

Schweißnaht-Prüfung an Großrohren mit Längsnaht und Rotierende Prüfung an nahtlosen Rohren größerer Durchmesser mit Prüfportal

Wolfram A. Karl DEUTSCH, Michael JOSWIG, Rainer KATTWINKEL,
KARL DEUTSCH Prüf- und Messgerätebau, Wuppertal

Kurzfassung. In diesem Beitrag werden zwei Typen von Ultraschall-Prüfanlagen präsentiert. In beiden Fällen ist die Prüfanlage als Portal ausgeführt, d.h. die Prüfanlage besteht aus einer langen Prüfmechanik bei der die Prüfköpfe entlang des Rohres verfahren werden können. Zunächst wird die Schweißnaht-Prüfung an Großrohren mit Längsnaht diskutiert, wobei bis zu 30 Prüfköpfe zum Einsatz kommen, um Fehlstellen aller Richtungen und in allen Tiefenlagen innerhalb der Rohrwand zu erfassen. Sodann wird die Prüfung nahtloser Rohre diskutiert. Deren Prüfung erfolgt mit schraubenförmigen Prüfspuren. Im genannten Beispiel kommen 25 Prüfköpfe zum Einsatz, um eine Prüfung auf Längsfehler, Querfehler und Dopplungen sowie eine Wanddickenmessung zu realisieren.

Einführung

In Rohrwerken, wo bei großem Durchsatz Großrohre für den Transport von Gas oder Öl produziert werden, sind die Schweißnähte automatisiert erzeugt. Als Schweißverfahren wird das Unter-Pulver-Schweißen eingesetzt. Auch die zerstörungsfreie Ultraschall-Prüfung dieser Schweißnähte erfolgt automatisiert innerhalb des Produktionsablaufes. Die kürzlichen Veränderungen und Verschärfungen der international üblichen Prüfspezifikationen (Beispiel SHELL) führen zu einer deutlich höheren Anzahl der Ultraschall-Prüfköpfe.

Dieser Beitrag stellt kürzlich gelieferte Schweißnaht-Prüfanlagen vor, bei denen am ruhenden Rohr geprüft wird. Die sonst häufig auftretenden Vibrationen durch den Rohrtransport mit einem Rohrwagen werden somit vermieden. Zudem ist ein höherer Durchsatz erreichbar. Nachdem die Schweißnaht in die 12-Uhr-Position gedreht worden ist, fährt ein Prüfwagen mit den Prüfköpfen mit hoher Geschwindigkeit am Rohr entlang. Bei der Firma KARL DEUTSCH in Wuppertal sind zwei Prüfanlagen konstruiert und in Betrieb genommen worden, die bedingt durch die Länge des Prüf wagens, der hohen Anzahl der Prüfköpfe (z.B. 30 Prüfköpfe für die Anlage zur Endprüfung) und der Rohrlänge eine Länge von je 35 Metern aufweisen.

Im zweiten Teil der Veröffentlichung wird eine Prüfanlage für nahtlose Rohre vorgestellt. Es handelt sich ebenfalls um ein Prüfportal. Die Prüfköpfe werden von oben pneumatisch auf das Rohr aufgesetzt. Dann fahren die Prüfköpfe wie bei der bereits vorgestellten Schweißnaht-Prüfung linear am Rohr entlang, jedoch unter Rotation des Rohres. Es wird somit mit

schraubenförmigen Prüfspuren gearbeitet. Für jede Prüfaufgabe stehen fünf Prüfköpfe zur Verfügung, um die Taktzeit zu erhöhen.

Ankopplung zur automatisierten Ultraschall-Prüfung

Fast alle industriellen Anwendungen der Ultraschall-Prüfung nutzen **Wasser als Koppelmedium**. Häufig erfordert die automatische Prüfung hohe relative Geschwindigkeiten zwischen der Oberfläche des Prüfteiles und den Ultraschall-Prüfköpfen. Gleichzeitig sind ein geringer mechanischer Verschleiß der Prüfmechanik und stabile Ankopplungsverhältnisse anzustreben.

Die Prüfung von Fertigteilen bzw. Komponenten wird oft durchgeführt mittels eines Tauchtanks, in dem eine Stück-für-Stück – Prüfung durchgeführt wird. Die **Tauchtechnik-Prüfung** wird ebenfalls angewendet zur Durchlauf-Prüfung langgestreckter Bauteile (Stangen, Rohre). Eine speziell dafür entwickelte Wasserkammer trägt Öffnungen an Ein- und Austrittsseite. Die Prüfköpfe sind in speziellen Prüfkopfhaltern innerhalb des Wassertanks montiert. Es können sowohl stationäre als auch rotierende Prüfköpfe oder Gruppenstrahler in solch einer Anordnung zum Einsatz gelangen. Diese Ankoppeltechnik ist begrenzt auf relativ kleine Durchmesser (derzeit Stangen ca. 100 mm, Rohre ca. 170 mm), weil der Aufwand bzgl. der Prüfköpfe bei gleich bleibender vollständiger Abdeckung über den Umfang stetig steigt.

Große Prüfgegenstände können auch in **partieller Tauchtechnik („Pfützentechnik“)** geprüft werden. Stangen und Rohre werden dann schraubenförmig transportiert. Die Prüfköpfe sind unterhalb des Prüfobjekts in einem Tauchtank montiert. Für eine lückenlose Abtastung ist ein schlupffreier Rollgang erforderlich, bei dem Vorschub und Rotation präzise aufeinander eingestellt werden müssen.

Die **Wasserspaltankopplung** erfordert nur wenig Wasser und einen schmalen Spalt zwischen Prüfkopf und Prüflingsoberfläche; typisch sind ca. 0,5 mm. Der Prüfkopfhalter läuft auf der Oberfläche des Prüfobjekts mittels Gleitschuh oder Laufrolle. Eine gekrümmte Oberfläche erfordert auch entsprechend gekrümmte Schuhe, welches ein Nachteil dieser Technik ist. Der schmale Spalt gefährdet den Prüfkopf, besonders wenn noch nicht bearbeitete bzw. schwarze Prüfteile vorliegen. Ein Vorteil dieser Ankopplungstechnik ist die Verwendbarkeit von großflächigen Prüfköpfen und von SE-Prüfköpfen. Deshalb ist eine typische Anwendung die Bandprüfung, bei der möglichst geringe Totzonen und eine große Überdeckung pro Kanal erforderlich sind.

Die **Wasserstrahlankopplung** verwendet einen gleichmäßigen Wasserstrahl, der den Ultraschall auf die Oberfläche des Prüfgegenstandes leitet. Der Durchmesser des Wasserstrahls muss größer sein als der des Schallbündels, um akustische Störungen und Reflexionen zu vermeiden. Der Wassertransport innerhalb des Prüfkopfhalters muss eine gleichmäßige laminare Strömung ermöglichen. Der Prüfkopfhalter wird mittels Gleitschuhen oder Laufrollen auf dem Prüfobjekt geführt. Wenn der Abstand zwischen Prüfkopf und Werkstückoberfläche in der Größenordnung von mehreren Zentimetern liegt, ist der Prüfkopf selbst gut geschützt und eine hohe Standzeit ist somit gegeben. Stangen und Rohre größerer Durchmesser werden mit Hilfe dieser Ankoppeltechnik oft mit einem Portal geprüft. Dann erfolgt bei Rotation des Bauteils ein lineares Verfahren der Prüfköpfe – also eine Prüfung mit spiraligen Prüfspuren. Die Anzahl der Prüfköpfe wird über den erforderlichen Durchsatz und über die verschiedenen Prüfaufgaben (Einschallrichtungen) ermittelt.

Wenn maßliche Toleranzen (Geradheit) oder Positionsabweichungen während des Transports auftreten, ist immer eine mechanische Nachführung der Prüfköpfe entlang der Bauteil-Oberfläche vorteilhaft.

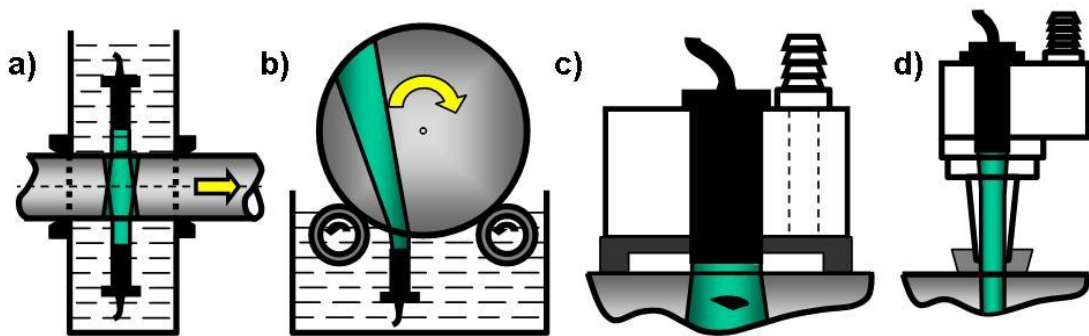


Bild Ultraschall-Ankopplung. a) Tauchtechnik angepasst für Stangen und Rohre, b) partielle Tauchtechnik („Pfüzentechnik“) mit Spiraltransport der zu prüfenden Profile, c) Wasserspalt-Ankopplung und d) verschleißarme Wasserstrahl-Ankopplung.

Schweißnaht-Prüfung an Großrohren mit Längsnaht

Die Schweißnahtprüfanlage vom Typ SNUL-ECHOGRAPH enthält eine mehrkanalige digitale Ultraschallelektronik, eine Prüfmechanik und die elektrische Steuerung. Mehrere höhenverstellbare Prüfwagen dienen der Aufhängung der Prüfköpfe oberhalb des Rohres. Die Prüfwagen sind an einer Laufbahn angebracht, die in ihrer Länge den zu prüfenden Rohren zuzüglich der doppelten Länge der Prüfwagen entspricht, um das Rohr in seiner vollen Länge überfahren zu können.

Vor der Prüfung der Schweißnaht wird diese mit Hilfe von Drehrollen in die 12-Uhr-Position gebracht. Elektrische Geber (Lichtschranken, Weggeber) bestimmen die präzisen Absenk-Positionen der einzelnen Prüfkopfpaaire. Wenn ein Prüfwagen das Rohr erreicht, werden die Prüfkopfpaaire einzeln pneumatisch auf das Rohr abgesenkt und die Prüfköpfe elektronisch schnellstmöglich freigegeben. Wenn das hintere Rohrende erreicht ist, erfolgt das pneumatische Anheben der Prüfköpfe. An beiden Rohrenden verbleiben nur sehr kurze ungeprüfte Enden in der Größenordnung von 50 – 100 mm.

Ein Nahtnachführsystem ermöglicht die zentrische Positionierung der Prüfkopfpaaire bezüglich der Schweißnaht. Zwei induktive Sensoren in Brückenschaltung sind symmetrisch zur Naht montiert und messen die Position der Schweißnaht-Überhöhung. Das Ausgangssignal des Systems steuert die Stellmotoren der einzelnen Prüfwagen zur zentrischen Positionierung der Prüfkopfpaaire. Der Stellbereich beträgt (in Abhängigkeit des Rohrdurchmessers) ungefähr ± 150 mm. Alternativ können optische Systeme zur Schweißnahtnachführung verwendet werden.

Die Prüfwagen dienen der Aufnahme der Prüfkopfhalterungen. Je nachdem wie viele Prüfköpfe zum Einsatz kommen, werden die Prüfkopfhalterungen in einem oder in mehreren Prüfwagen montiert. Um die Nahtnachführung ausreichend präzise zu gestalten, wird bei hohen Prüfkopffzahlen mit mehreren Prüfwagen gearbeitet, wobei jeder Wagen über einen separaten Motor zur Nahtnachführung verfügt. Die beiden vorgestellten Prüfanlagen verfügen über zwei bzw. drei Prüfwagen. Sowohl die Prüfwagen als auch die Prüfkopfhalterungen

stützen sich über Laufrollen auf der Rohroberfläche ab und sorgen für einen verschleißarmen Betrieb der Prüfanlage.

Ein laseroptischer Zeiger an jedem Prüfwagen erzeugt einen Lichtstreifen auf der Rohroberfläche und macht ggf. mechanische Abweichungen zwischen Prüfwagenposition und Schweißnahtmitte deutlich. Videokameras an den Prüfwagen übertragen das Bild vom Lichtstreifen auf der Naht in die Prüfkabine, wo der Bediener kontinuierlich die Nahtnachführung auf korrekte Funktion überprüfen kann.

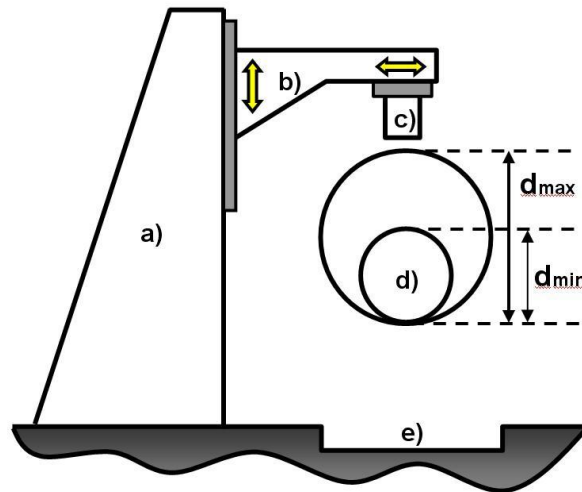


Bild Aufbau der Schweißnahtprüfanlage. a) höhenverstellbarer Maschinenständer (als Portal mit Laufbahn ausgeführt), b) horizontaler Ausleger mit Stellmotoren zur vertikalen und horizontalen Positionierung der Prüfkopfhalterungen, c) Prüfkopfhalterungen, d) zu prüfendes Rohr mit Schweißnaht in 12-Uhr-Position und e) Sumpf (Senke im Bodenfundament) zur Ableitung des Koppelwassers in ein Umlaufsystem.

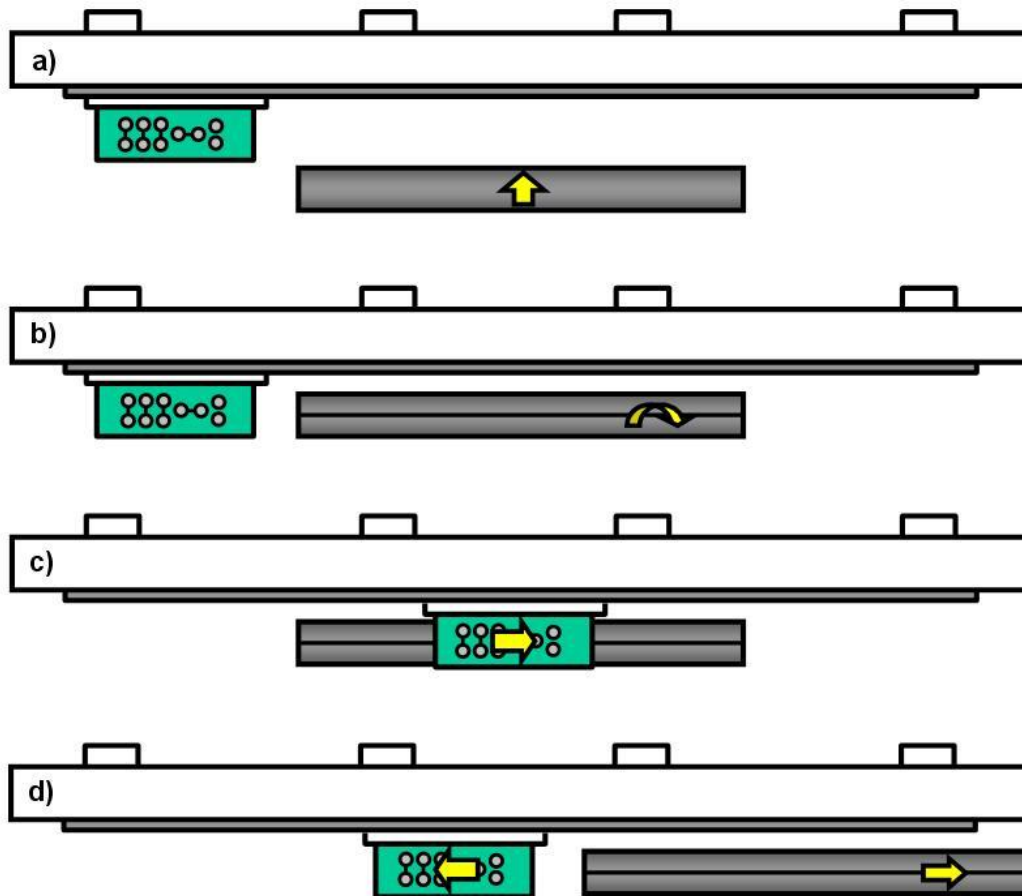


Bild Prüfablauf bei der Schweißnahtprüfung. a) Einbringung der zu prüfenden Rohre in das Prüfportal, b) Ausrichten der Schweißnaht auf die 12-Uhr-Position, c) Prüfung des Rohres mit bis zu 1 m/s Prüfgeschwindigkeit und d) lineares Ausfordern des Rohres bei gleichzeitigem Zurückfahren der Prüfmechanik, um Taktzeit zu sparen.



Bild Inbetriebnahme der beiden Schweißnahtprüfanlagen. a) links im Bild die Prüfanlage zur Vorprüfung mit zwei Prüfwagen und b) Prüfanlage zur Abschlussprüfung mit drei Prüfwagen und 30 Prüfköpfen.

Prüfkopfkonfiguration zur Großrohr-Schweißnahtprüfung

Die Schweißnaht wird in der 12-Uhr-Position geprüft. Um Flankenbindefehler sicher zur Anzeige zu bringen und um eine ständige Koppelkontrolle zu ermöglichen, wird immer mit Prüfkopfpaaren und Winkelschallung gearbeitet. Die Prüfkopfpaare werden symmetrisch zur Schweißnaht positioniert. Jeder Prüfkopf arbeitet im Impuls-Echo-Verfahren (Prüfkopf agiert als Schall-Sender und -Empfänger) zur Auffindung von Schweißnaht-Fehlern. Zusätzlich wird das Durchschallungssignal zweier Prüfköpfe (V-Reflexion, ein Kopf sendet, der zweite Kopf empfängt den Ultraschall) zur kontinuierlichen Koppelkontrolle verwendet.

Zur Auffindung von Längsfehlern sind die Prüfköpfe unter 90° zur Rohrachse positioniert. Der Einschallwinkel wird in Abhängigkeit vom Rohrdurchmesser und von der Wandstärke gewählt. Die Anzahl der benötigten Prüfkopfpaare hängt von der Wanddicke ab. In der Regel werden mindestens zwei Prüfkopfpaare eingesetzt, ein Paar für Innenfehler und ein Paar für Außenfehler.

Neue Prüfspezifikationen, z.B. die SHELL-Spezifikation, erfordern die Prüfung auf in der Wand liegende Längsfehler mit dem Tandem-Verfahren. Jeweils zwei Prüfköpfe sind hintereinander auf jeder Seite der Schweißnaht angeordnet. Ein Prüfkopf arbeitet dabei als Sender und der zweite als Empfänger. Eine solche Anordnung erlaubt die sichere Auffindung von Rissen, welche parallel zur Schweißnaht und senkrecht zur Rohroberfläche orientiert sind. Bei Wandstärken oberhalb 24 mm sind laut SHELL-Spezifikation drei solcher Tandem-Prüfebene erforderlich.

Für die Querfehler-Prüfung wird ein Prüfkopfpaar direkt auf der Schweißnaht verwendet. Als Einschallwinkel im Material wird typischerweise 45 Grad gewählt; eine stufenlose Änderung ist aber problemlos möglich. Die Prüfköpfe schallen einander an und die V-Durchschallung wird zur ständigen Koppelkontrolle verwendet.

Einige Prüfanweisungen erfordern zudem die so genannte X-Anordnung mit vier Prüfköpfen. Diese Anordnung erlaubt die Auffindung von Längs- und Querfehlern unter Benutzung der V-Reflexion und die Auffindung von Schrägfehlern im Impuls-Echo-Verfahren. Bei höheren Wandstärken werden zwei X-Anordnungen eingesetzt, um eine separate Optimierung auf Innen- bzw. auf Außenfehler zu ermöglichen.

Zur Auffindung von Dopplungen (D) in der Wärmeeinflusszone (WEZ) neben der Schweißnaht werden vier Prüfköpfe eingesetzt (obwohl eine Prüfung der Blechkanten in der Regel bereits am Grobblech durchgeführt wird). Die Prüfköpfe werden so nah wie möglich neben der Schweißnaht platziert. Wenn mit der Wasserstrahl-Ankopplung gearbeitet wird, kann pro Prüfkopf mit einer Spurbreite von ca. 15 mm gerechnet werden. Somit wird mit je zwei Prüfköpfen auf jeder Seite der WEZ eine Spurbreite > 25 mm realisiert.

Die beiden Schweißnahtprüfanlagen wurden mit folgenden Prüfkopfkonfigurationen ausgeliefert:

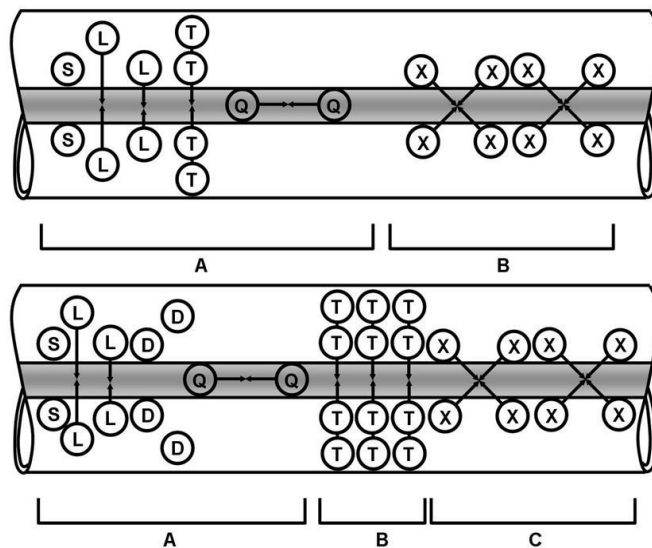


Bild Prüfkopfkonfigurationen für die Vorprüfung und die Abschlussprüfung. S = automatische Nahtnachführung, L = Längsfehler-Prüfung, T = Tandem-Prüfung auf Längsfehler in der Schweißnahtmitte, Q = Querfehler-Prüfung mit Prüfkopfpaar auf der Naht, X = Querfehler-Prüfung mit 4 Prüfköpfen, D = Dopplungsprüfung in der Wärmeeinflusszone neben der Schweißnaht.

Prüfung nahtloser Rohre mit einem Prüfportal (RPT.R-Echograph)

Der zweite Teil der Veröffentlichung befasst sich mit der Prüfung nahtloser Rohre.

Die Prüfanlage für nahtlose Rohre wurde für Durchmesser von 300 – 700 mm und für Wandstärken von 10 – 50 mm konzipiert. Die Rohrlängen betragen 5,5 – 15 m und das Prüfportal hat somit eine Gesamtlänge von 23 m. Die Rohre werden über einen Quertransport in die Prüfanlage eingebracht. Drehrollen bringen die Rohre auf Umfangsgeschwindigkeiten von ca. 1 m/s. Die maximale Drehzahl hängt vom Durchmesser, Rohrgewicht und von der Geradheit der Rohre ab. Ein Prüfwagen, an dem fünf Prüfkopfträger montiert sind, fährt längs am Rohr entlang. Die Prüfkopfträger arbeiten mit je fünf Prüfköpfen und werden von oben pneumatisch auf das Rohr abgesenkt. Jeder Prüfkopfträger arbeitet mit einer Prüfspur von 10 mm und die Prüfspuren der einzelnen Prüfkopfträger greifen ineinander. Der Vorschub ist so eingestellt, dass eine vollständige Erfassung des Rohrvolumens mit Ultraschall erreicht wird und korrespondiert daher mit der summierten Prüfspurbreite von 50 mm für die fünf Prüfkopfträger.

Durch die Verwendung der Wasserstrahlankopplung ist es möglich, sehr **kompakte Mehrfach-Prüfkopfträger** zu konstruieren. Als Prüfköpfe kommen Tauchtechnik-Prüfköpfe aus eigener Fertigung zum Einsatz. Alle Prüfköpfe weisen einen senkrechten Schallaustritt auf. Bei Schrägstellung innerhalb des Prüfkopfhalters werden Transversalwellen im Rohrmaterial unter einem Winkel von ca 45° erzeugt (jeweils Typ STS15.6WB4 mit 4 MHz Prüffrequenz). Zwei Prüfköpfe dienen der **Auffindung von Längsfehlern** durch Einschallung in beide Umfangsrichtungen. Zwei Prüfköpfe dienen der Querfehlerdetektion. Bei der **Querfehlerprüfung** wird in beide Achsrichtungen des Rohres eingeschallt. Die Einschallung in jeweils zwei Richtungen erlaubt somit auch die Auffindung von gerichteten, schalenförmigen Fehlern. Die V-Durchschallung beider Prüfkopfpaare wird zusätzlich zur Koppelkontrolle und zum Start der Fehlerblende verwendet. Ein breitbandiger Prüfkopf pro Prüfkopfträger schallt senkrecht in die Rohrwand ein und dient der **Wanddickenmessung** und

der **Dopplungsprüfung** (Typ STS15WB2-7). Die Schallstrahlen aller Prüfköpfe treffen sich in einem Punkt auf der Rohroberfläche. Dieses Prinzip der Ankopplung wurde erstmals 1974 durch KARL DEUTSCH für die Prüfung von Gasflaschen vorgestellt, patentiert und später auch für die Rohrprüfung verwendet.

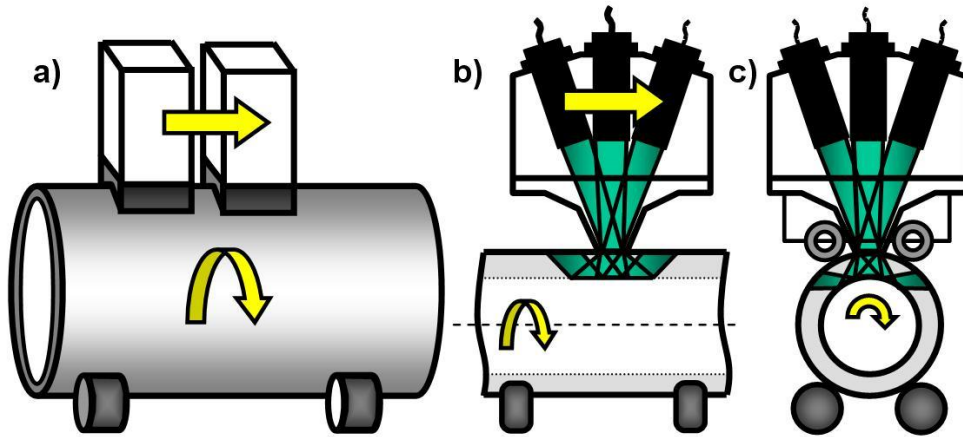


Bild Prüfprinzip. a) rotierendes Rohr und linearer Vorschub mehrerer Prüfkopfträger, b) Prinzip der Querfehlerprüfung und Wanddickenmessung, c) Prinzip der Längsfehlerprüfung und Wanddickenmessung.

Die Prüfkopfhalter werden pneumatisch auf das Rohr abgesenkt und nach der Prüfung wieder angehoben. Der Pneumatikzylinder arbeitet dabei gegen eine Gasdruckfeder, die der Anstellung entgegen wirkt. Somit ist der Anstelldruck optimal einstellbar, um bei minimal möglichem Verschleiß dennoch einen ausreichenden Anpressdruck zu erzeugen. Die Prüfkopfhalter stützen sich über Laufrollen auf der Rohroberfläche ab. Je nach Rohrdurchmesser wird der Abstand aller Prüfköpfe zur Rohroberfläche so eingestellt, dass das Ultraschall-Signal zweier gegenüber liegender Winkelprüfköpfe von der Rohroberfläche optimal reflektiert wird und zum Starten der Fehlerblende verwendet werden kann. Ansonsten sind bei einem Dimensionswechsel keine mechanischen Umrüstungen vorzunehmen, was für kurze Einrichtzeiten sorgt.

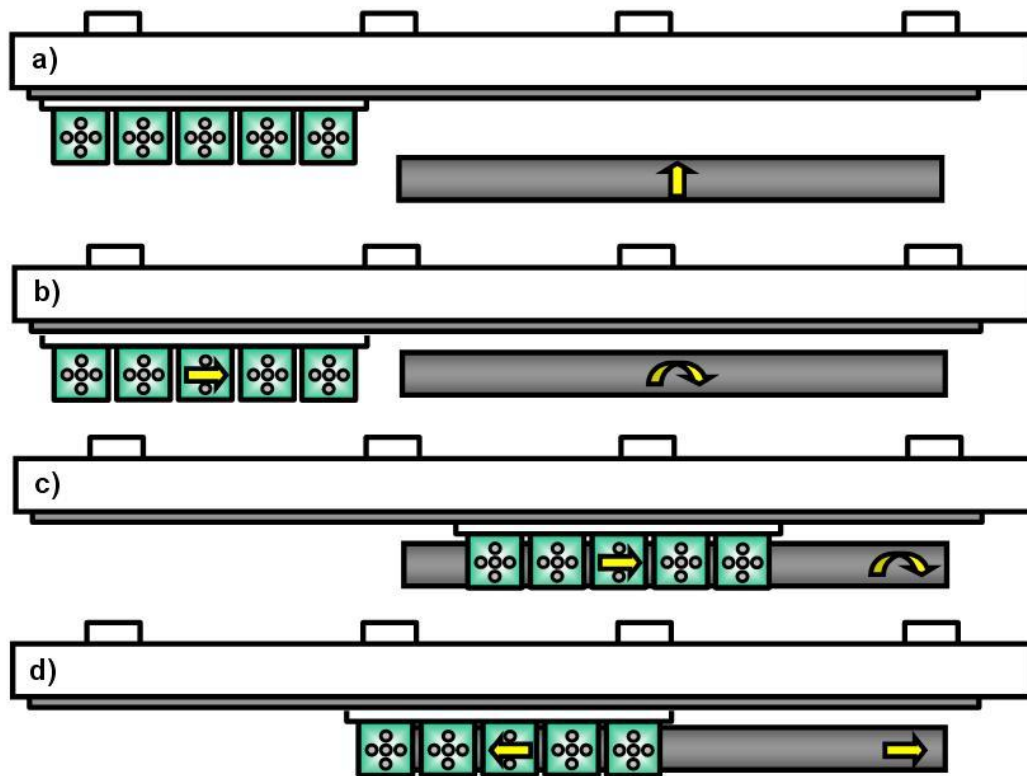


Bild Prüfablauf bei der Prüfung nahtloser Rohre. a) Einbringung der zu prüfenden Rohre in das Prüfportal, b) Start der Rohrrotation und Anfahrt der Prüfkopfträger, c) spiralförmige Prüfung des Rohres und d) lineares Ausfordern des Rohres bei gleichzeitigem Zurückfahren der Prüfmechanik, um Taktzeit zu sparen.

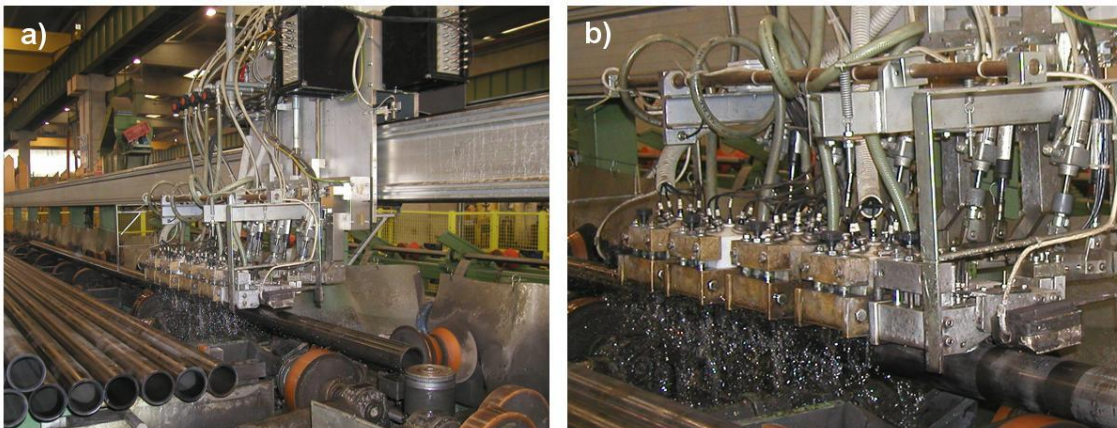


Bild Prüfung nahtloser Rohre. a) Gesamtansicht der Prüfanlage mit Quertransport zur Einbringung der Rohre von links, b) Detailansicht der Prüfkopfträger.

ECHOGRAPH-Prüfelektronik

Die Auswertung der Ultraschalldaten erfolgt mit der digitalen Ultraschall-Elektronik ECHOGRAPH 1155. Die echtzeitfähige, mehrkanalige Elektronik wurde speziell für die automatische Ultraschall-Prüfung entwickelt. Pro Prüfkanal stehen bis zu vier Blenden mit drei Auswerteschwellen, ein programmierbarer Tiefenausgleich (TCG – Time Corrected Gain) und eine Vielzahl von weiteren Auswertemöglichkeiten zur Verfügung. Die Elektronik wird in einen robusten und ggf. klimatisierten Industrieschrank eingebaut. Ein Bedienpult ist an der Prüfmechanik montiert, um eine komfortable Bedienung zu gewährleisten. Es enthält einen TFT-Monitor sowie eine PC-Tastatur und dient dem Einstellen der Prüfparameter und der Ultraschall-Signaldarstellung. Ein Ultraschall-Sender-Vorverstärker in der Nähe der Prüfköpfe sorgt für ein gutes Signal-Rausch-Verhältnis auch in rauer Industrieumgebung. Alle gefundenen Fehlstellen werden mit einer Farbmarkierung ortsgetreu auf der Rohrwand aufgetragen und mit einer Signal-Einheit akustisch und/oder visuell dem Bediener mitgeteilt.

Ein Datenverwaltungssystem dient der Aufbereitung von Prüfparametern und Prüfdaten auf einem Industrie-PC. Das KARL DEUTSCH-Software-Paket (optimiert für ein Windows-Betriebssystem) bereitet die Prüfparameter und Prüfergebnisse kundenspezifisch auf. Eine Kommunikation mit dem übergeordneten Leitrechner ist problemlos möglich.

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, Band 1 aus der Reihe *ZfP kompakt und verständlich*, Castell-Verlag Wuppertal, 2002
- [3] W. Deutsch, P. Schulte, M. Joswig, R. Kattwinkel: Automated Inspection of Welded Pipes with Ultrasound, ECNDT September 2006, Berlin
- [4] W. Deutsch: Automated Ultrasonic Pipe Weld Inspection (Automatisierte Schweißnahtprüfung mit Ultraschall an Rohren), Keynote Lecture, WTIA-IIW-Conference, Sydney Australia, März 2007
- [5] SHELL DEP.40.20.37-Gen.: Linepipe for critical service (Amendment/Supplement to ISO 3183-3, December 2000)



Bild ZfP-Literatur. Die populäre **Rote Reihe** über die zerstörungsfreie Prüfung ist nun komplett in deutscher und englischer Sprache verfügbar. In 13 Bänden werden alle wichtigen ZfP-Verfahren - kompakt und verständlich - erläutert. Acht der 13 Bücher stammen aus der Feder von Prof. Dr.-Ing. Volker Deutsch unter Mithilfe von Fachleuten aus dem Hause KARL DEUTSCH. Die restlichen Bände wurden von namhaften Co-Autoren geschrieben.