

Reduzierung der relevanten bewertungspflichtigen Anzeigen in RDB- Nähten durch den Einsatz einer Phased Array Ultraschallprüftechnik, die im Vorfeld gemäß PDI in einem Blindtest qualifiziert wurde.

Friedrich MOHR, intelligenteNDT System & Services, die ZfP- Tochtergesellschaft der AREVA
NP, Erlangen

Kurzfassung. Im deutschsprachigen Raum wird die Überprüfung der Schweißnähte der Reaktordruckbehälter mittels Ultraschall in einer wiederkehrenden Prüfung überwiegend gemäß den Ansprüchen des KTA-Regelwerkes durchgeführt. Diese Prüfphilosophie beruht auf der Erfassung aller Anzeigen eines Prüfbereiches und dem wiederkehrenden Vergleich dieser Anzeigen in einem regelmäßigen Abstand. Jegliche betriebsbedingte Änderung wird so zur Anzeige gebracht.

Viele Bauteile zeigen nun schon über längere Perioden keine Veränderungen. Um den Prüfaufwand bzw. die Prüfperioden zu optimieren, sind genaue Kenntnisse des Komponentenzustandes nötig. Für diese Betrachtungen sind exakte Daten von vorhandenen Fehlstellen zwingend nötig. Die bisher eingesetzten Prüftechniken liefern aber nur Werte über die Reflektivität um den Vergleich durchführen zu können. Werte über eine Längen- und Tiefenerstreckung einer relevanten Fehlstelle liefern nur qualifizierte „Sizing“ Methoden.

Das PDI Programm gibt Regeln solch einer Technik-Qualifikation für bestimmte Anwendungen exakt vor. Unterzieht man sich nun einer PDI-Qualifikation mit den persönlichen Blindtests für alle Datenbewerter, so erhält man die Grundlage um Aussagen zur wirklichen Fehlstellendimension machen zu können. Und somit die Basis für die angestrebte Optimierung.

IntelligeNDT AREVA hat den PDI-Qualifikationsprozess für die Phased Array Prüftechnik für die Prüfung der RDB Längs- und Rundnähte in Zusammenarbeit mit KKL im Jahre 2006 erfolgreich durchlaufen. Ergänzend zu dieser Qualifikation wurde der Vergleich mit den Ergebnissen der bisherigen Prüftechnik (an KTA orientiert) durchgeführt. Ein wesentlicher Bestandteil der Qualifikation ist die Fehlercharakterisierung und somit die Trennung zwischen relevanten und nicht relevanten Anzeigen, was zu einer Reduzierung der Anzeigen führen kann.

Dieser Vortrag stellt die Ergebnisse und Erfahrungen der Qualifikation als auch den Vergleich der Ergebnisse von Standardprüftechnik mit Tandemfunktion und Phased Array dar.

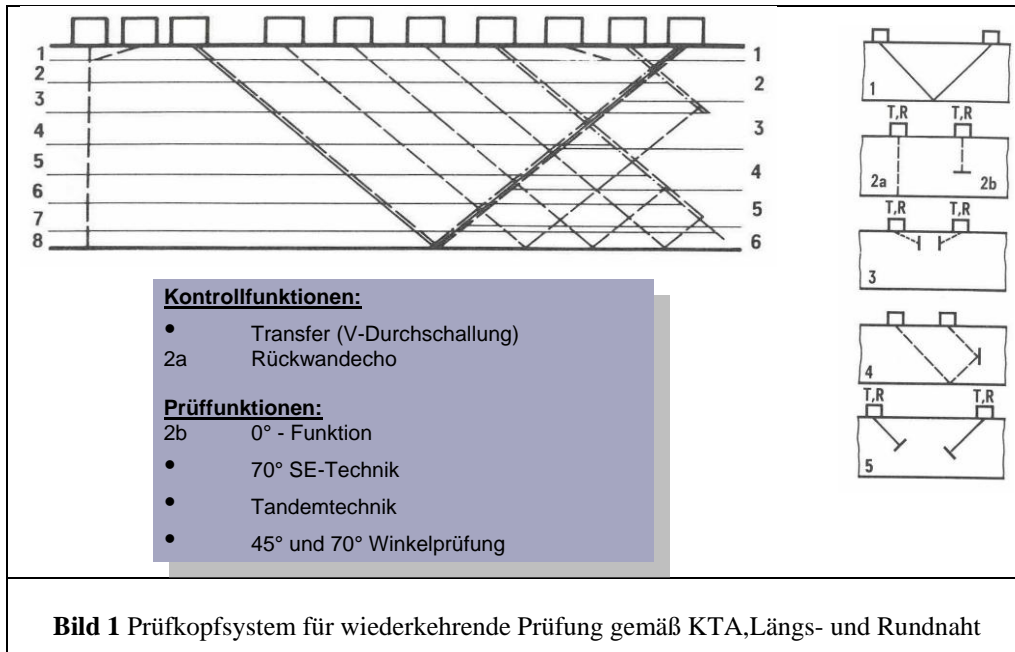
Einleitung

Im Rahmen der wiederkehrenden Prüfung wird die Überprüfung der Schweißnähte des Reaktordruckbehälters mittels Ultraschall durchgeführt. Im deutschsprachigen Raum erfolgt die Prüfdurchführung gemäß den Vorgaben des KTA-Regelwerkes. Die Prüfphilosophie beruht in diesem Falle auf der Erfassung aller Anzeigen eines Prüfbereiches, die mit einem Kriterium eine durch die KTA definierte Registriergrenze überschreiten.



Bei der Wiederholungsprüfung wird nun verglichen ob es eine Veränderung dieser Anzeigen gegenüber den vorangegangenen Prüfungen gibt. Jegliche betriebsbedingte Änderung wird so zur Anzeige gebracht.

Die einzusetzenden Prüfetechniken sind ebenfalls im KTA-Regelwerk festgelegt. Hieraus ergibt sich bei der Nutzung von Standard Ultraschallprüfköpfen, für die Außenprüfung der Schweißnähte des Reaktordruckbehälters (RDB) von Siedewasser Reaktoren (SWR) ein sehr großes Prüfsystem (Bild 1)



Dieses Prüfsystem ist nur für die Reflektordetektion nicht aber für die Charakterisierung oder die Größenbestimmung der Fehlstelle geeignet.

Die Größe des Prüfsystems bedingt aber einige Nachteile bei der Prüfdurchführung. Das in Bild 1 dargestellte System ist nur für eine Fehlerorientierung, längs oder quer, geeignet. Um beide Richtungen abzudecken, muss das System zusätzlich um 90° gedreht werden. Diese bedeutet eine weiter Vergrößerung des Systems oder einen Systemumbau und eine 2te Prüffahrt. Zusammengefasst ergeben sich folgende Nachteile (Bild 2)

Nachteile des Prüfsystems:

- Je 10 Prüfköpfe für Längs- und Querfehler
- Großer Prüfsystemträger
- Begrenzungen im Fahrbereich
- Umbauten auf Teilsysteme zur Abdeckung des Prüfsystems
- Jede Prüfstelle 2x überfahren

Folgen:

- Lange Prüfzeit
- Mehrere Umbauten
- Höhere Dosisaufnahme

Bild 2 Nachteile des Prüfkopfsystems für wiederkehrende Prüfung gemäß KTA

Weiterentwicklung des Systems

Ein Ziel zur Weiterentwicklung der Prüftechnik, das im Kundeninteresse steht, ist es die Prüfzeiten zu verkürzen um somit Revisionszeit und hierdurch Geld einzusparen. Die Prüffirmen sind an einer deutlichen Reduzierung der durch ihr Personal applizierten Dosis interessiert. Bei einer geringeren Dosis können die Spezialisten öfter und langfristiger Vorort eingesetzt werden, was zu einer höheren Produktivität und zu geringeren Ausbildungskosten für Personaleratz führt. Ein weiterer Vorteil ist, dass das bestehende Know-how länger genutzt werden.

Betrachtet man die Nachteile des Standardsystems so erkennt man, dass eine Minimierung des Systemaufbaus erhebliche Vorteile bringen kann. Durch den Einsatz von Gruppenstrahlerprüfköpfen (Grst) konnte, bei Beibehaltung der Anforderungen, eine erhebliche Minimierung des Systemaufbaues erreicht werden. Die Ziele dieser Systemoptimierung mittels Grst-Prüfköpfen sind in Bild 3 zusammengefasst.

Ziel der Qualifikation war :

- Minimierung des Prüfsystems
- Besser Abdeckung des Prüfbereiches
- Jede Prüfstelle nur 1 x überfahren
- Geringere Dosis
- Gewährleistung der Übertragbarkeit der vorlaufenden Prüfungen gemäß KTA

→ Optimierung der Prüftechnik für die Anforderungen gemäß KTA.

Die Technik muss folgende Eigenschaften haben:

- Tandem oder Tandemersatz
- Einschwingfunktionen
- Längs- und Querfehler in einem System
- Prüfung der Stutzenkante durch das gleiche System (ohne Umbau)

Bild 3 Ziel der Entwicklung für den Einsatz von Gruppenstrahlerprüfköpfen

Um mit den Gruppenstrahlerprüfköpfen die Anforderungen des KTA-Regelwerkes zu erfüllen, wurde die Tandemersatzprüftechnik entwickelt. Es wurde erreicht, dass das neu aufgebaute Prüfkopfsystem nur noch 7 Prüfköpfe umfasste, beide Fehlerorientierungen abdecken konnte und noch zusätzlich für die Prüfung der Stutzeninnenkante ausgelegt war (Bild 4). Diese Technik wurde in 2 Varianten qualifiziert und bereits mehrfach Vorort erfolgreich eingesetzt.

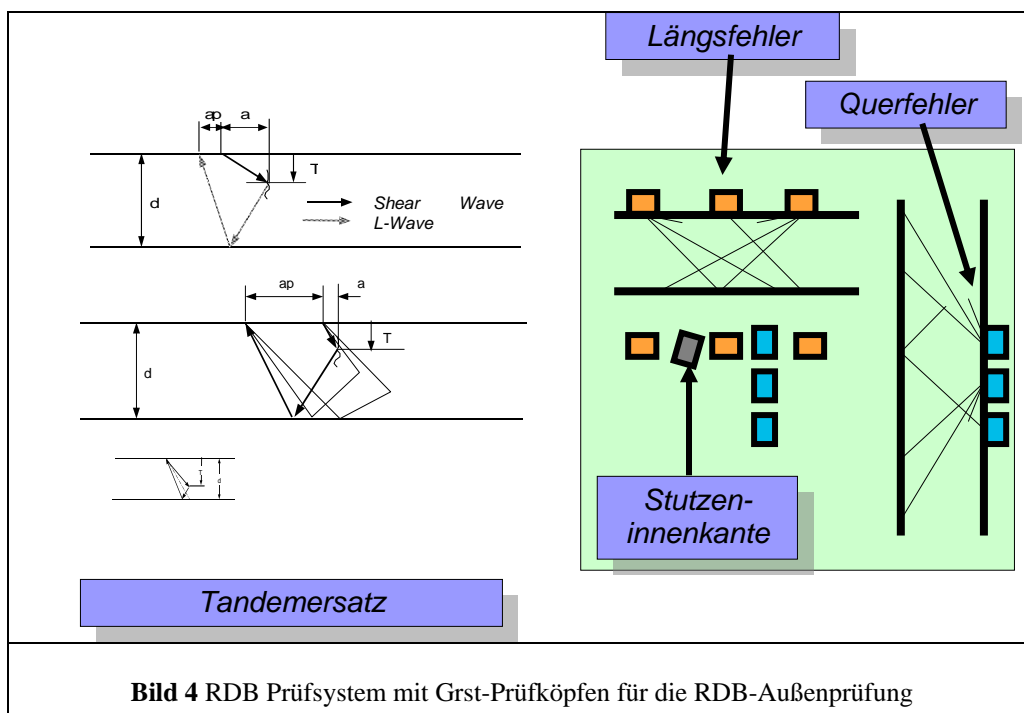


Bild 4 RDB Prüfsystem mit Grst-Prüfköpfen für die RDB-Außenprüfung

Um den Prüfbereich am RDB unter Nutzung dieses Prüfsystems noch zu erweitern, wurde ein Manipulator, basierend auf einer 5-Achsen Robotertechnik entwickelt. Dieser Manipulator kann von den montierten Schienen aus sowohl Längs- als auch Rundnähte, sowie die Einschweißnähte und die Stützeninnenkanten eines Behälters prüfen. (Bild 5)

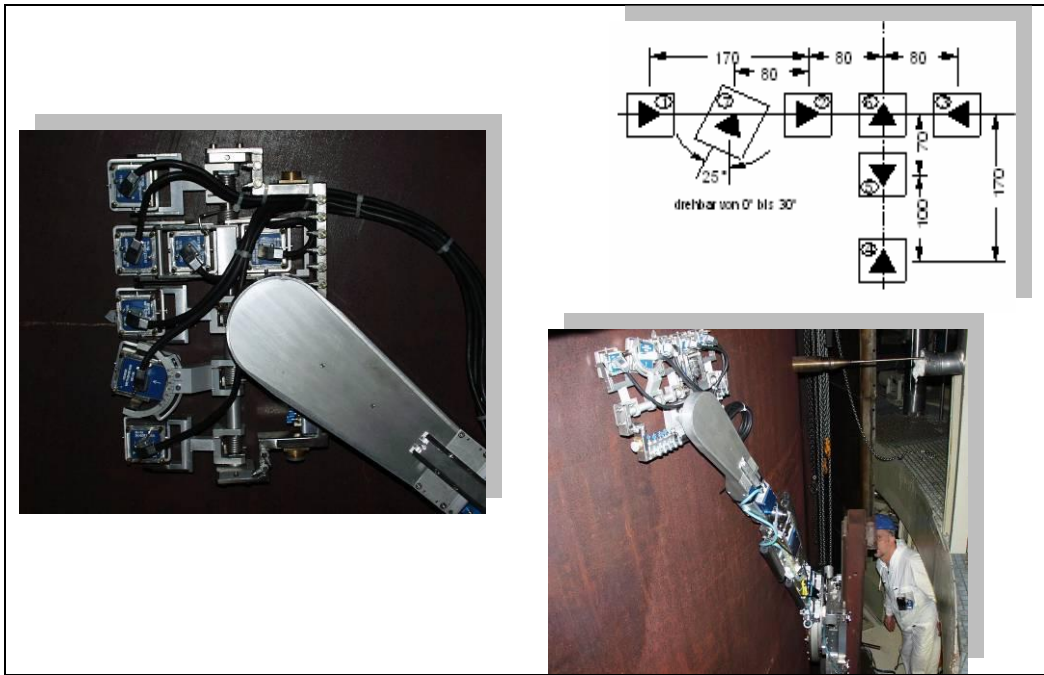


Bild 5 Realisierung des Grst-Systems mit Manipulator in Variante 1

Die Qualifikation dieser Technik erfolgte durch Vergleichsmessungen an künstlichen Reflektoren an einem Mock-Up. Die Reflektoren lagen in verschiedenen Tiefenlagen im Bauteil und wiesen unterschiedliche Größen auf (Bild 6).

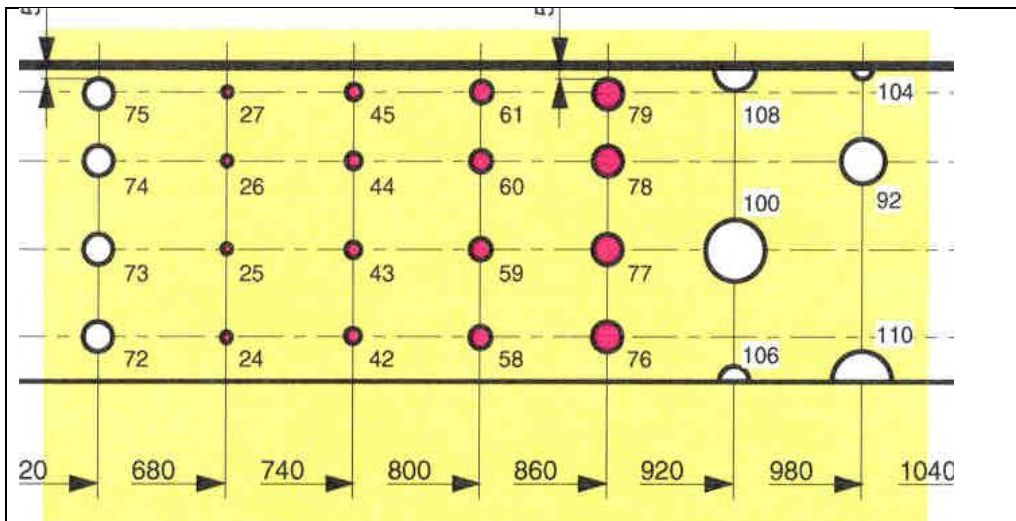


Bild 6 Behältertestwand als Mock-Up für die Vergleichsmessungen

Die Grst-Prüftechnik liefert eindeutige Prüfergebnisse. Die Vergleichbarkeit mit der vorher eingesetzten Tandemprüftechnik kann gewährleistet werden (Bild 7).

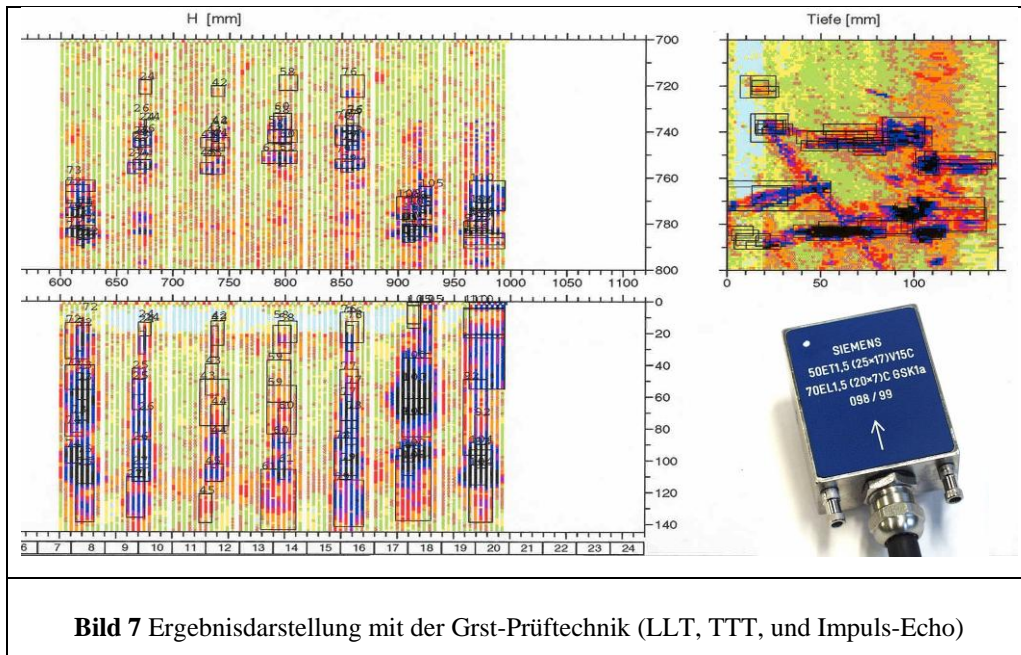


Bild 7 Ergebnisdarstellung mit der Grst-Prüftechnik (LLT, TTT, und Impuls-Echo)

Während der Qualifikation wurden mehrere Varianten der Prüfkopfanzordnung im Systemträger erprobt. Ziel war es immer die geforderten Prüfbereiche mit einem Überfahren prüftechnisch möglichst umfassen abzudecken.

Eine in den Kraftwerken eingesetzte Variante 2 ist in Bild 8 dargestellt.

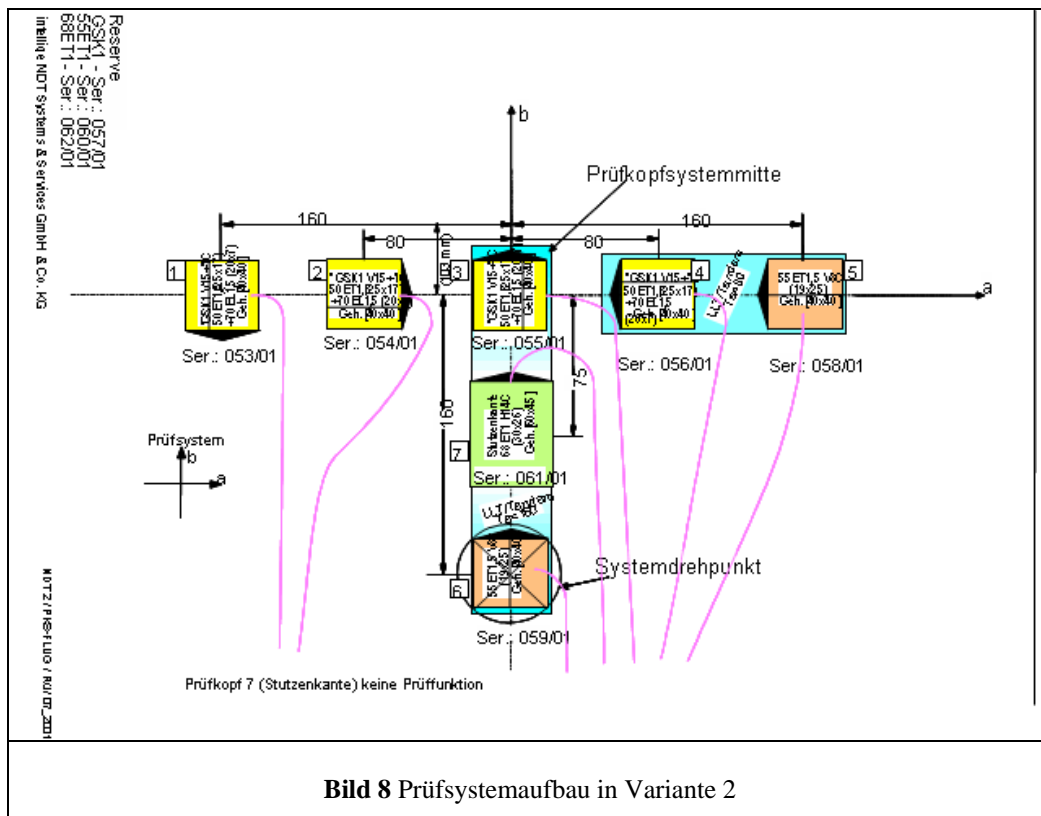
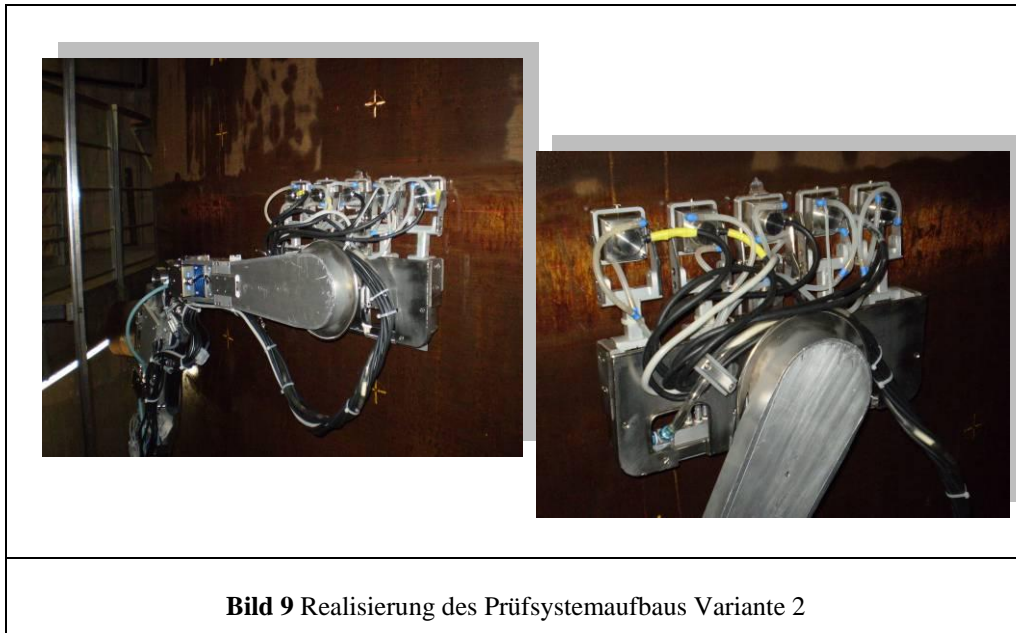


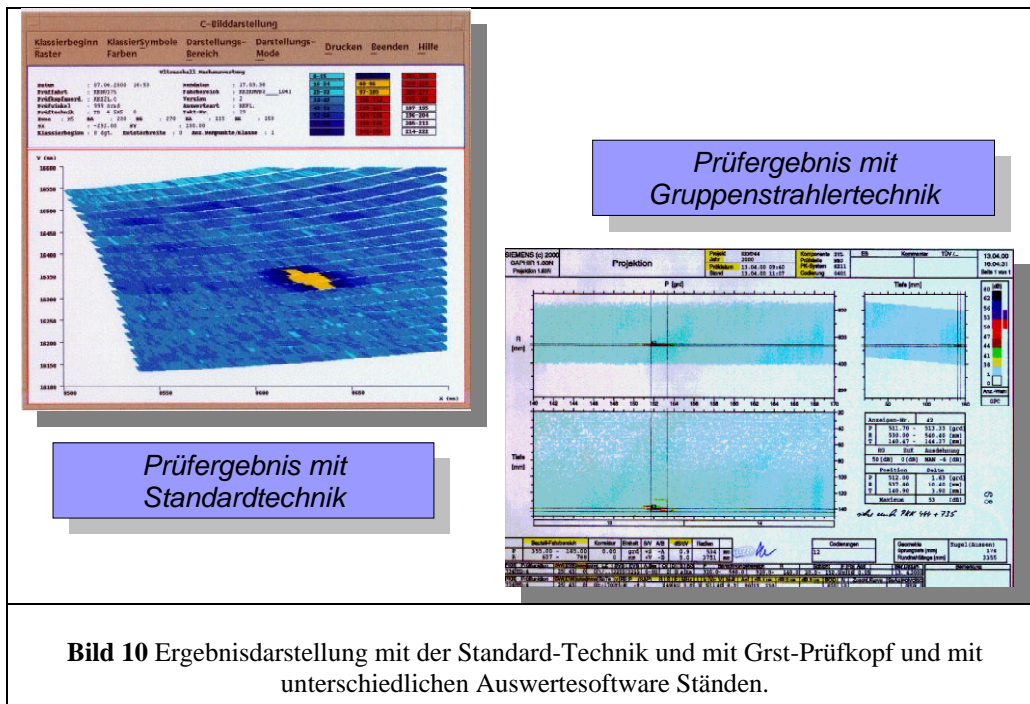
Bild 8 Prüfsystemaufbau in Variante 2

Auch diese Variante wurde manipulatorisch aufgebaut, qualifiziert und Vorort eingesetzt (Bild 9).



In sehr umfassenden Vergleichsmessungen wurden die Grst-Systeme mit den Standardsystemen verglichen. Da nach KTA eine vergleichende Prüfung gefordert ist müssen die Prüfergebnisse auch absolut übertragbar sein.

Da sich im Laufe der Zeit die Auswertesoftware und die Gerätetechnik stetig weiterentwickelt haben, wurde im Rahmen der Prüftechnikqualifikation die gesamte aktuelle Messkette, mit dem von intelligenteNDT entwickelt und gebauten Ultraschallgerät SAPHIR, qualifiziert (Bild10).

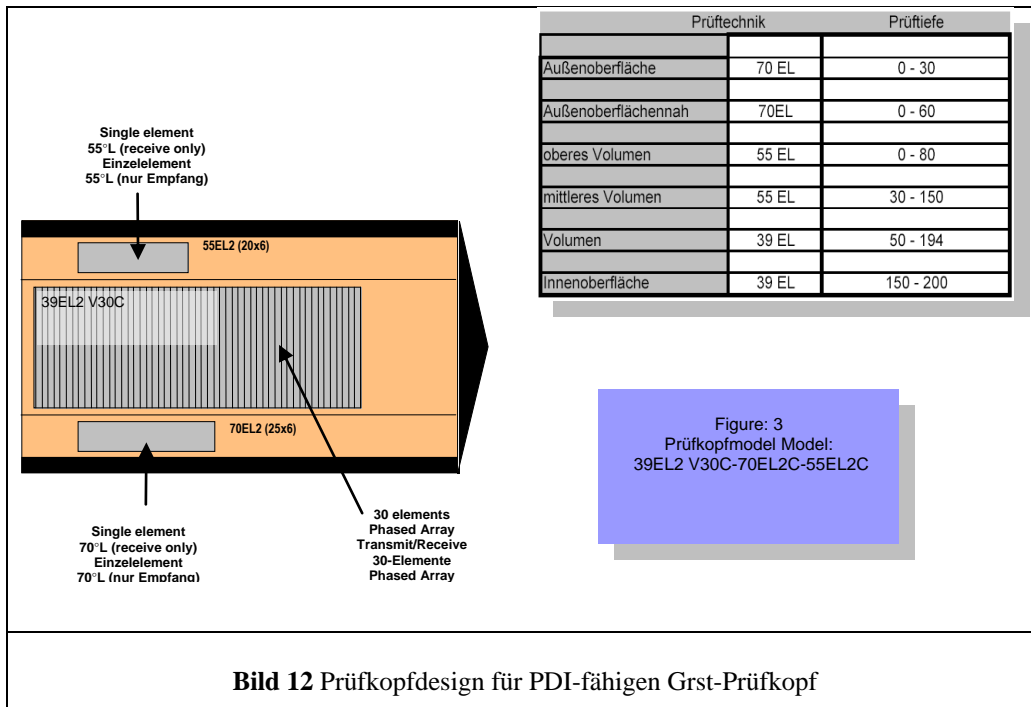


Die mit Grst-Prüfköpfen realisierten verbesserte Prüftechnik ist nach KTA Regelwerk nur für die Fehlerdetektion ausgelegt. Eine Fehlercharakterisierung bzw. eine Fehlergrößenbestimmung ist

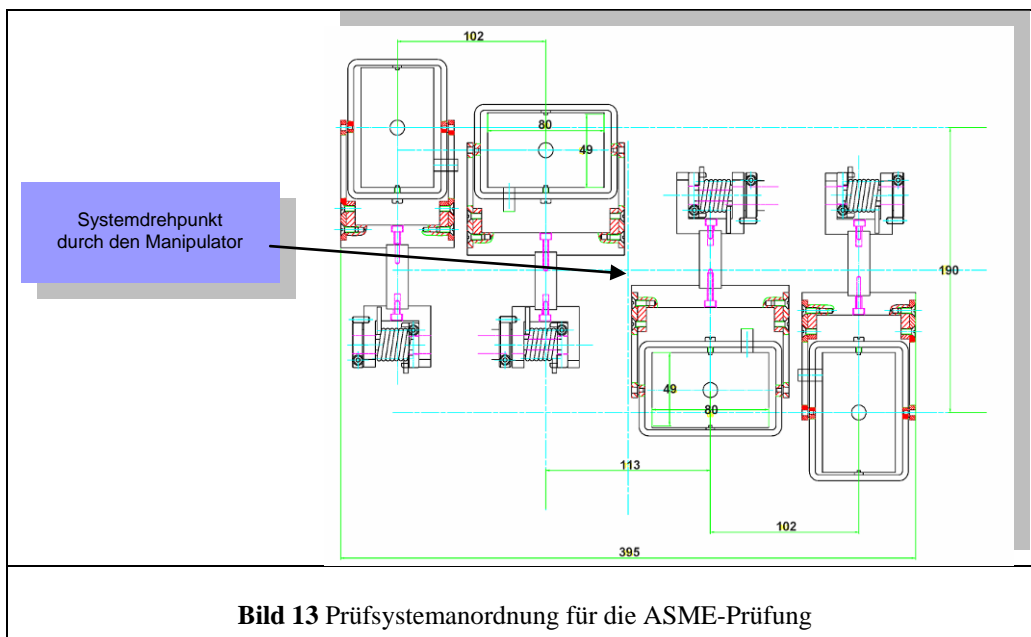
mit diesem System nur begrenzt möglich. Um diese Prüfung auch international durchführen zu können, musste die Fähigkeit der Fehlergrößenbestimmung und der Charakterisierung integriert werden. Das Ziel des nächsten Entwicklungsschrittes war es die erreichten Vorteile zu erhalten, und die nach ASME geforderten Anforderungen mit aufzunehmen. Trotzdem sollte jede Prüfstation nur einmal überfahren werden. Die Zielerreichung sollte über die Qualifikation gemäß dem PDI-Programm (Performance Demonstration Initiative), das durch EPRI in USA durchgeführt wird, erfolgen. In Bild 11 sind die Vor- und Nachteile zusammengefasst.

<p><u>Ziel der Qualifikation war :</u></p> <ul style="list-style-type: none">➤ die RDB Außenprüfung gemäß ASME Code➤ Übertragung der Qualifikation auf die Anforderungen nach Schweizer Regelwerk➤ Gewährleistung der Übertragbarkeit der vorlaufenden Prüfungen gemäß früherem Schweizer Regelwerk (angelehnt an KTA) <p>→ <u>Optimierung der Prüftechnik für die Anforderungen gemäß PDI.</u></p> <p><u>Die Technik muss Eigenschaften haben zur:</u></p> <ul style="list-style-type: none">➤ Fehlerdetektion➤ Fehlercharakterisierung➤ Fehlergrößenbestimmung➤ Jede Prüfstation nur einmal überfahren
<p align="center">Bild 11 Zieldefinition der 2ten Phase der Entwicklung</p>

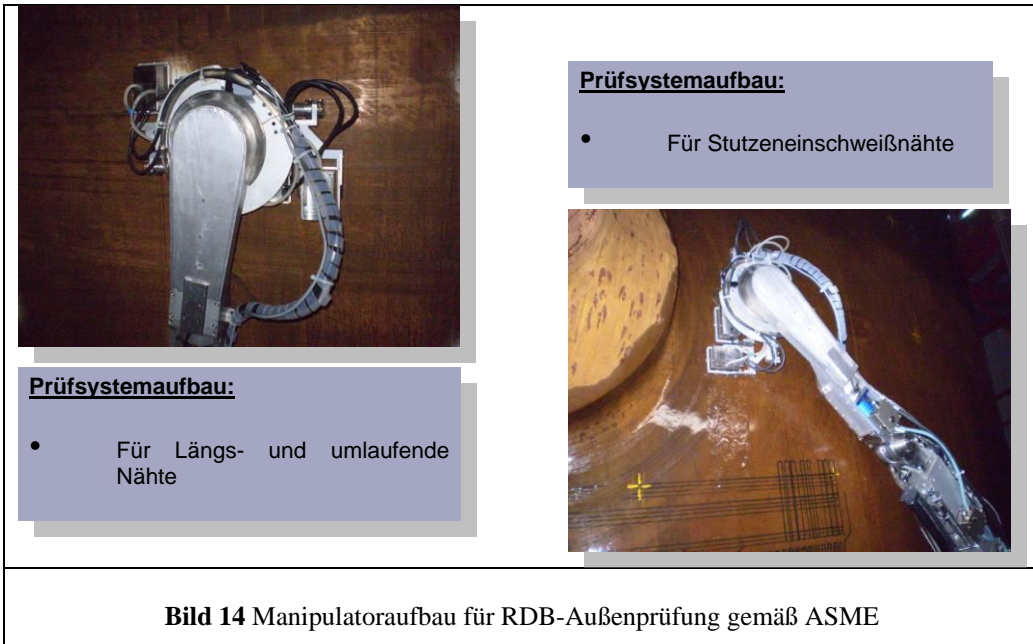
Bei der Analyse der bestehenden Technik in Hinblick auf die erweiterten Anforderungen zeigte sich, dass die Prüfköpfe optimiert werden mussten. Ein neuer 32-Elemente Grst-Prüfkopf wurde entwickelt. Dieser Prüfkopf kann zur Detektion als auch zur Anzeigenanalyse in einem Wandstärkenbereich bis 200mm eingesetzt werden. In Bild 12 ist das Schema dieses Prüfkopfes dargestellt.



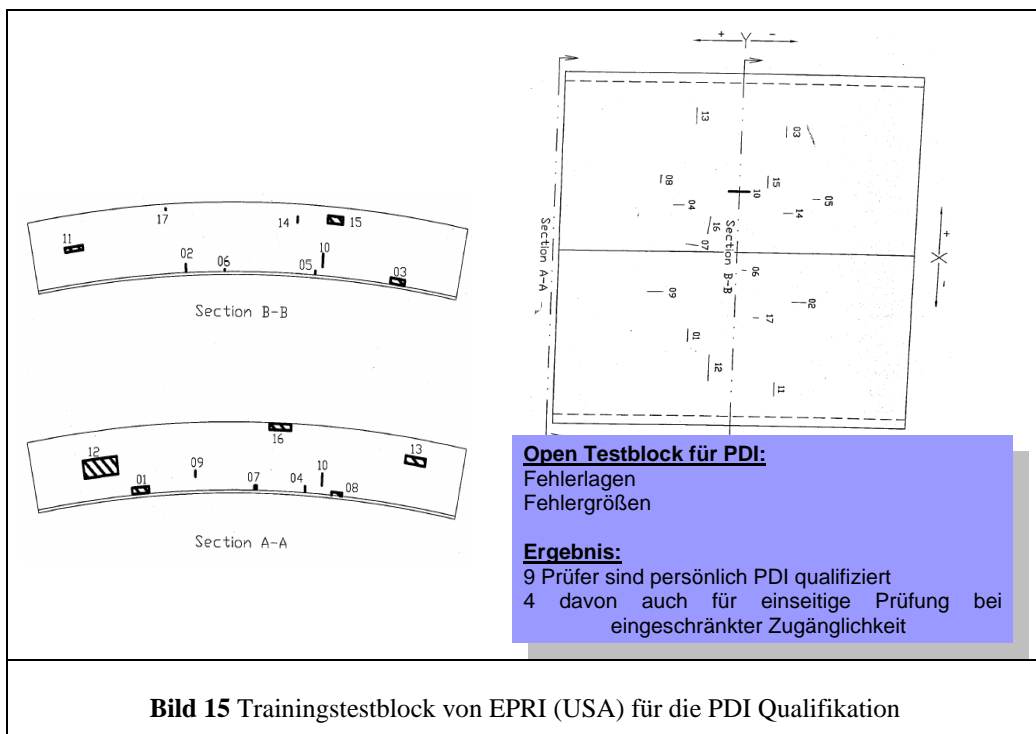
Durch eine entsprechende Anordnung von 4 dieser Prüfköpfe konnte ein Optimum an Prüfbereichsabdeckung erreicht werden. Durch diese Anordnung konnte auch die Forderung nach Längs- und Querfehlerprüfung, Fehlerdetektion und Sizing, mittels eines Systems bei einmaligem Überfahren der Prüfstelle erreicht werden (Bild 13).



Auch der Manipulator wurde an das neue System angepasst (Bild 14)



Dieses ASME-System wurde im Blindtest an repräsentativen Testfehlern (Bild 15 und 16) für die 2-seitig zugängliche und die einseitig zugängliche Naht qualifiziert.



Open Testblock für PDI:
 Mit Rissen, Schlacke, Bindefehlern
 Alle Werte in „Zoll“

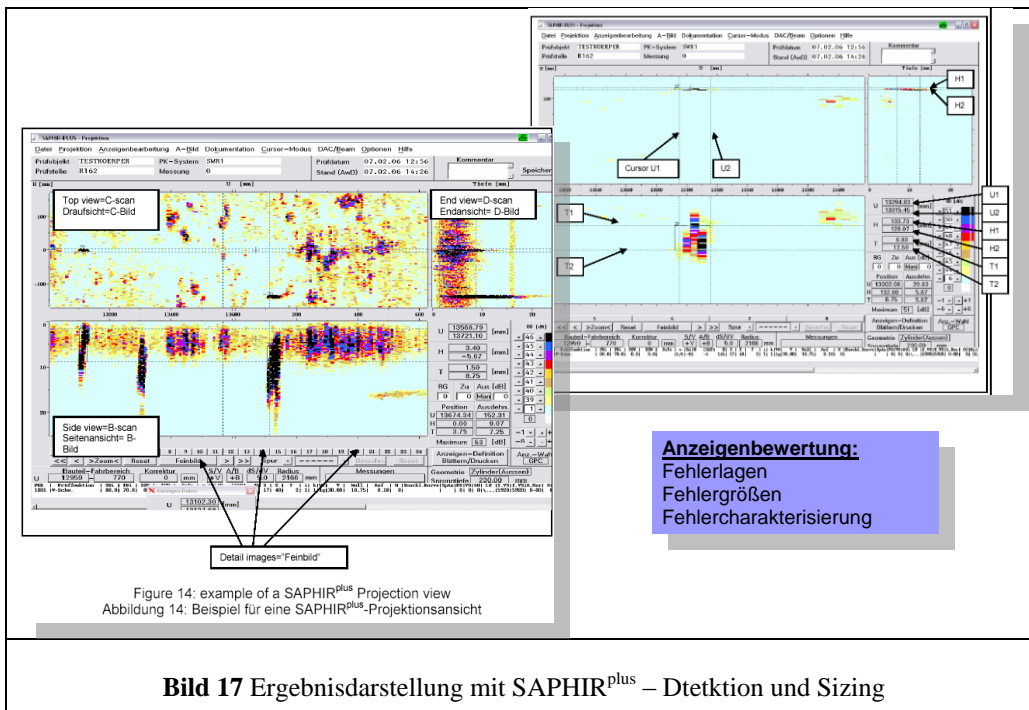
→ Fehlercharakterisierung

DIMENSIONAL CERTIFICATE OF CONFORMANCE
 ESTABLISHED FROM VENDORS AS BUILT DOCUMENTS

FLAW IDENT	TYPE	AS-BUILT DIMENSION						LIGAMENT				SIZE		APP VIII
		FLAW CENTER LOCATION			SIZE			LIGAMENT				LENGTH	T*WALL	
		Xi	Xo	Y	Di*	Do	di*	do	SK #	TLT A				
181001	CRACK	-11.10	-11.70	6.20	0.00	6.30	0.00	5.71	0	90	1.84	0.59	D	
181002	CRACK	-6.50	-6.85	-8.90	0.00	6.30	0.00	5.60	90	90	1.98	0.70	D	
181003	CRACK	15.70	16.55	-6.20	0.00	6.30	0.00	5.77	0	90	1.54	0.53	C	
181004	CRACK	6.10	6.43	8.10	0.00	6.30	0.00	5.80	90	92	1.51	0.50	C	
181005	CRACK	7.10	7.48	-10.60	0.00	6.30	0.00	6.03	95	92	1.03	0.27	B	
181006	CRACK	-2.40	-2.53	-1.10	0.00	6.30	0.00	6.18	85	92	0.64	0.12	A	
181007	CRACK	0.90	0.95	6.10	0.00	6.30	0.00	5.95	82	92	1.74	0.35	B	
181008	SLAG/LOF	9.40	9.91	10.50	0.00	6.30	0.00	6.06	0	85	1.16	0.22	B	
181009	CRACK	-5.40	-5.70	10.80	1.49	4.81	1.21	4.54	90	90	2.17	0.55	C	
181010	CRACK	7.90	8.33	0.00	1.29	5.01	0.75	4.47	90	90	2.91	1.06	E	
181011	SLAG/LOF	-18.12	-19.10	-6.00	3.15	3.15	2.95	2.94	0	83	1.92	0.41	C	
181012	CRACK	-15.40	-16.23	3.20	2.88	3.42	2.05	2.60	0	90	3.69	1.65	E	
181013	SLAG/LOF	17.55	18.50	6.10	4.22	2.08	3.89	1.74	0	97	2.15	0.67	D	
181014	CRACK	5.22	5.50	-6.90	4.82	1.48	4.57	1.22	90	90	1.38	0.51	C	
181015	CRACK	9.20	9.70	-3.90	5.08	1.22	4.74	0.86	0	90	1.67	0.68	D	
181016	CRACK	3.51	3.70	3.90	6.21	0.09	5.62	0.09	172	91	2.41	0.59	D	
181017	SLAG	-8.63	-9.10	-3.00	5.82	0.48	5.77	0.43	90	90	0.79	0.10	A	

Bild 16 Fehlergut im Trainingstestblock von EPRI (USA) für die PDI Qualifikation

Mit diesen neuen Prüfköpfen und der iNDT Standard Gerätetechnik Saphir^{plus}, Hard- und Software (Bild 17), konnten sehr gute Qualifikationsergebnisse und auch bereits gute Vorortergebnisse erzielt werden.



Anzeigenbewertung:
 Fehlerlagen
 Fehlergrößen
 Fehlercharakterisierung

Bild 17 Ergebnisdarstellung mit SAPHIR^{plus} – Dtektion und Sizing

In einem Ersteinatz in einem europäischen Kernkraftwerk konnte innerhalb eines fest definierten Prüffenster 66% aller Längs- und Rundnähte mit dieser Prüftechnik geprüft werden (Bild 18).

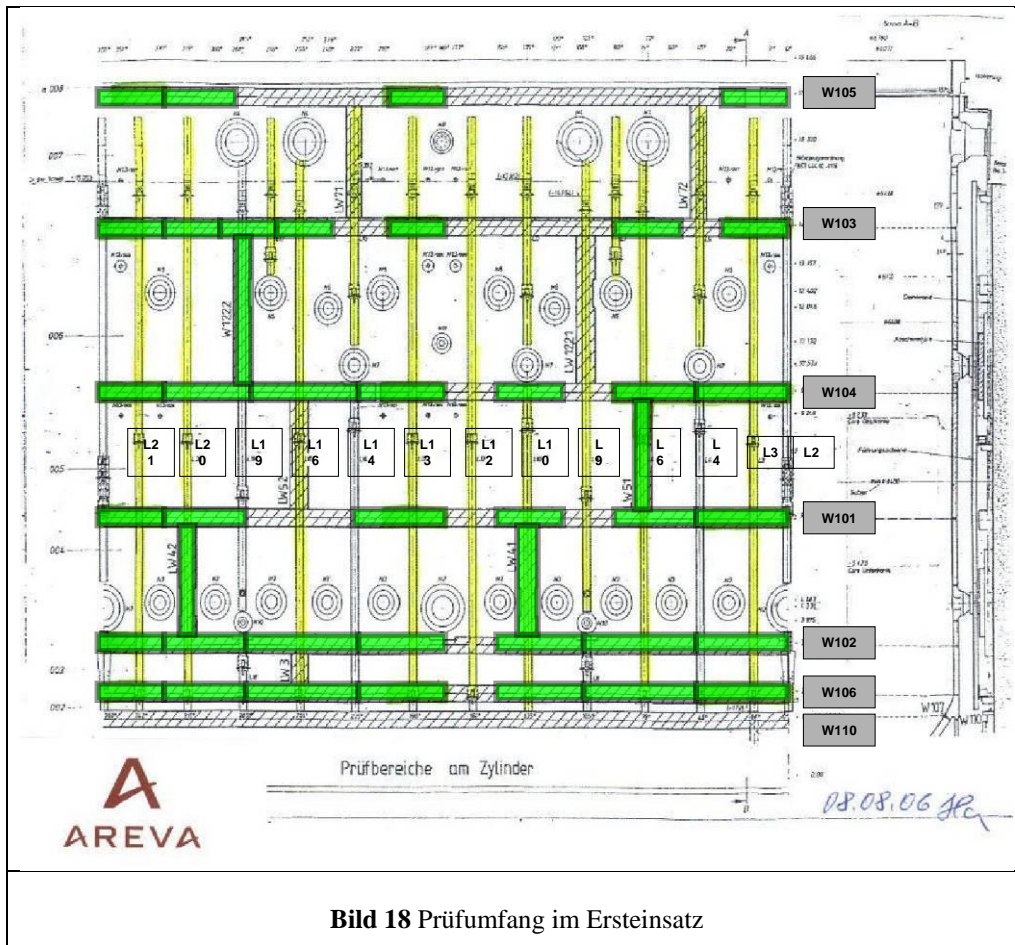


Bild 18 Prüfumfang im Ersteinsatz

Betrachtet man die Anzeigenauswertung in dieser Prüfung und vergleicht die Anzahl der detektierten registrierpflichtigen Anzeigen mit der Anzahl der registrierpflichtigen Anzeigen aus den früheren, nach KTA – Methode durchgeführten, wiederkehrenden Prüfungen, so ergibt sich (Bild 19), dass wesentlich weniger relevante Anzeigen registriert wurden, die zu weiteren Betrachtungen Anlass geben und weiter verfolgt werden müssen.

Prüfergebnis bei Längs- und Rundnähten:

- Bei früher durchgeführten Prüfungen wurden über 800 registrierpflichtige Anzeigen, nach bisherigem Regelwerk detektierten.
- 66% des Nahtvolumens wurden in 2006 geprüft.
- Im geprüften Volumen wurden 11 nach ASME akzeptierbare Anzeigen registriert.
- Bei 3 weiteren Anzeigen wurden bruchmechanische Berechnungen durchgeführt.



Vorher ca. 500 Anzeigen jetzt 14 Anzeigen

Bild 19 Prüfergebnis aus dem Ersteinsatz

Um diese Aussage weiter verifizieren zu können, wurde ein Untersuchungsprogramm gestartet, in dem alle Techniken, das heißt Variante 1 Grst, Variante 2 Grst und das ASME System an einem Testkörper verglichen werden sollten. Als Testkörper wurde der Behälter bei MPA-Stuttgart ausgewählt (Bild 22). Für diesen Testkörper lagen bereits Daten mit dem Standard-Prüfkopf-System aus frühen Versuchen vor. (Bild 20 und 21)

Durchführung von Vergleichsmessungen am Testbehälter bei MPA Stuttgart / März 2007

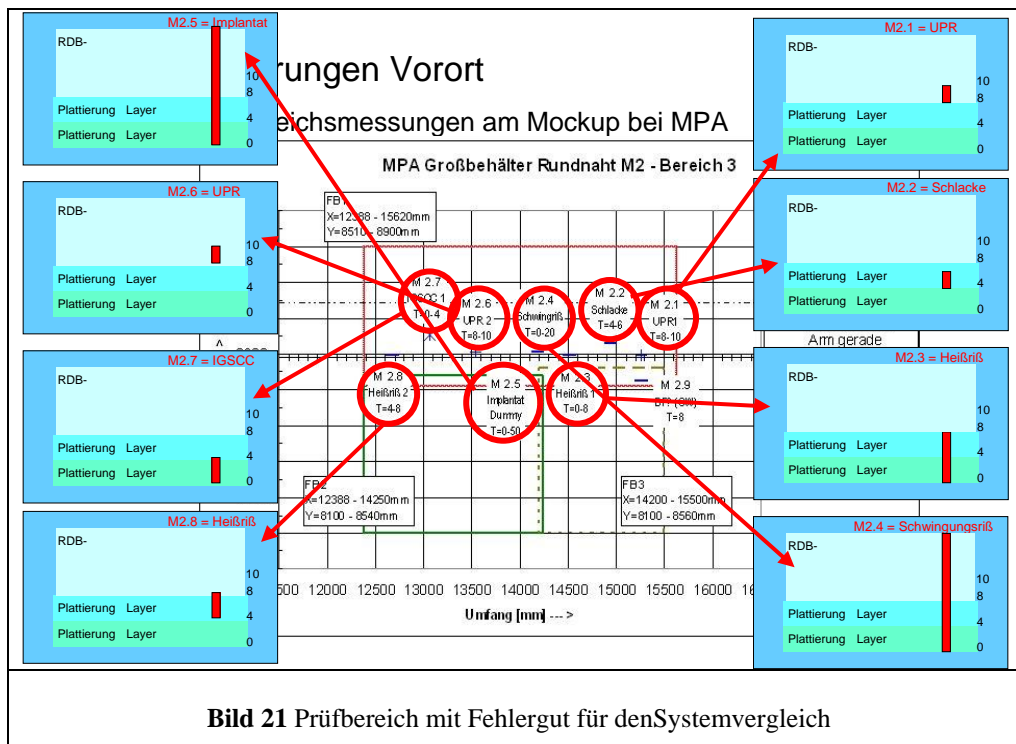
Prüfbereich:

Reflektoren im Plattierungsnahen Bereich
Rundnaht 2 - Bereich 3

Prüfsysteme:

- KTA Alternative 1
- KTA Alternative 2
- PDI

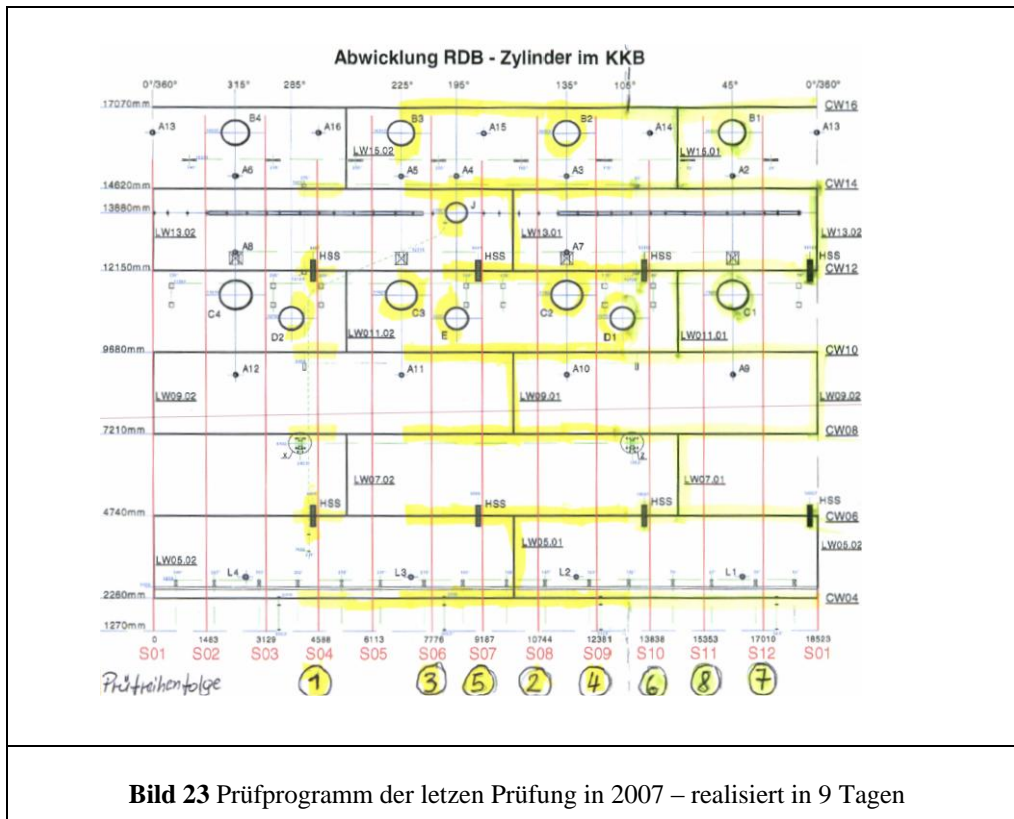
Bild 20 Prüfprogramm zur Systemoptimierung und zum Systemvergleich



Die Auswertung der Messergebnisse wird, bedingt durch die Revisionsaison, erst bis Ende 2007 abgeschlossen sein. Zum jetzigen Zeitpunkt kann aber schon festgestellt werden, dass alle Reflektoren mit allen Techniken detektiert werden konnten.



Betrachtet man die Prüfzeiten, so ist auch festzustellen, dass sich hier doch erhebliche Verbesserungen ergeben haben. Bei der letzten durchgeführten Prüfung, wurde die Prüfung der Rund- und Längsnähte als auch die Stützenprüfung von 8 Schienen aus durchgeführt. Für die Durchführung dieses Prüfungsumfanges wurden nur 9 Tage benötigt.



Zusammenfassung

Betrachtet man rückblickend die detektierten Anzeigen in den durch iNDT geprüften RDBs so zeigen die Bauteile nun schon über längere Perioden keine Veränderungen. Um den Prüfaufwand bzw. die Prüfperioden zu optimieren, sind genaue Kenntnisse des Komponentenzustandes nötig. Für diese Betrachtungen sind exakte Daten von vorhandenen Fehlstellen zwingend nötig. Die bisher eingesetzten Prüftechniken liefern aber nur Werte über die Reflektivität eines Reflektors für den Vergleich mit den vorherigen Prüfungen. Werte über eine Längen- und Tiefenerstreckung einer relevanten Fehlstelle liefern nur qualifizierte „Sizing“ Methoden.

Das PDI Programm gibt Regeln für eine Technik-Qualifikation für bestimmte Anwendungen exakt vor. Unterzieht man sich nun einer PDI-Qualifikation, mit den persönlichen Blindtests für alle Datenauswerter, so erhält man die Grundlage um Aussagen zur wirklichen Fehlstellendimension machen zu können. Diese Aussage bildet wiederum den Eingangswert für die Risikobetrachtung und somit die Basis für eine mögliche Optimierung des Prüfumfanges und des Prüfintervalls.

intelligeNDT AREVA hat den PDI-Qualifikationsprozess für die Phased Array Prüftechnik für die Prüfung der RDB Längs- und Rundnähte in Zusammenarbeit mit KKL im Jahre 2006 erfolgreich durchlaufen. Ergänzend zu dieser Qualifikation wurde der Vergleich mit den Ergebnissen der bisherigen Prüftechnik (an KTA orientiert) durchgeführt.

Ein wesentlicher Bestandteil der Qualifikation ist die Fehlercharakterisierung und somit die Trennung zwischen relevanten und nicht relevanten Anzeigen, was zu einer erheblichen Reduzierung der Anzeigen führen kann.