

AVG mit Phased Array – Welche Möglichkeiten bieten uns Gruppenstrahler

Dr. York OBERDÖRFER

GE Sensing & Inspection Technologies GmbH, Robert-Bosch-Strasse 3, 50354 Hürth,
Deutschland, york.oberdoerfer@ge.com

Kurzfassung. Seit der Einführung der AVG-Methode für Senkrechtprüfköpfe in 1959, hat diese Bewertungsmethode gerade in Europa Einzug in verschiedenen Normen (z.B. der EN 583-2) und Liefer- und Abnahmevorschriften gehalten. Der Vorteil liegt hier – im Gegensatz zur Vergleichskörpermethode – in der Einfachheit und Reproduzierbarkeit ihrer Anwendung.

Mit der immer mehr steigenden Präsenz von Gruppenstrahlerprüfköpfen und –geräten in der zFP und dem damit verbundenen Produktivitätsgewinn und der Steigerung der Auffindbarkeit von Fehlern, besteht natürlich auch der Wunsch, AVG-Bewertung mit Gruppenstrahlern durchführen zu können.

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Frage, in wie weit eine AVG-Bewertung mit Gruppenstrahlern durchgeführt werden kann: Bei der Ultraschallprüfung mit Gruppenstrahlerprüfköpfen muss nicht nur zwischen der Senkrecht- oder Winkeleinschallung und Prüfung mit einem Einschwinger- oder SE-Prüfkopf unterschieden werden. Aufgrund der Möglichkeiten die die Gruppenstrahlertechnologie bietet, dürfen auch Aperturgrößen, Fokus, veränderlicher Einschallwinkel, usw. nicht außeracht gelassen werden. Dabei wird anhand von Beispielen gezeigt, wie eine AVG-Bewertung mit Gruppenstrahlern für verschiedene Arten von Ultraschallprüfungen realisiert werden kann, was zu beachten ist und wo die Vorteile gegenüber der herkömmlichen Methode liegen.

1. Einführung

Seit einigen Jahren halten Gruppenstrahler (phased arrays) mehr und mehr Einzug in die manuelle Ultraschallprüfung. Dabei verspricht die Gruppenstrahlertechnologie eine erhöhte Fehlerauffindbarkeit (p.o.d. = probability of detection) durch die Möglichkeit, das Schallfeld flexibel an die Anwendung anzupassen. Auch kann die Produktivität gesteigert werden, da die Gruppenstrahlertechnologie die Möglichkeit bietet, z. B. mehrerer Einschallwinkel oder Fokustiefen in nur einer Messung zu realisieren.

Durch die Vorteile, die diese Technologie bietet, besteht natürlich auch beim Anwender der Wunsch, Gruppenstrahler in Prüfungen zu verwenden, die bisher nur Einzelschwinger- oder SE-Prüfköpfen vorbehalten waren. Vor allem die AVG-Methode [1], die in verschiedenen Normen und Liefervorschriften beschrieben und gefordert wird, z. B. der EN 583-2 [2] oder DIN EN ISO 11666 [3], war bis dato – bis auf wenige Beispiele [4] - nur Prüfköpfen konventioneller Bauform vorbehalten.

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Frage, in wie weit der Einsatz von Gruppenstrahlern für die AVG-Bewertung durch gängige Normen aus dem Bereich der Schweiß-verbindingen als auch des Gießereiwesens erlaubt ist, also auch einer Betrachtung anhand von Beispielen, in welchen Bereichen ein Einsatz von Gruppenstrahlern für eine AVG-Bewertung möglich ist und wie dieser Einsatz aussehen könnte.

2. Betrachtung von Normen

Diskutiert man die Frage, ob eine AVG-Bewertung mit Gruppenstrahlern in gängigen Normen abgebildet ist, oder nicht, muss man 3 unterschiedliche Kategorien von Normen betrachten: In die erste Kategorie fallen die allgemeinen Normen wie z. B. in diesem Kontext die EN 583-2 und -5 [2,5]. In diesen Normen ist allgemein die Empfindlichkeits- und Entfernungsjustierung [2] und die Beschreibung und Größenbestimmung von Inhomogenitäten [5] beschrieben. Der in der EN 583-2 definierte Anwendungsbereich bezieht sich „[...] auf Techniken, bei denen nur ein Prüfkopf verwendet wird, der entweder ein Einschwingerprüfkopf oder ein SE-Prüfkopf sein kann; Tauchttechniken und Verfahren mit mehreren Prüfköpfen werden von diesem Teil der Norm nicht erfasst.“ Nach Auffassung des Autors geht es hierbei nicht um die Ausschließung von Gruppenstrahlern, als vielmehr der im zweiten Teil beschriebenen Techniken, so dass grundsätzlich von einer Anwendbarkeit von Gruppenstrahlertechnologie in Zusammenhang mit der EN 583-2 ausgegangen werden kann, sofern die Anwendung der Technologie nicht im direkten Gegensatz zu den in der EN 583-2 beschriebenen Prüftechniken stehen. Daraus folgend ergibt sich auch eine positive Betrachtung der Anwendung von Gruppenstrahlern in Bezug auf die EN 583-5, da diese als Voraussetzung die Anwendbarkeit der EN 583-2 definiert hat [5].

Die zweite Kategorie von Normen sind Anwendungsnormen: Da die AVG-Methode vor allem in der Prüfung von Schweißverbindungen als auch im Gießereiwesen Anwendung findet, werden hier exemplarisch sowohl die DIN EN ISO 11666 [6], 17640 [7] und 23279 [8] für die Prüfung von Schweißverbindungen, als auch die DIN EN 12680-1 [9] und -3 [10] für das Gießereiwesen behandelt. Die DIN EN ISO 17640 nennt die EN 583-2 als erste Voraussetzung, die man wie oben beschrieben wohl grundsätzlich als mit Gruppenstrahlern erfüllbar ansehen kann. Als zweites zu erfüllendes Kriterium ist die Erfüllung der EN 12668-1, -2 und -3 [11a,11b,11c] genannt. Diese Normen schließen allerdings eindeutig Phased Array-Instrumenten und Prüfköpfen aus dem Anwendungsbereich aus, so dass die DIN EN ISO 17640 zurzeit noch nicht mit der Gruppenstrahlertechnologie zu erfüllen ist. Allerdings befindet sich in den entsprechenden Gremien eine Normengruppe in Vorbereitung, nämlich die prEN 16392-1, -2 und -3 [12a,12b,12c], die einen Transfer der EN 12668-1 bis -3 auf Gruppenstrahlergeräte und Prüfköpfe darstellt. DIN EN ISO 11666 und 23279 beziehen sich dann wiederum auf die DIN EN ISO 17640, beinhalten aber darüber hinaus keine Einschränkung.

Gleiches gilt für die oben erwähnten Normen für das Gießereiwesens, die auch lediglich die Erfüllung der EN 12668-1 bis -3 als hindernden Punkt beinhalten.

Die dritte Kategorie von Normen sind die Ausrüstungsnormen: Die Einführung der EN 12668-1 bis -3 beschreibt eindeutig die Charakterisierung und Verifizierung von Prüfausrüstung und stellt somit eine Sicherheit für sowohl Anwender als auch Hersteller dar. Mit der EN16392-1 bis -3 wird dies nun auch auf die Gruppenstrahlertechnologie angewandt, so dass in Zukunft eine standardisierte Charakterisierung und Verifizierung möglich sein wird.

3. AVG mit Phased Array Prüfköpfen

Im Folgenden werden einige Beispiele vorgestellt, in denen eine AVG-Bewertung mit Phased Array Prüfköpfen realisiert wurde, und die physikalischen Aspekte diskutiert, die in diesen Beispielen berücksichtigt wurden. Da im Folgenden das Hauptaugenmerk auf diesen Aspekten liegen soll, wird auf eine quantitative Diskussion der Ergebnisse verzichtet.

3.1 Winkeleinschallung

Der Vorteil bei Gruppenstrahlern für die Winkeleinschallung ist, dass in einer Messung ein ganzer Winkelbereich, z. B. $40 - 70^\circ$ für Transversalwellen in Stahl, in feiner Winkelabstufung, z. B. 1° -Schritte, abgedeckt wird. Die Wahrscheinlichkeit, Fehler aufzufinden, ist dabei höher, als bei einer Messung mit den „traditionellen“ Winkel von $45, 60$ und 70° . Die Messwerte können dann in der bekannten Form des S-Bildes dargestellt werden, das wie in Abbildung 1 gezeigt noch zusätzlich ein A-Bild mit der entsprechenden AVG-Kurve für einen gewählten Winkel beinhalten kann.

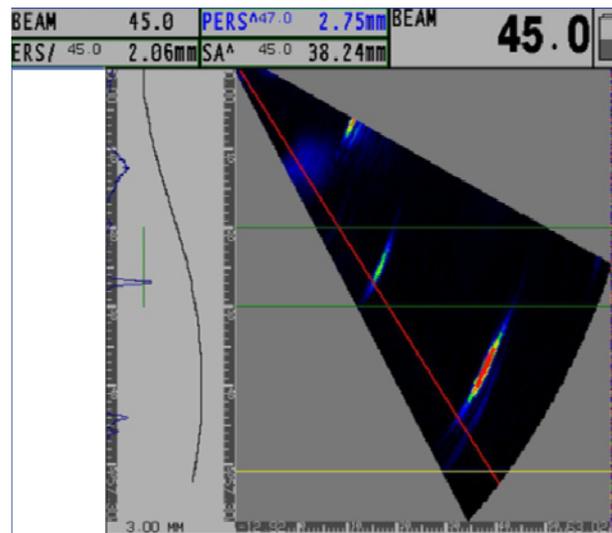


Abbildung 1: S-Bild mit A-Bild, wobei das A-Bild die AVG-Kurve für einen gewählten Winkel und einer gewählten Ersatzreflektorgröße enthält.

Der Vorteil der AVG-Bewertung mit Gruppenstrahlern für die Winkeleinschallung wird in diesem Beispiel direkt deutlich: Während eine Messung unter einem traditionellen Einschallwinkel von 45° eine Ersatzreflektorgröße (ERS) von $2,06$ mm geliefert hätte (siehe ERS^{45} -Wert in Abbildung 1), bestimmt man die maximale ERS mit einem Phased Array Prüfkopf zu $2,75$ mm unter 47° (siehe $PERS^{47}$ -Wert in Abbildung 1). Dabei ermittelt das Phased Array-Instrument automatisch, unter welchem Winkel die ERS maximal ist.

Beachtet werden muss dabei allerdings, dass einige Parameter, die für die AVG-Bewertung gebraucht werden, sowohl Funktionen des Einschallwinkels als auch der Größe der aktiven Apertur sind und sich somit die AVG-Kurven mit dem Einschallwinkel und der Aperturgröße ändern. Das bedeutet, dass entweder der Hersteller für alle zu realisierenden Winkel und Aperturgrößen die entsprechende AVG-Kurve bereits gemessen haben muss, was einen entsprechenden, nicht sinnvollen Aufwand darstellt, oder ein Ansatz gewählt wird, für den die Kurven aller Winkel bei fester Apertur von dem in der EN 583-2 publizierten allgemeinen AVG-Diagramm abgeleitet werden können. Den letzten Ansatz verfolgt z. B. die *trueDGS*® Methode, die an anderer Stelle bereits beschrieben wurde [4]. Zu den Parametern, die Funktionen des Einschallwinkels sind, gehört u. a. der Prüfkopfvorlauf, wie man sich geometrisch leicht veranschaulichen kann und um den die AVG-Kurve entsprechend angepasst werden muss. Des Weiteren muss, da sich die Aperturgröße als Funktion des Winkels ändert, ein variabler äquivalenter Schwingerdurchmesser berücksichtigt werden. Dieser äquivalente Schwingerdurchmesser wird gebraucht, um aus dem allgemeinen AVG-Diagramm die Werte für die einzelnen Ersatzreflektorgrößen abzuleiten, die im allgemeinen Diagramm im Verhältnis zum Schwingerdurchmesser angegeben sind [2]. Ein Beispiel, wie sich der Schwingerdurch-

messer als Funktion des Winkels ändern kann, ist in Abbildung 2 dargestellt. Die dieser und der folgenden Abbildungen zugrundeliegende Prüfköpfe wurde nach dem *trueDGS®*-Ansatz für Transversalwellen-Einschallung in Stahl (3.255 m/s) entwickelt. In der Abbildung ist zu sehen, dass für diesen Prüfkopf der äquivalente Schwingerdurchmesser im positiven Schwenkbereich konstant ist, mit zunehmenden negativen Schwenken allerdings deutlich ansteigt. Dies führt dazu, dass im AVG-Diagramm der Abstand eines festen ERS-Durchmessers zur Rückwandkurve bei kleineren Einschallwinkeln größer als bei größeren Einschallwinkeln ist.

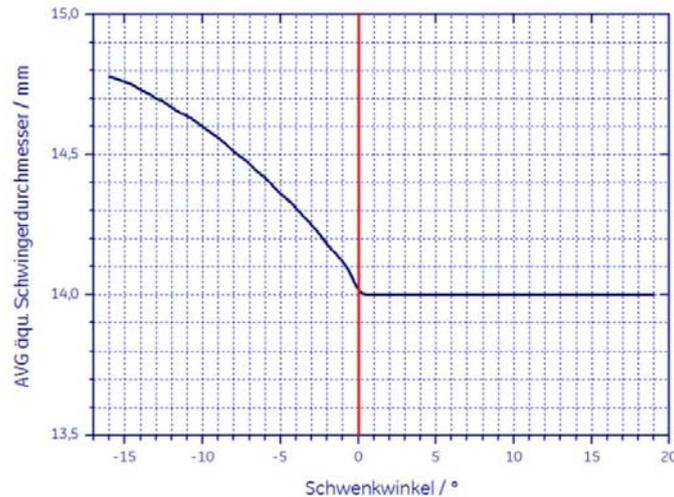


Abbildung 2: Der äquivalente Schwingerdurchmesser als Funktion des Schwenkwinkels, qualitativ dargestellt für einen *trueDGS®* Prüfkopf

Möchte man einen solchen Winkelprüfkopf äquivalent zu einem konventionellen Prüfkopf verwenden, sollte das für die AVG-Messung benötigte Referenzsignal auf gleiche Weise auf einem standardisierten Kalibrierkörper, wie z. B. dem Kalibrierkörper Nr. 1 [13] aufgenommen werden. Hierbei muss beachtet werden, dass die Empfindlichkeit sowohl für das Signal aus dem 100 mm Radius des Kalibrierkörpers Nr. 1, als auch die Reflektion einer senkrecht angeschallten Rückwand in 100 mm Abstand ebenfalls Funktionen des Winkels sind. Diese Information spiegelt sich in einer veränderlichen Verstärkungskorrektur ΔV_{K1} wider (s. Abbildung 3) und führt zu einer relativen Verschiebung der einzelnen AVG-Kurven. Diese Information ist Voraussetzung, dass ein erforderliches Referenzsignal unter jedem realisiertem Winkel aufgenommen werden kann.

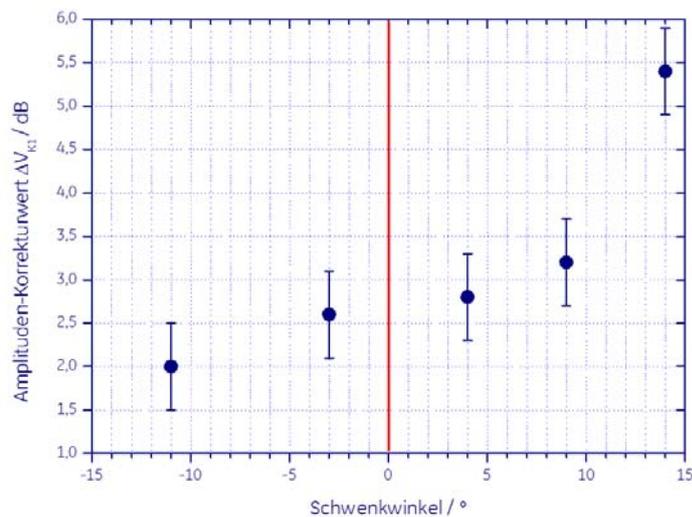


Abbildung 3: Der Amplituden-Korrekturwert ΔV_{K1} als Funktion des Schwenkwinkels. Qualitativ dargestellt für einen *trueDGS®* Prüfkopf

Berücksichtigt man all die oben aufgeführten Punkte, so ist man in der Lage, auch mit einem Phased Array-Winkelprüfkopf eine AVG-Bewertung für alle realisierten Winkel durchzuführen. In Abbildung 4 sind die Messergebnisse eines Phased Arrays nach dem trueDGS®-Ansatz für die „traditionellen“ Winkel 45, 60 und 70° sowie für zwei zusätzliche Winkel, nämlich 53 und 65°, dargestellt. Da diese AVG-Kurven mathematisch von dem in der EN 583-2 veröffentlichten allgemeinen AVG-Diagramm abgeleitet sind, kann dies natürlich für alle Winkel in einem Schwenkbereich von z. B. 40-75° wiederholt werden.

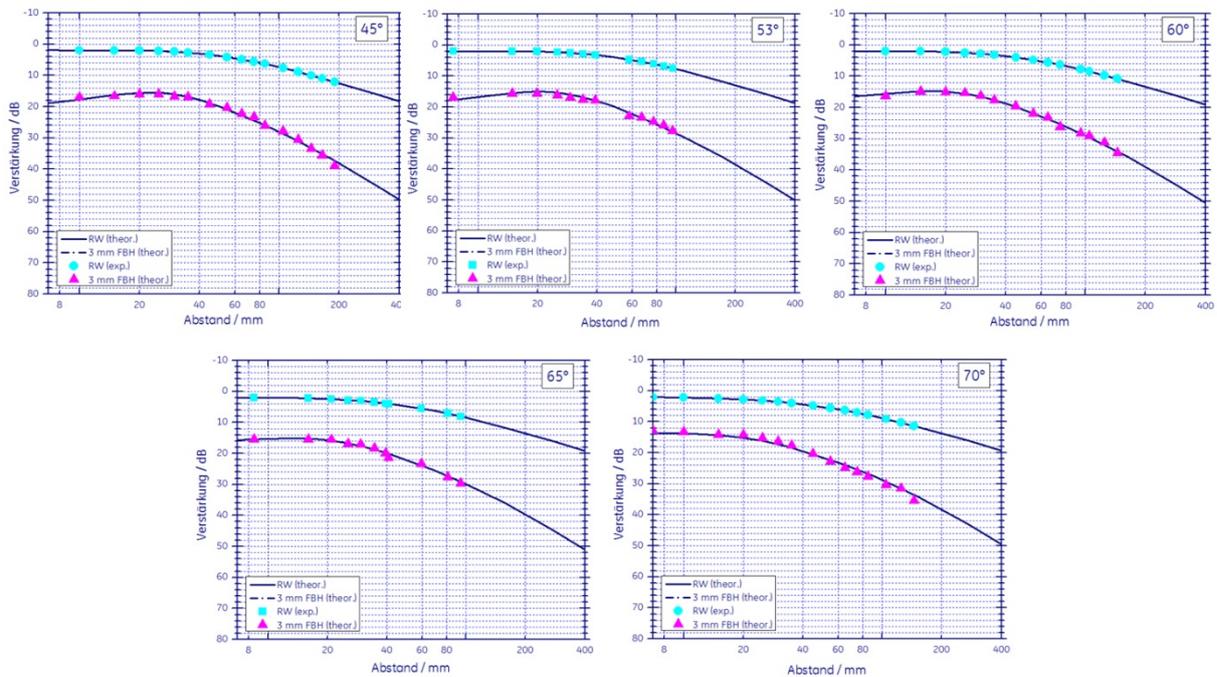


Abbildung 4: AVG-Messungen für einen 2 MHz Phased Array-Winkelprüfkopf nach dem trueDGS®-Ansatz für 45, 53, 60, 65 und 70°.

3.2 Senkrechteinschallung

Sind große Bauteile, wie z. B. Schmiedestücke, mit Senkrechprüfköpfen zu testen und Fehler nach der AVG-Methode zu bewerten, kann der Prüfer unter Umständen das Problem haben, dass der Arbeitsbereich des Prüfkopfs nicht mit dem Fehlererwartungsbereichs übereinstimmt. So kann zum Beispiel für Prüfköpfe mit kurzer Nahfeldlänge die Empfindlichkeit in Oberflächennähe ausreichend, in Rückwandnähe allerdings zu klein sein. Umgekehrt kann es passieren, dass bei Prüfköpfen mit großer Nahfeldlänge die Empfindlichkeit in Rückwandnähe ausreicht, oberflächennahe Fehler jedoch dichter als 0,7 Nahfeldlängen unter der Oberfläche liegen, so dass eine Bewertung nach AVG nicht zulässig ist [2].

Neben dem Einsatz einer Reihe von Senkrechprüfköpfen mit unterschiedlicher Nahfeldlänge kann hier ein Ringarray Abhilfe schaffen. Ein Ringarray besteht aus mehreren konzentrischen Ringen, die sukzessive von innen nach außen zu einer runden Apertur zusammengeschaltet werden können. Damit lässt sich die Nahfeldlängen für die unterschiedlichen Aperturen nach der bekannten Formel (1) [1] für runde Schwinger berechnen:

$$(1) \quad N_i \approx D_i^2 / 4\lambda \quad i: \text{Index der Apertur}$$

Zusammen mit der Tatsache, dass runde Schwinger ein rotationssymmetrisches Schallfeld erzeugen, können auch hier wiederum die aperturspezifischen AVG-Kurven vom allgemeinen AVG-Diagramm abgeleitet werden. Ein Beispiel für AVG-Messungen mit einem Ringarray mit unterschiedlich großen Aperturen (\varnothing 20 und 40 mm, zwei weitere Messungen mit \varnothing 28 und 35 mm sind nicht dargestellt, spiegeln im Wesentlichen aber die gleiche Genauigkeit wider) ist in Abbildung 5 dargestellt.

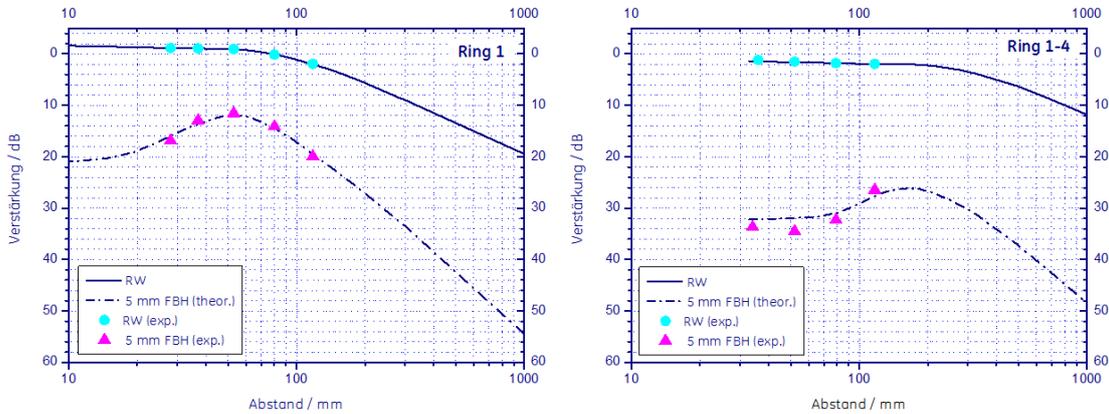


Abbildung 5: AVG-Messungen für jeweils eine Apertur, die aus 1 (\varnothing 20 mm) und 4 (\varnothing 40 mm) ringförmigen Elementen besteht.

Deutlich ist in Abbildung 5 zu sehen, dass das Nahfeldende auf der Abszisse zu größeren Werten hin wandert; da für jede Messung dieselben Testfehler (\varnothing 5 mm Flachbodenbohrungen in unterschiedlichen Tiefen) verwendet wurden, bleibt deren Position absolut gesehen gleich.

Überlagert man alle vier AVG-Kurven verstärkungsrichtig (s. Abbildung 6), d. h. entspricht der Abstand der Rückwandkurven in einer bestimmten Tiefe dem des Verstärkungsunterschied, der am Ultraschallgerät abgelesen werden kann, ist deutlich der gesteigerter Signal-Rausch-Abstand sowohl im oberflächennahen bzw. oberflächenfernen Bereich zusehen. Wobei hier von der Annahme ausgegangen wird, dass ein einziger Einschwingerprüfkopf verwendet wird, dessen Schwingerdurchmesser dem der größten bzw. kleinsten Apertur des Ringarrays entspricht.

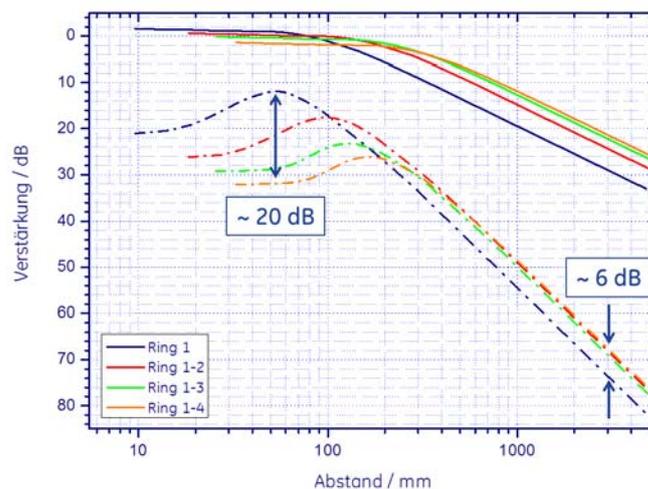


Abbildung 6: Verstärkungsrichtige Überlagerung der vier aus den unterschiedlichen Aperturen resultierenden AVG-Kurven.

3.3 SE-Array-Prüfkopf

Da das Verhalten eines SE-Prüfkopfs, unabhängig davon, ob es sich um einen Gruppenstrahlerprüfkopf oder eine konventionelle Bauform handelt, nicht vom allgemeinen AVG-Diagramm abgeleitet werden kann, sind vom Hersteller veröffentlichte AVG-Kurven strenggenommen Kurven nach der Vergleichslinien-Methode [2]. Das bedeutet, dass für einen SE-Array-Prüfkopf für alle Betriebsmodi, die realisiert und mit denen AVG-Bewertungen durchgeführt werden sollen, die entsprechenden Kurven mit den gewünschten ERS-Durchmessern vom Hersteller aufzunehmen sind. Nichtsdestotrotz bietet ein SE-Array-Prüfkopf die Möglichkeit eines höheren Signal-Rausch-Abstands in bestimmten Tiefen im Vergleich zu einem konventionellen SE-Prüfkopfs, da der Fokusbereich verschoben werden kann.

In dem hier vorliegenden Beispiel ist ein SE-Array-Prüfkopf realisiert worden, der sich lediglich durch seine zweimal 16 Elemente mit einer Teilung parallel zur Trennschicht von einem GE Sensing & Inspection Technologies SEB 4-0° unterscheidet. Alle anderen Parameter, wie Dachwinkel und Vorlauf, sind unverändert geblieben. Eine schematische Darstellung ist in Abbildung 9 zu sehen.

Die verschiedenen Fokustiefen wurden im Weiteren durch Verzögerungen realisiert, die dem eines geschwenkten Schallstrahls entsprechen; sie wurden nicht zusätzlich fokussiert. Die Verzögerungen wurden für den Sende- als auch für den Empfangsfall angewendet.

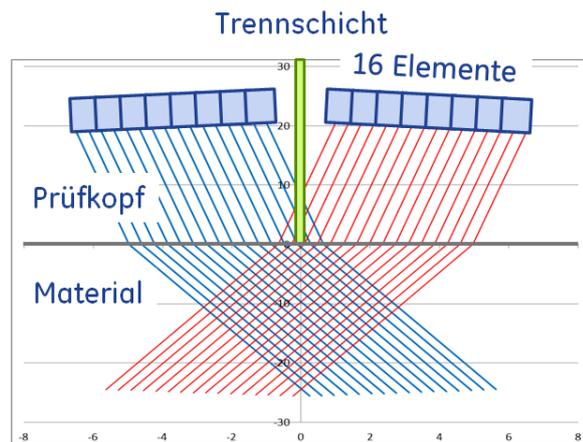


Abbildung 9: SE-Array-Prüfkopf mit zweimal 16 Elementen mit einer Orientierung parallel zur Trennschicht. Zusätzlich sind die Strahlen zu sehen, die von jedem Element ausgehen.

Mit dem so betriebenen Prüfkopf wurden insgesamt vier Messungen durchgeführt, die in Abbildung 10 dargestellt sind. In der ersten Messung (s. Abbildung 10, links) wurden keine Verzögerungen verwendet, so dass die AVG-Kurve im Wesentlichen der des SEB 4-0° entspricht. Im Folgenden wurden die Verzögerungen so berechnet, dass sich die Strahlen für den Sende- und Empfangsfall (s. Abbildung 9) in 5 bzw. 10 mm Tiefe, also deutlich vor dem natürlichen Fokus von 25 mm für den SEB 4-0°, schneiden. Überlagert man die jeweiligen Kurven wieder wie in den vorhergehenden Beispielen verstärkungsrichtig, sieht man eine Erhöhung der Empfindlichkeit um bis zu 8 dB für den Bereich vor dem natürlichen Fokus. Hinter dem natürlichen Fokus nimmt die Empfindlichkeit um etwa den gleichen Betrag ab.

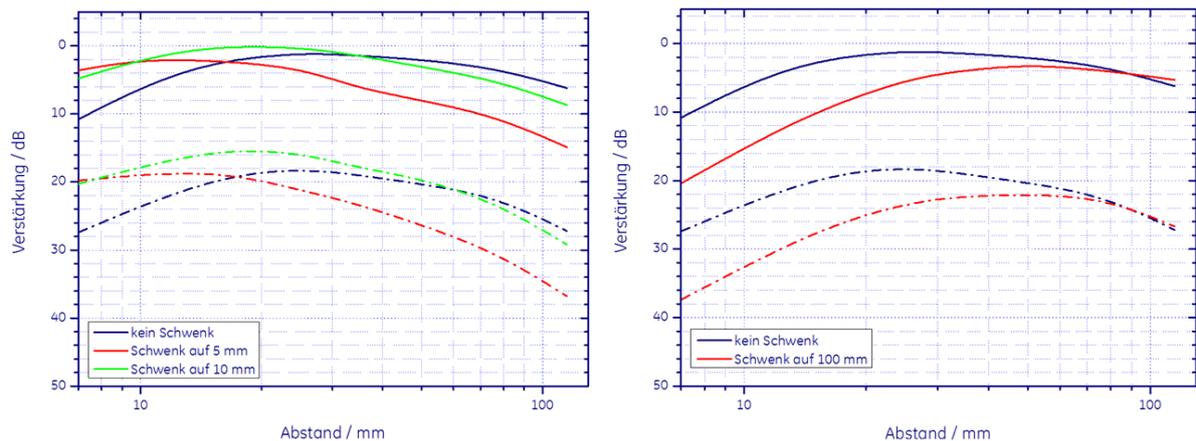


Abbildung 10: AVG-Messung mit SE-Array-Prüfkopf mit natürlichem Fokus bei 25 mm. Links: Schwenk der Schallstrahlen (Sende und Empfangsfall) zur Oberflächen hin (auf 5 und 10 mm). Rechts: Schwenk der Schallstrahlen (Sende und Empfangsfall) auf 100 mm.

Auf der rechten Seite der Abbildung 10 ist der Fall gezeigt, bei dem die Strahlen auf eine Tiefe von 100 mm geschwenkt wurden. Im Gegensatz zu den Messungen, die auf der linken Seite der Abbildung 10 dargestellt sind, erfährt man in diesem Fall lediglich ein Empfindlichkeitsverlust im vorderen Bereich und eine Annäherung der Kurven für den geschwenkten und ungeschwenkten Fall in größeren Tiefen.

Der vorliegende Fall zeigt, dass man die Vorteile der Gruppenstrahlertechnologie für eine AVG-Bewertung mit SE-Array-Prüfköpfen dann bekommt, wenn man einen Prüfkopf verwendet, dessen Fokustiefe im ungeschwenkten Bereich eher im hinteren Teil des Fehlererwartungsbereichs liegt und dann beide Strahlen in einer vernünftigen Abstufung auf kleinere Tiefen schwenkt.

4. Zusammenfassung

Die Verwendung von Gruppenstrahlern für eine AVG-Messung gemäß allgemeiner Normen ist heutzutage bereits generell möglich. Lediglich fehlende, sich aber in Bearbeitung befindende Ausrüstungsnormen für Gruppenstrahler-Instrumente und Prüfköpfe stehen dem normkonformen Einsatz gemäß gängiger Anwendungsnormen, z. B. im Bereich der Schweißverbindungen und dem Gießereiwesen entgegen.

Im Weiteren wurden verschiedenen Beispiele gezeigt, in denen AVG-Bewertungen mit unterschiedlichen Ansätzen mit Gruppenstrahlern realisiert wurden. Bei der Winkelschallung bieten Gruppenstrahler die Möglichkeit, für einen größeren Winkelbereich AVG-Bewertungen zu ermöglichen.

Der Einsatz eines Ringarrays mit veränderbaren Aperturen und damit auch Nahfeldlängen bietet Vorteile, wenn große Bauteile überprüft werden müssen. Das Nahfeldende lässt sich so in den Bereich des Bauteils verschieben, in dem ein Fehler gefunden wurde, so dass die AVG-Bewertung mit dem bestmöglichen Signal-Rausch-Abstand durchgeführt werden kann.

Die oben beschriebenen Beispiele haben alle den Vorteil, dass die jeweiligen AVG-Kurven aus dem veröffentlichten allgemeinen AVG-Diagramm auf mathematischem Wege abgeleitet werden können, so dass eine vorherige, aufwendige Messung dieser Kurven entfallen kann.

Eine Messung der AVG-Kurven muss – wie im Text beschrieben – allerdings für ein SE-Array-Prüfkopf durchgeführt werden, da hier eine mathematische Ableitung von einer allgemeinen Kurve nicht möglich ist.

All die oben aufgeführten Beispiele zeigen, dass ein Einsatz von Gruppenstrahlern für eine AVG-Bewertung möglich und wünschenswert ist. In jedem der vorgestellten Beispiele konnte deutlich ein möglicher Produktivitätsgewinn und/oder eine deutliche Steigerung des Signal-Rausch-Abstands sowie eine Steigerung der Fehlerauffindbarkeit demonstriert werden.

Referenzen

- [1] Krautkrämer J., Krautkrämer H.: Werkstoffprüfung mit Ultraschall, Springer Berlin Heidelberg, 5. Auflage, 1986
- [2] Zerstörungsfreie Prüfung - Ultraschallprüfung - Teil 2: Empfindlichkeits- und Entfernungsjustierung; Deutsche Fassung EN 583-2:2001
- [3] Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen - Ultraschallprüfung - Zulässigkeitsgrenzen (ISO 11666:2010); Deutsche Fassung EN ISO 11666:2010
- [4] Kleinert W., Oberdoerfer Y., Splitt G., The Ideal Angle Beam Probe for DGS Evaluation, 10th ECNDT, Moskau 2010
- [5] Zerstörungsfreie Prüfung - Ultraschallprüfung - Teil 5: Beschreibung und Größenbestimmung von Inhomogenitäten; Deutsche Fassung EN 583-5:2000
- [6] Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen - Ultraschallprüfung - Zulässigkeitsgrenzen (ISO 11666:2010); Deutsche Fassung EN ISO 11666:2010
- [7] Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen - Ultraschallprüfung - Techniken, Prüfklassen und Bewertung (ISO 17640:2010); Deutsche Fassung EN ISO 17640:2010
- [8] Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen - Ultraschallprüfung - Charakterisierung von Anzeigen in Schweißnähten (ISO 23279:2010); Deutsche Fassung EN ISO 23279:2010
- [9] Gießereiwesen - Ultraschallprüfung - Teil 1: Stahlgussstücke für allgemeine Verwendung; Deutsche Fassung EN 12680-1:2003
- [10] Gießereiwesen - Ultraschallprüfung - Teil 3: Gussstücke aus Gusseisen mit Kugelgraphit; Deutsche Fassung EN 12680-3:2011
- [11a] Zerstörungsfreie Prüfung - Charakterisierung und Verifizierung der Ultraschall-Prüfausrüstung - Teil 1: Prüfgeräte; Deutsche Fassung EN 12668-1:2010
- [11b] Zerstörungsfreie Prüfung - Charakterisierung und Verifizierung der Ultraschall-Prüfausrüstung - Teil 2: Prüfköpfe; Deutsche Fassung EN 12668-2:2010
- [11c] Zerstörungsfreie Prüfung - Charakterisierung und Verifizierung der Ultraschall-Prüfausrüstung - Teil 3: Komplette Prüfausrüstung; Deutsche Fassung EN 12668-3:2000
- [12a] in Bearbeitung: Zerstörungsfreie Prüfung - Charakterisierung und Verifizierung der Ultraschall-Prüfausrüstung mit phasengesteuerten Arrays - Teil 1: Prüfgeräte; Deutsche Fassung prEN 16392-1:2012
- [12b] Zerstörungsfreie Prüfung - Charakterisierung und Verifizierung der Ultraschall-Prüfausrüstung mit phasengesteuerten Arrays - Teil 2: Prüfköpfe; Deutsche Fassung prEN 16392-2:2012
- [12c] in Bearbeitung: Zerstörungsfreie Prüfung - Charakterisierung und Verifizierung der Ultraschall-Prüfausrüstung mit phasengesteuerten Arrays - Teil 3: Komplette Prüfausrüstung; Deutsche Fassung prEN 16392-3:2012
- [13] Zerstörungsfreie Prüfung - Ultraschallprüfung - Beschreibung des Kalibrierkörpers Nr 1; Deutsche Fassung EN 12223:1999