

# Scannende Prüfung auf Außenkorrosion an Rohrleitungen mittels umlaufender geführter Wellen

Frank NIESE, Hans-Jürgen SALZBURGER, Fraunhofer IZFP, Saarbrücken  
Jürgen ZENNER, ZWP Anlagenrevision, Beckingen

**Kurzfassung.** Im folgenden Beitrag wird ein Verfahren vorgestellt, bei dem eine in der Rohrwand umlaufende Ultraschallwelle genutzt wird, um den nicht zugänglichen Bereich des Rohres am Auflager zu erfassen. Hierzu wird die Ultraschallwelle im Scheitelpunkt des Rohres gesendet und mittels eines separaten Empfängers als direktes Signal wie auch als Signale nach 1-2 Umläufen detektiert. Die eingesetzte Ultraschallwelle ist eine geführte Lamb'sche Plattenwelle, deren Geschwindigkeit von der Dicke der Rohrwand abhängt. Trifft ein Ultraschallwellenzug auf seinem Weg in der Rohrwand auf einen wanddickenreduzierten Bereich, kommt es zu Amplitudenreduktion und Phasenverschiebung des Transmissionsignals. Diese Signaländerungen können als Indikatoren einer Korrosionsstelle in der Rohrwand genutzt werden.

## Einführung

Rohrleitungen in chemischen und petrochemischen Anlagen sind an vielen Stellen durch Träger, Manschetten und Rohrbrücken gehalten und abgestützt. An diesen Auflagestellen kann die dort oft vorhandene Feuchtigkeit zum Korrodieren der Rohrwand führen. Das Erkennen des Korrosions-Befalls an solchen Auflagestellen ist schwierig, da diese weder direkt sichtbar noch zugänglich sind.

Die Überwachung des Korrosionsbefalls ist jedoch aus Sicherheits- und Umweltschutzgründen notwendig und vom Gesetzgeber vorgeschrieben. Die Leitungen müssen dann zum Zwecke der Inspektion angehoben werden, um den Spalt zwischen Rohrwand und Auflager z.B. mittels radiografischer Schattenaufnahme zu vermessen.

## 1 Prüfverfahren

### 1.1 Prinzip

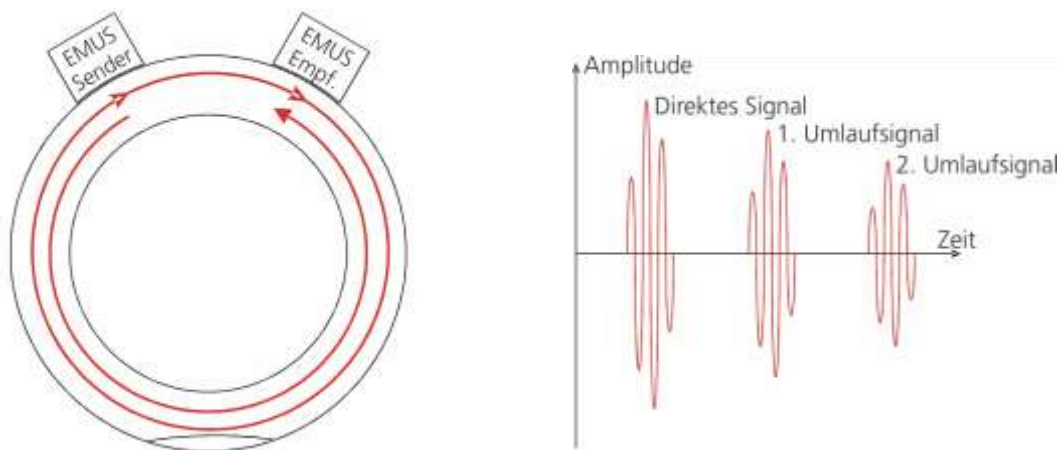
Im Bereich des oberen Scheitels eines Rohres wird mittels eines zweiseitig abstrahlenden EMUS-Prüfkopfes eine in der Rohrwand sich ausbreitende dispersive geführte Ultraschallwelle angeregt, die in Umfangsrichtung sowohl im Uhrzeigersinn als auch entgegen dem Uhrzeigersinn läuft. (Abbildung 1.1). Der Empfangsprüfkopf detektiert nach dem Sendepuls ein so genanntes „direktes Signal“, das auf dem kürzesten Weg vom Sender zum Empfänger läuft. Danach folgen die in beide Richtungen laufenden Umlaufsignale, die eine eventuelle Korrosionsstelle im Bereich der 6Uhr-Position des Rohres passiert haben und dadurch sich in Amplitude und Phase verändert haben.

Als geführte Welle wird die Lambwelle mit dem Mode  $A_0$  eingesetzt. Das Dispersionsverhalten der Lambwellen zeigt das in Abbildung 1.2 wiedergegebene Dispersionsdiagramm, welches die Abhängigkeiten der Phasen- und Gruppengeschwindigkeiten der einzelnen Moden von der Ultraschallfrequenz  $f$  und der Dicke  $d$  des Wellenleiters (ebene Platte) darstellt [1, 2]. Gemäß diesem Diagramm ändern sich Phasen- und Gruppengeschwindigkeit des betreffenden Modes bei Änderung der Dicke und/oder der Ultraschallfrequenz.

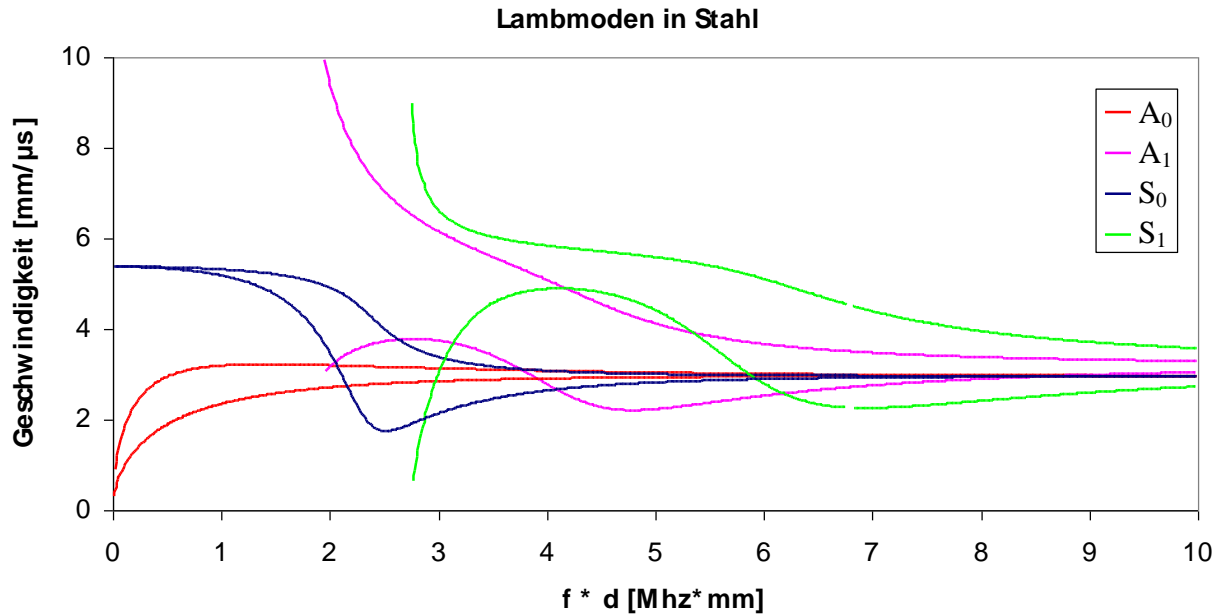
Eine lokale Wanddickenänderung, zum Beispiel durch Korrosion, führt demnach zu einer lokalen Geschwindigkeitsänderung. Dadurch werden die Phasenlage des Durchschallungssignals in diesem Bereich passierenden dispersiven Welle und auch die lokale akustische Impedanz der Rohrwand beeinflusst, die Amplitude des Transmissionssignals nimmt bei reduzierter Wanddicke ab.

Der Arbeitspunkt des auf der Dispersionskurve benutzten Wellenmodes wurde so gewählt, dass  $f \cdot d$  etwa bei  $1 \text{ MHz} \cdot \text{mm}$  liegt. An dieser Position im Dispersionsdiagramm ist die Gruppengeschwindigkeit des Modes  $A_0$  weitgehend unabhängig von der Wanddicke, die Transmissionssignale erreichen den Empfangswandler somit immer zum gleichen Zeitpunkt.

Zum Senden und Empfangen der Ultraschallwelle werden elektromagnetische Ultraschall (EMUS) Prüfköpfe eingesetzt [3, 4]. Das EMUS-Prinzip wandelt in einem elektrisch leitfähigen Material die Ultraschallwelle direkt im Material (ohne Koppelmedium), so dass diese Technik bei dünnen Farbschichten und anderen nicht leitenden Oberflächenbeschichtungen ohne ‚Ankoppel‘-Probleme eingesetzt werden kann. Außerdem sind elektromagnetische Wandler besonders geeignet zur modenselektiven Anregung und Empfang der hier eingesetzten Lambwellen. Darüber hinaus erleichtert die Koppelmittelfreiheit die scannende Prüfung an einer technischen Oberfläche mit Farb- und Schmutzschichten.



**Abbildung 1.1** schematische Prüfanordnung und schematisches Ultraschall A-Bild



**Abbildung 1.2** Lambwellen-Dispersionsdiagramm, es sind sowohl die Phasen- als auch die Gruppengeschwindigkeiten für die einzelnen Moden dargestellt. Für den A<sub>0</sub>-Mode liegt die Gruppengeschwindigkeit stets über der Phasengeschwindigkeit, für die übrigen Moden ist das immer umgekehrt.

### 1.2 Auswertung

Zur Auswertung können sowohl die Amplitude als auch die Phasenlage der Transmissionssignale herangezogen werden. Der bisher realisierte Algorithmus nutzt nur die Amplitudeninformation.

Die Auswertung erfolgt in mehreren Schritten. Zunächst werden die Amplituden der Umlaufsignale mit der Amplitude des direkten Signals in Beziehung gesetzt, so dass Ankoppelschwankungen korrigiert werden können.

Danach werden die Amplituden der Umlaufsignale invertiert. Dadurch erreicht man, dass in der Darstellung als Amplitudenortskurve wanddickenreduzierte Bereiche mit hoher Amplitude und fehlerfreie Positionen mit niedrigen Amplitudenwerten angezeigt werden.

Die Auswertung der in Uhrzeigersinn und entgegen Uhrzeigersinn laufender Ultraschallsignale führt zu redundanten Ergebnissen, die Aussagekraft der Fehleranzeigen wird dadurch erhöht.

### 1.3 Prüfsystem

Die Abbildung 1.3 zeigt das aufgebaute Prüfsystem. Am oberen Scheitel des zu untersuchenden Rohres sind die Prüfköpfe angeordnet. Mit Hilfe einer an der Leitung befestigten Führungsschiene kann das Sensorsystem entlang der 12-Uhrposition bewegt werden. Das Rohr wird dabei scheibenweise überprüft. Der Schussabstand beträgt wenige Millimeter.



**Abbildung 1.3** Prüfsystem

## 2 Mess- und Auswerte-Ergebnisse

Im folgenden Abschnitt werden die experimentellen Ergebnisse exemplarisch für zwei Rohrstücke vorgestellt und den radiografischen Befunden gegenüber gestellt.

Die zu einem Rohrstück gehörenden Ergebnisse wurden zusammengefasst und bestehen jeweils aus einer fotografischen Abbildung, dem Ultraschall B-Bild, der nach dem oben beschriebenen Verfahren berechneten Amplitudenortskurve und der Schattenaufnahme der Durchstrahlungsprüfung.

An ausgewählten Positionen der Schattenaufnahme wurden die lokalen Wanddickenwerte aus der Schwärzung ermittelt. Dabei wurde zur Auswertung jeweils der zwischen den Markierungen M und R aufgespannte Bereich herangezogen (Abbildung 2.4 und Abbildung 2.8). Durch den Vergleich der Grauwerte lassen sich auch für andere Rohrbereiche die Wanddickenreduzierungen bzw. die lokalen Restwanddicken abschätzen.

Stellt man Schattenaufnahme und Ultraschall-Amplitudenortskurve des gleichen Rohrabchnittes gegenüber, zeigt sich, dass die Bereiche, die mit der Durchstrahlungsprüfung als wanddickenreduziert erkannt werden, auch entsprechend ihrer axialen Position mit einer hohen Amplitude in der Ortskurve wiederzufinden sind. Dabei lassen sich sogar dunklere Schwärzung (das heißt geringere Restwanddicke) mit größeren Amplitudenwerten verbinden,

Eine Wanddickenreduktion kann somit anhand der Ultraschallergebnisse erkannt und in Grenzen bewertet werden, Dabei muss beachtet werden, dass die Ultraschall-Amplitudenortskurven prinzipbedingt immer eine integrale Aussage über die komplette untere Rohrhälfte über der axialen Rohrposition darstellen. Die Durchstrahlung liefert dagegen die Wanddicke an einer bestimmten Umfangsposition.

Zusätzlich stimmen bei beiden Teststücken auch die visuellen Befunde (erkennbare Korrosionsstellen) mit den Ultraschallergebnissen und den radiografischen Untersuchungen überein.

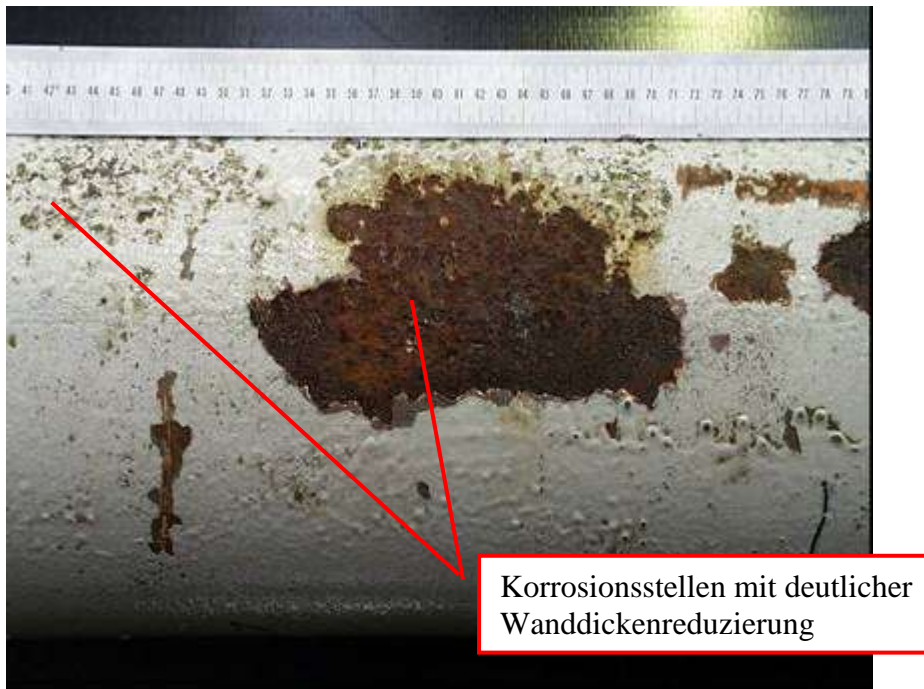


Abbildung 2.1 Rohr 1, Position 400-800mm

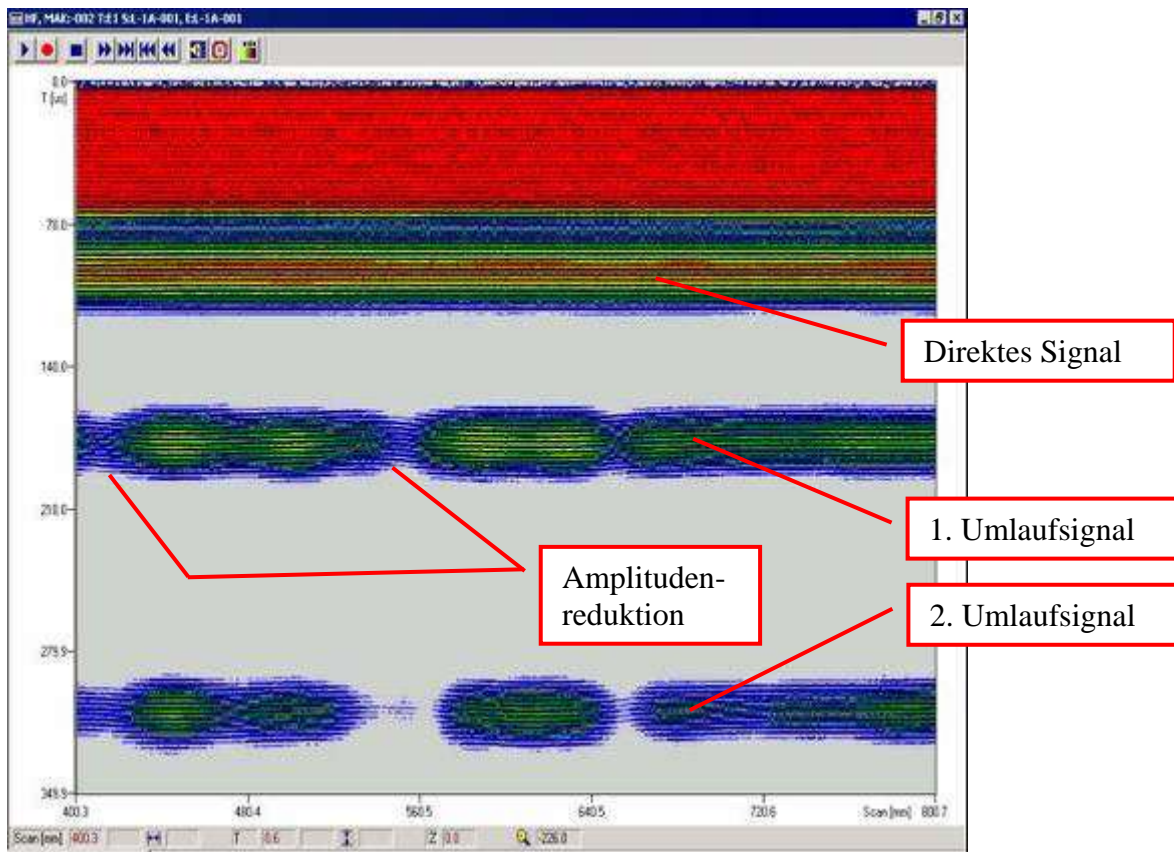
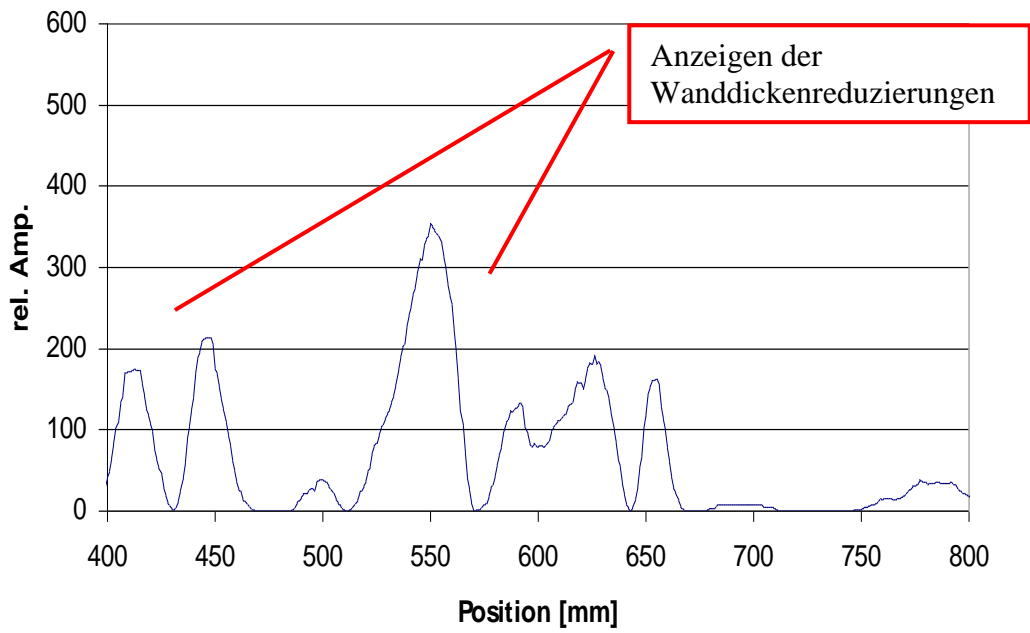
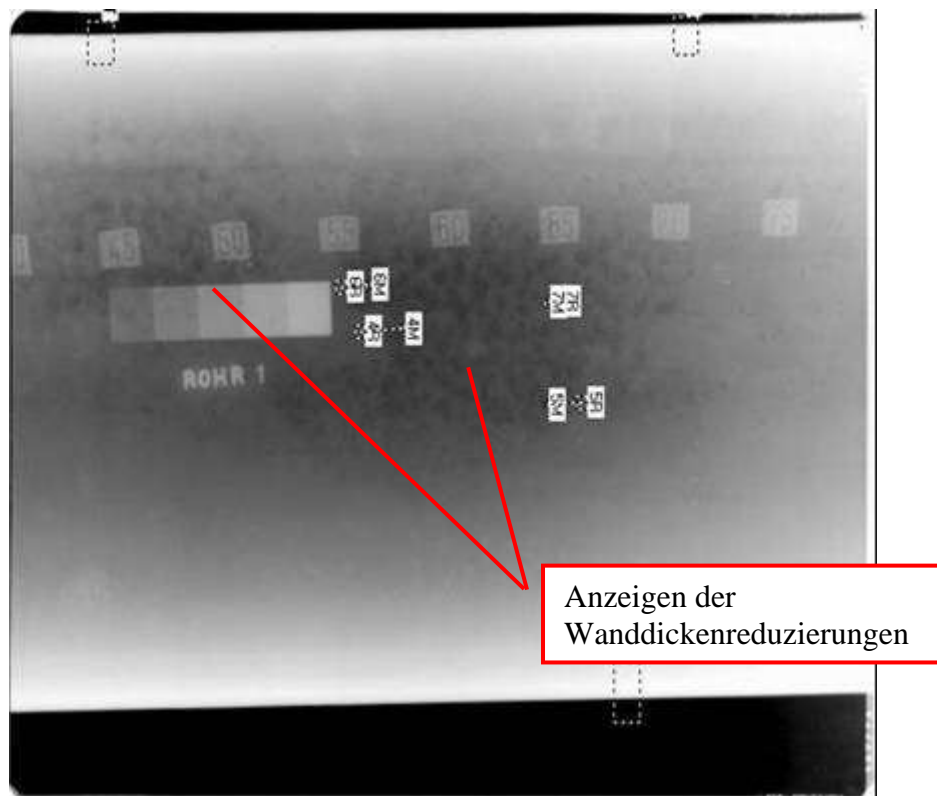


Abbildung 2.2 Rohr 1, Position 400-800mm: Ultraschall B-Bild



**Abbildung 2.3** Rohr 1, Position 400-800mm: aus den Ultraschalldaten berechnete relative Amplitudenortskurve



**Abbildung 2.4** Rohr 1, Position 400-800mm: Durchstrahlungsprüfung. Die Restwanddicke beträgt an der Pos. 4 50%, an der Pos. 5 20%, an der Pos. 6 31% und an der Pos. 7 58% der Ausgangswanddicke.



Abbildung 2.5 Rohr 2, Position 1350-1750mm

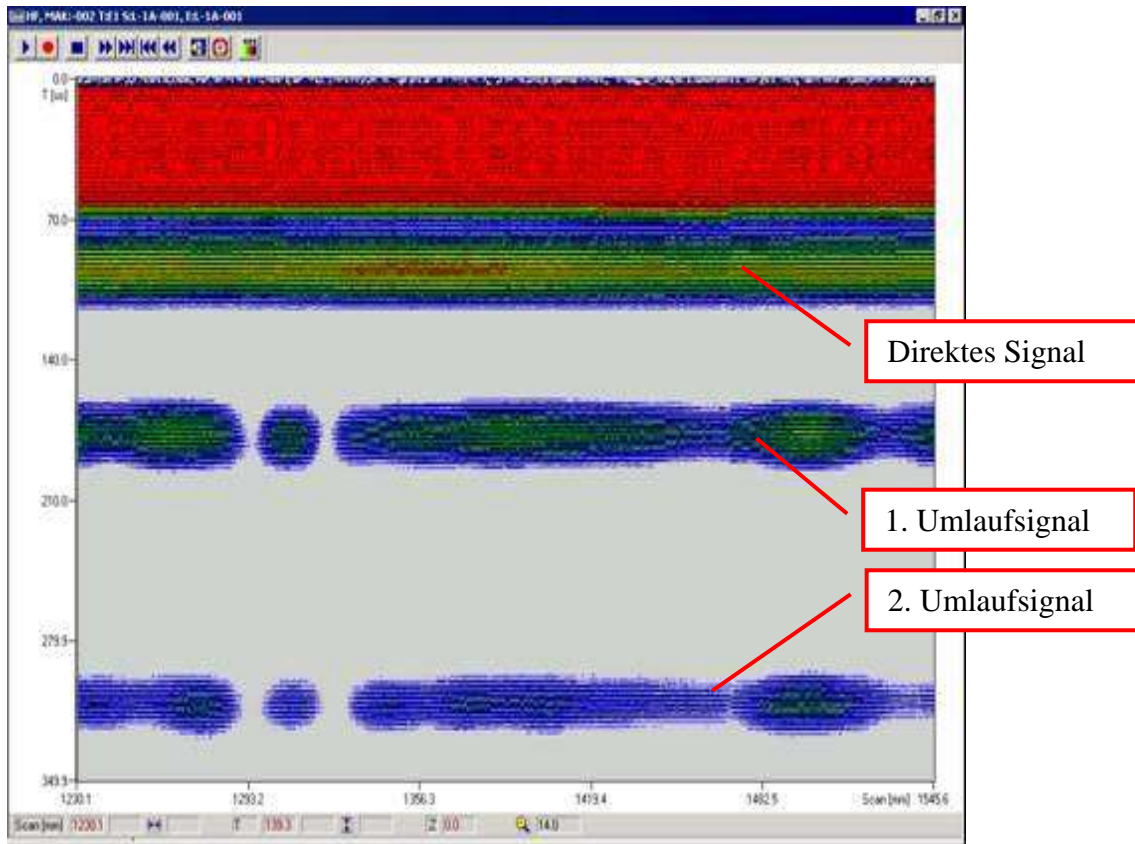
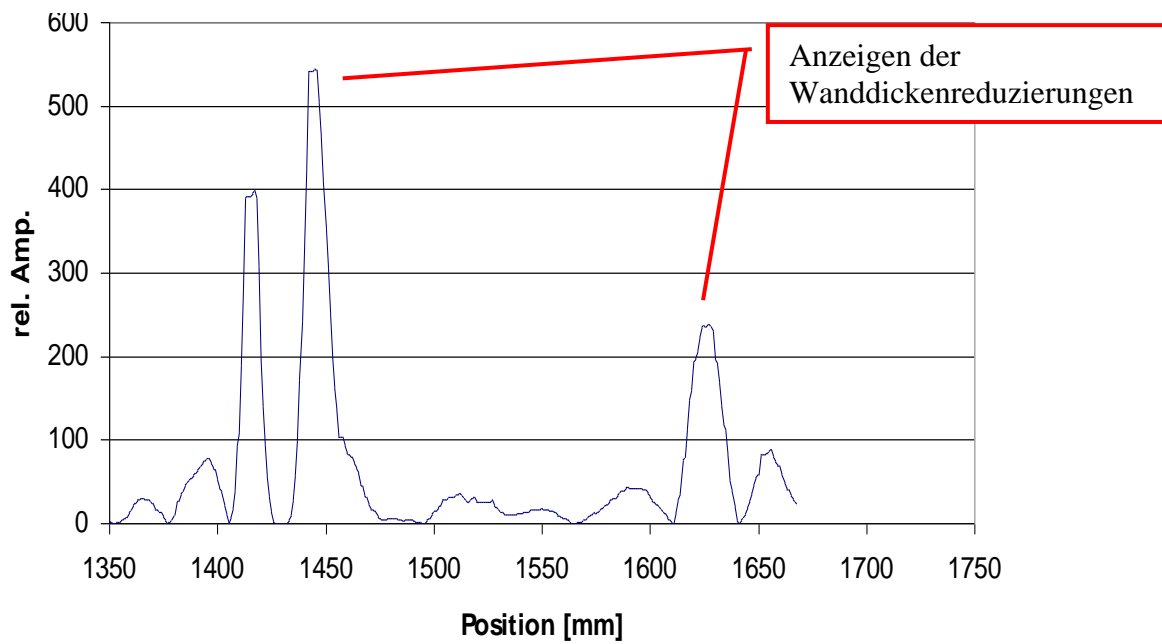
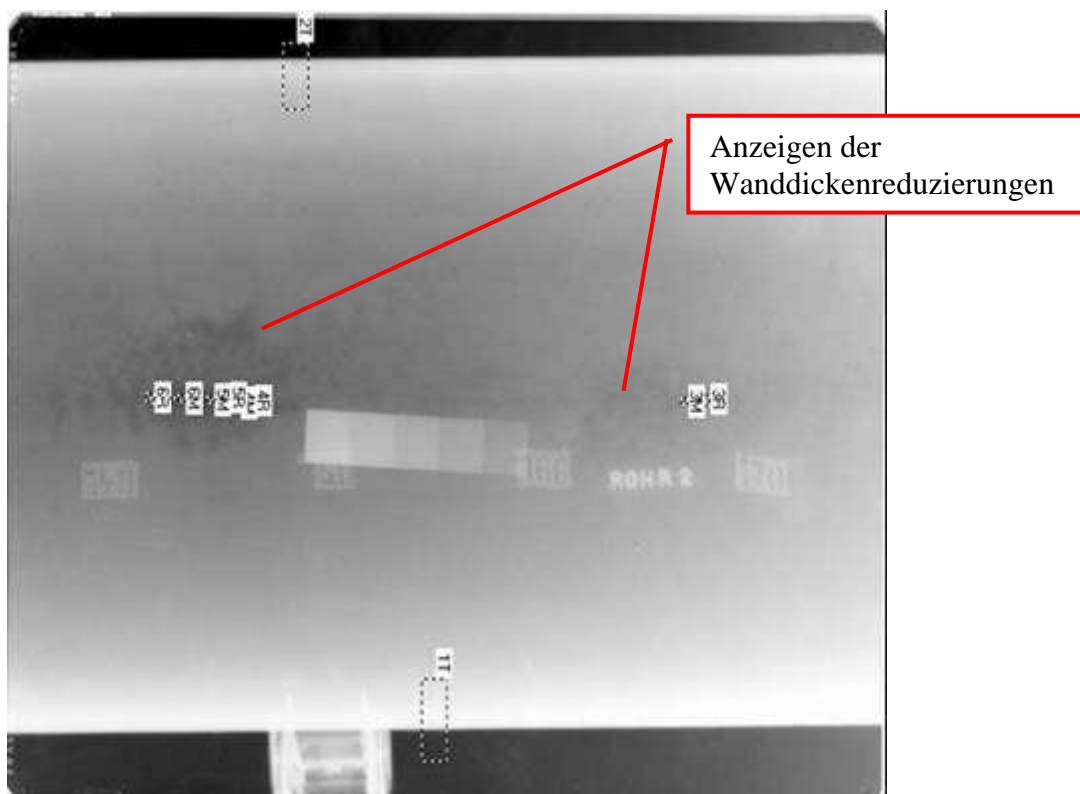


Abbildung 2.6 Rohr 2, Position 1350-1750mm: Ultraschall B-Bild



**Abbildung 2.7** Rohr 2, Position 1350-1750mm: aus den Ultraschalldaten berechnete relative Amplitudenortskurve



**Abbildung 2.8** Rohr 2, Position 1350-1750mm: Durchstrahlungsprüfung. Die Restwanddicke beträgt an der Pos. 3 40%, an der Pos. 4 58%, an der Pos. 5 56% und an der Pos. 6 24% der Ausgangswanddicke.



### **3 Zusammenfassung und Ausblick**

Es wurde ein Prüfsystem vorgestellt mit dem nicht zugängliche Bereiche am Auflager einer Rohrleitung oder im unteren Scheitel einer Rohrleitung erfasst werden können. Dazu wird eine in Umfangsrichtung laufende Lamb'sche Plattenwelle eingesetzt, deren Geschwindigkeit von der Rohrwanddicke abhängt. Eine lokale Wanddickenreduzierung führt sowohl zu einer Amplitudenreduktion als auch zu einer Phasenverschiebung des Transmissionssignals.

Die Auswertung der Transmissionsamplitude hat ergeben, dass diese Messgröße zur Detektion von Korrosionsstellen an einer Rohrleitung herangezogen werden kann. Vergleiche mit einer Durchstrahlungsprüfung (Schattenaufnahme) zeigen eine deutliche Übereinstimmung beider Verfahren.

Das System erlaubt eine schnelle, scannende Prüfung einer mehrere Meter langen Rohrleitung auf korrosionsbedingten Wandabtrag. Das Prüfverfahren ist anpassbar an unterschiedliche Rohrdurchmesser und Wanddicken.

Neben der reinen Amplitudenauswertung ist zusätzlich auch eine Auswertung der Phasenlage der Transmissionssignale möglich. Dadurch kann die Aussagekraft der Ergebnisse weiter verbessert werden.

### **4 Referenzen**

- [1] Viktorov, I. A., "Rayleigh and Lamb Waves", Plenum Press, New York, 1967
- [2] Achenbach, J. D., "Wave Propagation in Elastic Solids", North-Holland Publishing Company, Amsterdam, London, 1973
- [3] Dobbs, E. R., "Electromagnetic Generation of Ultrasonic Waves", Physical Acoustics, Vol. X, Academic Press, New York, 1973
- [4] Salzburger, H.-J., Hübschen, G., Replinger, W., „Ultraschallprüfung mit elektromagnetischen Wandlern“, Sonderdruck aus FhG-Bericht Nr. 1-84, IZFP Saarbrücken, 1984