

# Bestimmung der Richtcharakteristik von fokussierenden Prüfköpfen in Tauchtechnik

Daniel KOTSCHATE<sup>1</sup>, Dirk GOHLKE<sup>1</sup>, Thomas HECKEL<sup>1</sup>  
<sup>1</sup> BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin

**Kurzfassung.** Für eine hochauflösende Untersuchung von sicherheitsrelevanten Bauteilen innerhalb der Tauchtechnik haben fokussierende Prüfköpfe eine hohe Verbreitung erlangt. Für den Einsatz moderner und komplexer Rekonstruktionsverfahren bildet jedoch die Kenntnis über Schallfeldgeometrie, insbesondere die Lage und Ausdehnung der Fokusbereiche und die Empfindlichkeit des verwendeten Prüfkopfs in Abhängigkeit zum Schallweg, eine entscheidende Rolle für die Datenrekonstruktion und die abschließende Bauteildiagnose.

Für die automatisierte Bestimmung der wichtigsten Kenngrößen (bspw. Lage und Länge des Fokuspunkts bzw. Fokusschlauchs, sowie des Schallbündeldurchmessers) wurde die Schalldruckverteilung mechanisiert, vierdimensional (x,y,z,t) vermessen und unter Einsatz der digitalen Signal- und Bildverarbeitung, ein vollautomatisches Analysewerkzeug erarbeitet. Weiterhin konnte anhand des Messdatensatzes und unter Einsatz von dreidimensionalen Rekonstruktions- und Visualisierungstechniken das Schallfeld bzw. die Schalldruckverteilung dreidimensional abgebildet werden und für etwaige Nachuntersuchungen von Simulationsergebnissen oder allein zur Visualisierung eingesetzt werden.

## Einführung

Für hochauflösende Prüfungen in Tauchtechnik finden – aufgrund der höheren Ortsauflösung – verstärkt fokussierende Prüfköpfe Einsatz. Für die anschließende Nutzung aktueller Algorithmen zur digitalen Signal- und Bildverarbeitung sowie komplexer Rekonstruktionsalgorithmen (beispielsweise Ultraschall Impuls-Echo-Tomographie oder SAFT (Synthetic Aperture Focussing Technique)), ist die Kenntnis bezüglich physikalischer und technischer Sensorkennwerte beispielsweise Lage des Fokuspunktes und Durchmesser des Schallbündels notwendig. Um die Schalldruckverteilung der eingesetzten fokussierenden Prüfköpfe messtechnisch zu erfassen, wurden in der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung entsprechende Messtechnik und Auswertalgorithmen erarbeitet und umgesetzt.

## Messaufbau

Für die messtechnische Bestimmung der Richtcharakteristik wurde die Schalldruckverteilung des zu untersuchenden Prüfkopfes vierdimensional (x,y,z,t) hochauflösend digitalisiert und als Gesamtvolumen abgelegt. Für die Erfassung der Richtcharakteristik wurde der Prüfkopf in Impuls-Echo betrieben, während ein Kugelreflektor als Untersuchungsobjekt diente. Durch den Betrieb des Prüfkopfes als Sender



und Empfänger und den Einsatz eines Kugelreflektors konnte somit die Impulsantwort des Übertragungssystems erfasst werden.

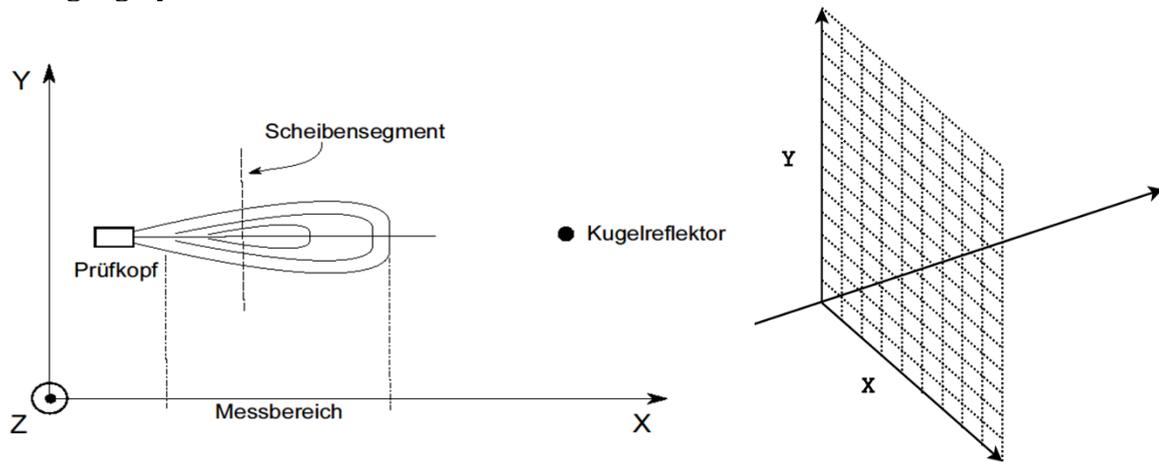


Abb. 1: Schematische Darstellung Messdatenaufnahme (links), Scheibenelement (rechts)

### Signalverarbeitung

Zur Verarbeitung der aufgenommenen Rohdaten (Abb. 2), werden die entsprechenden Schnittebenen durch Anwendung eines eindimensionalen Rangordnungsfilters (Maximalwertfilter) auf ein C-Bild pro Schnittfläche reduziert und in den dreidimensionalen Bildraum  $(x,y,z)$  überführt.

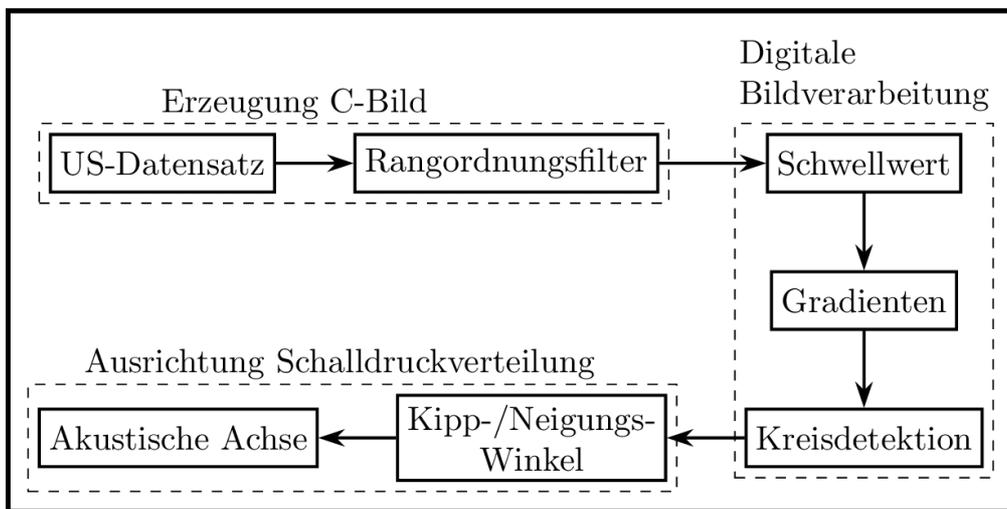


Abb. 2: Signalverarbeitungskette

Das Maximum jeder C-Bilddarstellung stellt die maximale Empfindlichkeit des Prüfkopfes bezüglich des Abstands zum Punkreflektor dar. Unter Abhängigkeit der Ortskoordinate  $z$ , des Abstandes zum Kugelreflektor - lässt sich somit die Empfindlichkeits- bzw. Echohöhenverteilung (Abb. 3) ableiten. Anhand der Echohöhenverteilung kann zur Indizierung des Fokuspunktes und Anfang bzw. Ende des Fokusschlauchs genutzt werden.

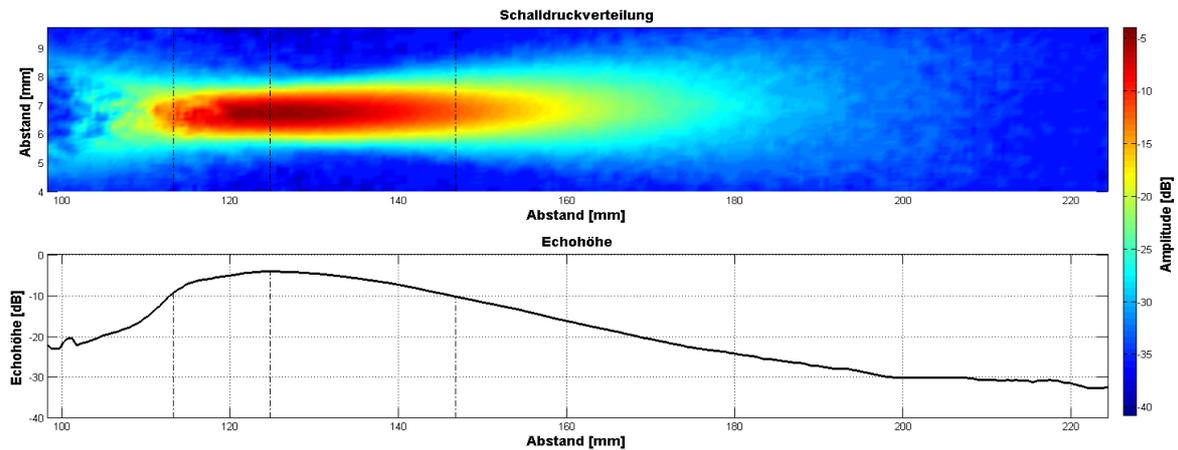


Abb. 3: Schalldruck- und Echohöhenverteilung

### Bestimmung der akustischen Achse

Um die Lages des Schallbündels innerhalb des Prüfvolumens bestimmen zu können, wurden die drei Schnittbilder (Fokuspunkt und der beiden 6 dB Abfälle, Abb. 4) bestimmt. Mit Kenntnis der Position von Fokuspunkt und der Ausdehnung des Fokusschlauchs ist es, unter Anwendung der digitalen Signal- bzw. Bildverarbeitung, möglich die räumliche Lage der akustischen Achse zu bestimmen. Dazu werden die entsprechenden C-Bild-Darstellungen zunächst durch Ausführung eines Schwellwertoperators in ein Binärbild überführt und die Kontur der Schalldruck- bzw. Echohöhenverteilung ermittelt. Da die Kontur eine Abhängigkeit bezüglich der Schwingergeometrie ausweist, wird diese durch, eine auf die Schallfeldgeometrie optimierte zweidimensionale Kantendetektion, ermittelt. Durch die erfasste Kontur ist es nun möglich die Geometrie des Schallbündels (Kantenlängen bzw. Bündeldurchmesser) und den Mittelpunkt der Verteilung zu bestimmen. Für die abgebildeten rotationssymmetrischen Schwinger wurde für die Ermittlung der Kontur eine Hough-Transformation für parametrisierte Kreise angewendet. Entsprechen die bestimmten Mittelpunkte der Position der zuvor bestimmten Maxima im Ursprungbild, ist die Lage der akustischen Achse räumlich eindeutig bestimmt und Kipp- und Neigungswinkel der untersuchten Richtcharakteristik können somit berechnet werden.

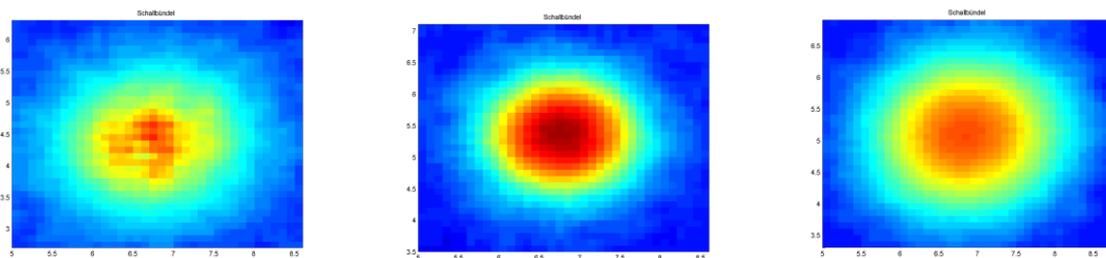


Abb. 4: hinterer 6 dB Abfall, Fokuspunkt, vorderer 6 dB Abfall

### Dreidimensionale Visualisierung der Echohöhenverteilung

Einen weiteren Vorteil der vierdimensionalen Erfassung der Richtcharakteristik, stellt neben der Darstellung in Form von zweidimensionalen Schnittebenen (xy und xz) der Schalldruckverteilung, die dreidimensionale Darstellung (Abb. 5) der aufgenommenen Schalldruckverteilung dar. Diese ermöglicht die Nutzung der gewonnen Messdaten innerhalb

von volumenhaften Simulationen, zur Validierung bestehender Simulationsergebnisse oder zur Optimierung von Abläufen innerhalb der Prüfkopffertigung.



Abb. 5: Dreidimensionale Visualisierung der Schalldruckverteilung

### **Fazit**

Es konnten die Vorzüge der vierdimensionalen Messdatenaufnahme zur Bestimmung der räumlichen Richtcharakteristik dargestellt werden. Diese stellt insbesondere für die Validierung von stetig komplexen Simulations- und Rekonstruktionstechniken sowie für die Qualitätssicherung innerhalb von hochautomatisierten Prüfsystemen, eine effektive, vollautomatisierte Möglichkeit zur Charakterisierung der eingesetzten Ultraschallsensoren dar. Durch die realisierte Offline-Messdatenauswertung und durch die Datenaufnahme in HF-Darstellung ableitbare Prüfkopfgrößen wie beispielsweise die Mittenfrequenz und die Bandbreite des untersuchten Prüfkopfes sind dabei auch nachträglich möglich, was die Flexibilität des vorgestellten Ansatzes zur Bestimmung der Richtcharakteristik nochmals verdeutlicht.