Der untere Bereich des Bildes zeigt ein C-Bild, d.h. eine lagerichtige Draufsicht auf eine Schweißnaht. Die Nahtmitte wird hier in etwa von der horizontalen blauen Linie markiert. Die vertikale blaue Linie auf der rechten Seite markiert die Schnittlinie des zugehörigen Sektor-Scans oben rechts. Oben links befindet sich ein A-Bild, welches einem bestimmten Winkel im Sektor-Scan zugeordnet werden kann, markiert durch die von unten rechts nach oben links verlaufende blaue Linie. Durch Verschieben der blauen Linien lassen sich so alle Bereiche der Schweißnaht ultraschalltechnisch abbilden.

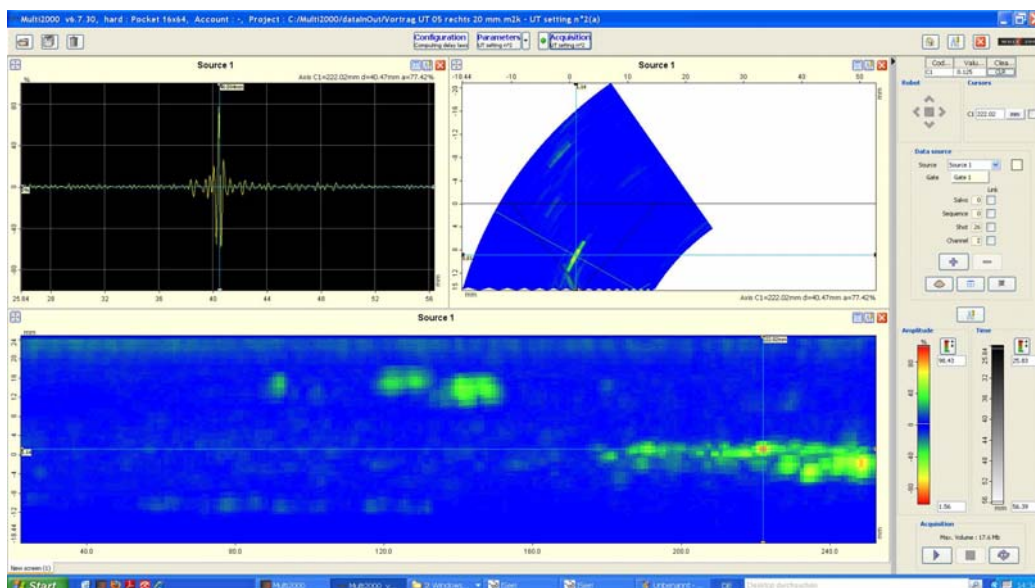


Abb. 8. Phased Array Scan

2.8 Fehlerortung- und Bewertung

Die Fehlerortung ist anhand der genannten Darstellungsformen sehr einfach. Durch die lagerichtige Darstellung der Fehler muss in den Bildern nur mit dem entsprechenden Cursor der Fehler markiert werden und schon werden die korrekten Koordinaten horizontal und vertikal angezeigt.

Zur Bewertung muss hingegen bislang auf die bekannten Bewertungsmethoden wie DAC und AVG zurückgegriffen werden. Ein einfaches Ausmessen von Fehlergrößen am Bildschirm ist nicht möglich, da die Fehler durch die Schalldivergenz der einzelnen Schallfelder in der Regel zu breit angezeigt werden. Als gutes Beispiel dient hier der Vergleich zweier ungleich großer Querbohrungen, die in einem Sektor-Scan abgebildet werden (Abb. 9 + 10).

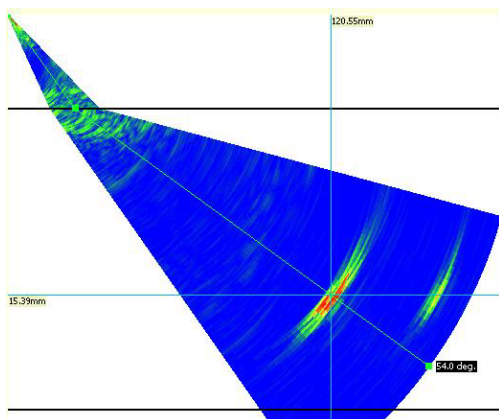


Abb. 9. Darstellung der 50 mm Querbohrung am K1

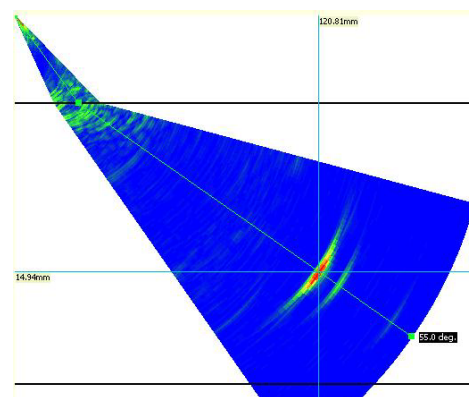


Abb. 10. Darstellung der 1,5 mm Querbohrung am K2

Obwohl ein erheblicher Größenunterschied der beiden Bohrungen besteht, lässt sich dieser Unterschied im Sektor-Scan kaum ablesen. Verbessert werden könnte dies durch entsprechende Fokussierungen. Eine für verschiedene Tiefenlagen durchlaufende Fokussierung (Dynamic Depth Focussing DDF) ist jedoch bei den heute erhältlichen Phased Array Geräten nicht möglich und müsste manuell erfolgen. Zudem ist eine solche Größenbewertung noch nicht in entsprechenden Normen festgelegt. Die Fehlergrößenbestimmung hat daher in einem zweiten Schritt konventionell nach den bekannten Methoden zu erfolgen.

2.9 Dokumentation

Die Dokumentation der Ergebnisse ist ebenfalls sehr einfach durchzuführen, da mit dem Verfahren Bilder erzeugt werden, die im Grunde alle benötigten Informationen zur Fehlerlage enthalten. Wie aber unter 2.8 erwähnt, müssen Informationen über die Fehlergröße konventionell erlangt werden, so dass die Dokumentation entsprechend erweitert werden muss.

3. Fazit

Der Vergleich beider Prüfverfahren zeigt, dass beide sowohl Vor- als auch Nachteile aufweisen. Zur besseren Übersicht und möglicherweise als Entscheidungshilfe werden diese im Folgenden nochmals zusammengefasst.

3.1 Prüfung mit konventionellem Ultraschall - Vorteile

Die konventionelle Ultraschallprüfung an Schweißnähten ist ein seit Jahrzehnten bewährtes Verfahren. Es liegen umfangreiche Erfahrungs- und Vergleichswerte auch zu schwierigen Geometrien und Materialeigenschaften vor. Erfahrene Prüfer sind vorhanden, auf die ohne zusätzliche Qualifizierung zurückgegriffen werden kann. Es existiert bereits eine Vielzahl an Normen zur Prüfung und Bewertung. Die konventionelle Prüfung lässt sich durch ein schnelles und vergleichsweise leichtes Setup ohne größere Vorbereitung durchführen. Durch Schwenken des Prüfkopfes kann eine Echooptimierung auch an nicht optimal zum Prüfkopf liegenden Fehlern vorgenommen werden. Die Kosten für Ausrüstung und Ausbildung sind vergleichsweise gering.

3.2 Prüfung mit konventionellem Ultraschall - Nachteile

Durch mäanderförmiges Abfahren der Naht ist die Prüfzeit sehr lang. Die Fehlerdarstellung im A-Bild ist sehr abstrakt und die Auswertung bedarf eines erfahrenen Prüfers. Die Dokumentation der Prüfung ist schwierig, da keine bildgebende Darstellung vorhanden ist. Die Fehlerlagendarstellung muss aufgrund fehlender Koordinatenaufnahme manuell erfolgen. Bei der Prüfung mit mehreren Winkeln sind mehrere Prüfgänge erforderlich, was die Prüfzeit verlängert. Eine spätere Nachbearbeitung ist nicht möglich, da keine kontinuierliche Datenaufzeichnung erfolgt.

3.3 Prüfung mit Phased Array - Vorteile

Durch bildgebende Darstellung und verschiedenste Darstellungsmöglichkeiten (A-, B-, C-, L-, S-Bild) ist die Bewertung der Prüfung einfacher. Gleiches gilt für die Dokumentation. Die Prüfgeschwindigkeit ist höher durch schnelles Abscannen einer Naht mit verschiedenen Winkeln. Die koordinatenbezogene Datenaufnahme erleichtert die Fehlerortung. Durch kontinuierliche Datenaufzeichnung ist eine Nachbearbeitung und Interpretation der Fehlerbefunde auch später am PC möglich.

3.4 Prüfung mit Phased Array - Nachteile

Es ist ein deutlich höherer Aufwand beim Einrichten des Gerätes notwendig, hieraus resultieren mehr Möglichkeiten, Fehler zu machen. Die in der Regel größeren Sensoren können zu Ankoppel- und Platzproblemen führen. Um die Vorteile der Dokumentation und der koordinatenbezogenen Fehlerortung nutzen zu können, muss eine sorgfältige Prüfzubereitung und sehr exakte Prüfkopfpositionierung gewährleistet sein. Noch sind keine Normen für die Prüfung und Bewertung vorhanden, zudem bestehen deutlich höhere Anforderungen an die Qualifikation der Prüfer. Sowohl die Startup-Kosten als auch die laufenden Kosten für Material (Prüfköpfe) und Ausbildung sind höher als beim konventionellen Ultraschall.