

Hochaufgelöste Ultraschallprüfung an Widerstandspunktschweißverbindungen

Raffael HIPPE* **, Andreas GOMMLICH*, Christoph GROSSMANN**,
Frank SCHUBERT*

* Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren, Institutsteil Dresden (IZFP-D)
frank.schubert@izfp-d.fraunhofer.de

** Institut für Fertigungstechnik, Technische Universität Dresden

Kurzfassung. In vielen Industriebranchen ist das Widerstandspunktschweißen ein etabliertes Fügeverfahren, so z. B. in der Automobilindustrie, im Karosserie- und Fahrzeugbau und in der blechverarbeitenden Fertigung. Ausschlaggebend für den weitverbreiteten Einsatz sind die hohe Wirtschaftlichkeit und Prozesssicherheit. Eine Aussage zur Qualität der Punktschweißverbindung kann durch zerstörende und zerstörungsfreie Prüfverfahren sowie indirekt durch Analyse der Prozessparameter erhalten werden. Zerstörungsfreie Prüfverfahren ermöglichen im Gegensatz zur unscharfen Parameteranalyse eine unmittelbare Bewertung der Punktschweißverbindung, wodurch kostenintensive zerstörende Stichprobenprüfungen entfallen. Dazu sind auf dem Markt kommerzielle mobile Prüfgeräte im Einsatz, die jedoch meist nur eine niedrig aufgelöste US-C-Bild-Darstellung der Fügestelle liefern. Mit der scannenden Ultraschallmikroskopie ist es möglich, hochaufgelöste B- und C-Bilder zu erzeugen und zusätzlich eine quantitative Auswertung der A-Bilder an jedem Messpunkt durchzuführen. Damit ist eine umfassende und detaillierte Analyse der Schweißlinie möglich. Das Verfahren kann daher als Referenz für andere Prüfgeräte verwendet werden, da es ein Maximum an Informationen bereitstellt. In der vorliegenden Arbeit werden Ergebnisse der Ultraschallmikroskopie mit denen eines kommerziellen Matrix-Prüfsystems verglichen. Dabei kommt ein neues spektrales Auswerteverfahren mit nachfolgender Bildkorrelationsanalyse zum Einsatz.

1. Einführung

Während des Schweißvorgangs entsteht eine stoffschlüssige Verbindung, die nur durch Schädigung der Verbindung oder der Füge Teile gelöst werden kann. Der Prozess einer Widerstandspunktschweißung hat zahlreiche Einflussfaktoren, zu denen unter anderem der Schweißstrom, die Schweißstromzeit, die Elektrodenkraft, die Elektrodenkappen und deren Zustand sowie die zu verschweißenden Bleche und deren Oberflächenzustände selbst zählen. Dies führt zu variierenden Schweißresultaten. Infolgedessen ist eine einfache Bewertung der Schweißqualität ohne nachgeschalteter Prüfung kaum möglich.

Im Labormaßstab wird die Schweißqualität meist zerstörend mittels Meißeltest geprüft. Dabei wird ein Gabelmeißel neben einer Punktschweißverbindung zwischen die Bleche getrieben, bis es zum Abheben eines der Bleche kommt (Abbildung 1 links). Bei der Zerstörung der Schweißverbindung entsteht an der geschweißten Stelle eine Ausknöpfung

(Abbildung 1 rechts). Ausgewertet werden die Art des Bruches und der ausgerissene Durchmesser der Ausknöpfung [1].

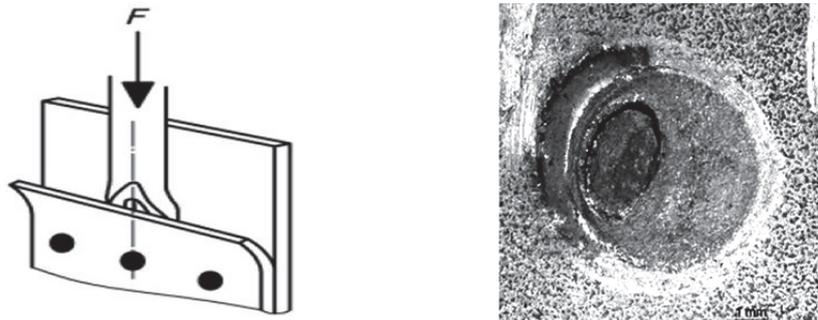


Abbildung 1: Prüfung mit Gabelmeißel [6] (links) und Mikroskopieaufnahme einer Punktschweißausknöpfung (rechts).

Der Bedarf an zerstörungsfreien Prüfverfahren besteht vor allem deshalb, weil zerstörende Prüfmethoden nicht am auszuliefernden Bauteil selbst durchführbar sind. Außerdem verursachen sie eine große Menge Ausschuss, wodurch hohe Kosten entstehen. Neben thermographischen Verfahren stellt die Ultraschall(US-)prüfung das mit Abstand wichtigste zerstörungsfreie Prüfverfahren für Punktschweißungen in der Praxis dar. Dabei sind sowohl einkanalige Aufsatzsysteme mit integraler Auswertung, mehrkanalige Matrix-Prüfsysteme sowie Miniaturscanner mit kombinierter Translation/Rotation im Einsatz. In der vorliegenden Arbeit wurde das US-Matrix-Prüfsystem RSA der Firma Tessonics Inc. evaluiert. Als Referenz diente ein Scannendes Akustisches Mikroskop (SAM), mit dem unter optimalen Labor-Bedingungen gemessen werden kann.

2. Widerstandspunktschweißen

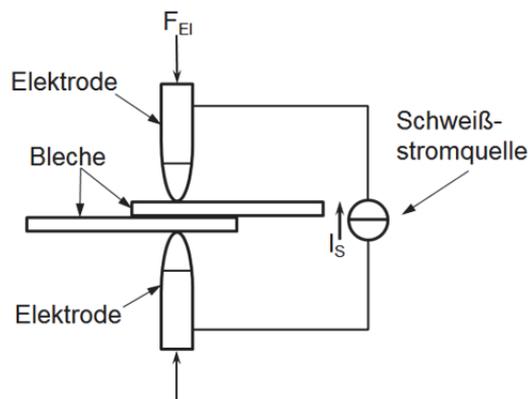


Abbildung 2: Verfahrensprinzip Widerstandspunktschweißen

Während des Schweißprozesses wird die Fügestelle durch elektrischen Strom zum Schmelzen gebracht. Dabei wirkt die Schweißzone als elektrischer Widerstand. Gleichzeitig wird auf die Fügestelle eine Anpresskraft aufgebracht. Bei dieser Art von Schweißprozess wird kein Schweißzusatz verwendet. Als weiterer Einflussfaktor ist die Schweißstromzeit t_s zu nennen. Die Anpresskraft F_{EI} und der Schweißstrom I_s werden über Elektroden auf die Fügestelle übertragen. Das Verfahrensprinzip einer Punktschweißung ist in Abbildung 2 zu sehen. Die für den Schweißprozess benötigte Wärme wird durch die Prozessparameter (I_s , F_{EI} , t_s) beeinflusst und kann mit Hilfe dieser drei Größen auf Werkstoff und Werkstückabmessungen eingestellt werden [2].

Bei dieser Arbeit wurden ausschließlich Zweiblechverbindungen untersucht. Dabei wurden Bleche mit verschiedenen Dicken und verschiedenen Materialien verwendet. Das obere Blech besaß jeweils eine Stärke von 0.65 mm und bestand aus einem Tiefziehstahl (DX56+Z100MB). Als unteres Blech wurden ein korrosionsbeständiger Stahl (X5CrNi10-18) mit einer Stärke von 2.00 mm sowie ein weiterer Tiefziehstahl (DX56+Z100MB) mit den Stärken 1.00 mm und 2.00 mm verwendet. Alle Bleche waren schmelztauchverzinkt.

3. Ultraschallprüfung von Punktschweißungen

Die in dieser Arbeit verwendeten US-Systeme arbeiten nach dem Impuls-Echo-Verfahren. Dabei sendet der Prüfkopf einen kurzen Schallimpuls in das Material. Die Schallwelle breitet sich in der Probe aus und wird entweder an einer Fehlstelle (Fehlerecho FE) oder an einer Probenrückwand (Rückwandecho RE) bzw. Grenzfläche reflektiert. Das Echo wird vom selben Prüfkopf empfangen, von dem das Signal gesendet wurde.

Die Auswertung der Signale erfolgt anhand von A-Bildern. In diesen Bildern kann die Zeitachse als Tiefenachse skaliert werden. Dadurch ist die Bestimmung der Tiefenlage der Fehlstelle oder der Rückwand möglich. Auf Basis der A-Bilder sind auch B- und C-Bild-Darstellungen möglich, die vertikale bzw. horizontale Tiefenschnitte durch das Bauteil repräsentieren.

3.1 Mobiles US-Gerät mit Matrix-Prüfkopf (RSWA) von der Firma Tessonics Inc., Kanada

Das RSWA ist ein mobiles US-Gerät (Abbildung 3 links), welches für den industriellen Gebrauch konzipiert wurde. Der handgeführte Prüfkopf (Abbildung 3 rechts und Abb. 4) besteht aus einer 8×8-Matrix mit 52 piezoelektrischen Elementen. Jedes Element arbeitet eigenständig im Impuls-Echo-Betrieb (kein Phased Array) mit einer Frequenz von 15-20 MHz. An den vier Ecken wurde der Prüfkopf jeweils um drei Elemente reduziert, weil sich eine Punktschweißung meist rund ausbildet. Demzufolge besitzt der Prüfkopf insgesamt 52 unabhängige Elemente. Als scannender Gesamtbereich resultiert aus der Anzahl der Elemente eine Fläche von ca. 10×10 mm². Die Scanfläche wird durch eine harte Polystyrenvorlaufstrecke für die industrielle Anwendung geschützt.



Abbildung 3: RSWA von Tessonics (links) und RSWA-Matrixprüfkopf (rechts)

Für ein C-Bild des zu untersuchenden Bereichs werden alle A-Bilder der 52 Elemente verarbeitet. Für die Auswertung der A-Bilder wird innerhalb eines bestimmten Zeitbereichs die Maximalamplitude detektiert. Vor der finalen Ausgabe des Ergebnisses wird auf eine höhere Auflösung des Bildes interpoliert, um weichere Verläufe in dem angezeigten C-Bild zu bekommen. Für die Ausgabe auf den Monitor des Gerätes wird das Ergebnis als Farbwert codiert. Dabei gilt grün für einen verschweißten und rot für einen unverschweißten Bereich (Abbildung 5).

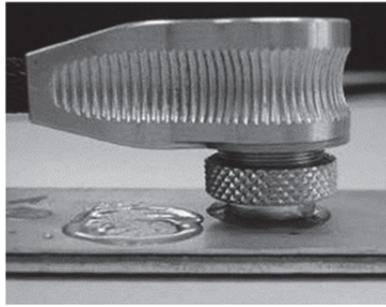


Abbildung 4: Messung mit dem RSWA

Für die Messung (Abbildung 4) muss zwischen der Vorlaufstecke des Prüfkopfes und der zu untersuchenden Probe ein Koppelmedium (Ultraschallgel) aufgetragen werden. Dadurch wird der Luftspalt zwischen dem Prüfkopf und dem zu prüfendem Material eliminiert und eine gute Einkopplung des Ultraschalls in die Probe sichergestellt [3,4].

Auswertung der RSWA-C-Bilder

Innerhalb der C-Bilder ist eine Gitterstruktur sichtbar (Abb. 5). Diese Rechtecke stellen die einzelnen Elemente des Matrix-Prüfkopfes dar. Für die Schweißlinsebewertung ist in dem C-Bild ein Kreis eingezeichnet. Er misst den größten innenliegenden Kreis innerhalb der grünen Fläche (verschweißter Bereich). Der automatisch detektierte Linsendurchmesser wird am linken oberen Bildrand ausgegeben. Als zweiten Wert wird in der Mitte der oberen Leiste noch die Elektrodeneindrucktiefe angegeben.

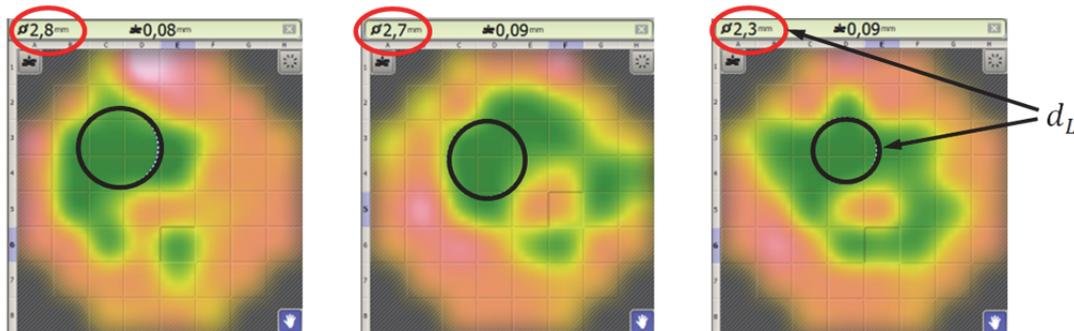


Abbildung 5: Ergebnisse der mehrmaligen Messung an derselben Punktschweißung.

Grundsätzlich liefert das RSWA-Gerät als für den ökonomischen Praxiseinsatz konstruiertes System akzeptable Resultate in Bezug auf die Bewertung einer Punktschweißverbindung, allerdings nur bei guten Oberflächenbedingungen. Ansonsten ist die Ankopplung des Prüfkopfes mit seiner harten Vorlaufstrecke schwierig und es kommt infolge von Verkippungen bei mehreren Messungen derselben Punktschweißverbindung häufig zu unterschiedlichen Ergebnissen bei der Bewertung der Schweißqualität. Aus diesem Grund sind die Ergebnisse bei schlechten Oberflächenbedingungen nur bedingt reproduzierbar. In Abbildung 5 ist solch ein Beispiel zu sehen. Es zeigt drei Messungen derselben Punktschweißung. Wird der Linsendurchmesser als Qualitätskriterium einer Punktschweißverbindung gewählt, muss für die ausgewählte Blechkombination laut DIN EN ISO 14327 [5] für eine gute Schweißung ein Mindestdurchmesser von $d_L \geq 2,45$ mm erreicht werden. In der Beispielabbildung ist zu sehen, dass die beiden linken C-Bilder den Mindestdurchmesser erreichen und die Qualitätskontrolle bestehen würden. Im Gegensatz dazu unterschreitet das rechte C-Bild den Mindestdurchmesser und die Punktschweißung wäre Ausschuss.

Die Vorteile dieses Gerätes sind die hohe Mobilität, die leichte Handhabung sowie die geringe Messdauer mit ca. 3 s. Zum Vergleich benötigt ein SAM für einen C-Scan mit gleicher Scanfläche ca. 1 min.

3.2 Scannende Ultraschall-Mikroskopie (Referenz)

Um die Ergebnisse des mobilen RSWA einschätzen zu können, wurden diese mit den Resultaten eines Scannenden Akustischen Mikroskops (SAM) verglichen. Mit einem SAM (Abbildung 6 links) erfolgen die Messungen unter optimalen Laborbedingungen, jedoch ist dies in der industriellen Anwendung für Punktschweißprüfungen so natürlich nicht einsetzbar. Für die Referenzuntersuchung wurde das Evolution II der Firma PVA TePla verwendet.

Bei einem SAM befindet sich der Prüfkopf in einer hochpräzisen und schnellen mechanischen Scaneinheit (Abbildung 6, rechts), die über einem Tauchbecken, in dem sich auch die Probe befindet, angebracht ist. Dabei dient deionisiertes Wasser als Koppelmedium und garantiert so eine konstante Einkopplung des Ultraschalls in die Probe.

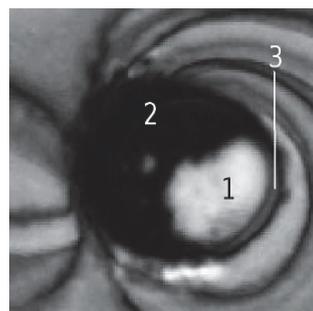


Abbildung 6: Scannendes Akustisches Mikroskop (links) und SAM-Scaneinheit (rechts).

Die Scaneinheit kann in drei Raumrichtungen verfahren werden. Dabei wird pro Rasterpunkt eine Impuls-Echo-Messung durchgeführt. Auf diese Weise wird die Probenoberfläche Punkt für Punkt automatisch in x- und y-Richtung gescannt. Durch den Einsatz verschiedener Prüfköpfe kann die Frequenz entsprechend dem zu prüfenden Material und Bauteil angepasst werden.

3.2.1 Auswertung

Für die Auswertung der SAM-Daten werden im folgenden A-, B- und C-Bilder betrachtet. In Abbildung 7 ist das C-Bild einer typischen Punktschweißung zu sehen. Dazu wurde mittels Blende ein Zeitbereich ausgewählt, welcher die Grenzfläche zwischen den beiden Fügepartnern enthält. Innerhalb der Punktschweißung sind die drei charakteristischen Schweißqualitäten (Schweißung, Klebschweißung und unverschweißte Bereiche) vorzufinden. Es wurde die gleiche Scanflächengröße von 100 mm^2 , wie beim RSWA US-Geräte ausgewählt.



Bereich 1: keine Schweißung
Bereich 2: Schweißung
Bereich 3: Klebschweißung

Abbildung 7: C-Bild (SAM) einer Punktschweißung

In Abb. 8 sind die möglichen Laufwege des Ultraschalls innerhalb einer Punktschweißverbindung in den Bereichen 1 und 2 (von Abbildung 7) dargestellt.

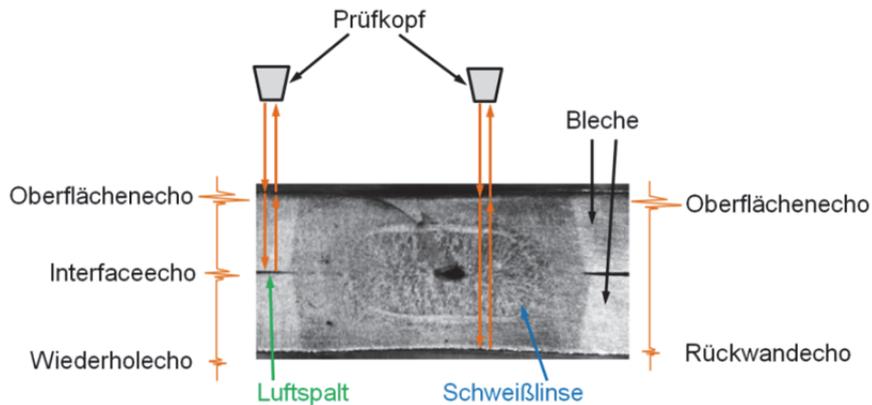


Abbildung 8: US-Prinzip an einer Punktschweißung (linker Prüfkopf: nicht verschweißter Bereich; rechter Prüfkopf: verschweißter Bereich)

Bereich 1: Unverschweißter Bereich

Eine unverschweißte Stelle entsteht, wenn der Schweißprozess zu keiner stoffschlüssigen Verbindung geführt hat. Es bleibt ein Luftspalt zwischen den beiden Fügepartnern übrig. An dem Luftspalt kann der Ultraschall nicht in das untere Blech einkoppeln und wird an der Rückwand des oberen Bleches mehrfach reflektiert (Abb. 8, linke Seite und Abb.7, Bereich 1).

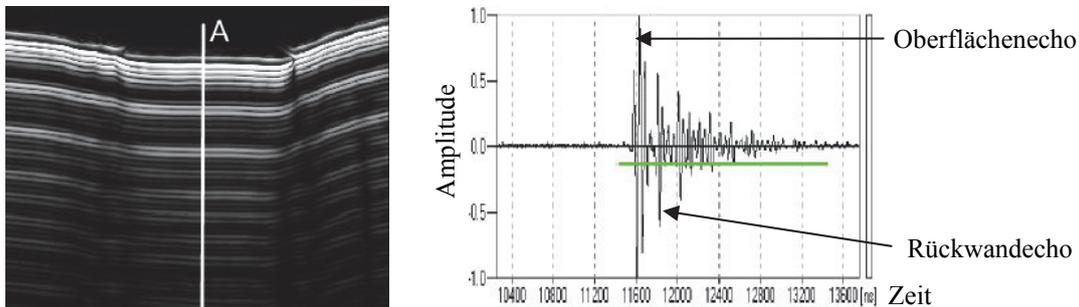


Abbildung 9: B- und A-Bild eines unverschweißten Bereiches (SAM-Messung).

Abbildung 9 (rechts) zeigt ein typisches A-Bild eines unverschweißten Bereiches. Es sind mehrere Amplitudenmaxima sichtbar. Der zeitliche Abstand dieser Maxima zueinander korreliert mit der Dicke des oberen Fügepartners. Infolge des kurzen Laufweges des Ultraschalls resultiert eine Mehrfachechofolge.

In dem zugehörigen B-Bild (Abb. 9 links) sind die gleichen Charakteristiken wie im A-Bild zu sehen. In dem B-Bild ist mit einer weißen Linie und dem Buchstabe „A“ der Ort gekennzeichnet an dem das rechts stehende A-Bild aufgenommen wurde.

Bereich 2: Schweißung

Eine Schweißung liegt dann vor, wenn beide Fügepartner durch Aufschmelzen und gemeinsames Erstarren eine stoffschlüssige Verbindung eingegangen sind (Abb. 8, rechte Seite und Abb. 7, Bereich 2).

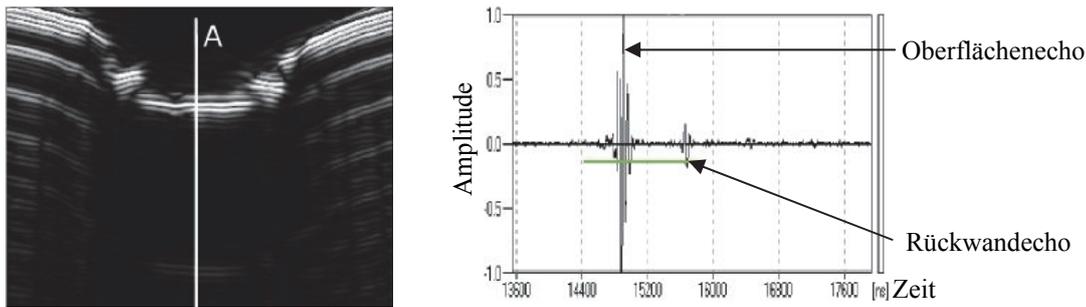


Abbildung 10: B- und A-Bild einer Schweißung (SAM-Messung).

In dem typischen A-Bild einer Schweißung (Abb. 10 rechts) haben die beiden Maxima einen Abstand, welcher mit der Gesamtdicke der Blechkombination korreliert. Der fehlende Luftspalt zwischen den Blechen führt dazu, dass der Ultraschall in das zweite Blech einkoppelt und erst an der Rückwand des unteren Blechs reflektiert wird. Das Rückwandecho fällt hier vergleichsweise schwach aus, was vermutlich auch auf die bei der Schweißung erfolgte Gefügeumwandlung hin zu einer grobkörnigeren Mikrostruktur zurückzuführen ist.

In dem dazugehörigem B-Bild (Abb. 10 links) ist der tiefe Elektrodeneindruck und somit der Bereich, in dem der Schweißprozess stattgefunden hat, deutlich ersichtlich. In diesem Bereich sind das Oberflächenecho und das schwache Rückwandecho der Blechkombination sichtbar. Letzteres könnte somit auch durch die veränderte Oberflächentopografie der Probe mitverursacht werden. Der Bereich zwischen den beiden Echos ist schwarz, weil durch den Schweißprozess keine Grenzschicht mehr vorhanden ist. Außerhalb des Schweißbereichs weißt das B-Bild die charakteristische Struktur eines unverschweißten Bereiches auf.

Bereich 3: Klebschweißung

Führt der Schweißprozess lediglich zum Aufschmelzen und Verbinden der Zinkbeschichtungen (geringere Schmelztemperatur als Stahl) und nicht des Fügepartners selbst, wird von einer Klebschweißung gesprochen. Infolgedessen ist kein Luftspalt zwischen den Blechen mehr vorhanden. Dennoch stellt die Klebschweißverbindung zwischen Stahl und Zink eine Grenzschicht dar, an der der US reflektiert wird (Abbildung 7 Bereich 3).

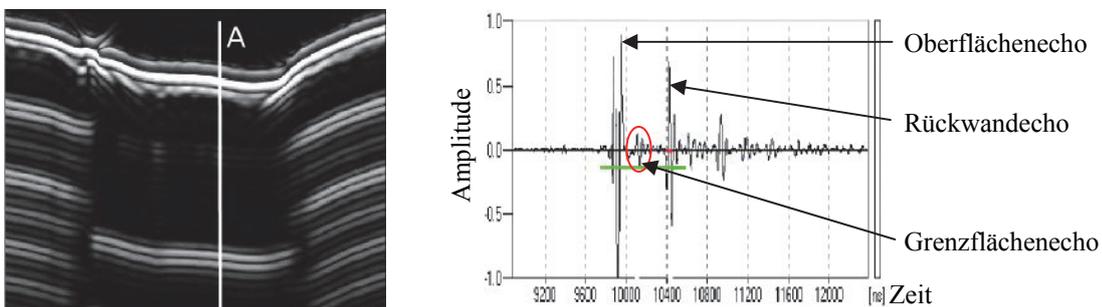


Abbildung 11: B- und A-Bild einer Klebschweißung (SAM-Messung).

Im A- und B-Bild einer Klebschweißung (Abb. 11) können zwei Phänomene beobachtet werden. Zum einen heben sich die mehrfachen Rückwandechos deutlich im A-Bild hervor. Sie treten im Abstand der Blechkombination auf und werden nicht so schnell gedämpft wie bei einer vollständigen Schweißung. Dies ist offensichtlich auf die fehlende Gefügeumwandlung zurückzuführen. Die zweite Beobachtung betrifft das Grenzflächenecho, das

eine wesentlich geringere Amplitude als die ersten beiden Rückwandechos aufweisen und im Abstand der oberen Blechdicke auftreten.

3.2.2 Spektrale Datenauswertung von SAM-Daten

Die Grundlage der Auswertung der SAM-Daten bildete ein kompletter Datensatz sämtlicher HF-A-Bilder für alle Punkte des Scanrasters. Im Gegensatz zu konventionellen Auswertungen, bei denen vorher der interessierende Zeitbereich definiert werden muss, wurde bei der neuen spektralen Auswertung das komplette Zeitsignal verwendet und die Extraktion der relevanten Parameter anschließend im Frequenzbereich durchgeführt. Für die Analyse wurden Spektren verschiedener Schweißqualitäten analysiert und klassifiziert. Das Ergebnis nach der Datenauswertung wurde in einen Grauwert codiert und als Pixel im spektralen C-Bild dargestellt. Hellgrau bedeutet, dass in diesem Bereich keine Schweißung vorliegt. Dunkelgrau weist auf eine Schweißung hin.

3.2.3 Nachbildung des US-Matrix-Prüfkopfes aus SAM-Daten

Damit die mittels SAM gewonnenen C-Bilder (500 x 500 Pixel) mit den RSWA-Bildern vergleichbar sind, musste deren Auflösung zuerst auf 8x8 Pixel (1.25 x 1.25 mm²) reduziert werden, welche der Originalauflösung des RSWA-Gerätes entspricht. Anschließend wurde die Auflösung auf 500 x 500 Pixel (0,02 x 0,02 mm²) interpoliert (Abb. 12).

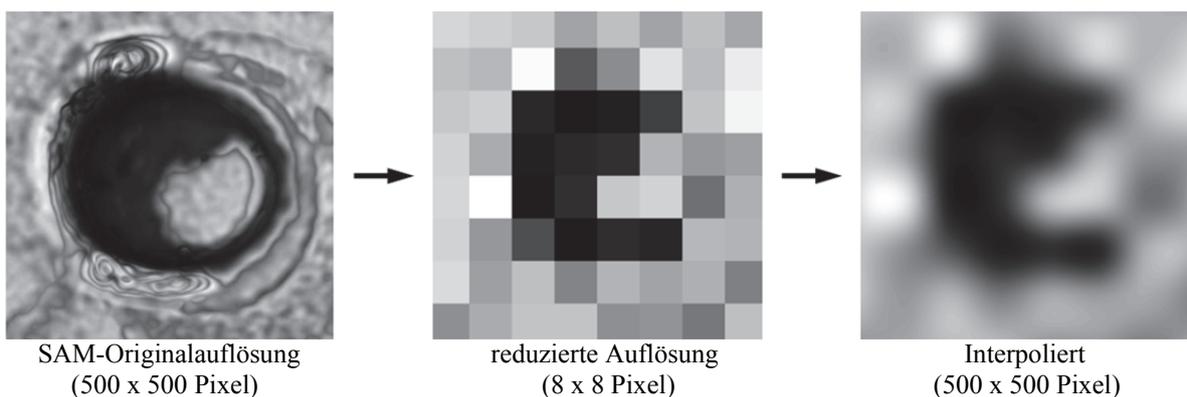


Abbildung 12: Datenreduktion der originalen SAM-C-Bilder auf die Auflösung des Tessonics-Prüfsystems.

Den Vergleich eines derart reduzierten SAM-Bildes mit dem entsprechenden RSWA-Bild zeigt Abb.13.

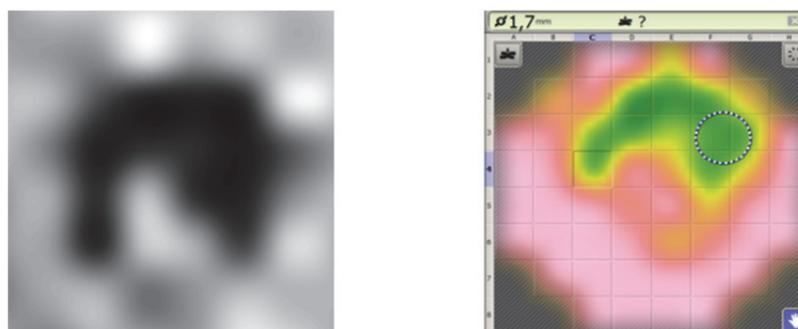


Abbildung 12: Vergleich von SAM- (links) und RSWA-C-Bild (rechts).

3.3 Vergleich mittels Korrelationskoeffizient

Die Ähnlichkeit zweier Bilder \mathbf{X} und \mathbf{Y} kann durch den dimensionslosen Korrelationskoeffizienten r_{xy} wiedergegeben werden. Dieser wird mit Hilfe der Bildpunkte $\mathbf{X}_{i,j}$, $\mathbf{Y}_{i,j}$ und der Mittelwerte \bar{x} , \bar{y} der Bilder \mathbf{X} und \mathbf{Y} wie folgt berechnet:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (\mathbf{X}_{i,j} - \bar{x})(\mathbf{Y}_{i,j} - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (\mathbf{X}_{i,j} - \bar{x})^2 (\mathbf{Y}_{i,j} - \bar{y})^2}} \quad \text{mit}$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n \times m} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \mathbf{X}_{i,j} \quad \text{und} \quad \bar{y} = \frac{1}{n \times m} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \mathbf{Y}_{i,j} .$$

Der Korrelationskoeffizient r_{xy} nimmt Werte zwischen -1 und 1 an. Je niedriger der Betrag ist, desto geringer ist die Abhängigkeit zwischen den Bildern. Nimmt der Koeffizient den Wert Eins an, sind beide Bilder identisch. Bei $r_{xy} = -1$ sind die Bilder zueinander invers.

Die Informationsqualität eines C-Bildes hängt von seiner Auflösung bzw. der Anzahl der Messpunkte ab. Um den Einfluss der reduzierten Bildauflösung zu bewerten, wurde die Korrelation zwischen einem Referenzbild mit hoher Auflösung und einem interpolierten C-Bild mit reduzierter Auflösung durchgeführt. Hierfür wurden C-Bilder der gleichen Punktschweißung mit einer nachempfundenen Auflösung von 4×4 bis 500×500 Pixeln generiert.

In der folgenden Abb. 14 ist der typische Verlauf des Korrelationskoeffizienten als Funktion der Elementanzahl dargestellt. Für die Interpolation selbst wurden drei verschiedene Verfahren verwendet.

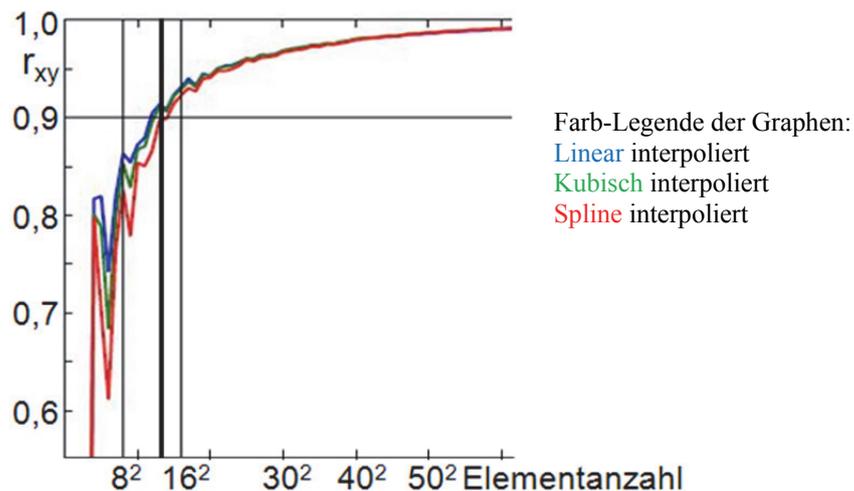


Abbildung 13: Korrelation zwischen Referenz-C-Bild und C-Bild mit reduzierter Auflösung

Es lässt sich erkennen, dass die Graphen für alle drei Interpolationsverfahren einen asymptotischen Verlauf haben. Im Bereich bis 14 Elemente (vertikale schwarze Linie) steigen die Graphen sehr stark an und haben einen sehr un stetigen Verlauf. Dies ist auf den geringen Informationsgehalt bei einer sehr geringen Elementanzahl zurückzuführen. Ab ca. 12-14 Elementen wird die Steigung flacher, das heißt, die Ähnlichkeit zwischen den C-Bildern nimmt mit steigender Elementzahl nur noch geringfügig zu. Des Weiteren ist ab dieser Auflösung die Bildqualität vom Interpolationsverfahren unabhängig und es werden mehr als 90% des Informationsgehaltes des Referenzbildes wiedergegeben.

Abbildung 14 zeigt exemplarische C-Bilder mit verschiedenen Elementanzahlen (8, 16, 32, 500). In diesen Bildern ist sichtbar, dass gerade zwischen 8×8 und 16×16 Elementen die Bildqualität signifikant zunimmt. Mit 16 Elementen ist die Struktur der

Schweißung sichtbar, ab 32 Elementen hat sie bereits eine sehr gute Qualität und kommt somit dem Referenzbild (Abb. 14 rechts) sehr nahe. Folglich lässt sich schon mit einer vergleichsweise niedrigen Elementanzahl eine gute Aussage über die Schweißqualität erzielen.

Zur Erreichung einer hohen ($r_{xy} > 0,9$) und stabilen Bildqualität ist somit eine Auflösung von mindestens 14×14 (mit Abstrichen auch 12×12) Bildpunkten notwendig.

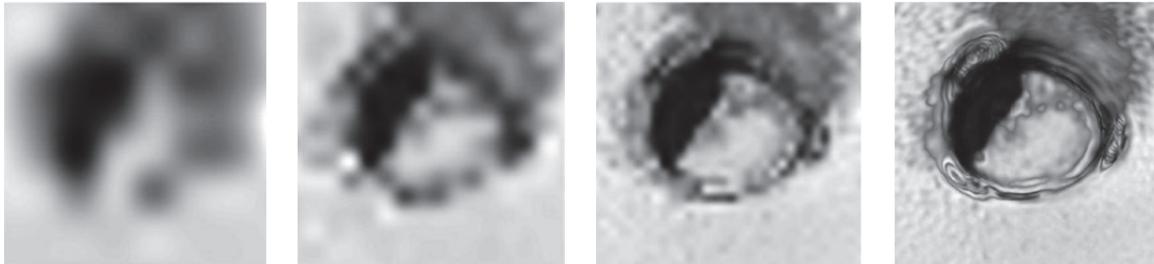


Abbildung 14: Verschiedene Auflösungen von C-Bildern, abhängig von der Anzahl der verwendeten Elemente (von links nach rechts: 8×8 (Tessonics), 16×16 , 32×32 , 500×500 Pixel (Referenz)). Die Prüffrequenz beträgt 20 MHz.

4. Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurde ein kommerzielles US-Gerät RSWA von der Firma Tessonics Inc. (Kanada) zur Prüfung von Punktschweißungen evaluiert. Als Labor-Referenzverfahren diente eine Ultraschallmikroskop Typ Evolution II der Firma PVA TePla (Deutschland). Um den Einfluss der Elementanzahl des RSWA-Matrixprüfkopfes zu untersuchen, wurde ein Algorithmus entwickelt, mit dem auf Basis der hochauflösten SAM-Daten die Schweißpunktprüfung mit reduzierter Elementanzahl simuliert werden kann.

Allgemein können in den SAM-A-Bildern einer Punktschweißverbindung sowohl die einzelnen Fügepartner, als auch die Schweißung selbst anhand der Echopositionen und Amplituden detektiert und bewertet werden. Um die gesamte Punktschweißverbindung zu beurteilen, werden B- und C-Bilder generiert. Sie bieten unterschiedliche Querschnittsdarstellungen des untersuchten Volumens der Probe. Die Punktschweißverbindungen sind mit dem SAM sehr gut auflösbar. Es können unter anderem auch Klebschweißungen und Fehlstellen, wie z.B. Lunker innerhalb der Schweißlinse detektiert werden.

Das kommerzielle US-Gerät RSWA von Tessonics Inc. stellt einen durchaus tragbaren Kompromiss zwischen Auflösung und Gerätekosten dar. Infolge des begrenzten Informationsgehaltes, verursacht durch die derzeit nur geringe Elementanzahl des Matrixkopfes, ist die Schweißverbindung allerdings nur grob auflösbar. Die harte Vorlaufstrecke des RSWA-Prüfkopfes kann bei Messungen zudem zu Verkippungen führen, wenn stärkere Oberflächenunebenheiten vorhanden sind. In diesem Fall ist die Ankopplung des Prüfkopfes zum Teil schwierig und die Reproduzierbarkeit der Prüfung begrenzt. Der Vergleich von RSWA- und SAM-C-Bildern zeigt im Ergebnis, dass für eine hohe und konstante Bildqualität ein Matrixarray mit mindestens 14×14 Elementen erforderlich wäre. Für eine verbesserte Ankopplung könnten speziell angepasste Gelkissen sowie software- und hardwareseitige Maßnahmen gegen Verkippungen ins Auge gefasst werden.

5. Ausblick

Die akustische Mikroskopie hat sich als leistungsfähiges Referenzverfahren zur Charakterisierung von Punktschweißungen mittels Ultraschall erwiesen. Somit kann das Verfahren zukünftig auch zur Untersuchung anderer Schweißnahtgeometrien und zur Optimierung verschiedener Fügeverfahren ins Auge gefasst werden.

Bei dem untersuchten Matrixprüfsystem RSWA für die fertigungsbegleitende Prüfung erscheinen sowohl hardware- als auch softwareseitige Verbesserungen möglich. Neben den bereits angesprochenen Verbesserungen auf der Sensorseite (höhere Elementzahl und bessere Ankopplung) würde ein echtes Phased Array-Prinzip mit SAFT-Bildgebung sicherlich zu einer deutlich verbesserten Bildgebung führen. Allerdings sind hierbei ggf. auch die mögliche Steigerung von Prüfdauer und Gerätekosten zu berücksichtigen.

Referenzen

- [1] DVS2916-1: *Prüfen von Widerstandspressschweißverbindungen Zerstörende Prüfung, quasistatisch*, 2009.
- [2] Matthes, Klaus-Jürgen ; Richter, Erhardt: *Schweißtechnik – Schweißen von metallischen Konstruktionswerkstoffen*. München, Wien: Fachbuchverlag Leipzig, 2008.
- [3] Maev, R. G.; Denisov, A. A.; Paille, J.M.; Shakarji, C. M.; Lawford, B. B.: *Spot Weld Analysis With 2D Ultrasonic Arrays*. In: Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology, Volume 109, Number 2, 2004.
- [4] Maev, Roman G.; Denisov, Alexey A.; Erlewein, Johann; Römmer, Holger: *Advanced Ultrasonic Imaging for Automotive Spot Weld Quality Testing*. In: 5th Pan American Conference for NDT, 2011.
- [5] DIN EN ISO 14327: *Widerstandsschweißen - Verfahren für das Bestimmen des Schweißbereichsdiagramms für das Widerstandspunkt-, Buckel- und Rollennahtschweißen*, 2004 .
- [6] DIN EN ISO 10447: *Widerstandsschweißen – Schäl-, Meißel- und Keilprüfung von Widerstandspunkt- und Buckelschweißverbindungen*, 2007.