

# EMUS-Phased-Array-Anwendungen in Kombination mit dem Adaptersystem „EMUS-VG“

Frank NIESE\*, Norbert BOTH\*, Rainer RICK\*

\* Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP  
(frank.niese@izfp.fraunhofer.de)

**Kurzfassung.** Phased-Array Anwendungen in der Ultraschalltechnik sind seit langem bekannt und werden für die unterschiedlichsten Prüfaufgaben eingesetzt. Auch mit elektromagnetischen Ultraschall (EMUS) Prüfköpfen kann und wird diese Technik seit Jahren insbesondere bei der Prüfung von austenitischen und bimetalischen Schweißnähten dickwandiger Komponenten erfolgreich eingesetzt.

Am Fraunhofer IZFP wurde das Adaptersystem „EMUS-VG“ entwickelt, das es erlaubt EMUS-Prüfköpfe mit einem konventionellen US-Gerät zu betreiben. Dadurch kann die EMUS-Technik mit deutlich geringeren Kosten für verschiedenste Prüfaufgaben eingesetzt werden.

In diesen Beitrag werden EMUS-PA Anwendungen vorgestellt, die in Kombination mit dem oben genannten „EMUS-VG“ und einem konventionellen Ultraschall-Phased-Array-Gerät erzielt wurden.

## 1. Einleitung

Die elektromagnetische Ultraschall (EMUS) Technik bietet gegenüber der konventionellen piezoelektrischen Ultraschall-Technik den entscheidenden Vorteil, dass besonders gut Transversalwellen als Volumenwellen sowie modenreine geführte Wellen als Platten-, Oberflächen-, Stab- oder Rohrwellen angeregt und abgegriffen werden können, dadurch wird diese Technik auch für den Einsatz in der langreichweitigen Ultraschallprüfung sehr interessant [1]. Hinzu kommt außerdem, dass ohne Koppelmittel und somit berührungsfrei gearbeitet werden kann. Diese Eigenschaft hat besonders bei empfindlichen Oberflächen, die nicht verschmutzt werden dürfen, und an heißen oder kalten Komponenten eine anwendungstechnische Relevanz. Aber auch bei beschichteten Prüfobjekten kann diese Eigenschaft vorteilhaft eingesetzt werden, da die Ultraschallsignale direkt im (metallischen) Prüfobjekt angeregt werden und nicht durch die Beschichtung ein- bzw. ausgekoppelt werden müssen.

Aufgrund der insgesamt niedrigeren Wandlungseffizienz der EMUS-Technik gegenüber der konventionellen piezoelektrischen Ultraschalltechnik war bisher eine aufwendige und damit sehr teure Gerätetechnik notwendig, insbesondere um die EMUS-Phased-Array-Technik anwenden zu können. Deshalb wurde am Fraunhofer IZFP das Adaptersystem „EMUS-VG“ entwickelt, das es erlaubt EMUS-Prüfköpfe mit einem konventionellen US-Gerät zu betreiben. Dadurch kann die EMUS-Technik mit deutlich geringeren Kosten für verschiedenste Prüfaufgaben vorteilhaft eingesetzt werden.



## 2. Elektromagnetische Ultraschallwandlung

Im Gegensatz zu einem piezoelektrischen Prüfkopf werden beim elektromagnetischen Ultraschall (EMUS) über elektromagnetische Wechselwirkungen in einem elektrisch leitenden Prüfobjekt Ultraschallquellen induziert, die als Ausgangspunkt von Ultraschallwellen in der Komponente wirken [2]. Die elektromagnetische Ultraschallwandlung beruht dabei auf drei Wechselwirkungen [3, 4, 5]:

- die Lorentzkraft, hervorgerufen durch die Wechselwirkung zwischen induzierten Wirbelströmen und statischen oder quasistatischen Magnetfeldern,
- die magnetische Kraft, verursacht durch die Wirkung oszillierender Magnetfelder auf den Magnetisierungszustand und
- die Magnetostriktion, der piezomagnetische Effekt.

Während die Kopplung über die Lorentzkraft in allen elektrisch leitenden Materialien auftritt, sind die beiden anderen Wechselwirkungen nur in ferromagnetischen Werkstoffen anzutreffen. Da die Ultraschallwelle im Prüfobjekt erzeugt wird, ist kein Koppelmedium notwendige und der EMUS-Prüfkopf darf sogar mit einem schmalen Luftspalt zur Testkörperoberfläche beabstandet sein (Abbildung 2.1).

Die wesentlichen Bestandteile eines EMUS-Wandlers sind eine Magnetisierungseinrichtung, bestehend aus Permanentmagneten oder Elektromagneten, und eine oder mehrere speziell geformte HF-Spulen, die im Sendefall dynamische elektromagnetische Felder in der Oberflächenregion eines leitenden Prüfobjekts induzieren. Im Empfangsfall werden in der Spule elektrische Spannungsimpulse induziert, die der Ultraschallamplitude proportional sind (Abbildung 2.1). Die Auslegung und Ausgestaltung eines EMUS-Wandlers hängt von den anzuregenden und zu detektierenden elastischen Wellenmoden ab.

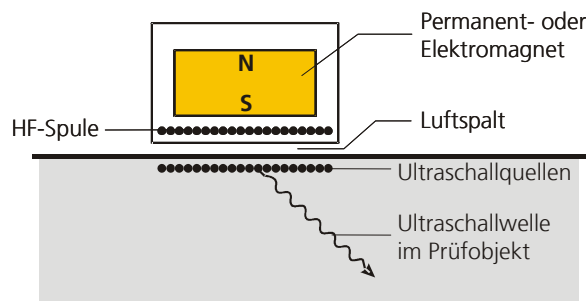


Abbildung 2.1 schematische Aufbau eines EMUS-Wandlers

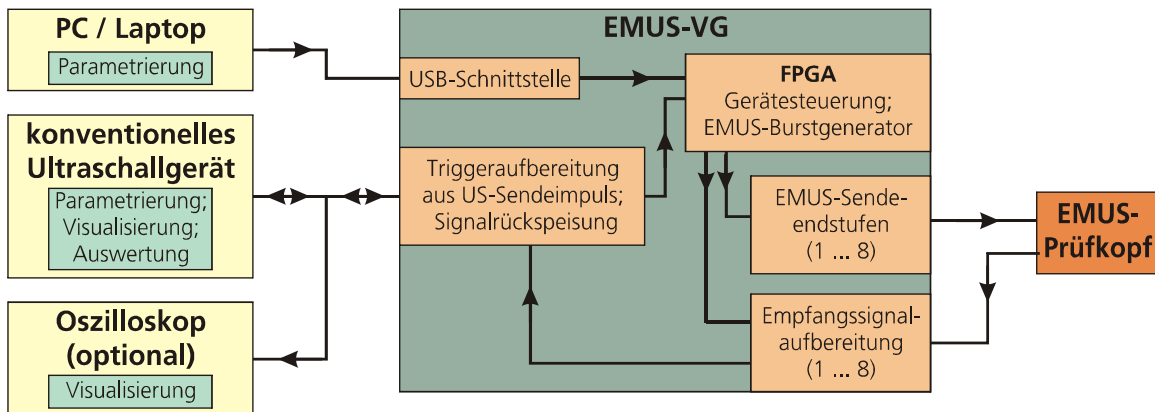
## 3. Geräteentwicklung „EMUS-VG“

Den oben genannten Vorteilen der EMUS-Technik steht allerdings aufgrund der insgesamt geringeren Wandlungseffizienz eine aufwendigere und damit teurere Gerätetechnik gegenüber. Deshalb wurde nach eine Möglichkeit gesucht, die EMUS-Technik mit geringerem Geräteaufwand, also mit geringeren Kosten für den Anwender, nutzbar zu machen. Dazu wurde am Fraunhofer IZFP ein Adaptersystem entwickelt, das es ermöglicht, EMUS-Prüfköpfe an ein konventionelles Ultraschallgerät anzuschließen und aussagekräftige Prüfungen damit durchzuführen. Aufgrund des modularen Aufbaus sind auch mehrkanalige Geräteausführungen einfach zu realisieren, sodass insbesondere auch EMUS-Phased-Array Anwendungen möglich sind [6].

Ein konventionelles Ultraschallgerät stellt für viele Anwendungen eine ausreichende Funktionalität bzgl. Darstellung, Verstärkung, Filterung, Laufzeitmessungen usw. und im Fall eines Phased-Array-Gerätes auch die benötigte Sende- und Empfangsverzögerung und Signalverarbeitung zur Verfügung. Diese Funktionen können direkt übernommen werden und brauchen nicht in eine eigenständige Hardware umgesetzt werden. Das „EMUS-VG“ übernimmt demzufolge im Wesentlichen „nur“ die Erzeugung eines für EMUS-Wandler geeigneten Anregungssignals sowie die Vorverstärkung und Bandfilterung der im Vergleich zu piezoelektrischen US deutlich kleineren und schmalbandigeren Empfangssignale.

Über eine USB-Schnittstelle können die EMUS-spezifischen Prüfparameter wie Arbeitsfrequenz, Anregungsburstlänge, Verstärkung, Bandfilter usw. im Vorschaltgerät parametrierbar werden. Die Parameter werden nicht-flüchtig gespeichert, sodass sie auch nach dem Aus- und Wiedereinschalten in der letzten gültigen Form wieder vorliegen, ohne dass das Vorschaltgerät erneut parametrierbar werden muss und direkt weiter gearbeitet werden kann. Während des Messbetriebs ist keine Verbindung zum Rechner notwendig, lediglich das Ultraschallgerät und das „EMUS-VG“ müssen somit zur Prüfung Vorort sein. Im Bedarfsfall kann das „EMUS-VG“ auch ohne Ultraschallgerät eingesetzt werden, dann wird aber zur Parametrierung ein Laptop (PC) und zum Anzeigen der Empfangssignale ein Oszilloskop oder Ähnliches als Darstellungsbildschirm benötigt.

Die Abbildung 3.1 und Abbildung 3.2 zeigen das EMUS-VG in Kombination mit konventionellen Ultraschallgerät, EMUS-Prüfkopf und Parametrier-Laptop als Blockschaltbild und während einer Ultraschallprüfung.



**Abbildung 3.1** Blockschaltbild des EMUS-VG in Kombination mit konventionellen Ultraschallgerät, EMUS-Prüfkopf und Parametrier-Laptop



**Abbildung 3.2** Ultraschallprüfung mit EMUS-VG in Kombination mit konventionellem Ultraschallgerät, EMUS-Prüfkopf und Parametrier-Laptop

#### **4. Anwendungsbeispiel: Prüfung von Schweißnähten dickwandiger austenitischer Komponenten**

Die Prüfung von Schweißnähten in austenitischen Komponenten ist problematisch. Nutzt man, wie bei der konventionellen Ultraschallprüfung üblich, Longitudinalwellen wird der Schallstrahl durch die anisotrope Struktur der Schweißnaht stark abgelenkt. Eine Lokalisierung möglicher Fehleranzeigen ist dadurch nur schwer möglich. Eine Lösung bietet die Nutzung von horizontal polarisierten Transversalwellen, die in der Regel auch als SH-Wellen (Shear **H**orizontal) bezeichnet werden. Da dieser Wellentyp deutlich weniger von der Struktur der Schweißnaht beeinflusst wird, ist er bestens für diese Prüfaufgabe geeignet [7].

In den folgenden Abbildungen ist eine Schweißnahtprüfung mit diesem Wellentyp exemplarisch dokumentiert. Dazu wird das oben beschriebene „EMUS-VG“ in Kombination mit einem Ultraschallgerät benutzt. Die Phased-Array-Technik bietet dabei den Vorteil, dass mit einem Sektorscan die ganze Bauteildicke erfasst und dargestellt werden kann.

In Tabelle 4.1 und Tabelle 4.2 sind die Prüfparameter und die Testkörpereigenschaften zusammengestellt. Die Abbildung 4.1 zeigt den Versuchsaufbau und die Abbildung 4.2 den verwendeten Testkörper. Die Schweißnaht befindet sich im mittleren Bereich und ist mit einer seitlichen Markierung angedeutet. Die Testfehler sind rückseitig als Nuten unterschiedlicher Tiefe eingebracht, auf der Oberseite sind die Testfehlerpositionen markiert. In Abbildung 4.3 sind schematisch die Messanordnungen bei unterschiedlicher Testfehlerposition relativ zur Schweißnaht dargestellt.

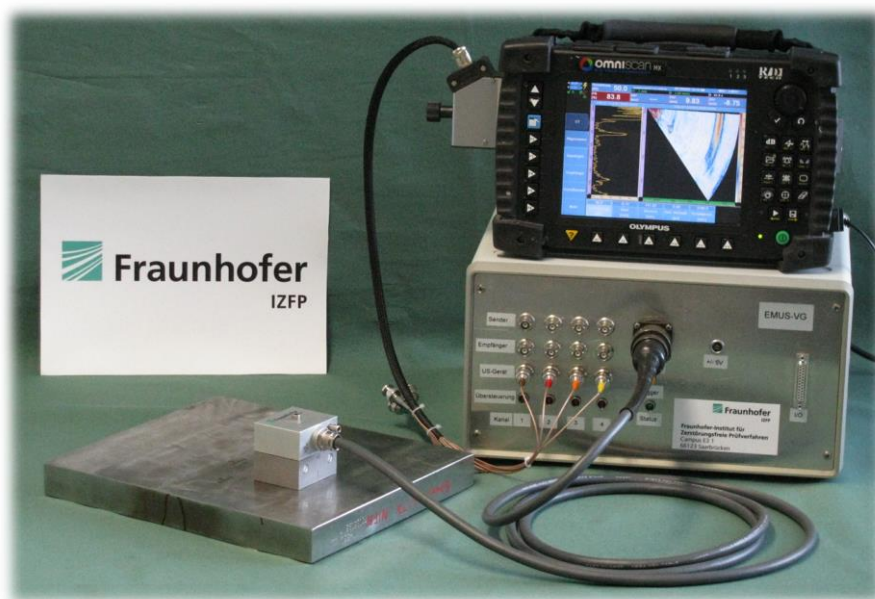
Die Ergebnisse sind in Form von Sektorscans für die drei Testfehler in Abbildung 4.4 bis Abbildung 4.6 wiedergegeben. Die Messungen zeigen deutlich, dass alle Testfehler mit ausreichendem Signal-Rausch-Verhältnis detektiert werden können.

**Tabelle 4.1** Übersicht der Prüfparameter

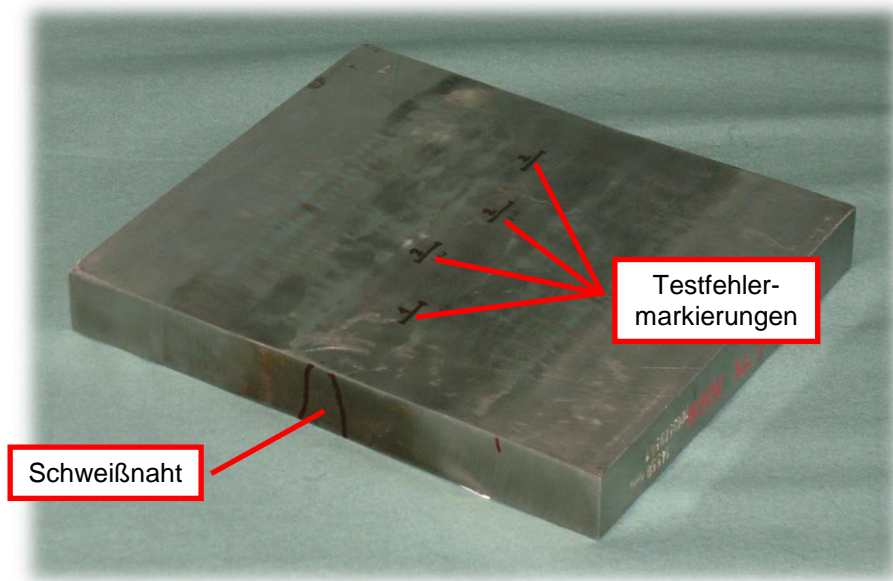
Prüfkopf	EMUS-Phased-Array, 4 Segmente
Wellenart	SH
Prüffrequenz	650 kHz
Ultraschallgerät	Ominscan

**Tabelle 4.2** Übersicht der Testkörpereigenschaften

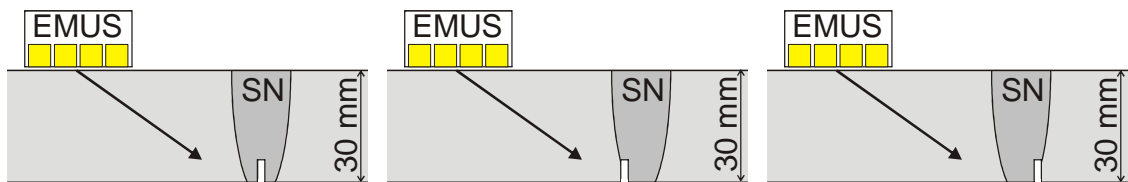
Werkstoff	austenitischer Stahl
Dicke	30 mm
Schweißnaht	überschliffen mit rückseitigen Testfehlen
Testfehler	Nuten, Länge 20 mm, Breite 1 mm, Tiefe 1 mm, 2 mm und 3 mm
Fehlerlage	rückseitig, in der Schweißnaht und in den Schweißnahtflanken
Fehlerausrichtung	parallel zur Schweißnahttrichtung



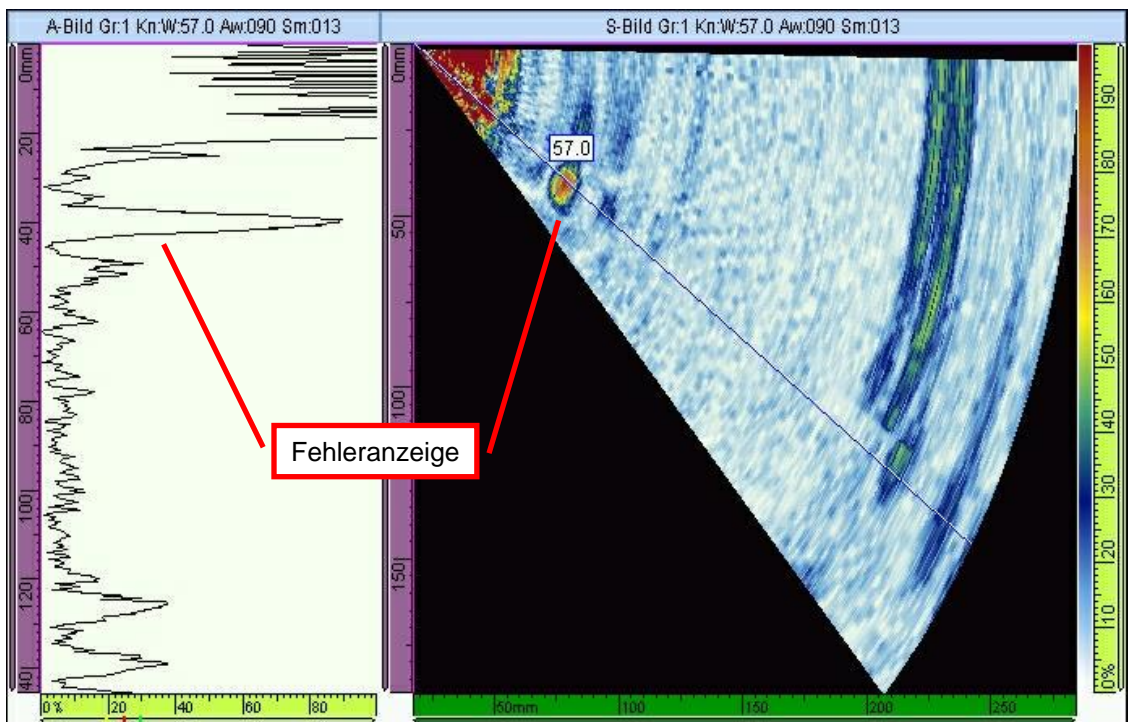
**Abbildung 4.1** Schweißnahtprüfung mit „EMUS-VG“ und Ultraschall-Phased-Array-Gerät



**Abbildung 4.2** Testkörper: austenitischer Stahl mit überschlifffener Schweißnaht und Testfehlern



**Abbildung 4.3** schematische Messanordnung bei 3 mm Testfehler rückseitig in der Schweißnaht (links), bei 2 mm Testfehler rückseitig vor der Schweißnaht (Mitte) und bei 1 mm Testfehler rückseitig hinter der Schweißnaht (rechts)



**Abbildung 4.4** Ultraschall-A-Bild und Sektorscan: 3 mm Testfehler rückseitig in der Schweißnaht

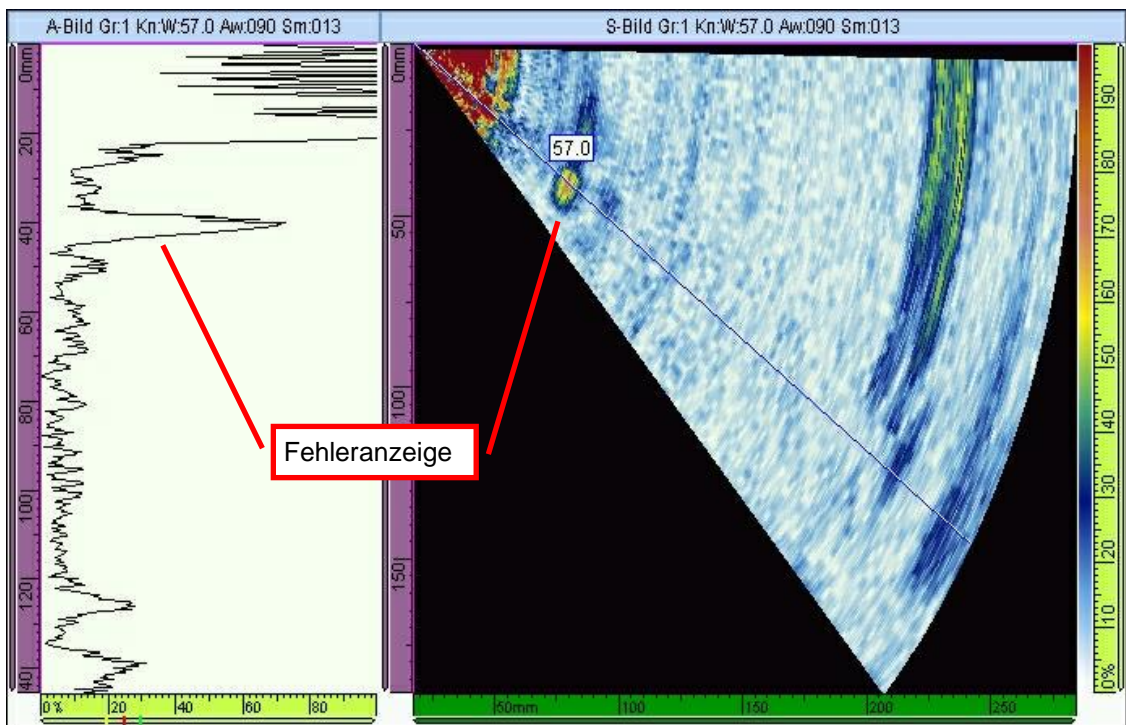


Abbildung 4.5 Ultraschall-A-Bild und Sektorscan: 2 mm Testfehler rückseitig vor der Schweißnaht

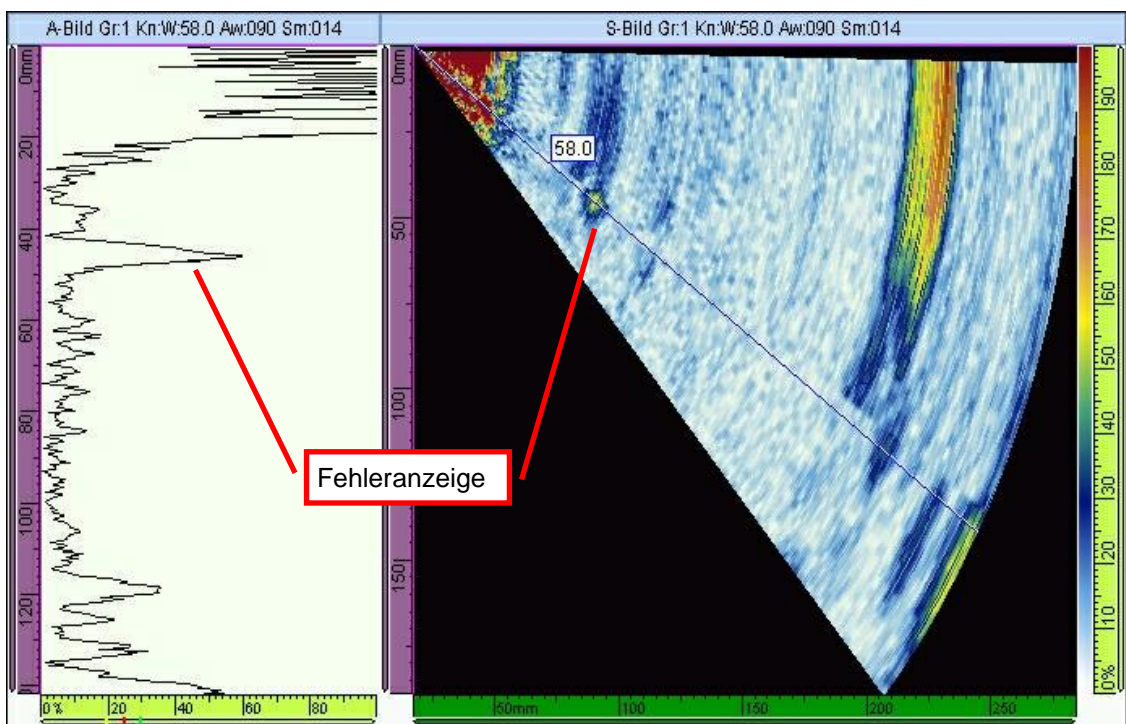


Abbildung 4.6 Ultraschall-A-Bild und Sektorscan: 1 mm Testfehler rückseitig hinter der Schweißnaht

## 5. Zusammenfassung

Es wurde die Neuentwicklung „EMUS-VG“ anhand einer Phased-Array-Anwendung vorgestellt. Mit diesem Adaptersystem können EMUS-Prüfköpfe an ein konventionelles Ultraschallgerät angeschlossen werden und aussagekräftige Prüfungen durchgeführt werden. Damit kann die EMUS-Technik mit deutlich geringeren Aufwand als bisher für verschiedenste Prüfaufgaben eingesetzt werden, da zum Einen niedrigere Gerätekosten anfallen und zum Anderen der Schulungsaufwand geringer ist.

Als Anwendungsbeispiel wurde in diesem Beitrag exemplarisch die Schweißnahtprüfung einer austenitischen Komponente behandelt. Alle Testfehler in der Schweißnaht bzw. in den Schweißnahtflanken, sowohl in der Prüfkopf zugewandten Seite als auch in der abgewandten Seite, konnten mit einem ausreichenden Signal-Rausch-Verhältnis erkannt werden.

## Referenzen

- [1] Salzburger, Hans Jürgen; Niese, Frank; Dobmann, Gerd: Emat Pipe inspection with guided Waves  
In: Welding in the world. 56 (2012), 5-6, S. 35-43.
- [2] Hübschen, G., Repplinger, W., Salzburger, H.-J.: Ultraschallprüfung mit elektromagnetischen Wandlern  
FhG-Berichte (1984), No. 1, S. 23-32: Abb., Lit. ISSN: 0342-1953
- [3] Dobbs, E. R.: Electromagnetic Generation of Ultrasonic Waves  
in Mason, W. (Hrsg.), Thurston, R.N. (Hrsg.): Physical Acoustics. Volume X;  
New York, London: Academic Press, 1973. (Physical Acoustics; X). - ISBN 0-12-477907-7, S. 127-191
- [4] Hirao, M. and Ogi, H.: EMATs for Science and Industry: Noncontacting Ultrasonic Measurements  
Boston: Kluwer Academic Publishers, 2003. – ISBN 1-4020-7494-8
- [5] Thompson, R. B.: Physical Principles of Measurements with EMAT Transducers  
in: Pierce, A.D. (Hrsg.); Thurston, R.N. (Hrsg.): Physical Acoustics. Volume XIX: Ultrasonic measurements methods  
Boston: Academic Press, 1990. (Physical Acoustics; XIX). - ISBN 0-12-477919-0, S. 157-200
- [6] Niese, Frank; Rick, Rainer; Both, Norbert: EMUS-VG: Ein neues Adaptersystem zur Ansteuerung von EMUS-Wandlern mit konventionellen Ultraschallgeräten  
In: Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (DGZfP): DGZfP-Jahrestagung 2012. ZfP in Forschung, Entwicklung und Anwendung : DACH-Jahrestagung 2012. Berlin : Deutsche Gesellschaft für zerstörungsfreie Prüfung (DGZfP), 2012, P51. (DGZfP-Berichtsbände 136-CD).
- [7] Hübschen, G.; Salzburger, H.-J.; Kröning, M.; EPRI NDE Center: Progress in UT of austenitic and dissimilar metal welds using Shear Horizontal Waves and Electromagnetic US (EMUS) probes  
In: EPRI NDE Center: EPRI Pipe Inspection Workshop. Charlotte : EPRI NDE Center, 1993, Sess. 2.