

# Automatisierte Prüfung von Radsatzwellen im eingebauten Zustand

Rainer BOEHM<sup>1</sup>, Thomas HECKEL<sup>1</sup>, Wolfgang SPRUCH<sup>2</sup>, Sebastian JACOB<sup>2</sup>  
<sup>1</sup> Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin  
<sup>2</sup> Büro für Technische Diagnostik GmbH & Co. KG BTD, Brandenburg

## Kurzfassung

Der einwandfreie Zustand der Radsätze von Schienenfahrzeugen ist von größter Bedeutung für den sicheren Betrieb. Die Radsatzwellen werden durch eine große Zahl von Lastwechseln individuell unterschiedlich beansprucht. Dabei spielen viele Einflüsse wie äußere statische und dynamische Lasten, innere Lasten aufgrund von Unwuchten und inneren Spannungen und Umweltbedingungen entscheidende Rollen. Eine regelmäßige Prüfung ist daher obligatorisch.

BTD entwickelt im Rahmen eines MNPQ-Projektes in Kooperation mit der BAM eine Phased Array Technik zur automatisierten Prüfung von Radsatzwellen im eingebauten Zustand. Die schwierigen Ankoppelbedingungen aufgrund der begrenzten Zugänglichkeit, der komplexen Geometrie und möglicherweise vorhandener Farbschichten und Schmutz auf der Radsatzwelle stellen hierbei große Herausforderungen dar. Um diesen zu begegnen, werden neben optimierten Prüfköpfen, einer in die Wasservorlaufstrecke integrierten akustischen Linse und einer speziellen Ankoppeltechnik auch Signalverarbeitungs-algorithmen eingesetzt.

Die Darstellung der Signalverarbeitung ist der Schwerpunkt dieses Beitrages. Mit Hilfe von Messdatensätzen präparierter Testwellen werden verschiedene Algorithmen erprobt und hinsichtlich der Stabilität, dem Verhalten bezüglich der Ankoppelschwankungen und veränderter Wellengeometrien und der Fähigkeit zur automatischen Unterscheidung von Fehler- und Formanzeigen bewertet. Letztlich wird die beste Lösung im entwickelten Prüfsystem eingesetzt.



16.03.2016

# AUTOMATISIERTE PRÜFUNG VON RADSATZWELLEN IM EINGEBAUTEN ZUSTAND

Rainer Boehm<sup>1</sup>, Thomas Heckel<sup>1</sup>, Wolfgang Spruch<sup>2</sup>, Sebastian Jacob<sup>2</sup>

<sup>1</sup> BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin

<sup>2</sup> BTD Büro für Technische Diagnostik, Brandenburg

9. Fachtagung Zerstörungsfreie Prüfung  
im Eisenbahnwesen

## Gliederung

Prüfaufgabe

Stabilisierung der Ankopplung

Verbesserung des Prüfkopfes

Signalverarbeitungsgestützte Bildgebung für die Auswertung

## Prüfungsaufgabe



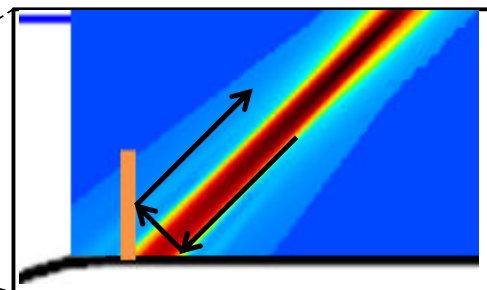
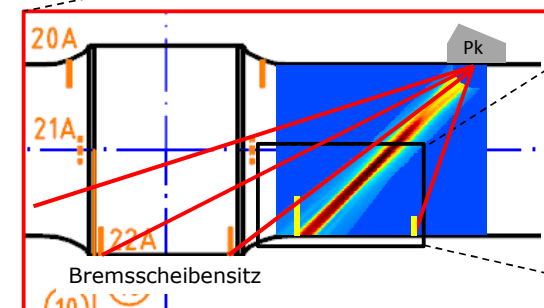
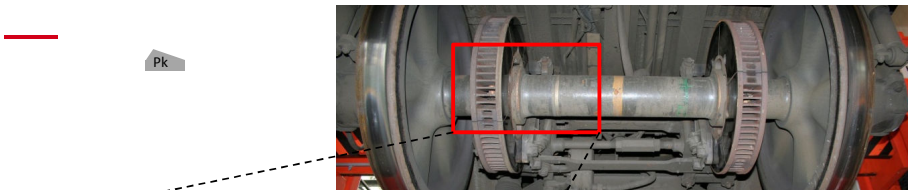
Drehgestell SBB EC Waggon



SBB Cargo Güterwagen Radsätze

Bilder: Copyrighted free use, Files moved from de.wikipedia, Kategorie: Datei: Mit OTRS-Freigabe to Commons

## Prüfungsaufgabe



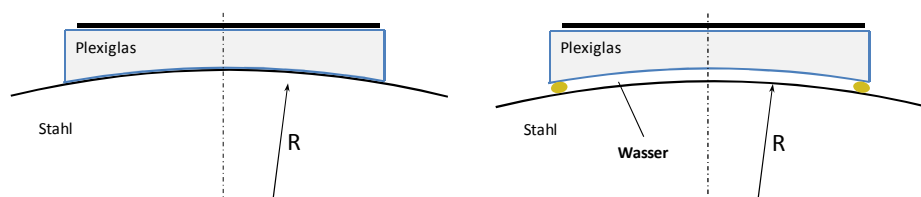
Winkelspiegeleffekt

## Optimierung der Prüftechnik

1. Ankoppelung durch lokale Tauchtechnik
2. größerer Sensor, größere Empfindlichkeit
3. Prüfkopf, Erweiterung des Schwenkbereichs

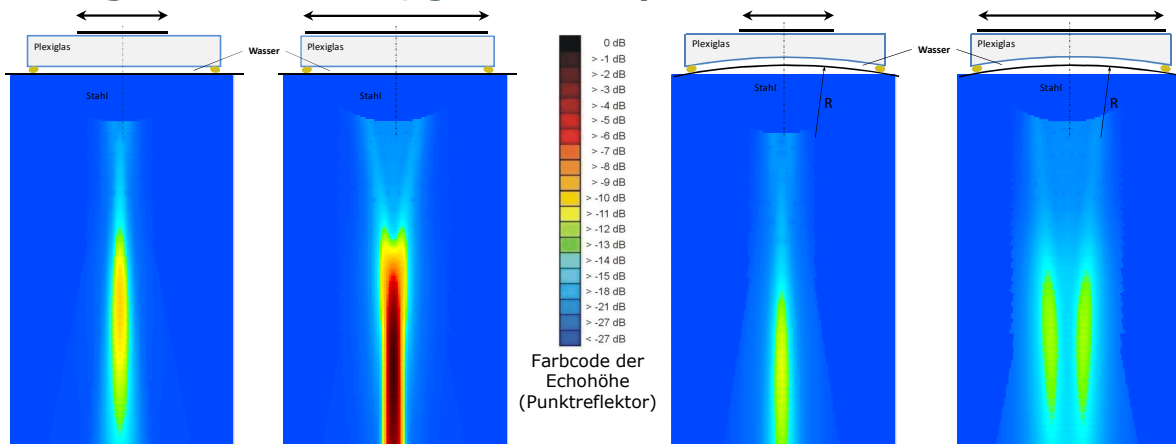
## Optimierung der Prüftechnik

### 1. Ankoppelung durch lokale Tauchtechnik



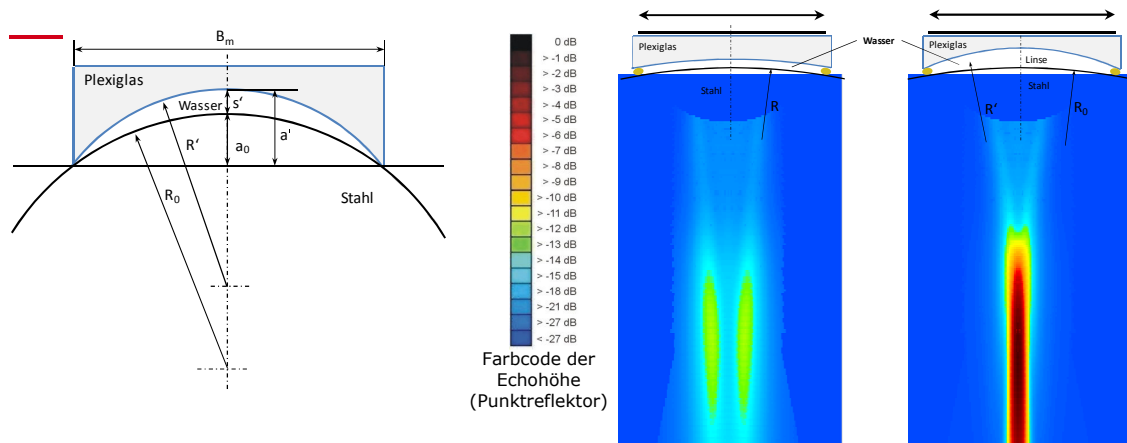
Ankoppelung durch "lokale Tauchtechnik"

## Optimierung der Prüftechnik 2. größerer Sensor, größere Empfindlichkeit



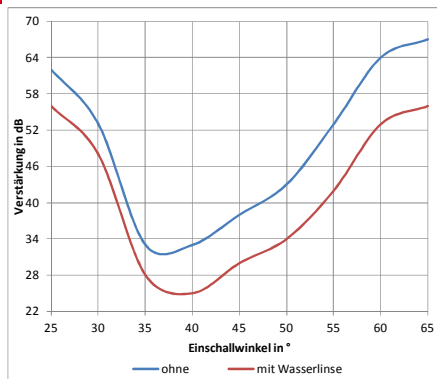
Größerer Sensor in Umfangsrichtung erfordert die Kompensation der Defokussierung

## Optimierung der Prüftechnik 2. größerer Sensor, größere Empfindlichkeit

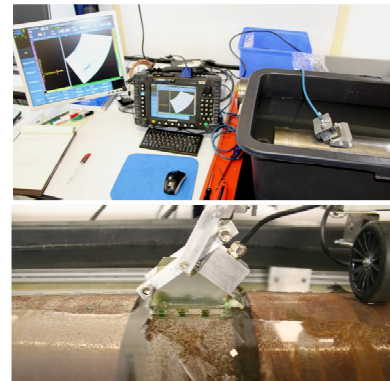


Kompensation der Defokussierung durch Wasserlinse in der „lokalen Tauchtechnik“

## Optimierung der Prüftechnik 2. größerer Sensor, größere Empfindlichkeit

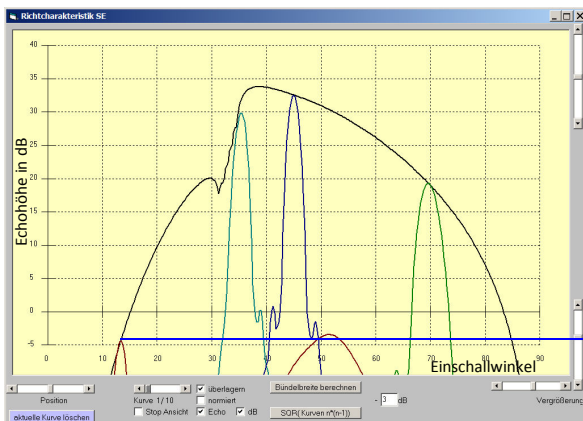


Krümmungsausgleich mit Wasserlinse  
+6dB bis +12dB am 2 mm Sägeschnitt



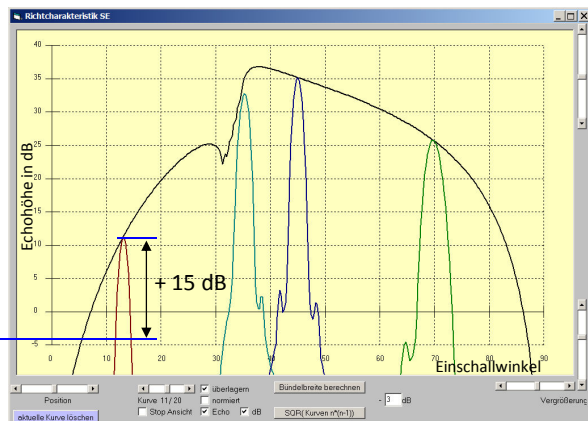
Prüfkopf im Wasserbad ca. 2 mm über dem Bauteil

## Optimierung der Prüftechnik 3. Prüfkopf, Erweiterung des Schwenkbereichs



16 Elemente 1.4 mm breit

Richtcharakteristiken,  $s = 200$  mm



32 Elemente 0.9 mm breit

Erweiterung des nutzbaren Schwenkwinkelbereichs durch schmalere Elemente

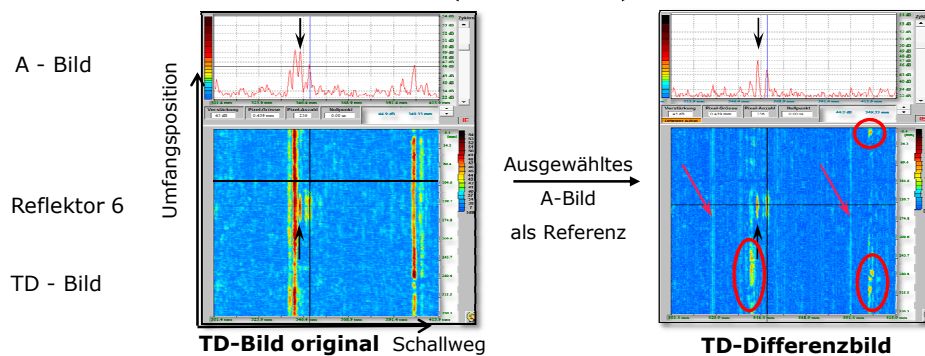
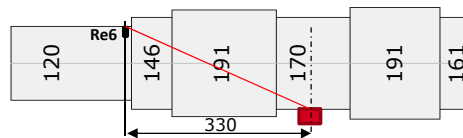
## Signalverarbeitung

Optimierte Bildgebung für die Auswertung

Erkennung von Formanzeigen  
 Unterdrückung von Rauschsignalen  
 Aussortieren von „Ausreißern“

## Signalverarbeitung Unterdrückung von Formanzeigen

Prüfkopf: 3 MHz, 16 El.  
 $\alpha_0 = 45^\circ$ ,  $\alpha = 10^\circ - 70^\circ$

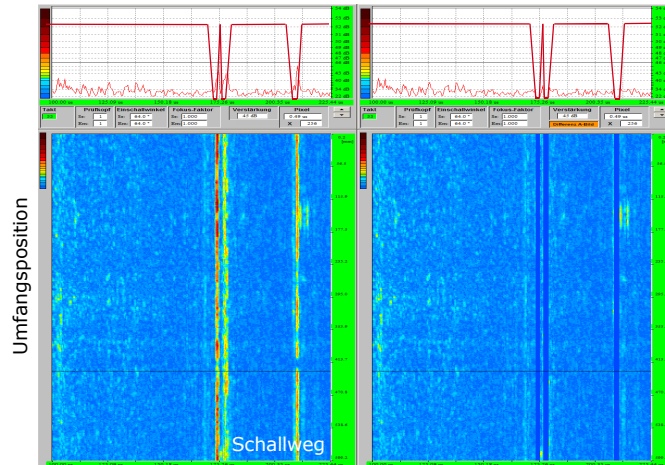


## Signalverarbeitung Unterdrückung von Formanzeigen

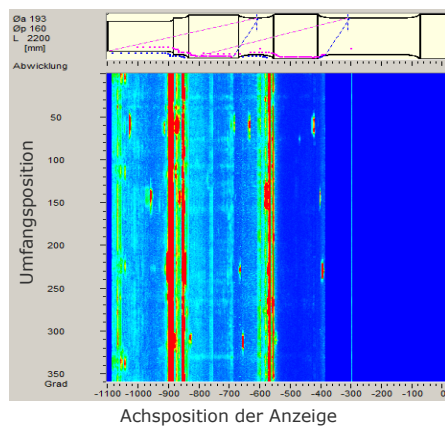
A - Bilder

Umlaufende Anzeigen aufgrund der Bauteilgeometrie werden detektiert und ausgeblendet

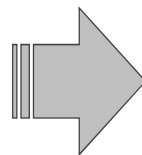
TD - Bilder



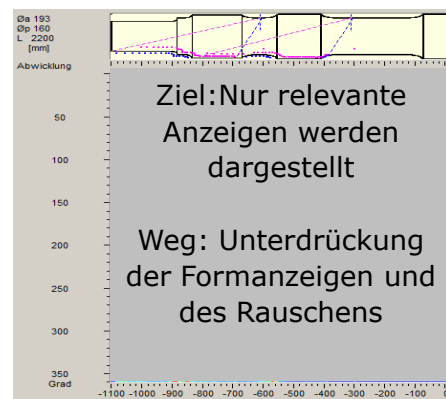
## Signalverarbeitung Unterdrückung von Formanzeigen



Auswahlfilter mit



Erhaltung der Signalhöhen

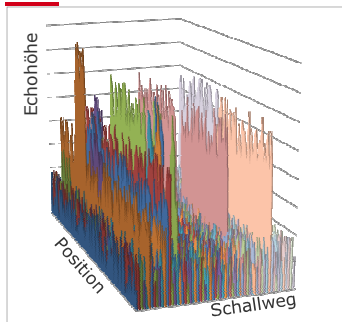


Ziel: Nur relevante Anzeigen werden dargestellt  
Weg: Unterdrückung der Formanzeigen und des Rauschens

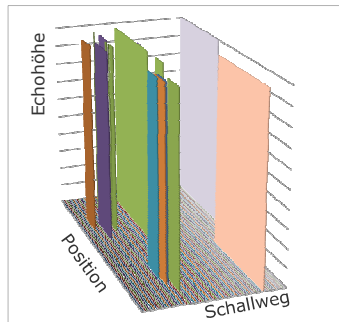
Welle mit Testfehlern: Darstellungssoftware von BT-D, TD-Bildüberlagerung der Einschallwinkel 28° - 72°



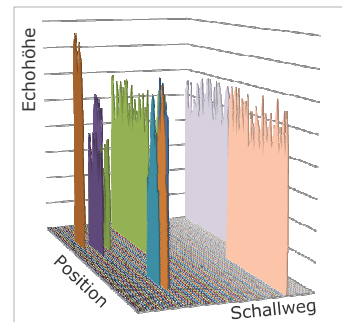
# Signalverarbeitung Diskriminierung von Formanzeigen und Rauschen



Messdatenmatrix



Auswahlmatrix



Ergebnismatrix

Aus den Eigenschaften der Messdatenmatrix erzeugt der Algorithmus eine Auswahlmatrix. Dort, wo kein Rauschen oder Formanzeigen sind, enthält die Ergebnismatrix die unveränderten Messdaten.

# Signalverarbeitung Diskriminierung von Formanzeigen und Rauschen



	797.9	966.8	73.7	611.4	3583.3
	303.8	26.1	876.2	152.6	3610.5
	934.6	510.7	348.2	498.0	3003.3
	605.2	1256.5	897.2	809.6	2820.1
	774.2	2451.4	152.1	649.8	3572.8
	967.6	2675.9	771.2	845.2	3457.3
	131.2	2908.0	922.5	363.7	2942.5
	735.0	3729.0	507.5	321.2	3018.1
	426.2	4215.4	983.7	520.0	2787.7
	730.8	4090.6	1974.1	328.5	3722.3
	373.4	4226.2	2484.7	207.4	3501.9
	110.1	4022.3	2068.1	4342.2	3719.1
	613.3	3688.3	3049.2	4467.6	2996.4
	51.8	3991.9	3784.2	4494.6	2973.2
	909.3	2511.2	3913.5	4189.2	3453.1
	22.3	2830.4	4713.4	4268.7	3448.6
	917.3	2439.5	4847.8	4361.1	3501.4
	566.9	1350.1	4337.6	4279.6	3495.2
	517.5	604.3	4098.4	4991.5	3563.4
	598.2	557.5	3077.1	4257.9	3340.8
	27.8	561.3	3014.5	4581.3	3484.4
	287.4	938.1	2910.1	948.4	3210.9
	59.0	327.1	1850.5	651.2	3439.9
	278.3			3376.1	
	214.1			3138.5	
	650.8			3189.7	
	372.4	35.5	269.1	980.4	3510.8

Messdatenmatrix

	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0
	0	1	0	0	0
	0	1	0	0	0
	0	1	0	0	0
	0	1	0	0	0
	0	1	0	0	0
	0	1	0	0	0
	0	1	1	0	0
	0	1	1	1	0
	0	1	1	1	0
	0	1	1	1	0
	0	1	1	1	0
	0	1	1	1	0
	0	1	1	1	0
	0	1	1	1	0
	0	1	1	1	0
	0	1	1	1	0
	0	0	1	1	0
	0	0	1	1	0
	0	0	1	1	0
	0	0	1	1	0
	0	0	1	1	0
	0	0	1	1	0
	0	0	1	1	0
	0	0	1	1	0
	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0

Auswahlmatrix

	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	510.7	0.0	0.0	0.0
	0.0	1256.5	0.0	0.0	0.0
	0.0	2451.4	0.0	0.0	0.0
	0.0	2675.9	0.0	0.0	0.0
	0.0	2908.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	3729.0	507.5	0.0	0.0
	0.0	4215.4	983.7	0.0	0.0
	0.0	4090.6	1974.1	328.5	0.0
	0.0	4226.2	2484.7	207.4	0.0
	0.0	4022.3	2068.1	4342.2	0.0
	0.0	3688.3	3049.2	4467.6	0.0
	0.0	3991.9	3784.2	4494.6	0.0
	0.0	2511.2	3913.5	4189.2	0.0
	0.0	2830.4	4713.4	4268.7	0.0
	0.0	2439.5	4847.8	4361.1	0.0
	0.0	1350.1	4337.6	4279.6	0.0
	0.0	604.3	4098.4	4991.5	0.0
	0.0	0.0	3077.1	4257.9	0.0
	0.0	0.0	3014.5	4581.3	0.0
	0.0	0.0	2910.1	948.4	0.0
	0.0	0.0	1850.5	651.2	0.0
	0.0	0.0	1387.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	1079.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Ergebnismatrix

Messdaten- und Auswahlmatrix werden elementweise multipliziert. So enthält die Ergebnismatrix im Wesentlichen Nullen. An den „fehlerverdächtigen“ Stellen stehen die Originaldaten.

## Signalverarbeitung Diskriminierung von Formanzeigen und Rauschen



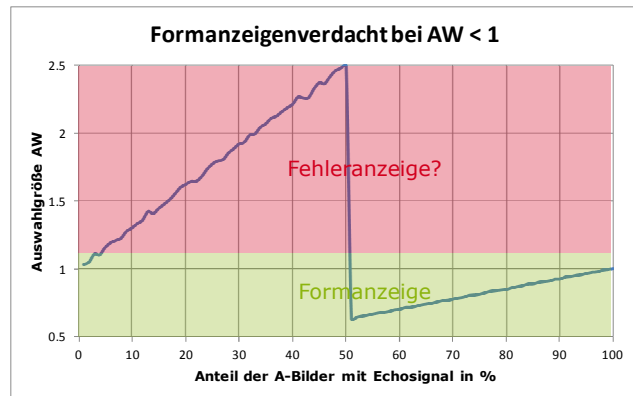
### Auswahlkriterium 1:

Der Wert AW wird aus der Verteilung der relativen Echohöhenverhältnisse berechnet. Es wird keine Kenntnis der Geometrie oder der absoluten Echohöhe vorausgesetzt.

Ist z.B.  $AW < 1.1$  (empirisch ermittelte Grenze), dann handelt es sich um eine Formanzeige.

$$\text{Max}(AW) = 1 + \text{SNR} / 2$$

$$\text{Min}(AW) = (1 + \text{SNR}/2) / (1 + \text{SNR}) = 0.5$$



Auswahlfunktion 1

## Signalverarbeitung Diskriminierung von Formanzeigen und Rauschen

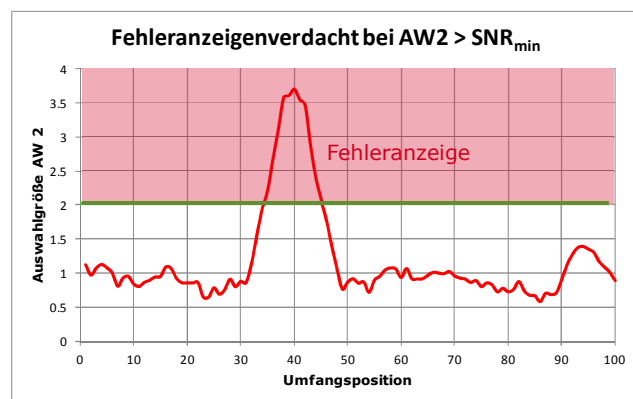


### Auswahlkriterium 2:

In die Größe AW2 fließt der gleitende Mittelwert der Echohöhen aus benachbarten Umfangspositionen ein. Dadurch werden einzelne (Stör)Peaks aussortiert.

Minimalanspruch an das Echosignal für die dargestellte Auswahlfunktion 2 ist ein minimaler  $\text{SNR}_{\text{min}}$  von 2.

→ Bei  $AW2 > \text{SNR}_{\text{min}}$  handelt es sich wahrscheinlich um eine Fehleranzeige.



Auswahlfunktion 2

# Signalverarbeitung Diskriminierung von Formanzeigen und Rauschen



## Vorgehensweise

### Randbedingungen

Prüfung wie bisher:  
Einrichten und Justieren der Prüfanlage  
Empfindlichkeitsjustierung, Registriergrenze, Bewertungsgrenze o.ä.  
Alle ursprünglichen Daten bleiben verfügbar

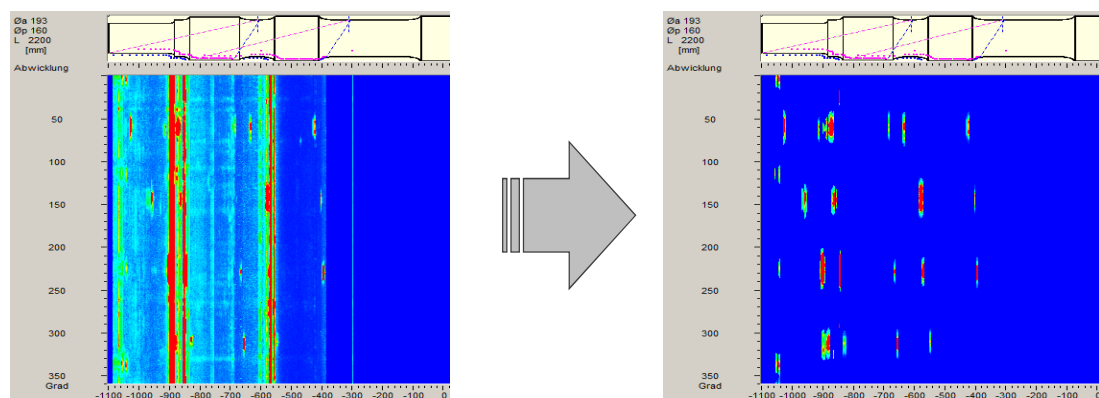
### Auswahlkriterien für die Bilddarstellung

**AW1:** Aussortieren von Formanzeigen  
**AW2:** Erkennen von Fehleranzeigen  
→ Aussortieren des Rauschens und einzelner Peaks (große elektrische Störsignale)

### Visualisierung von verdächtigen Anzeigen

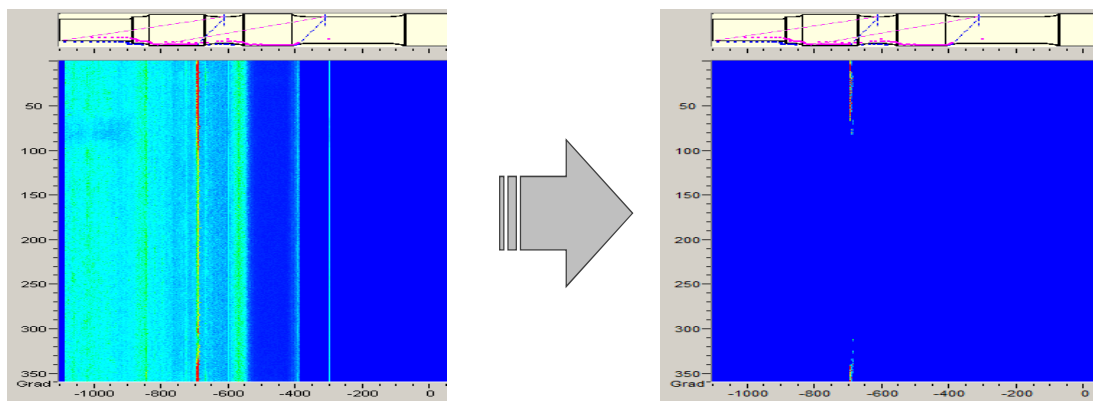
Prüfergebnis kann schneller und sicherer beurteilt werden  
Darstellung der relevanten Anzeigen erfolgt mit unveränderten Echodaten  
Vergleich mit ungefiltertem Bild jederzeit möglich

# Signalverarbeitung 4. Erleichterung der Auswertung



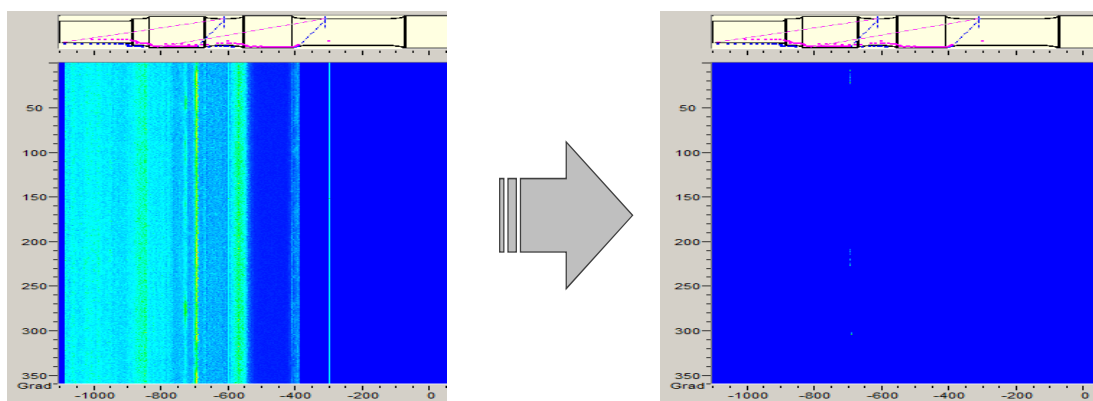
Welle mit Testfehlern: Darstellungssoftware von BT-D, TD-Bildüberlagerung der Einschallwinkel 28° - 72°

## Signalverarbeitung Diskriminierung von Formanzeigen und Rauschen



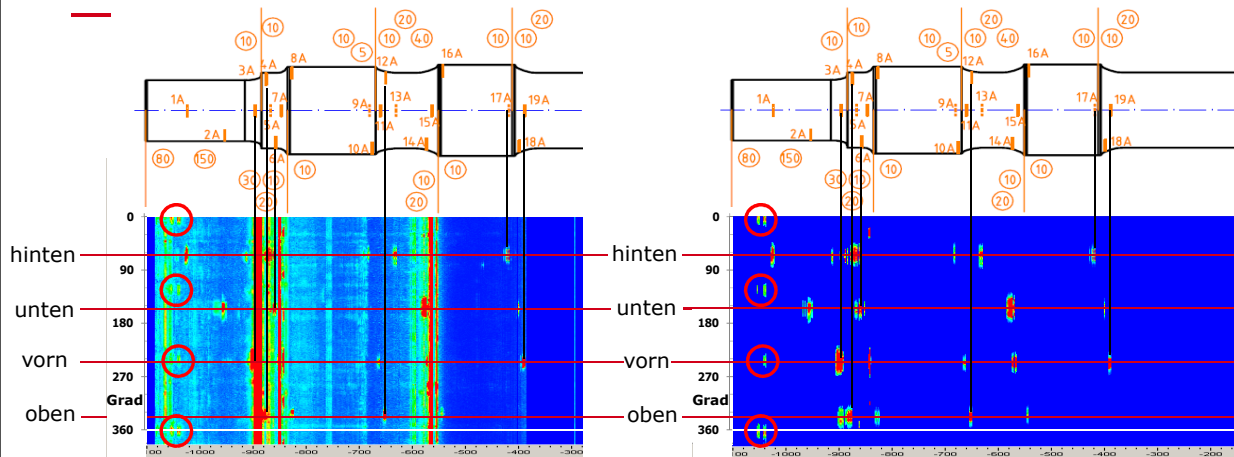
neue Welle mit Anzeige: TD-Bildüberlagerung der Einschallwinkel 28° - 72°

## Signalverarbeitung Diskriminierung von Formanzeigen und Rauschen



fehlerfreie Welle: TD-Bildüberlagerung der Einschallwinkel 28° - 72°

## Signalverarbeitung Diskriminierung von Formanzeigen und Rauschen



Gegenüberstellung der Projektionsbilder einer Testwelle vor und nach der Signalverarbeitung

16.03.2016

Automatisierte Prüfung von Radsatzwellen im eingebauten Zustand

23

## Zusammenfassung



Fachbereich 8.4

### Verbesserung der Prüftechnik

- „lokale Tauchtechnik“
- höhere Empfindlichkeit mit größerem Wandler und Linsentechnik
- Erweiterung des Schwenkwinkelbereichs

### Signalverarbeitungsgestützte Bildgebung für die Auswertung durch Diskriminierung

- der Formanzeigen
- des Rauschens
- von einzelnen Peaks

Gefördert vom



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

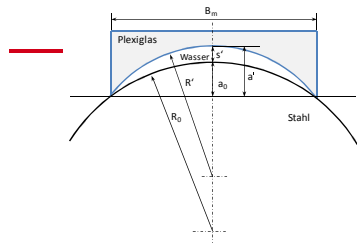
im Rahmen eines  
**MNPQ** – Projekts  
Messen, Normen, Prüfen,  
Qualitätssicherung

16.03.2016

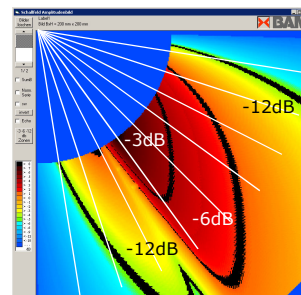
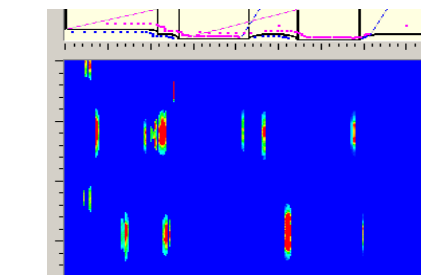
Automatisierte Prüfung von Radsatzwellen im eingebauten Zustand

24

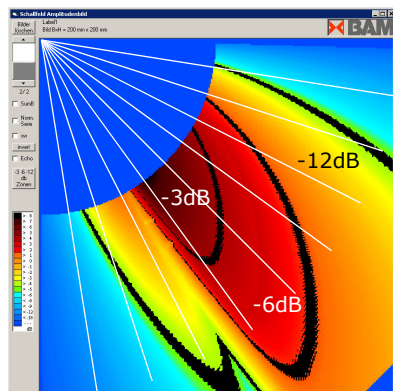
## Zusammenfassung



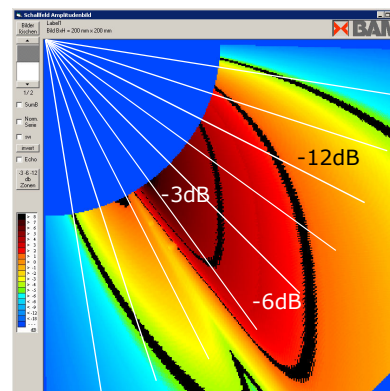
Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



## Optimierung der Prüftechnik 3. Prüfkopf, Erweiterung des Schwenkbereichs



Schwingerelement 1.4 mm breit



Schwingerelement 0.9 mm breit

Erweiterung des nutzbaren Schwenkwinkelbereichs