



Sonderdruck: SD 1/49

Automatisierte Stangenprüfung ohne Rotation

Sonderdruck von
Juli 2003

Eine Informationsschrift, zusammengestellt von
W. A. K. Deutsch, V. Schuster

Zusammenfassung

Ultraschall-Prüfanlagen mit feststehende Prüfköpfen haben sich zu einer echten Alternative zu Systemen mit schraubenförmigen Prüfspuren entwickelt [5]. Die Prüfungsgeschwindigkeit ist sehr hoch bei besserer Überdeckung des Querschnitts besonders in Durchlaufrichtung des Prüfteils. Weiterhin ist die Auffindung besonders kurzer Fehlstellen eine Stärke von linearen Prüfspuren. Die Mechaniken sind verschleißarm und im Laufe des letzten Jahrzehnts perfektioniert worden.

Automatisierte Stangenprüfung ohne Rotation

Dr.^(USA) Wolfram A. Karl Deutsch, Dr.-Ing. Volker Schuster
KARL DEUTSCH Prüf- und Messgerätebau GmbH + Co KG, Wuppertal

Tel: (+49-202) 7192 - 0, Fax: (+49-202) 714 - 932, info@karldeutsch.de, www.karldeutsch.de

1 Einleitung

Es gibt zur Zeit zwei mechanische Konzepte zur Prüfung von Stangen, bei denen weder die Prüflinge, noch die Prüfköpfe rotieren. Bei beiden Systemen sind hohe Durchlaufgeschwindigkeiten möglich, die deutlich über denen liegen, die bei konventionellen Systemen mit schraubenförmiger Relativbewegung zwischen Prüfling und Prüfkopf erzielt werden [1]. Bei Einhaltung der gängigen Normen und Prüfvorschriften wird bei beiden Konzepten mit einer Prüfgeschwindigkeit von bis zu 2 m/s gearbeitet. Die Mechanik der Prüfanlagen ist auf die Bedürfnisse von Stahlherstellern zugeschnitten und für eine raue Industrieumgebung ausgelegt.

Bei Systemen mit einer Rotationsbewegung, entweder des Prüfgegenstands oder der Prüfköpfe, sind Vorschub und Rotation genau aufeinander abzustimmen. Dies ist erforderlich, damit die schraubenförmigen Prüfspuren nahtlos aneinander anschließen und somit eine vollständige Prüfung ermöglichen. Der erreichbare Durchsatz ist abhängig von der Anzahl der eingesetzten Prüfköpfe und ist bei konventionellen Systemen deutlich geringer als 2 m/s.

Gängige automatisierte Ultraschall-Anlagen dienen z.B. zur Prüfung von Stangen, Rohren, Schienen, Knüppeln und Stahlflaschen. Die digitale und programmierbare Ultraschall-Elektronik ECHOGRAPH 1155 kann für all diese Anwendungen eingesetzt werden. Eine zusätzliche Daten-Verwaltung (DAV) dient der Aufbereitung der Prüfbefunde je nach Kundenwunsch. Die Auswertung der Prüfsignale in Echtzeit und eine schnelle Umrüstzeit für verschiedene Prüflingsgeometrien durch Speicherung der mechanischen und akustischen Parameter sind gewährleistet. Die Datenverwaltung basiert auf dem Windows-Betriebssystem und ermöglicht auch die komfortable Bedienung der ECHOGRAPH 1155 Elektronik.

2 Stangenprüfung mit mehreren linearen Prüfspuren

Das weltweit bewährte Stangenprüfsystem (ECHOGRAPH-STPS) arbeitet bei linearem Vorschub des Prüflings und mit feststehenden Prüfköpfen. Das System ist ausgelegt für die Prüfung von runden und hexagonalen Stangen. Hohe Durchlaufgeschwindigkeiten sind Standard bei einem Schussfolgebstand von mindestens 2 mm.

Der mechanische Grundrahmen dient der Aufnahme von drei Prüfkopfträgern, die jeweils um 120 Grad versetzt um den Umfang angeordnet sind. Der Grundrahmen ist z.Zt. für drei Abmessungsbereiche ausgelegt, welche insgesamt einen Durchmesserbereich von 8 mm bis 130 mm abdecken. Der Durchmesserbereich ist nach unten zum Einen durch die Führung der Stangen begrenzt. Dünne Stangen sind zu flexibel und können bei den hohen Durchlaufgeschwindigkeiten „flattern“. Eine Ultraschallprüfung ist dann nur schwierig möglich, weil die Position von Prüfkopf relativ zur Stange nicht mehr eingehalten wird. Zum zweiten ist bei dünner werdenden Material die automatische Blendensetzung zunehmend problematisch. Durchmesser unterhalb von 8 mm werden in der Regel nur mit Wirbelstrom auf Oberflächenfehler geprüft.

Bei der Standard-Konfiguration sind in jedem Prüfkopfträger drei Prüfköpfe angeordnet, wobei ein Prüfkopf senkrecht über der Stange angeordnet ist und zwei Prüfköpfe schräg in die Stange einschallen. Die Ankopplung erfolgt durch Düsen geführte Wasserstrahlen. Laminare und blasenfreie Wasserstrahlen sind die Voraussetzungen für eine gute Ultraschall-Ankopplung. Die Prüfkopfträger sind mit einer Sohle ausgerüstet, die direkt auf dem Prüfgegenstand gleitet und die ein ungestörtes Abfließen des entweichenden Koppelwassers ermöglicht. Die Form der Gleitsohlen ist für runde und hexagonale Stangen geeignet. Für die Prüfung von Schwarzmaterial werden verschleißfeste Gleitkufen aus gehärtetem Stahl verwendet. Empfindliche Oberflächen werden mit Kunststoffkufen schonend geprüft.

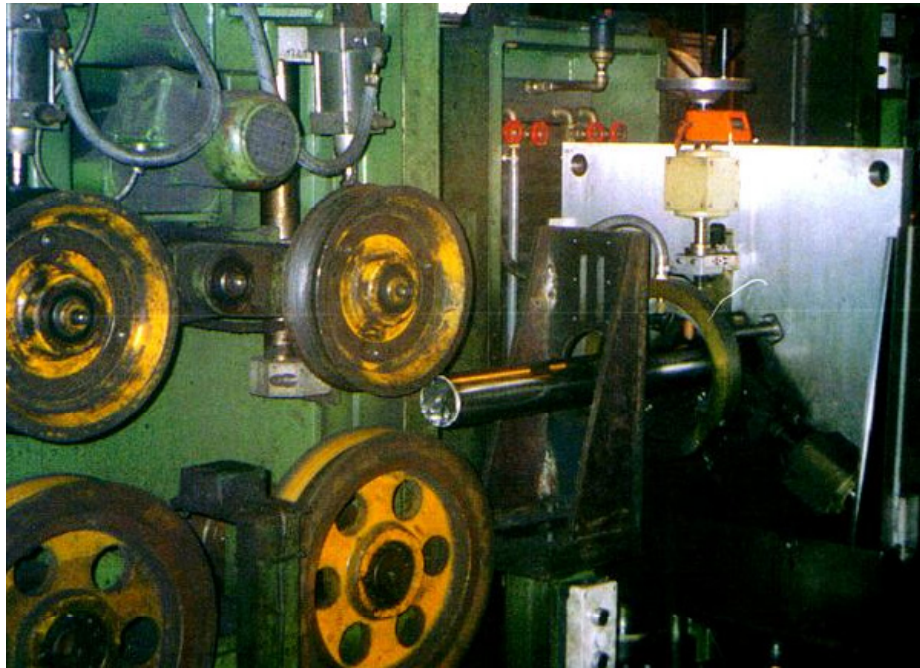


Bild 1: Gesamtansicht eines Stangenprüfsystems (ECHOGRAPH-STPS), die Zuführung der Stangen erfolgt durch zwei Doppel-Rollentreiber.

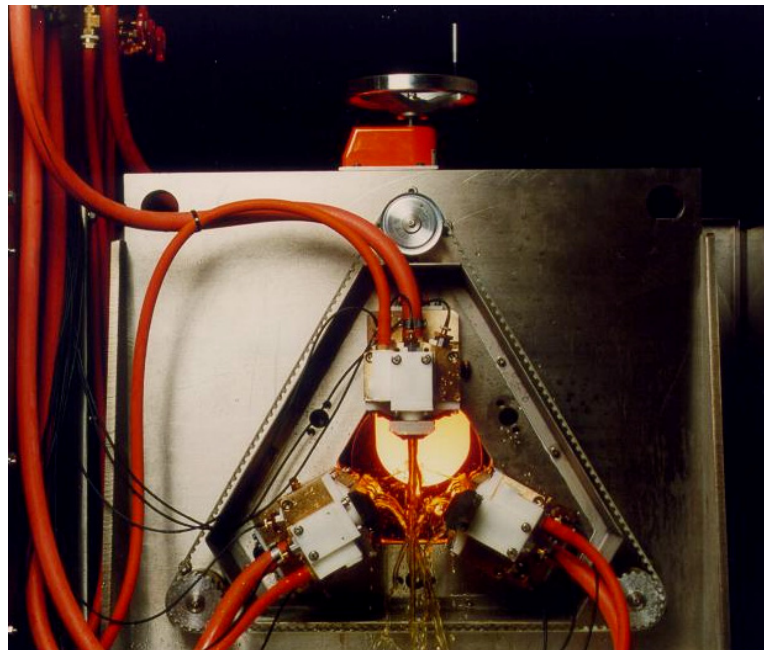


Bild 2: Mechanik des Stangenprüfsystems ohne Prüfgegenstand, drei Prüfkopfträger mit je drei Prüfköpfen umschließen die Stange, die Ankopplung erfolgt mit geführten Wasserstrahlen.

Bei einer Spaltankopplung (s. Bild 9c) beträgt der Abstand zwischen Prüfgegenstand und Prüfkopf nur einige Millimeter, und der Spalt ist mit Wasser gefüllt. Störende Reflexionen aus der Vorlaufstrecke können oft im dynamischen Betrieb bei der Spaltankopplung auftreten. Zudem muss der Abstand möglichst konstant und klein bleiben, um eine ordnungsgemäße Prüfung zu realisieren. Dies erfordert in der Regel entsprechend des Durchmessers gekrümmte Gleitkufen, und ein häufiges Nachstellen des Prüfkopfvorlaufes, je nach Verschleiß der Gleitkufen. Daher wird die Spaltankopplung nur dann verwendet, wenn man sehr nahe an der Oberfläche prüfen möchte (z.B. Fachprofile). Es werden dann spezielle SE-Prüfköpfe verwendet.

Diese Probleme werden bei einer Wasserstrahl-Ankopplung vermieden. Eine gefederte Aufhängung aller Prüfkopfträger gleicht Toleranzen der Stangen aus. Die Wasserstrahlankopplung ermöglicht bei laminarem

(SV) SD 1 49 Automatisierte Stangenprüfung ohne Rotation.doc 08.Sep-2005

Wasserstrahl Verhältnisse wie bei der Tauchtechnik. Der Wasservorlauf beträgt einige Zentimeter und ist somit unkritisch bezüglich der Vorlaufänderungen aus dem dynamischen Betrieb. Wichtig für reproduzierbare Ankoppelbedingungen ist neben der Geometrie der Prüfkopfträger auch konstanter Druck und konstante Temperatur des Wassers. Kurze Ankoppelzeiten und damit kurze ungeprüfte Enden sind ebenso ein wichtiges Kriterium für diese Ankoppeltechnik. Durch Verwendung von Mehrfach-Prüfkopfträgern ist die Mechanik sehr kompakt und einfach zu justieren.

Der Dimensionswechsel auf einen veränderten Stangendurchmesser ist schnell und einfach durchführbar. Der Abstand zwischen Prüfköpfen und Stange lässt sich simultan für alle Prüfkopfträger mit einer Spindel verstellen. Die Spindel wird entweder manuell oder mit einem Motor betätigt. Bei einer motorischen Verstellung und entsprechender Auslegung der elektrischen Steuerung ist auch ein automatisches Einrichten der Anlage möglich. Dann werden die Prüfkopfträger motorisch auf die Soll-Positionen gefahren.

Durch einfache Zugänglichkeit und eine bewährte Prüfkopf-Aufnahme (Hülse mit Sicherungsmechanismus) im Prüfkopfträger sind schnelle Wechselzeiten der Prüfköpfe gegeben. Die Bauform der Prüfkopf-Gehäuse ist auf den Prüfkopfträger abgestimmt, so dass die Wasser-Vorlaufstrecke exakt eingehalten wird und dass die Position der Prüfköpfe bezüglich des Prüfgegenstands immer stabil gehalten wird. Für verschiedene Durchmesser der Stangen werden die jeweils optimalen Prüfköpfe eingesetzt, so dass für jeden Durchmesser eine gleichbleibende Schallüberdeckung garantiert wird. Da mit Wasserstrahlankopplung gearbeitet wird, werden konventionelle Tauchtechnik-Prüfköpfe verwendet.

Mit der Standardanordnung von neun Prüfköpfen wird bereits eine hohe Überdeckung des Querschnitts mit Ultraschall erreicht. Andere Anordnungen sind jedoch denkbar und wurden bereits realisiert:

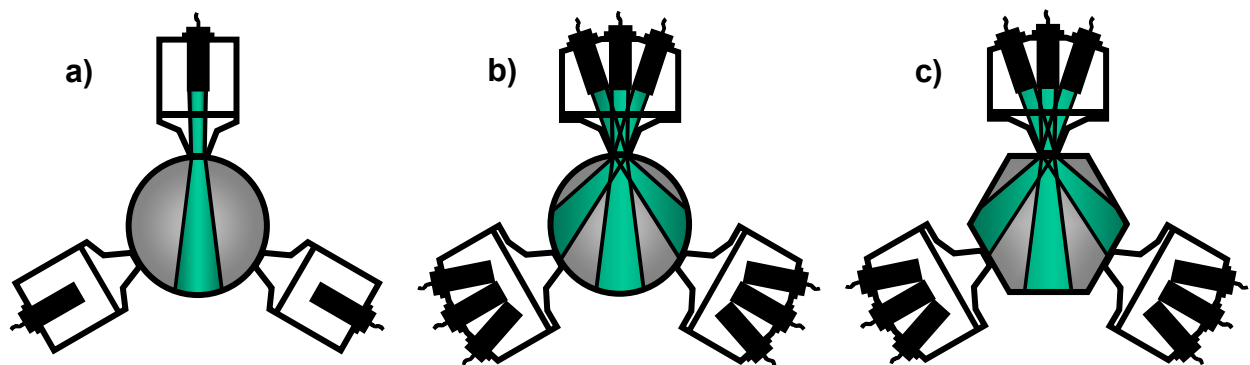


Bild 3: *Prinzipskizze für die Stangenprüfung mit Wasserstrahl-Ankopplung, a) Basiskonfiguration mit drei Prüfköpfen, b) Prüfung von runden Stangen mit neun Prüfköpfen (3 senkrecht, 6 schräg einschallend) und c) Prüfung von Sechskant-Stangen mit der gleichen Prüfmechanik wie in b).*

Durch unterschiedliche Einschallrichtungen (Senkrecht, Winkeleinschallung im Uhrzeiger - & Gegenuhrzeigersinn) ist auch die Auffindung verschieden orientierter Ungängen gewährleistet. Bei höchsten Anforderungen an die Überdeckung muss die Anzahl der Prüfkanäle weiter erhöht werden. Als Beispiel diene eine Anlage, die für runde und quadratische Stangen ausgelegt ist. Dazu werden zwei Prüfschlitten wahlweise in die Linie geschoben.

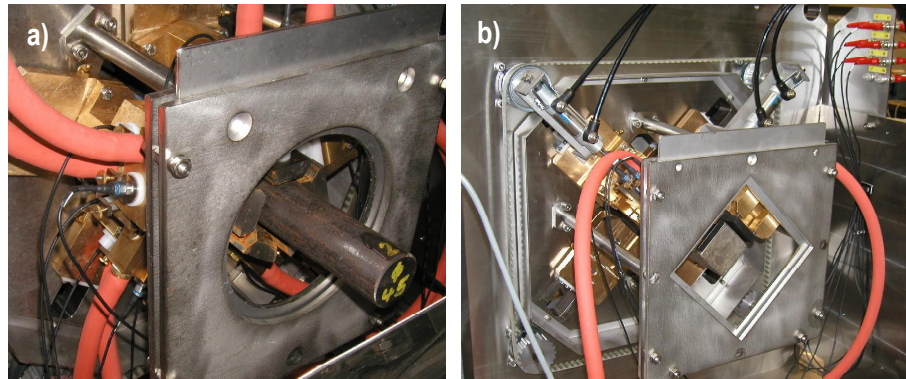


Bild 4: Detailansicht der Prüfmechanik: Zwei Prüfschlitten mit jeweils eigenem Schiebetisch befinden sich auf einem gemeinsamen höhenverstellbaren Hubtisch. a) Ein Prüfschlitten dient der Prüfung von Rundmaterial. b) Der zweite Schlitten ist für Vierkantmaterial in Spießkant-Position ausgelegt.

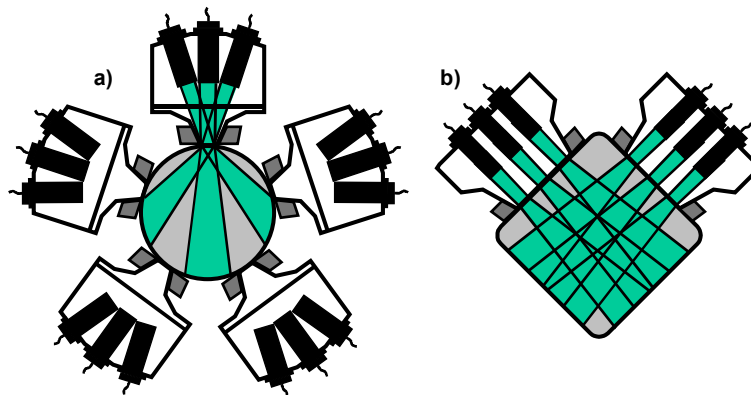


Bild 5: Prinzipskizze der Schallüberdeckung, a) 15 Prüfköpfe für runde Stangen (5 Senkrecht, 10 Winkel) mit federnd aufgehängten Prüfkopfträgern, b) Vierkantprüfung mit sechs Senkrecht-Prüfköpfen und pneumatischer Anstellung der Prüfkopfträger (Bewegung zwischen Prüf- und Sicherheitsposition).

Festzuhalten bleibt, dass das Stangenprüfsystem (Typ STPS-ECHOGRAPH) die wirtschaftlichste Lösung für die Stabstahlprüfung darstellt. Die Mechanik ist sehr robust und kompakt. Sie ist zudem leicht zu bedienen und zu warten, was die laufenden Kosten niedrig hält. Die Prüfkopfträger sind federnd aufgehängt und gleichen somit Geradheitstoleranzen aus. Dies ist besonders bei der Prüfung von Schwarzmaterial relevant.

3 Vollprüfung von Stangen mit PVDF-Folien-Prüfköpfen

Viele Ultraschallanlagen für Rundprofile arbeiten mit rotierenden Prüfköpfen bei linearem Vorschub der Prüflinge. Hierbei ergeben sich zwei entscheidende Nachteile. Zunächst ist der lineare Vorschub begrenzt, um bei überlappenden Prüfspuren den Prüfgegenstand vollständig zu überdecken. Zudem müssen Vorschub des Prüflings und Rotationsgeschwindigkeit der Prüfköpfe perfekt aufeinander abgestimmt sein, um die 100%-Prüfung zu garantieren. Dies ist mit einer schlupf-behafteten Zuführung der Prüfgegenstände schwierig zu realisieren. Bei modernen Systemen liegt die Drehzahl bei mehreren 1000 U/min. Der mechanische Verschleiß bei einer solchen Anordnung ist daher unvermeidlich. Die Signalübertragung zwischen rotierendem Prüfkopf und dem Stator der Prüfmechanik ist ein weiterer Schwachpunkt dieses Anlagenkonzepts. Signalschwächung durch kapazitive Übertragung oder Verschleiß durch Schleifkontakte sind die Folge.

Entscheidende Vorteile eines stationären Systems sind wiederum die hohe Prüfgeschwindigkeit bei verschleißarmer Mechanik und die Möglichkeit der Erfassung kurzer Fehler durch die hohe Schussdichte in Durchlaufrichtung. Typische Fehlstellen sind in der Regel längsgerichtet und werden entsprechend ihres axialen Verlaufs nur von einem System mit stationären Prüfköpfen immer vom gleichen Prüfkopf erfasst. Eine genaue Abschätzung der Fehlerlänge oder eine gezielte Unterdrückung von sehr kurzen Fehlern ist somit gezielt möglich.

Neuartige Folien-Prüfköpfe verwenden PVDF als aktives Piezomaterial [2]. Durch geeignete Vorbehandlung der Folien ergeben sich hervorragende piezoelektrische Eigenschaften. Durch die niedrige Schall-Impedanz eignen sich die Folienwandler besonders zur Prüfung in Tauchtechnik und bieten dann vergleichbare Schallintensitäten wie Prüfköpfe mit keramischen Wandlern.

Kernstück dieser Prüfanlage vom Typ HRP-ECHOGRAPH (Hochgeschwindigkeitsprüfung von Rundprofilen) sind die mit Wasser gefüllten Prüfkammern [3,4]. Jede Prüfkammer kann mit einem Schiebetisch zwischen der Prüfposition und Kalibrierposition verfahren werden. Einstell- und Wartungsarbeiten können somit erfolgen, ohne die Produktion zu behindern. Der Transport durch die Anlage erfolgt in der Regel mit zentrischen Rollentreibern. Die gesamte Anlage ist auf einem Hubtisch installiert, der höhenverfahrbar ist und Niveau-Unterschiede zwischen Rollgängen und Prüfanlage für die verschiedenen Durchmesser ausgleicht. Oberhalb der Mechanik sind separate Sende-Vorverstärker-Einheiten montiert, die über kurze Kabel mit den Prüfköpfen verbunden sind. Eine Farbmarkiereinrichtung dient der ortsgetreuen Fehlermarkierung. Die Position einer erkannten Ungänze ist somit auf der Stange verlässlich markiert und zusätzlich im Prüfprotokoll dokumentiert.

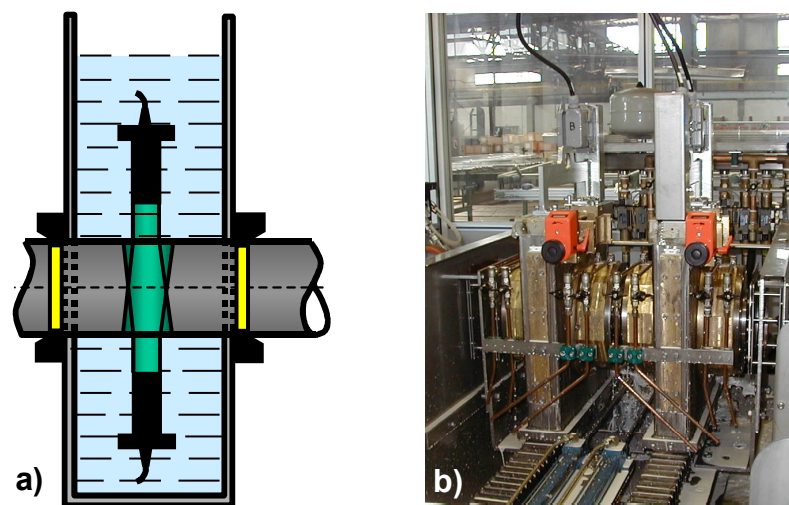


Bild 6: *Prinzip und Aufbau einer HRP-ECHOGRAPH-Stangenprüfanlage, a) die Ankopplung erfolgt in Tauchtechnik, b) Ansicht der Prüfmechanik quer zur Durchlaufrichtung.*

Innerhalb der Prüfkammern sitzen auswechselbare Kassetten auf denen die Prüfköpfe montiert sind. Die Prüfkammern sind mit extrem schnellen Schließmechanismen ausgestattet. Beim Öffnen und Schließen geht wenig Wasser verloren, so dass sehr kurze ungeprüfte Enden erreichbar sind.

Die Prüfkassetten sind auf ihre jeweilige Prüfaufgabe optimiert. Die Anzahl der Winkel-Prüfköpfe kann somit variiert werden. Die Prüfung des Kernbereichs mit Senkrecht-Einschallung wird mit unfokussierten Tauchtechnik-Prüfköpfen durchgeführt. Je nach Durchmesser und geforderter Prüfempfindlichkeit können auch linien- oder punktfokussierte Prüfköpfe eingesetzt werden.

Das Umrüsten auf einen neuen Durchmesser erfolgt durch Umrüsten des Schließmechanismus (Auswechseln der Führungsdüsen) und bei größeren Abmessungssprüngen zusätzlich durch ein Austauschen der Prüfkassetten. Beim Dimensionswechsel wird berücksichtigt, dass für jeden Arbeitsbereich die richtigen Prüfköpfe eingesetzt werden. Da jeweils 30 Grad pro Prüfkopf abgedeckt werden, wächst die Bauform der Prüfköpfe mit dem Stangendurchmesser (Bild 7). Die durch die Krümmung erzielte Linienfokussierung der Prüfköpfe ermöglicht bei der Prüfung von Rundprofilen eine sehr gleichmäßige Einschallung.



Bild 7: *Linienfokussierte patentierte Folien-Prüfköpfe zur Ultraschall-Prüfung von Rundmaterial.*

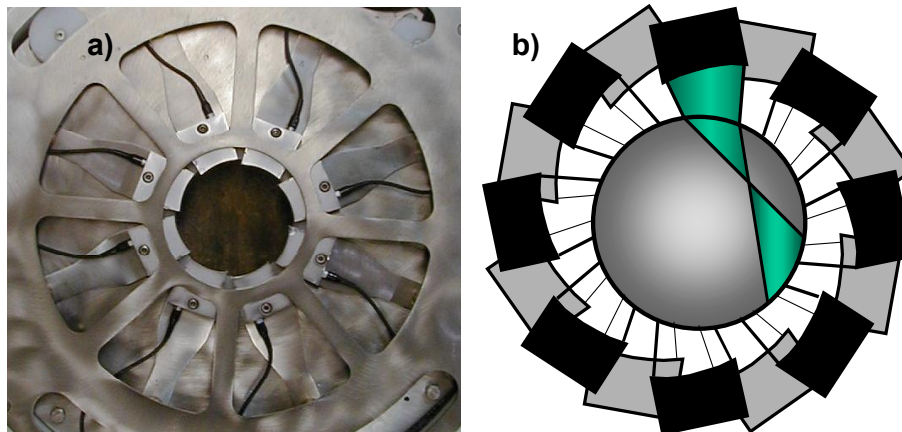


Bild 8: *a) Ausschnitt einer Prüfkassette mit 16 linienfokussierten Folien-Prüfköpfen zur Winkeleinschallung; eine zentrale Winkelverstellung sorgt für kurze Einrichtzeiten, und b) Prinzipskizze der Einschallung.*

Das HRP-ECHOGRAPH-Prüfsystem hat sich besonders für gerichteten Blankstahl bestens bewährt und liefert eine gleichmäßige Prüfempfindlichkeit für den ganzen Querschnitt. Natürlich steigt die Gleichmäßigkeit der Prüfung mit der Anzahl der verwendeten Prüfköpfe. Eine Vielzahl von unterschiedlichen Konfigurationen wurde bereits realisiert.

4 Prüfung von Sonderprofilen

Das Stangenprüfsystem (STPS) ist auch erweiterbar für die Ultraschall-Prüfung von Vierkant- und Flachmaterial. Zwei Prüfschlitten mit jeweils eigenem Schiebetisch befinden sich auf einem gemeinsamen Hubtisch. Ein Prüfschlitten dient der Prüfung von Rund- und Sechskantmaterial, der zweite Schlitten ist für Vierkant- und Flachmaterial. Je nach Bedarf wird der entsprechende Schlitten in die Linie gefahren und die gemeinsame Elektronik dem Profil gemäß parametrierbar. Wie bei der Rundstangen-Prüfung werden die federnd aufgehängten Prüfkopfträger durch Gleitkufen am Profil geführt. Bei größeren Endenverformungen erfolgt eine pneumatische Anstellung der Prüfkopfträger. Die folgende Prinzipskizze zeigt eine bereits realisierte Anordnung. Hiervon abweichende Anzahlen von Prüfköpfen oder Anordnungen sind jedoch denkbar.

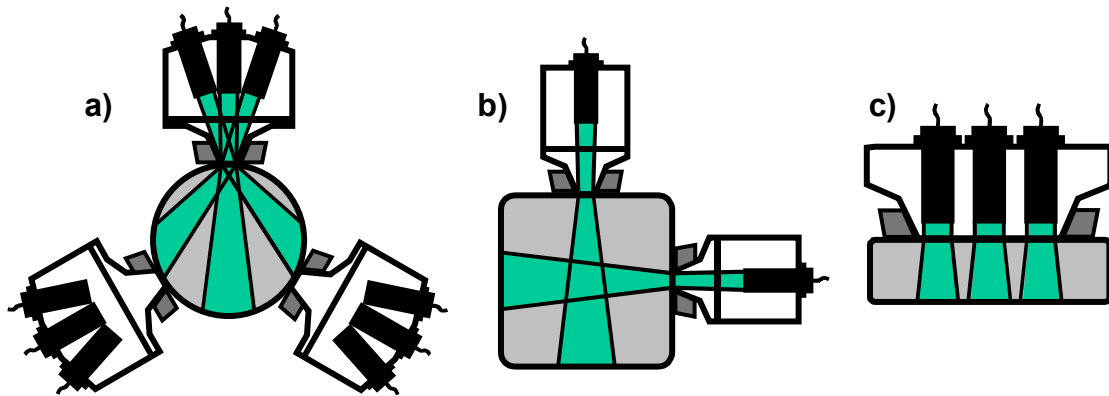


Bild 9: *Prinzipskizze der Prüfkopf-Anordnung, a) für runde Stangen mit neun Prüfköpfen in Wasserstrahlankopplung, b) Vierkantprüfung mit zwei Senkrecht-Prüfköpfen und c) Flachprüfung mit mehreren SE-Prüfköpfen in Spaltankopplung.*

Auch die HRP-Prüfanlage wurde bereits zur Profilprüfung erweitert. Prinzipiell sind viele verschiedene Profile mit dem Tauchtechnik-Prinzip prüfbar. Der Rollgang muss hierzu in der Lage sein, das jeweilige Profil vibrationsarm durch die Anlage zu transportieren. Zudem müssen Dichtungsbuchsen für das jeweilige Profil zur Verfügung stehen, um die Prüfkammer abzudichten.

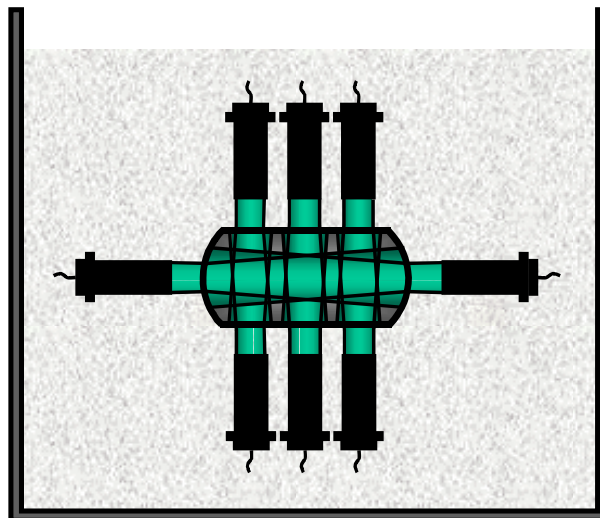


Bild 10: *Beispiel der Flachprofilprüfung mit einer HRP.S-Prüfanlage und 8 Prüfköpfen.*

5 Auswertung der Ultraschallsignale

Die Ultraschall-Signale aller Prüfkäle werden in Echtzeit ausgewertet. Pro Kanal ist eine Auswertung mit bis zu vier Blenden und mit bis zu drei Schwellen möglich. Blenden und Schwellen können für jeden Kanal separat eingestellt werden. Ebenso ist ein schneller, programmierbarer Kennlinienausgleich vorgesehen, der die zunehmende akustische Dämpfung bei wachsender Schalllaufzeit kompensiert. Eine sehr gleichmäßige Prüfempfindlichkeit ist somit gewährleistet.

Die Ultraschall-Einheit arbeitet prinzipiell autark. Die Bedienung und Parametrierung der Anlage erfolgt über den übergeordneten Rechner. Separate Ultraschall-Vorverstärker sind über kurze Kabel mit den Prüfköpfen verbunden und sorgen für einen exzellenten Signal-Rausch-Abstand. Die Kabellängen zur Hauptelektronik, z.B. in der Prüfkabine können dann viele Meter betragen.

Mit einer speziellen Steuerelektronik werden die Ultraschalldaten mit den Wegimpulsen korreliert. Mit der Datenverwaltung (DAV) werden nun Prüfprotokolle erzeugt, die eine lückenlose Dokumentation einer ordnungsgemäßen Prüfung erlauben. Die Stange wird in sogenannte Prüfabschnitte unterteilt, welche in den Prüfprotokollen als kleinste Einheit erscheinen. Der Anlagen-Betreiber entscheidet über die Art der Darstellung

und über die Menge der gespeicherten Daten. Wenn eine Dokumentation für jeden Prüfling erwünscht ist, geschieht dies meist als halbgraphische Darstellung, indem Amplituden und / oder Laufzeiten über der Prüflingslänge aufgetragen sind. Die Schwellwerte sind eingetragen und Überschreitungen sind sofort erkennbar. Eine statistische Auswertung über einen gesamten Auftrag oder ein Los ist ebenfalls möglich.

Die Software der Datenverwaltung ist für einen Industrie-PC mit Windows-Betriebssystem konzipiert. Ein Übertragen der Prüfdaten zum übergeordneten Leitrechner oder in andere Windows-basierende Programme ist somit leicht möglich.

6 Zusammenfassung

Ultraschall-Prüfanlagen mit feststehende Prüfköpfen haben sich zu einer echten Alternative zu Systemen mit schraubenförmigen Prüfspuren entwickelt [5]. Die Prüfgeschwindigkeit ist sehr hoch bei besserer Überdeckung des Querschnitts besonders in Durchlaufrichtung des Prüfteils. Weiterhin ist die Auffindung besonders kurzer Fehlstellen eine Stärke von linearen Prüfspuren. Die Mechaniken sind verschleißarm und im Laufe des letzten Jahrzehnts perfektioniert worden.

7 Literatur

- [1] V. Deutsch, M. Platte, M. Vogt: Ultraschallprüfung – Grundlagen und industrielle Anwendungen, Springer Verlag, 1997.
- [2] V. Deutsch, M. Platte, P. Möller: Ultraschallprüfköpfe aus Piezoelektrischen Hochpolymeren, Materialprüfung, Vol 32, S. 333-337, 1990.
- [3] V. Deutsch, M. Platte, P. Möller: Hochgeschwindigkeits-Ultraschall-Prüfsystem für Rundmaterial, DGZfP-Jahrestagung Trier, Tagungsband S. 185-194, 1990.
- [4] M. Platte, P. Möller: Automatisches Ultraschallprüfen von Blechen und Rohren, Bänder Bleche Rohre, S. 25-32, 3/1993.
- [5] P. Möller: Vergleich von gekrümmten Folien- und ebenen Piezo-Schwingern bei der Ultraschallprüfung von Rohren und Stangen, DGZfP-Jahrestagung Fulda, Tagungsband S. 205-213, 1992.
- [6] W. Deutsch, V. Schuster, M. Joswig, R. Kattwinkel: Schnelle, automatisierte Stangen- und Rohrprüfung ohne Rotation, DGZfP-Jahrestagung Celle, Tagungsband S. 407-415, 1999.
- [7] V. Deutsch, M. Platte, M. Vogt, W. A. K. Deutsch, V. Schuster: Die Ultraschallprüfung – Kompakt & Verständlich, 77 Seiten, Castell-Verlag Wuppertal, 2002.