



Sonderdruck: SD 1/53

Automatisierte Ultraschallprüfung geschweißter Rohre

Sonderdruck

QTI-Seminar bei *Schweißen & Schneiden*, Essen, September 2005

Eine Informationsschrift, zusammengestellt von

Wolfram A. Karl Deutsch, Peter Schulte, Michael Joswig, Rainer Kattwinkel

Zusammenfassung

Dieser Artikel enthält eine kurze Übersicht der automatisierten Ultraschall-Schweißnahtprüfung für verschiedene Rohrtypen. Einige Prüfschritte können auch mit mobilen Prüfgeräten durchgeführt werden (z.B. die Rohrendenprüfung), jedoch muss die Schweißnahtprüfung gemäß sämtlicher international relevanter Spezifikationen automatisiert ablaufen. Die Rohrgeometrie, das Herstellungsverfahren und die spätere Verwendung der Rohre bestimmen die Anzahl der benötigten Prüfköpfe. Aktuelle Neuerungen einiger Prüfvorschriften erfordern eine große Anzahl von Ultraschallprüfköpfen, z.B. die von SHELL. Da nahtlose Rohre hin und wieder durch HF-Rohre und UP-längsgeschweißte Rohre durch UP-spiralgeschweißte Rohre ersetzt werden (in beiden Fällen zur Kostensenkung) ändern sich die Prüfmethoden entsprechend. Jedes Prüfsystem ist einzeln und individuell angepasst entsprechend der Anforderungen in Absprache von Lieferant, Rohrersteller und Endverbraucher.

Automatisierte Ultraschallprüfung geschweißter Rohre

Dr. (USA) Wolfram A. Karl Deutsch, Dipl.-Ing. Peter Schulte, Dipl.-Ing. Michael Joswig, Dipl.-Ing. Rainer Kattwinkel, KARL DEUTSCH Prüf- und Messgerätebau GmbH + Co KG, Wuppertal, Germany

1 Einführung

In dieser Schrift werden verschiedene Anwendungsbeispiele über die automatische Prüfung von Schweißnähten beschrieben. Die höchsten Durchlaufraten sind erforderlich in Röhrenwerken, wo die Prüfsysteme Bestandteil der Fertigungslinie sind und somit die Produktionskapazität der Gesamtanlage nicht einschränken dürfen. Diese Systeme arbeiten oft im Dreischichten-Betrieb mit einer Verfügbarkeit von mehr als 90%. Aus diesem Grunde sind robuste Prüfmechaniken kombiniert mit modernen Mehrkanal-Ultraschallelektroniken erforderlich, die einen störungsfreien Betrieb in industrieller Umgebung mit zahlreichen elektro-akustischen Störquellen (Motoren, Transformatoren, Schweißgeräte usw.) ermöglichen.

2 Ultraschall-Ankoppeltechniken

Da Luft ein sehr schlechter Leiter für Ultraschall ist, wird in der Regel **Wasser für die Ultraschall-Ankopplung** verwendet. Dies bestimmt letztendlich die Gestaltung einer jeden Ultraschall-Prüfanlage. Die prinzipiellen Methoden der Ultraschallankopplung an den Prüfgegenstand während einer automatischen Prüfung werden im Folgenden beschrieben :

Prüfung in **Tauchtechnik** ist eine weit verbreitete Methode zur Stück-für-Stück-Prüfung kleinerer Objekte wie z.B. Komponenten im Automobilbau. Üblicherweise wird hierbei das gesamte Objekt in Wasser getaucht und eine Prüfeinrichtung mit den Ultraschall-Prüfköpfen wird über das Prüfobjekt hinweg bewegt. Das Abtastschema kann mehr oder weniger automatisiert werden in Abhängigkeit vom gewünschten Durchsatz und den zu prüfenden Bereichen. Der Freiheitsgrad der Prüfkopfbewegung wird hauptsächlich bestimmt durch die Geometrie des Prüfgegenstandes. In den meisten Fällen werden x-y-Abtastungen durchgeführt, die dann automatisch einen Prüfbericht erstellen in Form eines sogenannten C-Scans.

Für eine Online-Prüfung langgestreckter Profile lässt sich eine wassergefüllte Prüfkammer verwenden. Nur ein kleiner Abschnitt des Profils ist in diesem Falle in Wasser getaucht. Nur selten werden solche Tauchtechnik-Anordnungen bei der Rohrschweißnaht-Prüfung eingesetzt. Ausnahmen können HF-Rohre (widerstandsgeschweißt) mit geringem Durchmesser sein, die in Durchlaufanlagen geprüft werden. Diese Anlagen werden meist zur Prüfung nahtloser Rohre verwendet und sind in der Regel für Rohrdurchmesser bis ca. 170 mm geeignet. Wenn die Schweißnahtposition bekannt ist, kann die Tauchkammer auch teilweise mit Prüfköpfen bestückt werden. Dies wird manchmal ausgeführt zur Online-Prüfung endloser HF-Rohre unmittelbar hinter der Schweißstelle. Die hohen Temperaturen an der Rohroberfläche erschweren allerdings eine stabile Ankopplung; deswegen sind derartige Prüfanordnungen selten im Einsatz.

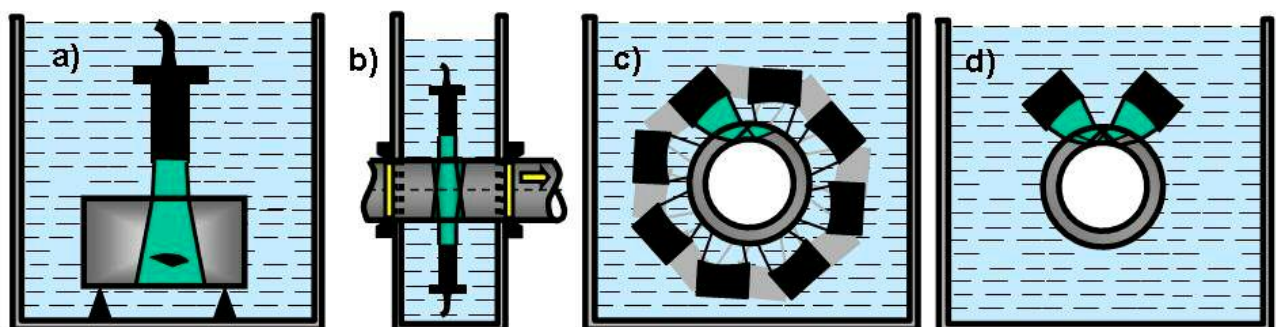


Bild 1: **Tauchtechnik-Prüfung.** a) Tauchtechnik zur Komponentenprüfung; b) HRP (Hochgeschwindigkeitsprüfung an Rund-Profilen) für Stangen und Rohre; c) HRP-Tauchtechnikprüfung von HF-geschweißten Rohren geringen Durchmessers, d) HRP-Tauchtechnikanordnung für Schweißnahtprüfung in der 12-Uhr-Position.

Bei größeren Rohrdurchmessern empfiehlt sich wegen der stärkeren Ovalität eine Prüfkopfhalterung, die an der Rohroberfläche geführt wird und damit andere Ankoppeltechniken erfordert. Dabei werden bei industrieller Anwendung hauptsächlich zwei Ankoppelmethoden benutzt. Eine dieser Ankoppeltechniken wird als **Wasserspalt-Ankopplung** bezeichnet. Dabei ist der Prüfkopf in eine Prüfkopfhalterung montiert, und der Abstand zwischen Prüfkopf-Unterseite und Rohroberfläche liegt in der Größenordnung von 0,5 mm. Die Prüfkopfhalterung wird hierbei mittels Rollen oder Gleitschuhen entlang der Rohroberfläche geführt. Bei starker Krümmung der Rohroberfläche, besonders bei geringen Rohrdurchmessern, müssen gekrümmte Gleitschuhe benutzt werden und der Wasserspalt erfordert eine sorgfältige Justierung innerhalb der Prüfkopfhalterung. Dabei bestehen einige Vorteile dieser Technik: Zweischwinger- (SE)- Prüfköpfe können benutzt werden, die geringe ungeprüfte Zonen unterhalb der Rohroberflächen ermöglichen. Zweitens lassen sich Prüfköpfe mit größeren Schwingerabmessungen verwenden, die eine breite Prüfspur pro Prüfkopf besitzen. Üblicherweise ist die Prüfspur begrenzt auf 25 mm für einen Prüfkopf, um stabile Ankoppelbedingungen zu gewährleisten und um die geforderten Fehlergrößen sicher aufzufinden. Der Verbrauch an Koppelwasser für die Spaltankopplung ist relativ gering, was die Anforderungen an das Wasser-Kreislaufsystem reduziert.

Wenn die Geometrie der Schweißnaht (Schweißnahtbreite, Rohrwanddicke) verschiedene Einschallwinkel erfordert, sind entsprechende Prüfköpfe zu installieren (mit längeren Auswechselzeiten für das Prüfsystem und mit einer großen Anzahl benötigter Prüfköpfe). Der Nachteil eines hohen Prüfkopf- und Gleitschuh-Verschleißes (insbesondere bei rauen und schwarzen Rohroberflächen), die notwendige Anzahl verschiedener Sätze von Gleitschuhen für unterschiedliche Rohrdurchmesser und Einschallwinkel, sowie die begrenzte Prüfgeschwindigkeit (typisch: 0,5 m/sec) hat zur Einführung der **Wasserstrahl-Ankopplung** (auch Squirtertechnik genannt) durch KARL DEUTSCH in den 70er Jahren geführt. Die Wasserstrahl-Ankopplung bietet eine bessere Nahfeld-Auflösung und eine längere Lebensdauer der Prüfköpfe. Ein Wasserstrahl wird mit einer Kunststoffdüse auf die Prüfteil-Oberfläche geleitet. Dabei muss der Durchmesser des Wasserstrahls groß genug sein, damit er den gesamten Ultraschallstrahl aufnehmen kann und, um ein gutes Nutz- / Störsignalverhältnis zu gewährleisten, ebenfalls frei von Luftblasen und Turbulenzen sein. Dazu werden Tauchtechnik-Prüfköpfe mit Senkrechteinschallung benutzt. Eine genügend lange Wasservorlaufstrecke (30 – 50 mm) zwischen Prüfkopf und Werkstückoberfläche leitet das Schallbündel. Zur Erreichung von Schrägeinschallung wird die gesamte Prüfkopfhalterung in Bezug auf die Werkstückoberfläche mechanisch geneigt. Diese Technik ist grundsätzlich verschleißfrei. Lediglich die Gleitschuhe oder die Führungsrollen, die die Prüfkopfhalterung auf der Rohroberfläche abstützen, müssen von Zeit zu Zeit ausgewechselt werden. Hiermit sind Prüfgeschwindigkeiten bis zu 2 m/sec möglich. Mit dieser Technik wurden bereits vor mehr als 25 Jahren von KARL DEUTSCH kompakte Halterungen zur Aufnahme mehrerer Prüfköpfe zur Prüfung von Druckflaschen entwickelt und patentiert. Weitere übliche Anwendungen der Wasserstrahl-Ankopplung sind die automatisierte Stangen- und Knüppelprüfung.

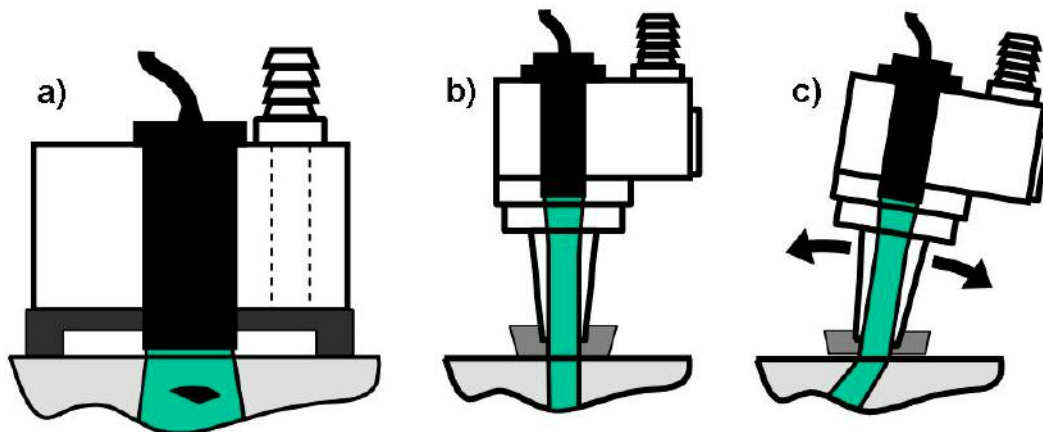


Bild 2: **Spalt- und Strahlankopplung.** a) Spalt-Ankopplung, typischerweise benutzt zur Dopplungs- und Streifenprüfung mit SE-Prüfköpfen; b) verschleißfreie Strahlankopplung mit senkrechtem Schalleintritt; c) Strahlankopplung mit schrägem Schalleintritt zur Hochgeschwindigkeits-Schweißnahtprüfung und variabler Winkeleinstellung.

Verschiedene weitere Methoden der Ultraschall-Ankopplung ohne Wasser existieren: Radprüfköpfe, elektromagnetische Schallwandler (EMAT bzw. EMUS) und Laser-Ultraschall seien als Beispiele genannt. Jede der Methoden zeigt Vor- und Nachteile. Es bleibt festzustellen, dass die Wasserankopplung bei industrieller Anwendung in den überwiegenden Fällen eingesetzt wird.

3 Übliche Prüfaufgaben bei der Ultraschallprüfung von Schweißnähten

Bei der Schweißnahtprüfung an Rohren ist der zu prüfende Querschnitt meist reduziert auf die Schweißnaht und die Wärme-Einflusszonen (WEZ) beiderseits der Naht. Der Schweißprozess ist bereits automatisiert und erfordert (nach aktueller Normung) daher ein ebenfalls automatisiertes Prüfsystem. Die allgemeinen Prüf- und Messaufgaben sind:

- Auffinden von Längsfehlern (Innenfehler, Außenfehler, Nahtmitte)
- Nachweis von Längsfehlern senkrecht zur Rohroberfläche (Tandem-Anordnung)
- Nachweis von Querfehlern (Innenfehler, Außenfehler)
- Dopplungsprüfung innerhalb der Wärme-Einflusszone (WEZ)
- Wanddickenmessung (über der Schweißnaht für HF-Rohre, in WEZ für unter Pulver (UP) geschweißte-Rohre)
- Rohrenden-Prüfung auf Dopplungen (und manchmal auch auf Längsfehler)

Jede Prüfaufgabe erfordert den passenden Einschallwinkel innerhalb eines Prüfsystems mit einer Vielzahl von elektronischen Kanälen und Prüfköpfen. **Der Gebrauch von Prüfkopfpaares zentriert auf die Mitte der Schweißnaht** gestattet das Auffinden typischer schrägliegender Fehler (Bindefehler) in der Schweißnaht und auch das Durchschallungssignal zur Überprüfung konstanter Ankopplungsbedingungen der beiden Prüfköpfe. Wenn das V-förmige Durchschallungssignal fehlt oder geschwächt erscheint, ist dies ein Zeichen dafür, dass entweder die Ankopplung, der Prüfkopf, oder das gesamte System nicht korrekt arbeitet. So wird das Durchschallungssignal konstant überwacht und gewährleistet ein stabiles Funktionieren des gesamten Systems. Falls die typischen Ultraschall-Bündeldurchmesser nicht die gesamte Wanddicke erfassen, müssen mehr als ein Prüfkopfpaar eingesetzt werden.

3.1 Prüfung auf Längsfehler

Zur Auffindung von **Längsfehlern** benötigt man etwa ein Prüfkopfpaar pro 7 - 10 mm Rohrwanddicke. Dünnwandige HF-geschweißte Rohre sind daher schon mit einem Prüfkopfpaar prüfbar. Zahlreiche Prüfsysteme benutzen zwei Prüfkopfpaares, eines für die Rohrrinnenwand und das andere für die Außenwand. Viele bekannte internationale Prüfspezifikationen können mit einer solchen Anordnung erfüllt werden. Die Testfehler sind äußere und innere längsgerichtete Nuten. Als Alternative können auch durchgehende Bohrungen, zentriert in Bezug auf die Schweißnaht, benutzt werden.

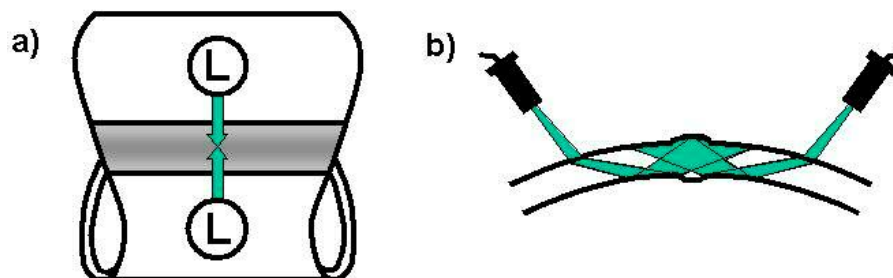


Bild 3: Nachweis von Längsfehlern. a) Draufsicht auf das Prüfkopfpaar mit Winkel-Einschallung und die Schweißnaht, b) Querschnittsansicht von Rohr und Prüfkopfpaar, hier zur Anzeige von Außenfehlern.

Dickwandige Rohre können zusätzliche Prüfköpfe zum Nachweis von **Fehlern in der Schweißnahtmitte** erforderlich machen. Bei längsgeschweißten UP-Rohren mit Wandstärken bis zu 50 mm werden bis zu 5 Prüfkopfpaares verwendet. In der Regel treten jedoch nur im Falle von HF-Rohren Längsfehler senkrecht zur Rohrwandung auf, da die Bandkanten ohne Abschrägung stumpf geschweißt werden. Dann können eine oder

mehrere **Tandem-Ebenen mit je vier Prüfköpfen** (zwei auf jeder Seite der Schweißnaht) erforderlich sein. Im Falle von UP-Rohren ist das Nahtmaterial und die Blechkante komplett verschmolzen und daher sind Bindefehler zwischen den Blechen sehr unwahrscheinlich. Die Verwendung von Tandem-Testsystemen ist in einigen Prüfpezifikationen zwar festgeschrieben, doch ihre Anwendung erscheint fraglich.

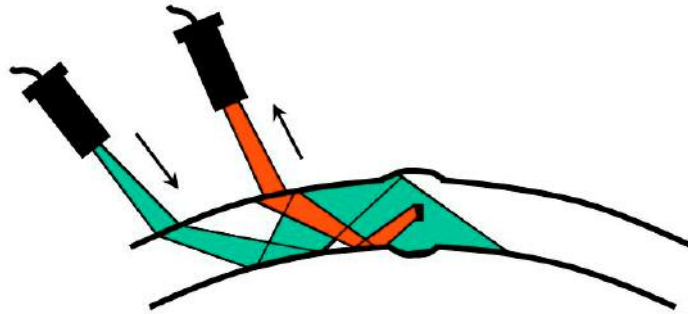


Bild 4: **Tandem-Prüfung.** Vertikal orientierte Fehler in der Schweißnaht-Mitte können mit einer Anordnung von zwei Prüfköpfen nachgewiesen werden: Ein Prüfkopf dient als Sender, der andere als Empfänger.

3.2 Prüfung auf Querfehler

Querfehler treten bei der Herstellung HF-geschweißter Rohre kaum auf. Deshalb werden derartige Rohre oft nicht auf Querfehler geprüft. Dennoch wird hin und wieder ein Prüfkopfpaar direkt auf der Schweißnaht gefahren – möglicherweise um die Prüfvorschrift eines einzelnen Kunden zu erfüllen. Diese Prüfung ist natürlich die bestmögliche Art, um Querfehler aufzufinden, da jeder Prüfkopf im Impuls-Echo-Verfahren betrieben werden kann. Im Falle von UP-Rohren können Einschlüsse oder Poren innerhalb der Schweißnaht Reflexionen in Querrichtung hervorrufen. Da die Schweißnahtüberhöhung von UP-Rohren nicht bearbeitet wird, ist die Ankopplung und Führung der Prüfköpfe schwieriger und erfordert eine ausgeklügelte Prüfmechanik.

Konventionelle Prüfsysteme für UP-Rohre benutzen die **K- oder X-Konfiguration**, bei der zwei bzw. vier Prüfköpfe in Schweißnahtnähe angebracht werden. Zwei der Prüfköpfe arbeiten in Sende-Empfangs-Anordnung, und ihr V-förmig reflektiertes Signal wird benutzt zur Erkennung von Querfehlern. Eine solche Anordnung erfordert eine perfekte Positionierung der beiden Prüfköpfe zur Schweißnaht und zudem eine recht komplizierte mechanische Justierung bezüglich der Rohrabmessungen (Wanddicke, Rohrdurchmesser).

Deshalb benutzen moderne Prüfsysteme für UP-Rohre die **Wasserstrahl-Ankopplung** direkt auf der **Schweißnaht** zur Anzeige von Querfehlern. Obwohl die Schweißnaht-Oberfläche von UP-Rohren nicht völlig glatt ist, lässt sich eine Ultraschall-Ankopplung bei geeigneter Ausführung der Prüfkopfträger erreichen. Der Einschallwinkel verbleibt immer bei 45 Grad und nur der Prüfkopf Abstand erfordert eventuell eine Justierung zur Ankopplungskontrolle (V-Durchschallung).

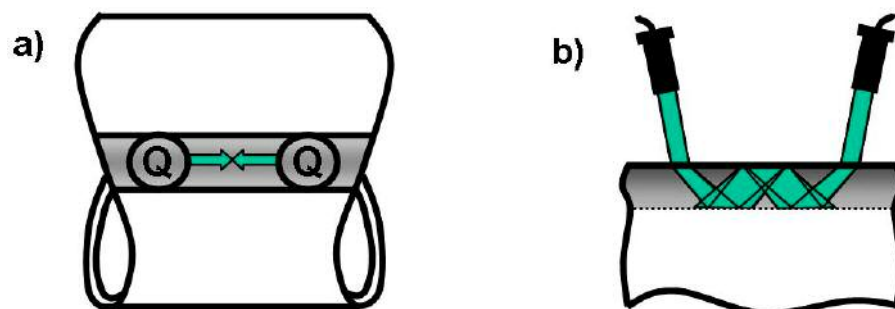


Bild 5: **Querfehler-Prüfung.** a) Draufsicht auf das Prüfkopfpaar bezüglich der Schweißnaht; b) Querschnittsansicht von Prüfkopfpaar und Rohr.

3.3 Prüfung auf Dopplungen in Wärme-Einflusszone

Außer der Schweißnaht selbst erfordert die Wärme-Einflusszone (WEZ) spezielle Aufmerksamkeit. In vielen Fällen werden vorgeprüfte Bänder oder Bleche für die Rohrherstellung benutzt. In diesem Falle kann die **Dopplungsprüfung in der WEZ** entfallen. Die meisten internationalen Prüfspezifikationen gestatten entweder eine Prüfung der Bandkanten vor der Umformung zum Rohr oder eine Dopplungsprüfung der WEZ am geschweißten Rohr. Abhängig vom Rohrtyp und der angewendeten Prüfvorschrift ist eine Spurbreite von 15 – 25 mm auf beiden Seiten der Schweißnaht zu prüfen. Bei starken Rohrkrümmungen sollten zwei Prüfköpfe pro Seite benutzt werden, um überall ein senkrechtetes Auftreffen des Schallbündels zu gewährleisten. SE-Prüfköpfe werden benutzt, um geringe ungeprüfte Bereiche unterhalb der Oberfläche zu gewährleisten. Falls hohe Prüfgeschwindigkeiten erforderlich sind, wird eine Wasserstrahl-Ankopplung mit Senkrechtprüfköpfen verwendet.

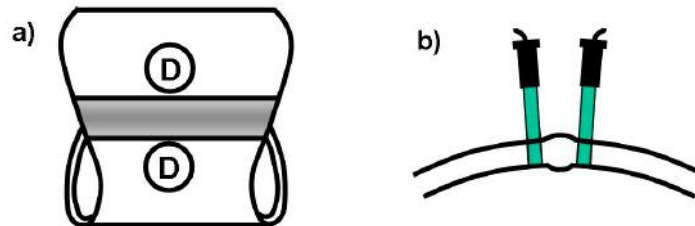


Bild 6: **Dopplungsprüfung in der Wärme-Einflusszone.** a) Draufsicht auf das Prüfkopfpaar bezüglich der Schweißnaht; b) Querschnitts-Ansicht von Prüfkopfpaar und Schweißnaht.

In Abhängigkeit vom Rohrtyp kann auch eine **Dopplungsprüfung für das Rohrvolumen** erforderlich sein (**Full-Body Test**). Wird ein HF-Rohr anstelle eines nahtlosen Rohres verwendet, wird dieses auch wie ein nahtloses Rohr geprüft (meist Prüfung auf Längsfehler). Dies wird in dieser Abhandlung nicht weiter diskutiert.

UP-längsgeschweißte Rohre für den späteren Pipeline-Gebrauch werden zumeist aus dickwandigen Blechen gefertigt, die bereits im Blechwalzwerk mit hoher Prüfichte auf Dopplungen untersucht wurden. Deshalb wird im Rohrwerk der Rohrkörper nicht nochmals mit Ultraschall untersucht.

Bei **UP-spiralgeschweißten Rohren** wird aufgewickelter Bandstahl als Ausgangsmaterial verwendet. Diese aufgewickelten Bänder sind in der Regel ungeprüft. Diese Bänder werden dann oft mit oszillierenden Prüfköpfen nach dem Schweißprozess am geformten Rohr geprüft. Eine Bandprüfung vor dem Schweißen erfolgt dagegen selten. Das Problem der Bandprüfung direkt vor dem Schweißen ist das Koppelwasser. Das Wasser muss vor Beginn des Schweißprozesses völlig entfernt werden, um diesen nicht zu stören. Begrenzter Raum an der Abwickelmaschine erschwert dieses Vorhaben.

Das Volumen **HF-geschweißter Rohre** wird entweder am Band oder am fertigen Rohr nach dem Hydrauliktest geprüft. In letzterem Fall sind schraubenförmige Prüfspuren (drehendes Rohr, linearer Prüfkopfvorschub) und eine Volumen-Abdeckung von 12,5 bis 25 % typisch. Abhängig vom erforderlichen Durchsatz wird die Anzahl der Prüfköpfe gewählt. Typische Prüfanlagen sind ausgerüstet mit 8 bis 16 SE-Prüfköpfen bei einem typischen Prüfkopf-abstand von 100 mm. Auch mit SE-Prüfköpfen sind dann Prüfgeschwindigkeiten bis zu 1,5 m/sec möglich.

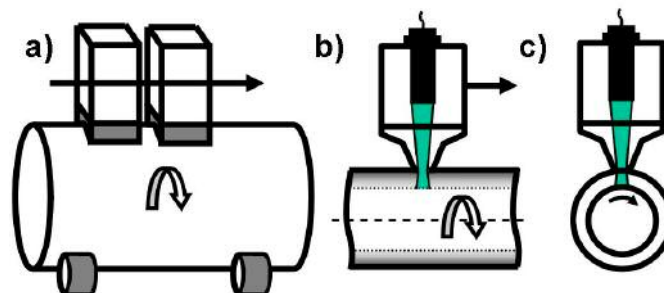


Bild 7: **Volumen- und/oder Rohrendenprüfung mit schraubenförmigen Prüfspuren.** a) Ein oder mehrere Prüfkopfhalter bewegen sich entlang des drehenden Rohres; b) Senkrechtetes Auftreffen des Schallbündels; c) Querschnittsansicht der Volumen- und/oder Rohrenden-Prüfung.

3.4 Waddicken-Messung

Die Waddickenmessung an geschweißten Rohren wird nicht so häufig angewendet wie bei nahtlosen Rohren, da sich in den meisten Fällen die Band- oder Blechdicke während des Herstellprozesses nicht ändert. Zur ständigen Überwachung des Schweißprozesses bei **HF-Rohren** wird eine oszillierende **Entgratungskontrolle** mit einer Waddickenmessung direkt nach dem Schweißprozess durchgeführt. Ein Prüfkopfhalter mit einem Senkrechtprüfkopf oszilliert über der Schweißnaht während das Rohr linear bewegt wird. Anordnungen mit Stoßwellen-Tauchtechnikprüfköpfen und Wasserstrahlankopplung werden dazu benutzt. Der Oszillationsbereich deckt die Schweißung und die anliegenden Flächen ab. Die Oszillationsfrequenz liegt in der Größenordnung von etwa 1 Hz, während sich das Endlos-Rohr mit einer Geschwindigkeit zwischen 10 und 35 m/min bewegt. Die Hauptaufgabe der Entgratungskontrolle ist die Überwachung des Entgratungs-Werkzeugs und nicht die Durchführung einer hochgenauen Waddickenmessung. Wenn die Rohrrinnenwand nicht parallel zur Rohraußenwand ist, wird gar kein Ultraschallsignal empfangen. Daher liefert diese Methode grundsätzlich eine gut/schlecht-Information zum Entgratungsvorgang.

Manchmal werden die Dopplungs-Prüfköpfe (in Wärmeeinflusszone) der Prüfanlagen für UP-geschweißte Rohre auch zur Waddickenmessung beiderseits der Schweißnaht eingesetzt.

3.5 Rohrenden-Prüfung

Die **Rohrenden** erfordern spezielle Aufmerksamkeit. Wenn die Rohre zum Transport von Fluiden (Wasser, Öl oder Gas) verwendet werden, werden sie bei Verlegung über Rundnähte miteinander verschweißt. Bei HF-Rohren ist die auf Dopplungen zu prüfende Endzone typischerweise 25 – 50 mm breit. Auch sollte der bei der automatischen Prüfung nicht erfasste Schweißnaht-Bereich (ca. 100 mm) nachgeprüft werden – entweder manuell mit einem transportablen Prüfgerät und Winkelprüfköpfen oder automatisch.

Bei UP-Rohrenden sollte die Ultraschall-Dopplungsprüfung 50 mm abdecken. Wie bei HF-Rohren muss der ungeprüfte Bereich der Schweißung mit Winkelprüfköpfen auf längsgerichtete Fehler untersucht werden. Zahlreiche Prüfspezifikationen schreiben eine zusätzliche Magnetpulverprüfung der angefasten Enden und der Schweißnaht am Rohrende vor (üblicherweise 300 mm).

Die Ultraschallprüfung der Rohrenden kann integriert werden in das gesamte Ultraschall-Schweißnaht-Prüfsystem unter Verwendung separater Prüfkopfräger. In diesem Falle werden die Prüfköpfe meistens in 12 Uhr-Position auf das rotierende Rohr aufgesetzt.

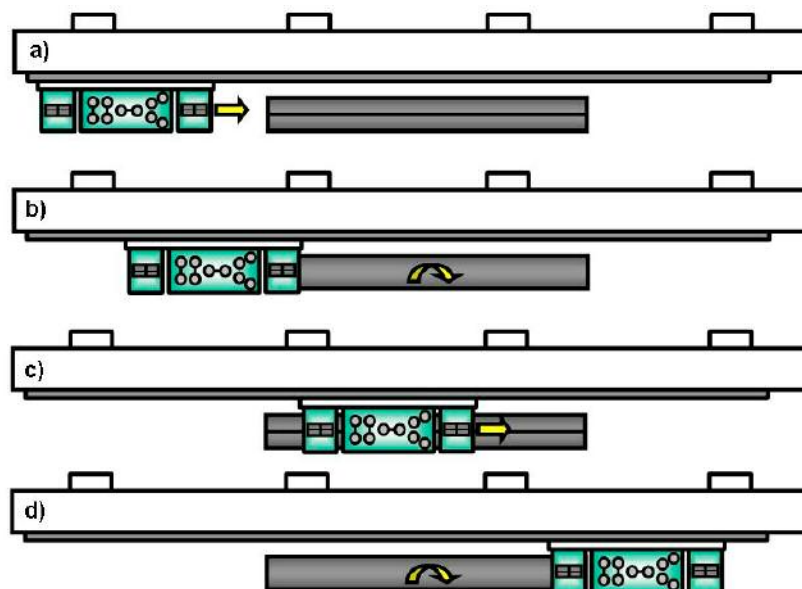


Bild 8: **Prüftraverse zur Schweißnaht- & Rohrenden-Prüfung.** a) Anfahrt des Prüftraves an das ruhende Rohr, b) Prüfung des vorderen Rohrendes unter Rotation, c) Schweißnaht-Prüfung mit Naht in 12-Uhr-Position, und d) Prüfung des hinteren Rohrendes.

Werden getrennte Rohrenden-Prüfsysteme verwendet, kann das Rohrende sowohl von der Außen- wie auch der Innenwandung geprüft werden. Eine Prüfung von der Innenseite bietet den Vorteil, dass die Prüfköpfe näher an das Rohrende bewegt werden können, da sich keine Abschrägungen an der Rohr-Innenseite befinden. Deshalb sind kürzere ungeprüfte Enden (<10 mm) möglich.

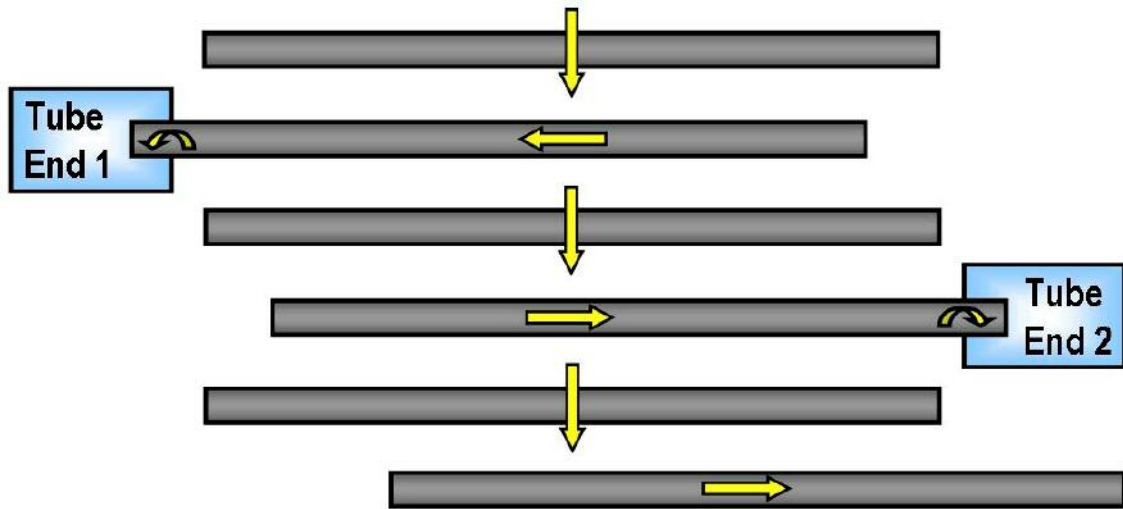


Bild 9: **Rohrenden-Prüfung.** Prinzip des Rohrtransportes bei Benutzung separater Rohrenden-Prüfsysteme.

4 Ultraschallprüfung von HF-Rohren

Die Herstellung von HF-Rohren beinhaltet verschiedene Stufen zerstörungsfreier Prüfung (ZfP). Die Anwendung der ZfP hauptsächlich enthält zwei Ziele: Erstens eine frühe Information über den Schweißvorgang als Rückkopplung für den Herstellprozess und, zweitens, die abschließende Prüfung der gefertigten Rohre.

Bis zu vier Ultraschall-Prüfsysteme sind häufig im Herstellungsprozess enthalten. Eine Bandprüfung wird benötigt, falls die Stahlbänder noch nicht vorher beim Herstellungsprozess geprüft wurden. Lineare oder oszillierende Spuren der Prüfköpfe sind dabei möglich. Die Bandkanten (üblicherweise 25 - 50 mm) werden mit separaten Prüfköpfen überwacht. Unmittelbar nach dem Schweißen wird eine erste Online-Schweißnaht-Prüfung mit Ultraschall durchgeführt. Normalerweise wird hierbei nur auf Längsfehler geprüft. In manchen Fällen kommt eine oszillierende Entgratungsprüfung hinzu. Nach dem Rohrschnitt und dem hydrostatischen Test (Druckversuch) wird dann die endgültige Prüfung durchgeführt. Hierbei kann ein Prüfkopfpaar für die Querfehlerprüfung hinzugefügt werden. Die SHELL-Prüfvorschrift schreibt bei größeren Rohrwanddicken eine zusätzliche Tandemprüfung für Längsfehler vor.

In Abhängigkeit vom erforderlichen Durchsatz und der Prüfspezifikation kann das gleiche oder ein separates Prüfsystem für die Rohrenden- und/oder Ganzkörperprüfung benutzt werden. Falls das gleiche Prüfsystem für beide Prüfungen verwendet wird, findet in der Regel ein Prüfportal mit fahrbarem Prüfswagen Anwendung. Dieses Prüfportal besitzt den Vorteil, dass die Prüfung am ruhenden Rohr erfolgt, und dass so Vibrationen vermieden werden, die die Prüfergebnisse verfälschen können. In einer zweiten Stufe wird die Prüfkopfhaltung zurückbewegt, während das Rohr rotiert. Entweder werden nur die Rohrenden geprüft, oder aber der gesamte Rohrkörper wird in schraubenförmigen Linien abgetastet. Der typische Durchsatz eines solchen kombinierten Prüfsystems ist 60 Rohre pro Stunde.

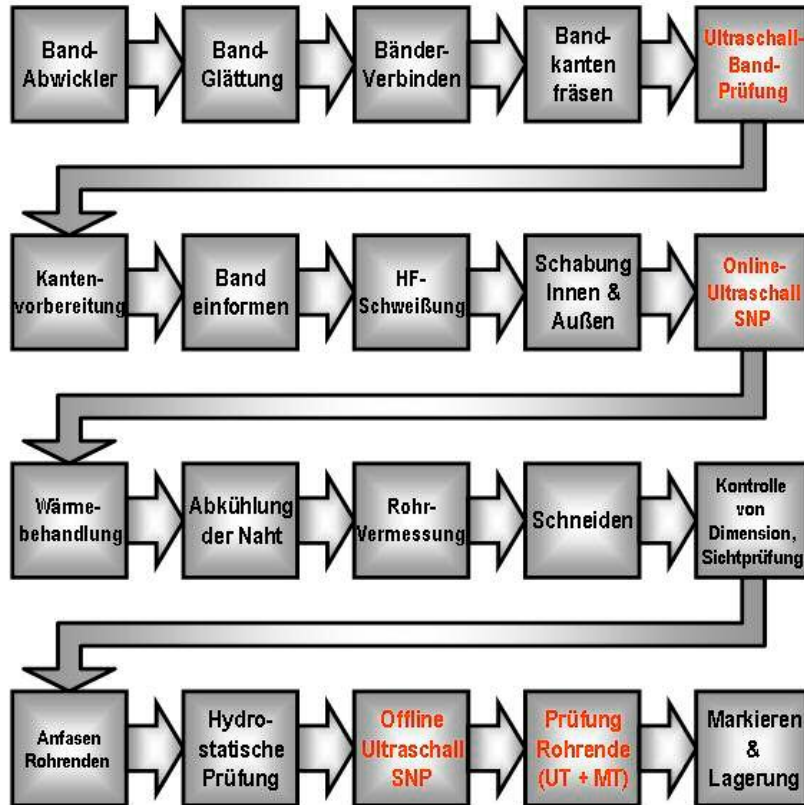


Bild 10: Beispielhafte Herstellung von HF-geschweißten Rohren.

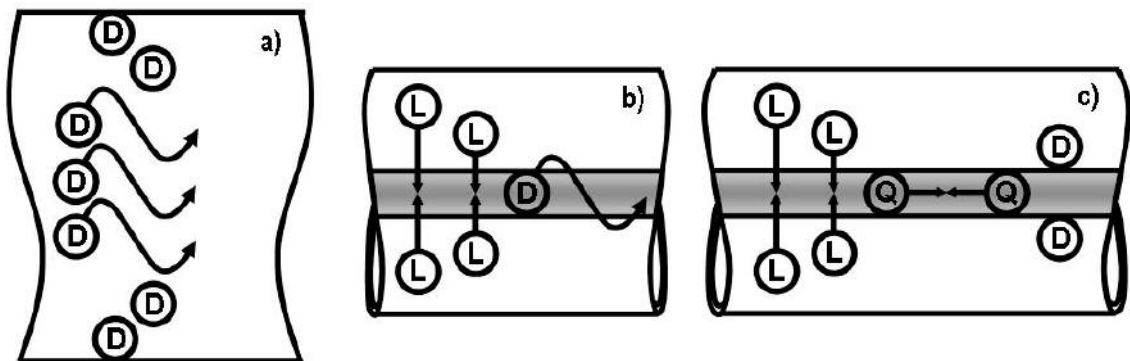


Bild 11: Typische Prüfkopf-Konfigurationen zur Prüfung von HF-Rohren. a) Bandprüfung mit Kanten-Prüfköpfen und oszillierenden Prüfköpfen für die Bandmitte, b) Online-Schweißnahtprüfung mit vier Prüfköpfen zur Längsfehlerprüfung und einem oszillierenden Prüfkopf zur Entgratungskontrolle; c) Offline-Schweißnahtprüfung mit vier Prüfköpfen zur Längsfehlerprüfung, zwei Prüfköpfe zur Querfehlerprüfung, und zwei zur Dopplungsprüfung in der Wärmeeinflusszone.

5 Ultraschallprüfung von UP-spiralgeschweißten Rohren

Spiralgeschweißte Rohre werden normalerweise im Durchmesserbereich von 350 – 2500 mm hergestellt. Sie werden verwendet für Wasserleitungen, aber auch für andere Fluide (z.B. Öl und Gas). Dabei ist der Prüfaufwand abhängig vom späteren Verwendungszweck. Im Vergleich zu längsgeschweißten UP-Rohren sind spiralgeschweißte Rohre recht einfach herzustellen, da die Breite des Bandes auch für große Rohrdurchmesserbereiche in Abhängigkeit vom Schweißwinkel verwendbar ist. Andererseits erfordert die Steuerung des Schweißkopfes und der Prüfeinheit eine sorgfältige Positionierungskontrolle und der Output ist relativ gering. Die Wandstärke ist auf 25 mm begrenzt.

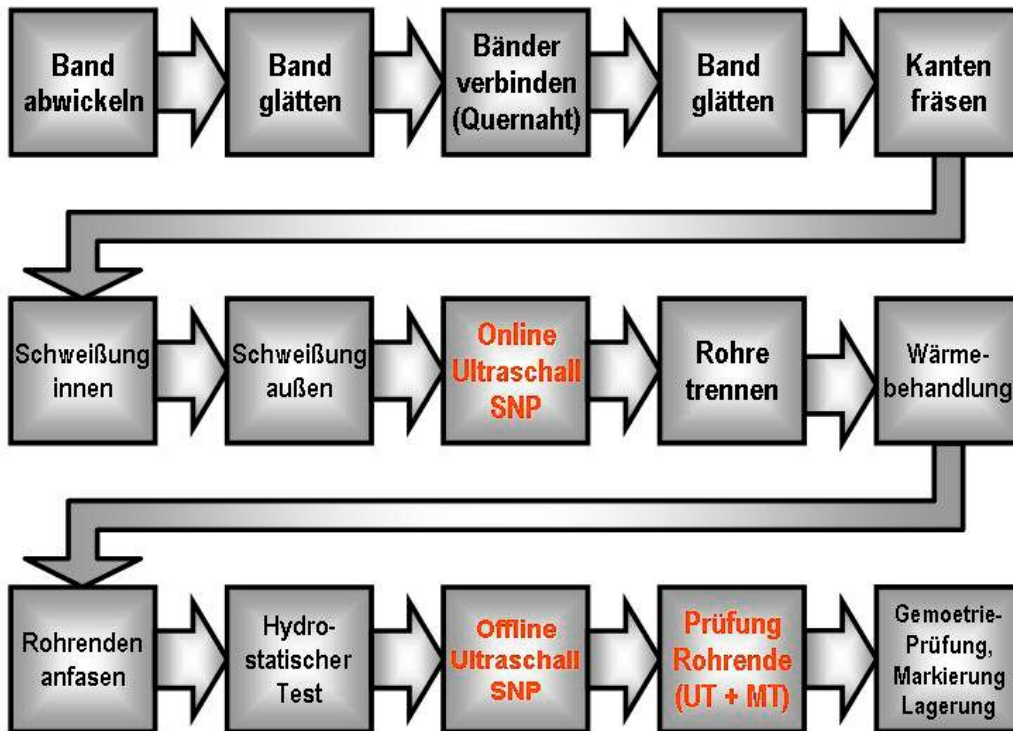


Bild 12: Beispielhafte Herstellung von UP-spiralgeschweißten Rohren.

Die erste Ultraschall-Schweißnahtprüfung wird direkt nach der Schweißung am Endlosrohr durchgeführt (online). Die Prüfköpfe sind an einem Maschinenständer angebracht, dessen Ausleger in der Höhe in Abhängigkeit vom Rohrdurchmesser einstellbar ist. Die Prüfung erfolgt in der 12-Uhr-Position. Der Motor zur Schweißnaht-Verfolgung ist am Auslegerarm montiert zur Nachführung der Prüfkopfpaaire bei Wandern der Schweißnaht. Es wird stets mit einem oder zwei Prüfkopfpaairen auf Längsfehler geprüft. Querfehlerprüfung (K-Anordnung) und Dopplungsprüfung kommen oft hinzu.

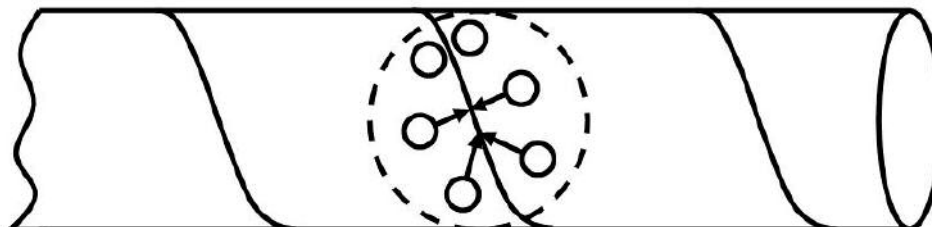


Bild 13: **Online-Ultraschallprüfung** unmittelbar nach der Schweißung mit sechs Prüfköpfen (2 für Längsfehler, 2 für Querfehler, 2 für Dopplungen).

Nach dem Auseinanderschneiden der Rohre wird eine weitere Prüfung offline durchgeführt. Dabei ist die Anzahl der Prüfköpfe gleich oder größer als bei der ersten Prüfung, da diese Prüfung maßgebend ist für den Endkunden der Rohre. Da die Prüfmechanik auch in Abhängigkeit vom Schweißwinkel justierbar sein muss, ist der Raum ziemlich begrenzt, und für mehr als vier Prüfebene wird eine weitere Schweißnahtprüfmechanik und ein zweiter Maschinenständer benötigt. Längsfehler-Prüfköpfe, manchmal Tandemprüfköpfe, Querfehler- und Dopplungsprüfköpfe sind erforderlich. Da Wasser kritisch für den Schweißprozess ist, wird die Bandprüfung oft nach dem hydrostatischen Test durchgeführt. Um den Abtastbereich eines jeden Prüfkopfes zu erhöhen, sind oszillierende Prüfkopfbewegungen üblich. Die Schweißnaht- und Bandprüfung erfordert einen möglichst vibrationsarmen Spiraltransport des Rohres bezüglich der Prüfköpfe, so dass die Nahtverfolgung eine wichtige und schwierige Aufgabe ist.

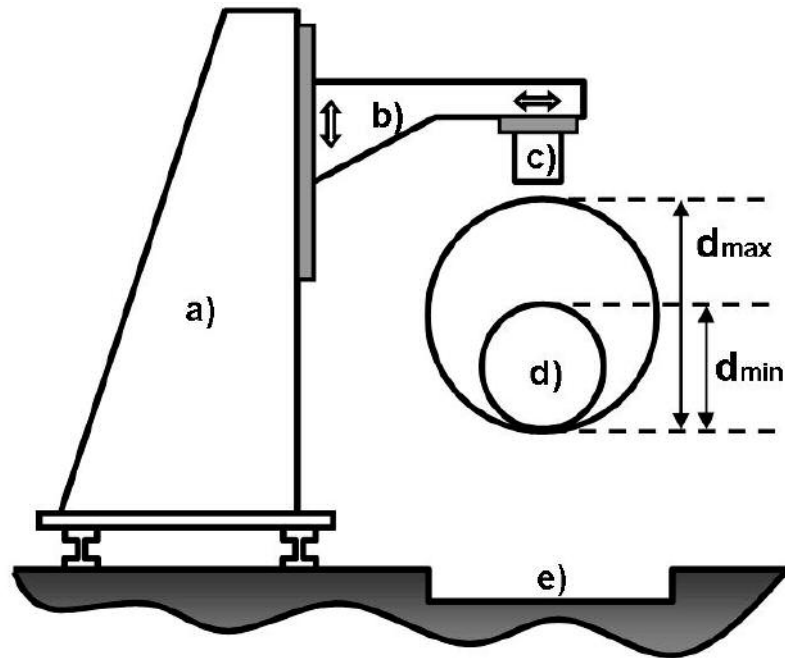


Bild 14: **Prüfmechanik für UP-spiralgeschweißte Rohre.** a) Maschinenständer; b) Ausleger mit vertikaler Einstellmöglichkeit; c) Prüfkopfhalterungen mit horizontaler Positionseinstellung; d) UP-spiralgeschweißtes Rohr; e) Fundament mit Wasser-Auffangbecken (geschlossener Wasserkreislauf).

Die Rohrendenprüfung kann in der gleichen Anordnung durchgeführt werden und erfordert eine Umdrehung für jedes Rohrende. Die Prüfkopfhalterungen werden üblicherweise mit Rollen auf dem Rohrende abgestützt, um kurze ungeprüfte Enden zu gewährleisten.

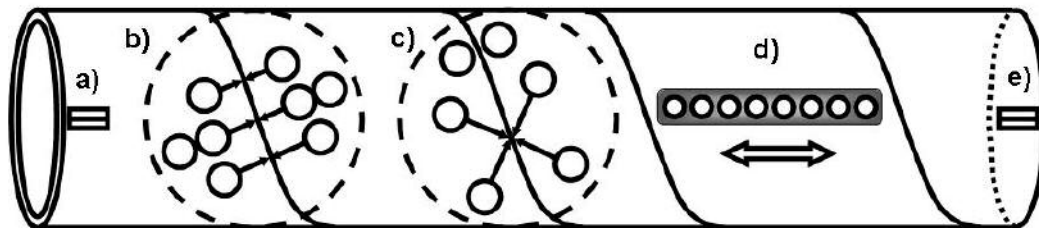


Bild 15: **Ultraschall-Offline-Prüfung mit 22 Prüfköpfen nach dem hydrostatischen Test:** a) Rohrendenprüfung links, b) Längsfehlerprüfung – innen, außen und für Nahtmitte, c) Querfehler- (X-Anordnung) und Dopplungsprüfung, d) Oszillierende Bandprüfung zwischen den Schweißnähten, und e) Rohrendenprüfung rechts.

6 Ultraschallprüfung von UP-längsgeschweißten Rohren

Die meisten UP-längsgeschweißten Rohre weisen hohe Wandstärken auf mit üblichen Außendurchmessern von 500 – 1600 mm zum Transport von Öl und Gas. Die ZfP an solchen Rohren ist relativ aufwendig. Die Herstellung solcher Rohre kann in zwei Phasen unterteilt werden – vor und nach der hydrostatischen Prüfung. Diese Prüfung ist eine wichtige Stufe im Gesamtprozess. Vorher darf das Rohr noch repariert werden, falls Fehler während des Herstellprozesses festgestellt werden. Nach der hydrostatischen Prüfung, ist eine Reparatur des fehlerhaften Rohres nicht mehr zulässig. Die ZfP auf beiden Seiten gestaltet sich weitgehend symmetrisch. Eine frühzeitige Ultraschallprüfung gibt Auskunft über die Schweißqualität. Manchmal wird die erste Ultraschallprüfung sogar mit höherer Empfindlichkeit durchgeführt als die zweite und endgültige Prüfung. Fehlerhafte Gebiete werden dann einer Röntgenprüfung unterzogen. Die gleichen Prüfverfahren werden nach der hydrostatischen Prüfung nochmals

getätigt. Letztendlich werden dann die Rohrenden auf Dopplungen getestet mit Ultraschall, Röntgenstrahlung und manchmal auch mit Magnetpulver.

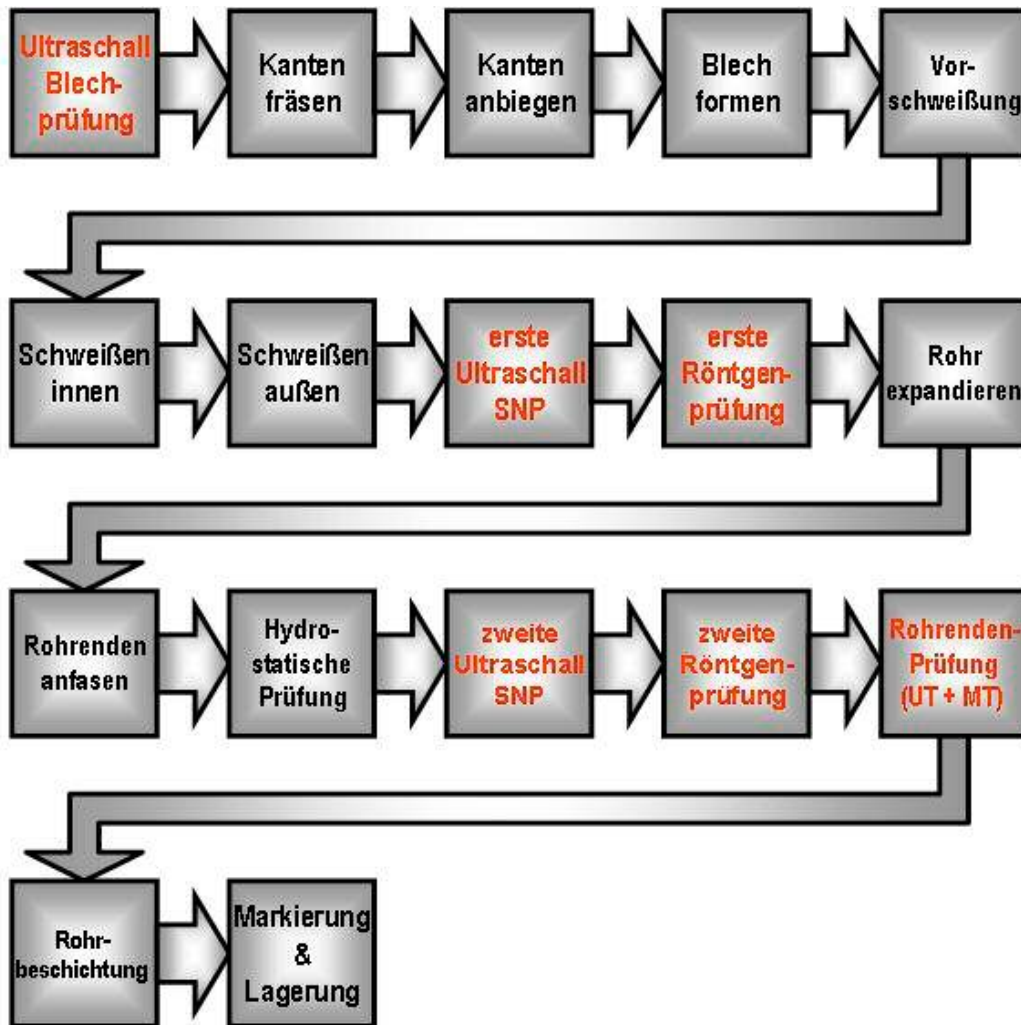


Bild 16: Beispiel für die Herstellung UP-längsgeschweißter Rohre.

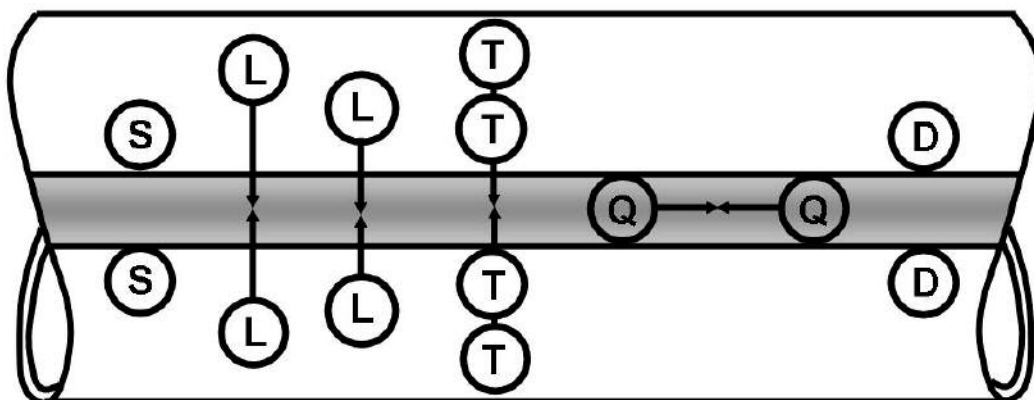


Bild 17: Typische Prüfkopf-anordnung zur Prüfung von UP-längsgeschweißten Rohren. S = Sensoren für Nahtfolger; L = Längsfehlerprüfung innen und außen; T = Tandemprüfung auf Fehler in Schweißnahtmitte; Q = Querfehlerprüfung auf der Naht; und D = Dopplungsprüfung in der Wärmeeinflusszone.

Die Prüfung auf Längs- und Querfehler innerhalb der Schweißnaht ist generell vorgeschrieben. Starke Rohrwandungen können mehrere (bis zu 5) Prüfkopfpaaire für Längsfehler nachweis erfordern. Falls SHELL-Richtlinien zu erfüllen sind, ist eine zusätzliche Tandemprüfung auf Fehler in Schweißnahtmitte notwendig. Auch wenn das eingesetzte Grobblech bereits vorab geprüft worden ist, kommen häufig Dopplungsprüfköpfe für die Prüfung der Wärmeeinflusszone zum Einsatz.

7 ECHOGRAPH Ultraschall-Elektronik

Die Auswertung der Ultraschallsignale wird durchgeführt mit einer Mehrkanal-Elektronik. Die Prüfelektronik lässt sich entsprechend aller erwähnten Prüfaufgaben programmieren. Generell wird eine Vielzahl von Kanälen benötigt, wobei jeder Kanal einzeln konfiguriert werden kann. Die rauen Umweltbedingungen in einem Rohrwerk empfehlen den Gebrauch von externen Vorverstärkern in der Nähe der Ultraschall-Prüfköpfe. Die Prüfkopfkabel müssen dabei gut abgeschirmt sein und die Elektronik benötigt einen großen Verstärkungsbereich mit einem guten Signal-Rausch-Verhältnis.

Elektroniken auf PC-Basis haben in Rohrwerken Schwierigkeiten bereitet. Der PC als Arbeitsgrundlage benutzt üblicherweise ein Windows-Betriebssystem. Dieses System zeigt Probleme bei Echtzeit-Anwendungen wie beispielsweise der Ultraschallprüfung. Zudem gefährden externe Störquellen wie Motore und Schweißgeräte in der Nähe des Ultraschall-Prüfsystems die Sicherheit der Ultraschallbefunde. Deshalb benutzen übliche Prüfelektroniken den PC nur als Bediener-Plattform mit anwenderfreundlicher Menüführung. Der PC erlaubt eine Einstellung der Systemparameter und sammelt die Prüfergebnisse zur Visualisierung und Speicherung. Normalerweise wird die Datenübertragung an ein übergeordnetes Netzwerk durchgeführt.

Signale von sämtlichen Kanälen werden in Echtzeit bearbeitet. Jeder Kanal ist ausgestattet mit vier Blenden und bis zu drei Ansprechschwellen pro Blende. Blenden und Schwellen sind für jeden Kanal individuell einstellbar. Ein schneller programmierbarer Tiefenausgleich dient der Kompensation der steigenden akustischen Dämpfung bei größeren Schalllaufzeiten. Das Ergebnis ist eine sehr gleichmäßige Prüfempfindlichkeit. Der Tiefenausgleich lässt sich selbstverständlich für jeden Prüfkanal individuell einstellen.

Als Ergänzung der Elektronik steht ein Daten-Management-System zur Verfügung. Die Prüfdaten werden gemäß der Kunden-Anforderungen mit einem Industrie-PC bearbeitet. Prüfprotokolle werden erstellt und die Prüfparameter gespeichert. Dies erlaubt ein schnelles erneutes Hochladen und um somit kurze Umrüstzeiten. Ein Windows-Betriebssystem gestattet eine einfache Bedienung des gesamten Prüfsystems.

Ein zusätzliches Elektronik-Modul ist zuständig für die Kombination der Ultraschalldaten mit den Signalen der Positionssensoren, die die Relativbewegung zwischen Prüfköpfen und dem Testobjekt erfassen. Das Prüfobjekt ist unterteilt in sogenannte Prüfintervalle, mit denen die räumliche Auflösung bestimmt werden kann. Eine online-Wiedergabe aller Signalamplituden bezogen auf die Position des Prüfobjekts ist auf dem PC-Bildschirm während der Prüfung sichtbar. Eine Überschreitung der voreingestellten Amplitudenschwellen ist klar erkennbar und unterstützt das Bedienpersonal bei der laufenden Prüfung. Der Prüfverantwortliche entscheidet über die Art der Dokumentation und den zu speichernden Datenumfang. Graphische Dokumentation, tabellierter Text und statistische Auswertung der Prüfergebnisse sind möglich. Eine statistische Auswertung enthält sämtliche gesammelten Daten, z.B. für ein komplettes Fertigungslos oder eine Arbeitsschicht.

8 Zusammenfassung

Dieser Artikel enthält eine kurze Übersicht der automatisierten Ultraschall-Schweißnahtprüfung für verschiedene Rohrtypen. Einige Prüfschritte können auch mit mobilen Prüfgeräten durchgeführt werden (z.B. die Rohrendenprüfung), jedoch muss die Schweißnahtprüfung gemäß sämtlicher international relevanter Spezifikationen automatisiert ablaufen. Die Rohrgeometrie, das Herstellungsverfahren und die spätere Verwendung der Rohre bestimmen die Anzahl der benötigten Prüfköpfe. Aktuelle Neuerungen einiger Prüfvorschriften erfordern eine große Anzahl von Ultraschallprüfköpfen, z.B. die von SHELL. Da nahtlose Rohre hin und wieder durch HF-Rohre und UP-längsgeschweißte Rohre durch UP-spiralgeschweißte Rohre ersetzt werden (in beiden Fällen zur Kostensenkung) ändern sich die Prüfmethoden entsprechend. Jedes Prüfsystem ist einzeln und individuell angepasst entsprechend der Anforderungen in Absprache von Lieferant, Rohrhersteller und Endverbraucher.

9 Literatur

- [1] V. Deutsch, M. Platte, M. Vogt: Ultraschallprüfung – Grundlagen und industrielle Anwendungen, Springer Verlag, 1997.
- [2] V. Deutsch, M. Platte, M. Vogt, W. A. K. Deutsch, V. Schuster: Die Ultraschallprüfung – Kompakt & Verständlich, 77 Seiten, Castell-Verlag Wuppertal, 2002.
- [3] W. A. K. Deutsch: Automated Ultrasonic Inspection – Examples from the Steel Mill, WCNDT World Conference for Nondestructive Testing, Rome Italy, Okt 2000.
- [4] W. A. K. Deutsch, V. Schuster: Automatisierte Ultraschall-Prüfanlagen – Überlegungen zu Durchsatz, Überdeckung und Sensorik, DGZfP ZfP- Seminar, Saarbrücken, Okt 2003.
- [5] W. A. K. Deutsch, V. Schuster: Ultrasonic Testing during Production - Semi Finished-Product or Component Testing, BANT-KINT Symposium on Nondestructive Testing, Lüttich Belgien, März 2005.
- [6] P. Möller: Ultraschall-Prüfanwendungen mit Prüfkopfträgern für die Wasserstrahl-Ankopplung, Konferenzband der DGZfP-Jahrestagung, Garmisch, S. 109-117, 1993.
- [7] W. Deutsch, V. Schuster, M. Joswig, R. Kattwinkel: Schnelle, automatisierte Stangen- und Rohrprüfung ohne Rotation, Konferenzband der DGZfP-Jahrestagung, Celle, S. 407-415, 1999.
- [8] M. Platte, P. Möller: Automatisches Ultraschallprüfen von Blechen und Rohren, Bänder Bleche Rohre, S. 25-32, März 1993.
- [9] P. Möller: Automatische Ultraschall-Prüfung von Stahlflaschen mit kompakten Mehrfach-Prüfkopfträgern, Konferenzband der DGZfP-Jahrestagung, Garmisch, S. 589-593, 1993.
- [10] ISO 9756:1990(E): Submerged arc-welded steel tubes for pressure purposes – Ultrasonic testing of the weld seam for the detection of longitudinal and/or transverse imperfections.
- [11] ISO 12094:1194(E): Welded steel tubes for pressure purposes – Ultrasonic testing for the detection of laminar imperfections in strips/plates used in the manufacture of welded tubes.
- [12] ISO 3183-3:1999(E): Petroleum and natural gas industries – Steel pipe for pipelines – technical delivery conditions, Part 3: Pipes of requirement class C.
- [13] SHELL DEP.40.20.37-Gen.: Linepipe for critical Service (Amendment/Supplements to ISO 3183-3), Dezember 2000.
- [14] API Specification 5L: Specification for Line Pipe, Ausgabe März 2004.
- [15] Det Norske Veritas OS-F101 Submarine Pipeline Systems, Appendix D: Non-Destructive Testing, Januar 2000.