

Robuste Ultraschallwandler für die Inspektion von Pipelines

Andreas MÜCK¹

¹ SONOTEC GmbH, Halle (Saale)

Kontakt E-Mail: Andreas.Mueck@sonotec.de

Kurzfassung. Die Ultraschallprüfung von Pipelines auf Risse und Korrosion mittels intelligenter Molche ist ein etabliertes Verfahren. Um die dabei entstehenden Kosten gering zu halten, wird eine „First Run Success Rate“ von 100 % angestrebt. Das stellt insbesondere an die Ultraschallwandler sehr hohe Anforderungen, da diese in der Pipeline zum Teil extremen Umwelteinflüssen ausgesetzt sind. Ihre Stabilität und einwandfreie Funktion ist eine Voraussetzung für eine erfolgreiche Prüfung.

Das Erreichen dieser sehr hohen Stabilität wird durch die Auswahl geeigneter Materialien und ausführlicher Tests bereits im Entwicklungsprozess berücksichtigt. Dennoch kann nicht jeder Einsatzfall betrachtet werden. Anhand individueller Tests – unter Berücksichtigung von Medium, Druck und Temperatur – sollte die Machbarkeit einer Inspektion vorab geprüft werden.

Im Vortrag wird die Vorgehensweise für solche Tests vorgestellt. Es wird erläutert, welchen möglichst realitätsnahen Bedingungen die Ultraschallprüfköpfe ausgesetzt werden. Anschließend wird beschrieben, nach welchen Kriterien die Stabilität und Integrität der Prüfköpfe bewertet wird. Beispiele aus der Praxis runden den Vortrag ab.

1. Einführung

Die Inspektion von Pipelines ist wichtig, um Schäden wie Korrosion und Risse zu erkennen, die zu Unfällen führen können. Ultraschall ist ein Prüfverfahren, welches eine präzise Aussage ermöglicht. Der Aufbau eines Prüfkopfs sowie die Qualität der Tests ist entscheidend für die Ergebnisse der anschließenden Prüfung mit Smart Pigs sowie deren Analyse.

2. Robuste Ultraschallwandler für die Inspektion von Pipelines

2.1 Applikationen: Prüfung von Pipelines

Pipelines sind ein unverzichtbarer Bestandteil der Infrastruktur unserer modernen Welt. Sie transportieren Öl, Gas und eine Vielzahl von anderen Produkten über weite Entfernungen und tragen so zur Energieversorgung und zum Wohlstand bei. Insgesamt gibt es weltweit mehr als 3 Millionen Kilometer Pipelines, und der Markt wächst weiter.

Allerdings birgt der Betrieb von Pipelines auch Risiken. Schäden wie Korrosion und Risse können zu Unfällen führen und Menschenleben gefährden. Deshalb ist es von großer Bedeutung Pipelines regelmäßig zu überprüfen, um Risiken frühzeitig zu erkennen und eine



effiziente Nutzung sicherzustellen. Hierfür kommt Ultraschall zum Einsatz, was viele Vorteile gegenüber anderen Prüfverfahren bietet, da sie eine sehr genaue Messmethode ist.

Bei der Ultraschallprüfung mit intelligenten Molchen werden die Rohre von innen zerstörungsfrei auf ihre Dichtigkeit, Stabilität und strukturelle Integrität geprüft. Dabei kommen sehr viele Prüfköpfe zum Einsatz, um ein genaues und vollständiges Bild des Rohres zu erhalten. Die Prüfköpfe sind so konzipiert, dass sie eine geringe Schwankung untereinander aufweisen und sich während des Laufs nur minimal verändern. Die Messergebnisse der Prüfköpfe sind ähnlich und machen eine genaue Bewertung der Pipeline möglich.

Einige Faktoren, wie zum Beispiel die Temperatur und der Druck in der Rohrleitung, beeinflussen das Schallfeld und die Ultraschallsignale. Sie wirken auf alle Prüfköpfe gleichermaßen und lassen sich nur bedingt kontrollieren. Andere Faktoren sind besser steuerbar. So sollen Frequenz, Empfindlichkeit und Schallfeld der Prüfköpfe an die Aufgabe angepasst und untereinander möglichst identisch sein, um genaue Messergebnisse zu erzielen.

2.2 Aufbau eines Prüfkopfs

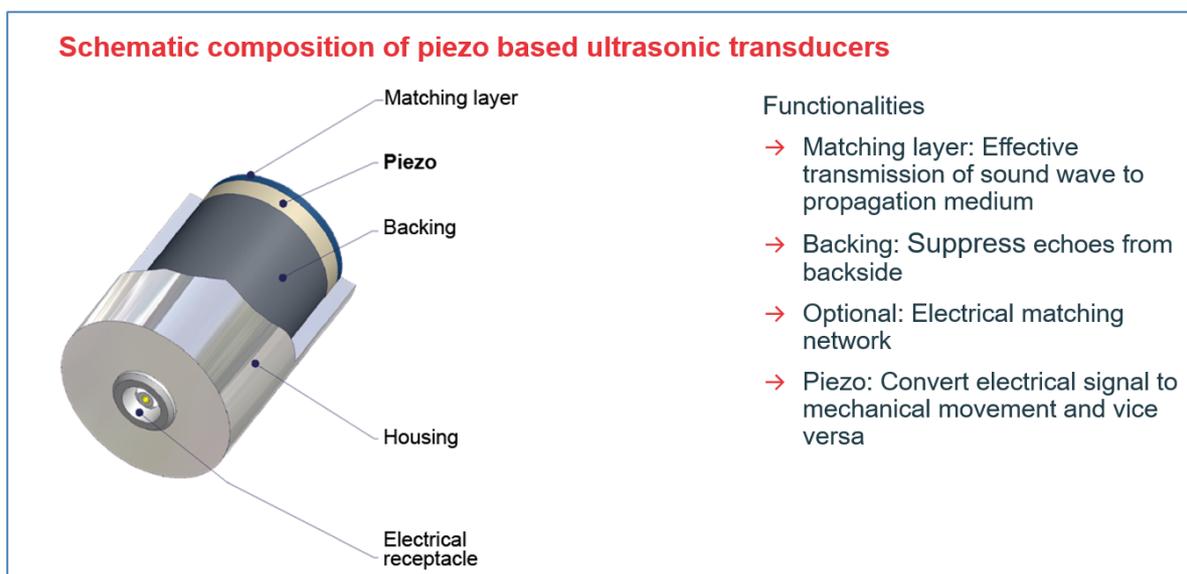


Abb. 1. Schematische Darstellung von piezobasierten Ultraschallwandlern

Der Prüfkopf ist ein wichtiger Bestandteil von Ultraschallprüfsystemen, die für die zerstörungsfreie Prüfung von Materialien verwendet werden. Er wird verwendet, um Ultraschallwellen in das Material zu senden und die reflektierten Wellen aufzufangen, um Informationen über die innere Struktur des Materials zu erhalten. Der Aufbau eines Prüfkopfs ist daher von entscheidender Bedeutung für die Qualität und Zuverlässigkeit der Prüfergebnisse.

Er besteht aus mehreren Komponenten (Abb. 1), die entsprechend den Anforderungen zu Performance und Stabilität sorgfältig ausgewählt und zusammengesetzt werden müssen. Der prinzipielle Aufbau des Prüfkopfs ist dabei sehr ähnlich.

Leider kann die Umgebung, in der der Prüfkopf eingesetzt wird, diese Stabilität gefährden:

- Eine hohe Wärmebelastung kann die Geometrie des Prüfkopfs verändern und die empfindlichen Komponenten beschädigen
- Wärme kann die Alterung von Materialien im Prüfkopf beschleunigen und die Empfindlichkeit und Zuverlässigkeit beeinträchtigen

- Reaktionen mit der Umgebung können die Stabilität des Prüfkopfs beeinträchtigen und die Materialien verändern oder zerstören
- Wärme und Chemie beeinflussen die Verbindungen zwischen den einzelnen Komponenten

2.3 Tests

Es ist essentiell, Ultraschallprüfköpfe auf ihre Eigenschaften und Stabilität hin zu testen. Die Anforderungen können je nach Einsatzgebiet sehr unterschiedlich sein und hängen von verschiedenen Faktoren ab. Einige der wichtigsten Anforderungen sind:

- Dauer der Anwendung
- Temperatur während des Transports und während des Einsatzes
- Druck in der Pipeline
- Transportmedium, welches in Kontakt mit dem Prüfkopf steht

Die Dauer hängt davon ab, wie lange ein Molchlauf sein wird und wie oft der Prüfkopf genutzt werden soll. Lebensdauertests können nur bedingt beschleunigt werden. Möglicherweise sind längere Belastungen erforderlich, um sicherzustellen, dass die Eigenschaften über den gewünschten Zeitraum stabil bleiben.

Temperaturtests sind notwendig, um sicherzustellen, dass der Prüfkopf unter verschiedenen Temperaturbedingungen ordnungsgemäß funktioniert. Das schließt sowohl den Transport als auch den Betrieb ein. Eine Schockbelastung durch einen schnellen Wechsel der Temperaturen stellt dabei eine besonders hohe Herausforderung dar.

Drucktests sind ein weiterer wichtiger Faktor bei der Prüfung von Ultraschallprüfköpfen. Eindringendes Medium darf nicht zu einer Beschädigung führen. In vielen Anwendungen dient der Prüfkopf gleichzeitig als Dichtelement, wobei Undichtigkeiten generell zu vermeiden sind. Bei Drucktests wird der Prüfkopf mit einer Haltevorrichtung in einem Autoklaven platziert und einem hohen Druck ausgesetzt. Dabei wird überprüft, ob er den Bedingungen standhält. Auch die DMA-Analyse ist ein probates Mittel, um die Wechselwirkung zwischen Medium und Schicht zu analysieren.

Verschiedene Medien haben unterschiedliche akustische Eigenschaften und wirken sich auf das resultierende Schallfeld aus. Einige Medien sind geheim oder nicht beschaffbar. Tests unter Realbedingungen sind damit unmöglich. Um die Leistung des Sensors in einem solchen Szenario zu überprüfen, müssen Tests im entsprechenden Medium simuliert werden.

Alle Formen von Tests werden zwar keine hundertprozentige Garantie zur Erzielung optimaler Ergebnisse bei der Inspektion gewährleisten. Sie erhöhen jedoch deutlich die Zuverlässigkeit.

2.4 Bewertungskriterien

Um die Qualität eines Ultraschallprüfkopfes zu bewerten, ist eine vollständige Ermittlung der akustischen Eigenschaften sinnvoll. Als Anhaltspunkt für die Vorgehensweise kann die ISO 22232-2 dienen. Dafür wird eine Ultraschall-Laborprüfanlage (Abb. 2) verwendet.



Abb. 2. Prüfanlage

Zu den relevanten Parametern gehören:

- Das HF-Echosignal (Abb. 3): Aus diesem lassen sich Empfindlichkeit, Mittenfrequenz und Bandbreite ableiten.
- Das Schallfeld, also die Schalldruckverteilung im Raum bei Anregung des Schallwandlers. Dabei befinden sich Prüfkopf und ein Kugelreflektor im Medium. Letzterer wird bewegt und das Echo positionsabhängig aufgezeichnet. Die Darstellung erfolgt in der Regel in Diagrammen, welche die Maximalamplitude farbcodiert wiedergeben (Abb. 4-5).

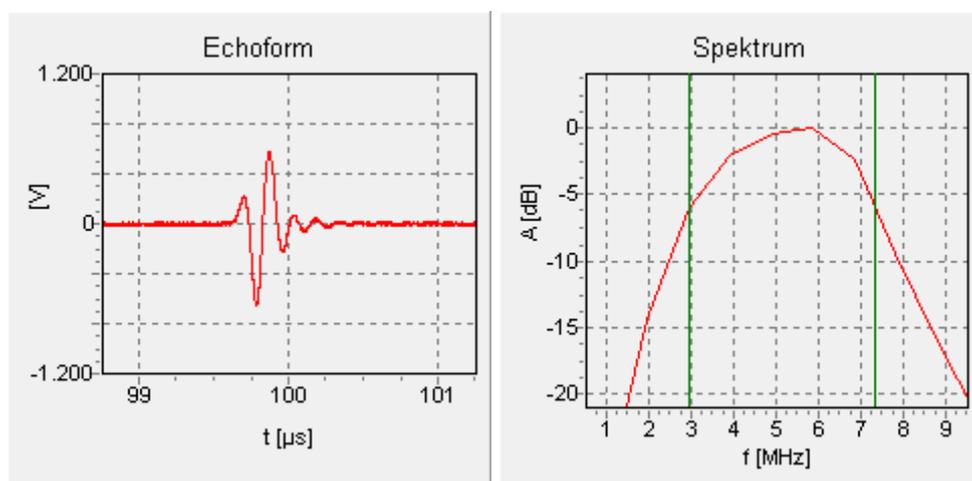


Abb. 3. Beispiel für das Echosignal und das Impulsspektrum

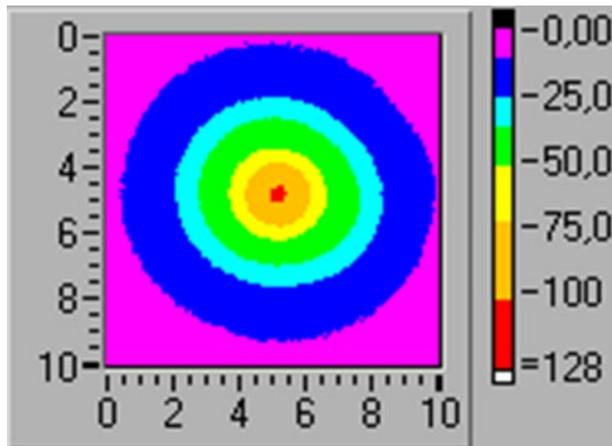


Abb. 4. Beispiel für eine axiale Schallfelddarstellung

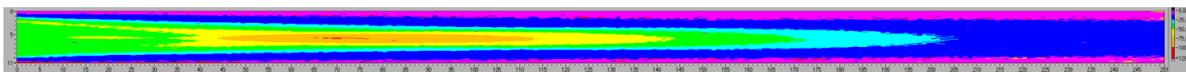


Abb. 5. Beispiel für eine laterale Schallfelddarstellung

Im Rahmen der Entwicklung neuer Prüfköpfe oder bei der Fehleranalyse werden solche Untersuchungen vollständig durchgeführt.

Für eine Serienfertigung ist das zu aufwendig, so dass in der Regel für eine 100%-Prüfung das Echosignal eines festen Reflektors in einer passenden Vorrichtung verwendet wird (Abb. 6).

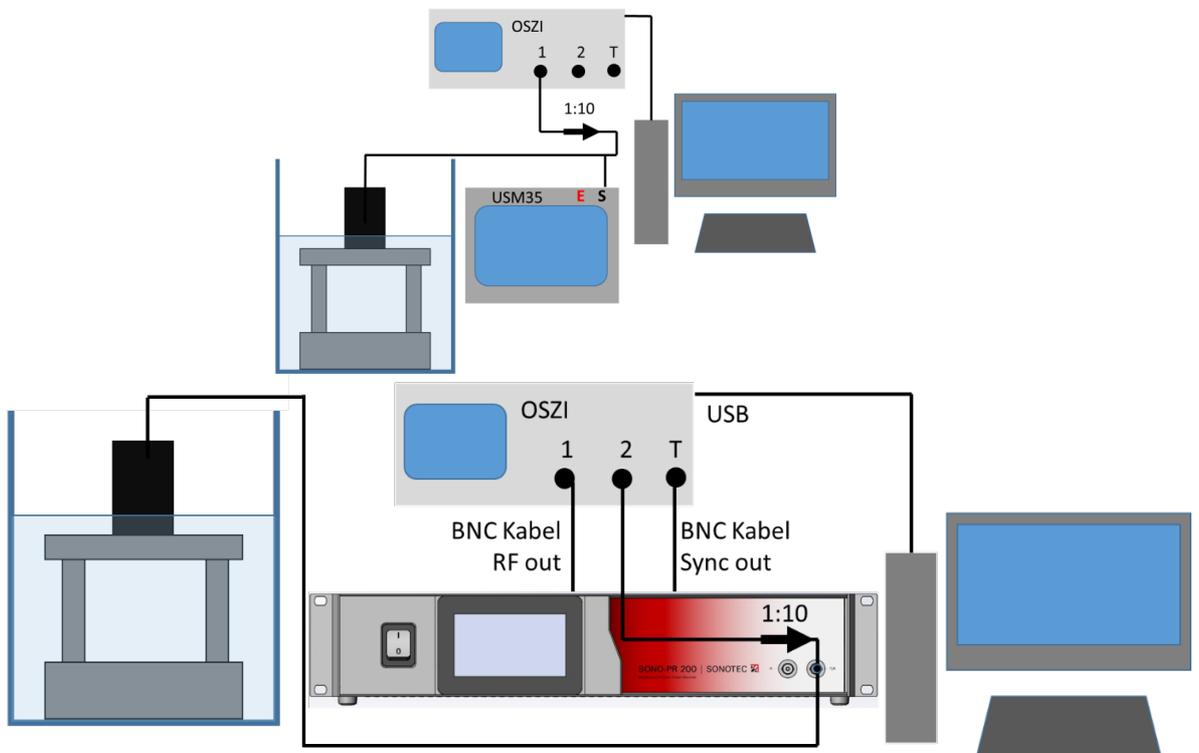


Abb. 6. Typischer Prüfaufbau einer Serienfertigung

Zusätzlich zur Ermittlung der akustischen Eigenschaften des Prüfkopfs lässt sich dieser zerstörungsfrei prüfen. Dabei wird, ebenfalls in einer Prüfanlage, dieser mit Hilfe von

hochfrequentem Ultraschall untersucht. Damit lassen sich Dimension, Parallelität und Homogenität von Schichten ermitteln. Insbesondere die Qualität der Verbindung zwischen den einzelnen Komponenten kann so untersucht werden.

2.5 Praxisbeispiel

Aufgabe war die Entwicklung eines Prüfkopfes für den dauerhaften Einsatz in Wasser. Obwohl Wasser für unser Leben essentiell ist und wir es als normal ansehen, so ist es für einen Materialwissenschaftler ein sehr komplexer Stoff.

Bei einer Risikobetrachtung wurde die Schutzschicht (Matching Layer) als kritischer Punkt eingeschätzt. Zum Erreichen optimaler Ultraschalleigenschaften werden typischerweise Epoxidharze als Material eingesetzt, da sich diese gießen und weiterverarbeiten lassen sowie robust sind. Zu klären war, inwiefern diese stabil gegenüber Wasser sind und welche Lebensdauer angenommen werden kann.

Die akustischen Parameter waren typisch für diese Applikation:

- Frequenz 5 MHz
- Relative Bandbreite 80%
- Apertur 10 mm
- Hohe Echoempfindlichkeit

Es wurden mehrere entsprechende Prüfköpfe mit unterschiedlichen Materialien aufgebaut, charakterisiert, gestresst und erneut vermessen. Zu Beurteilung der Stabilität wurden folgende Tests festgelegt:

- Lagerung in Luft, -20 °C, 4 h
- Lagerung in Wasser, 50 °C, 3d
- Lagerung in Wasser, 50 °C, weitere 7d
- Lagerung in Wasser, 50 °C, weitere 7d

Die Charakterisierung erfolgte entsprechend der vorgenannten Vorgehensweise. Die Ergebnisse sind in den folgenden Bildern (Abb. 7-11) dargestellt:

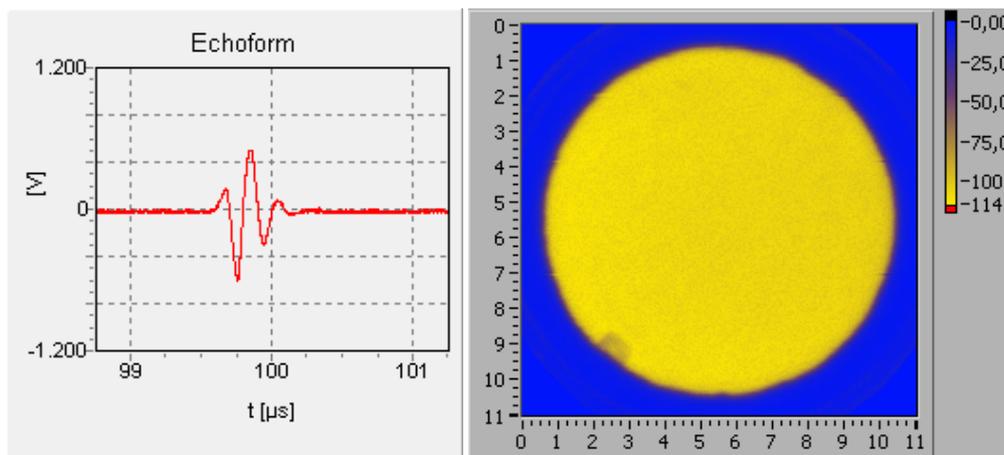


Abb. 7. Ausgangssituation, Echoimpuls und Scan der Verbindung Schutzschicht-Piezoelement

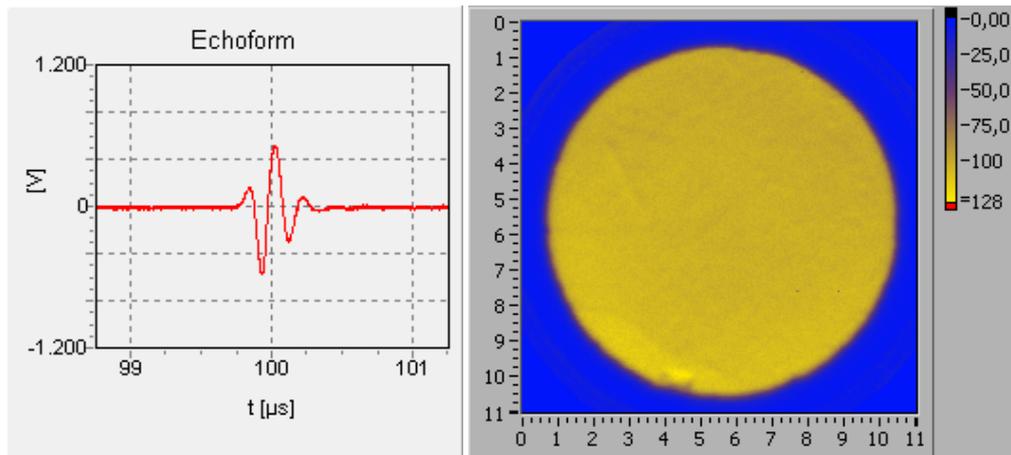


Abb. 8. Nach (a) Lagerung -20 °C

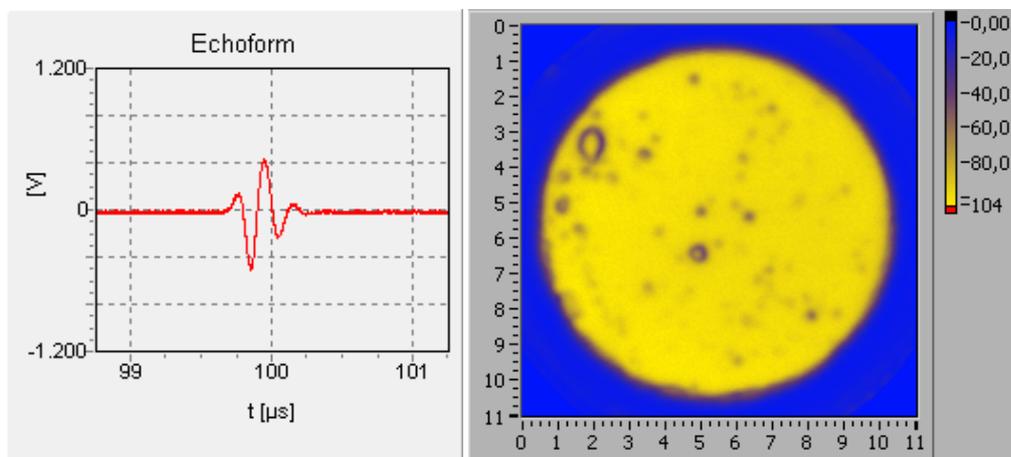


Abb. 9. Nach (b) Lagerung 3 d in Wasser

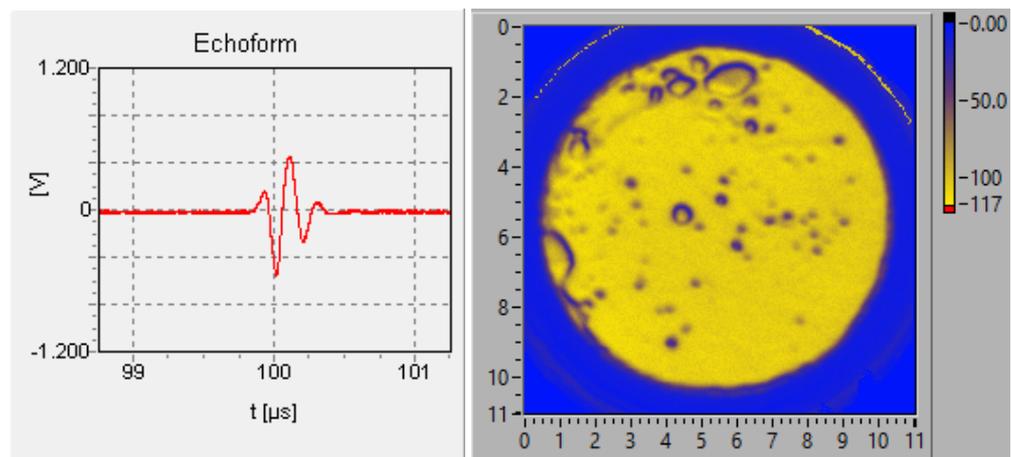


Abb. 10. Nach (c) Lagerung 10 d in Wasser

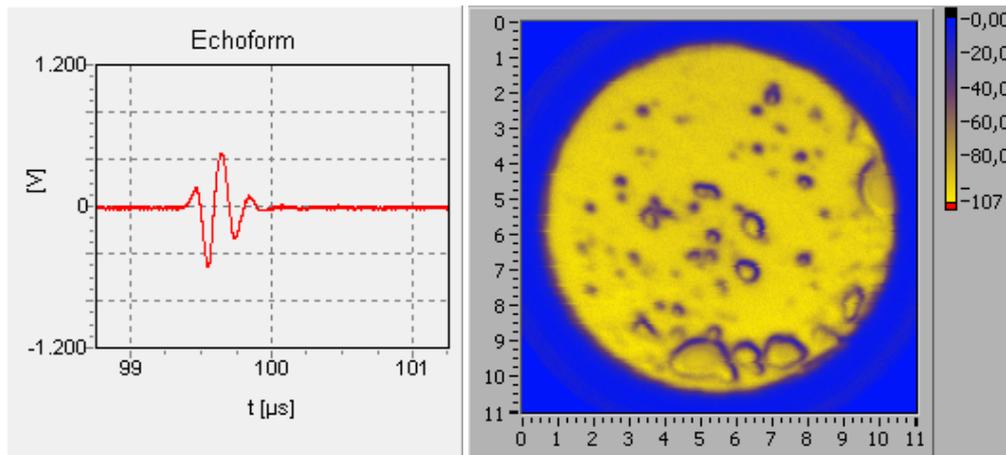


Abb. 11. Nach (d) Lagerung 17 d in Wasser

Nach Fertigstellung weist der Prüfkopf ein typisches Echosignal auf. Die Amplitude beträgt ca. -600 mV. Ein zerstörungsfreier Scan der Grenzschicht zwischen Matching Layer und Piezoelement zeigt ein sehr gleichmäßiges Bild, was auf eine parallele Schicht und ein homogenes Material schließen lässt.

Die Lagerung bei -20 °C ändert an diesem Zustand wenig. Lediglich die leichte Veränderung der Farbgebung weist auf eine Verformung aufgrund der unterschiedlichen Ausdehnungskoeffizienten hin.

Die Lagerung in Wasser führte zu einer geringfügigen Verringerung der Echoamplitude (ca. -1 dB) bei im wesentlichen identischer Signalform. Bei der Prüfung der Schutzschicht werden hingegen deutliche Veränderungen sichtbar. Aus den Informationen kann geschlossen werden, dass sich Wasser in die Schutzschicht einlagert und deren Struktur verändert. Eine Fortführung der Tests lässt ein Fortschreiten des Effekts bis hin zur Zerstörung erwarten.

Die Tests wurden auch mit anderen Materialien durchgeführt (Abb. 12). Das Ergebnis ist in Abb. 13 zu sehen. Die Veränderung der Schutzschicht ist hier gravierender. Am Rand ist bereits eine Delamination erkennbar. Die Amplitude des Echosignals hat sich bereits um 3 dB verringert. Ein solcher Prüfkopf würde eine deutlich geringere Stabilität und Lebensdauer aufweisen.

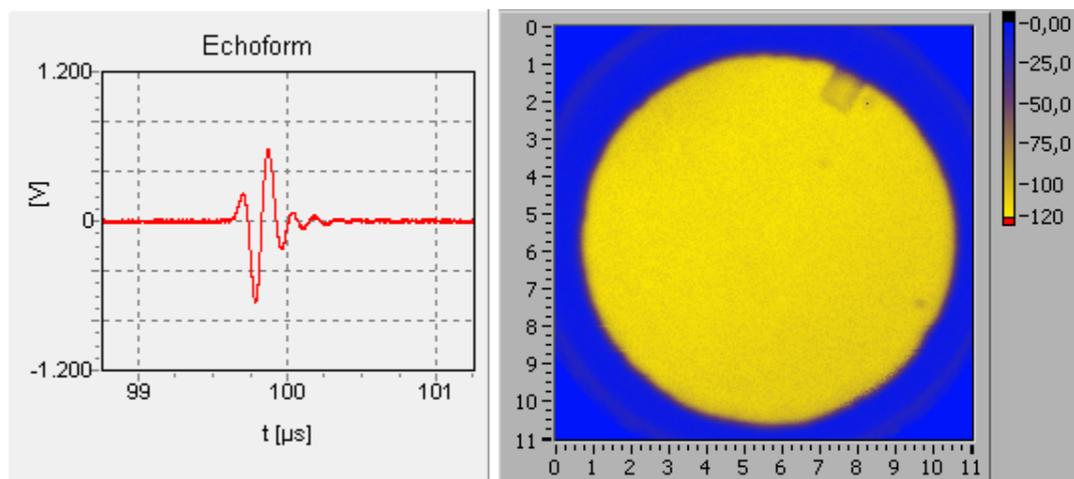


Abb. 12. Referenz mit anderem Material, vor den Tests

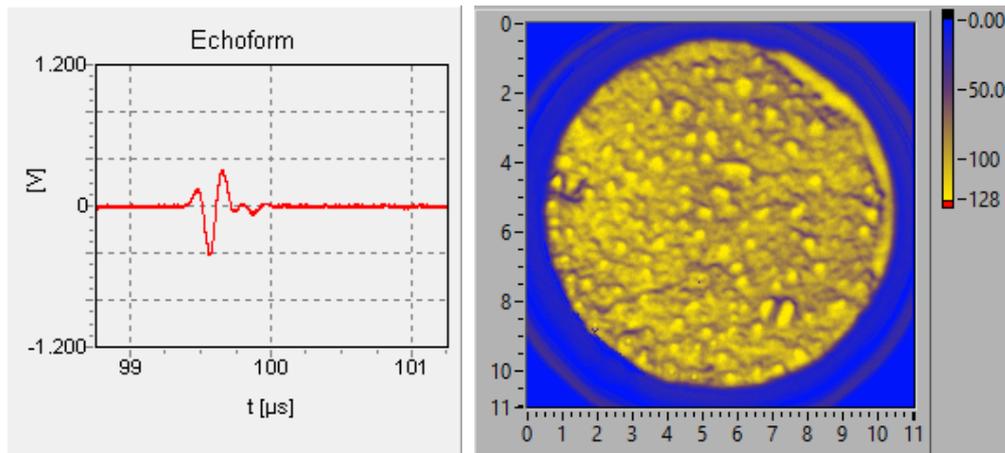


Abb.13. Referenz mit anderem Material, nach den Tests

3. Fazit

Prüfköpfe sind unverzichtbare Instrumente für die zerstörungsfreie Werkstoffprüfung. Um sicherzustellen, dass diese Prüfköpfe tatsächlich zuverlässig und korrekt funktionieren, sind regelmäßige Tests zur Überprüfung der Qualität unerlässlich. Je nach Anforderung gibt es vielfältige Untersuchungsmöglichkeiten. Sollten die Prüfköpfe keine genauen Ergebnisse liefern, ist eine Optimierung der Konstruktion möglich.