

Kanalabgleichmethoden für die Anwendung in der Inline-Wirbelstromprüfung von multiaxialen Kohlenstofffasergelegen

Henning HEUER¹, Dirk HOFMANN¹, Jürgen MICHAUK¹, Martin OEMUS¹,
Christian PILZ¹, Matthias POOCH¹, Maren RAKE¹, Martin SCHULZE¹,
Till SCHULZE¹

¹ Fraunhofer IKTS, Dresden

Kontakt E-Mail: maren.rake@ikts.fraunhofer.de

Kurzfassung

Um multiaxiale Hochleistungskohlenstofffasergelege (sogenannte Non-Crimp-Fabrics) in voller Produktionsbreite zerstörungsfrei und fertigungsprozessintegriert prüfen zu können, wurde am Fraunhofer Institut für Keramische Technologien und Systeme (IKTS) ein neuartiges Wirbelstromarraysystem entwickelt.

Aus der Verwendung des Arraykonzepts und der Anordnung der Sensoren innerhalb des Systems ergibt sich die Notwendigkeit einen Kanalabgleich durchzuführen. Hiermit ist die Einstellung des Messsystems im Sinne einer Null-Abgleichs-Messung gemeint, welche die Messwerte der Kanäle aneinander angleicht, sodass ein Fehler auf allen Kanälen die gleiche Signalamplitude und Phase bewirkt. Ohne einen an das anisotrope Kohlenstofffasergelege angepassten Kanalabgleich ist das Erkennen von fehlenden Faserbündeln in der verdeckten Lage des Geleges impraktikabel, da die Unterschiede zwischen Messwerten verschiedener Sensoren die durch den Defekt verursachten Fehlersignale im Wirbelstrombild verfälschen. Für den Kanalabgleich am anisotropen Material mussten daher, über die in der Norm dokumentierten Abgleichverfahren hinaus, neuartige Methoden entwickelt werden, welche im Vortrag erörtert werden.

Mi.3.A.4

Kanalabgleichmethoden für die Anwendung in der Inline-Wirbelstromprüfung von multiaxialen Kohlenstofffasergelegen

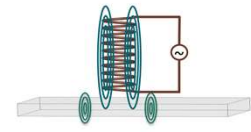
H. Heuer, D. Hofmann, J. Michauk, M. Oemus, C. Pilz, M. Pooch, **M. Rake**, M. Schulze, T. Schulze, N. Wohlgemuth

17.05.2023



Fraunhofer Institute for Ceramic Technologies and Systems IKTS

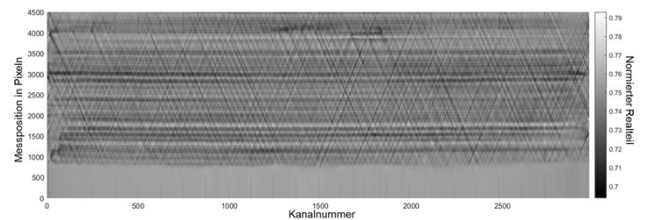
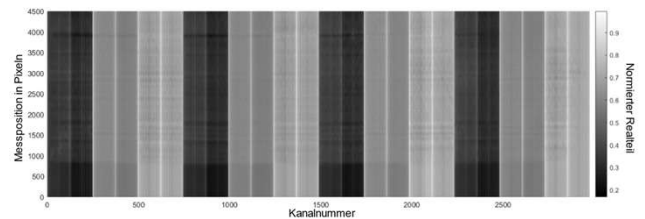
Group: Eddy-Current Methods



1

Inhalt

1. Motivation/ Problemstellung
2. Methoden und Anwendungen
3. Fazit und Ausblick



2

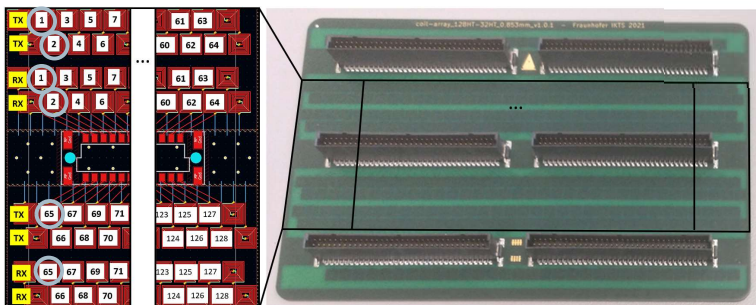
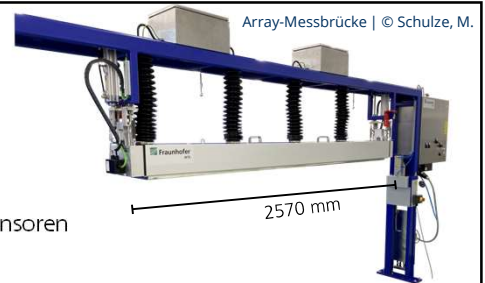
Kapitel 01

Motivation/ Problemstellung

3

Wirbelstromsensorarray

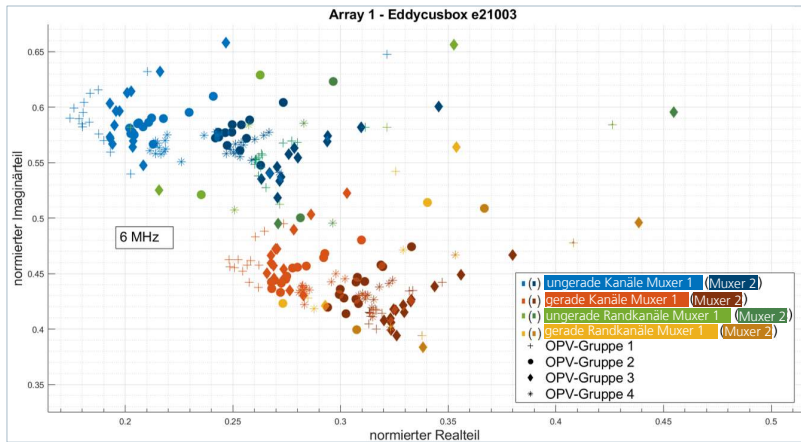
- **124** aktive Halbtransmissionssensoren auf einer Sensorplatte
- **2** Sensorplatten in einem Array
- **12** Arrays in einer Messbrücke – insgesamt **2976** Halbtransmissionssensoren



Anordnung der logischen Kanalnummern auf der Sensorplatte | © Oemus, M.

4

Sensorverhalten innerhalb des Arrays



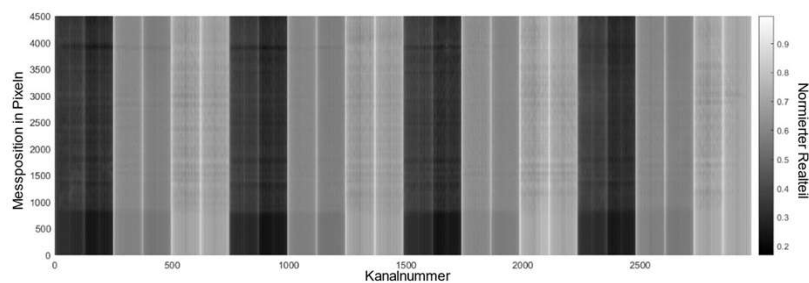
Darstellung der Luftmesswerte aller Sensoren eines Arrays

➤ Trotz vorhandener Gruppierungen im Sensorverhalten sind die Sensormesswerte innerhalb eines Arrays für jeden Sensor individuell.

OPV-Gruppe	Kanalnummern der Sensoren	Kanalnummern der Randkanäle
+ 1	1 bis 32	1, 2, 31, 32
• 2	33 bis 62	33, 34, 61, 62
♦ 3	65 bis 96	65, 66, 95, 96
* 4	97 bis 126	97, 98, 125, 126

5

Anisotropes Material



Wirbelstrom-Rohdaten einer Messfahrt über die Kante des CF-Geleges

- Ausbreitung der Wirbelströme in Faserrichtung
- Elektrische Leitfähigkeit innerhalb des Faserbündels inhomogen
- Spulenanordnung in Bezug auf das Faserbündel variiert
- Wirbelstromdichte nicht in jedem Faserbündel identisch

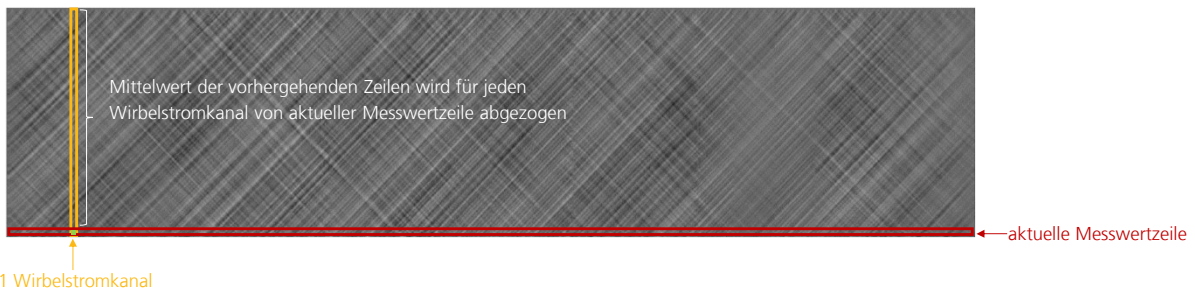
6

Kapitel 02

Methoden und Anwendungen

7

Methode 1 - Autokompensation



Vorteile:

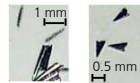
- schnell
- benötigt keine Kalibrierparameter
- Kleine Defekte und Fehler in Zeilenrichtung werden verstärkt

Nachteil:

- Fehler in Kanalrichtung werden herausgemittelt

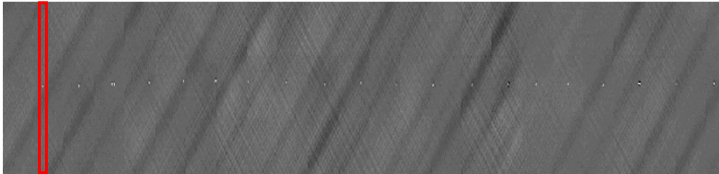
8

Erkennung von Metalleinschlüssen

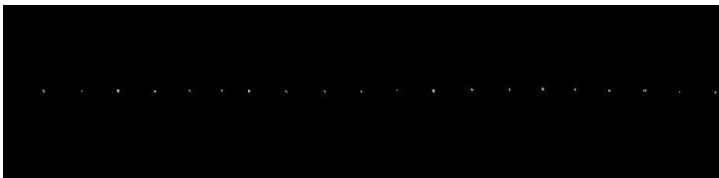


Beispiele von Metalleinschlüssen

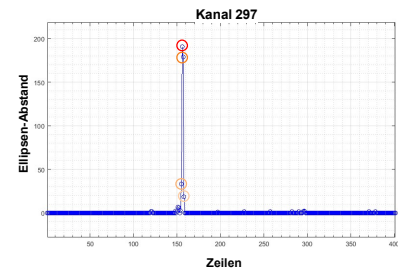
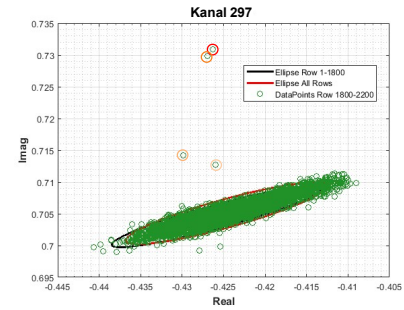
Kanal 297



Autokompensierte Messdaten eines CF-Geleges mit Metalleinschlüssen

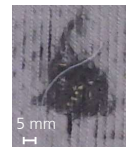


Binarisierte Messdaten eines CF-Geleges mit Metalleinschlüssen

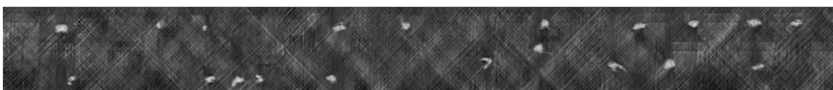


9

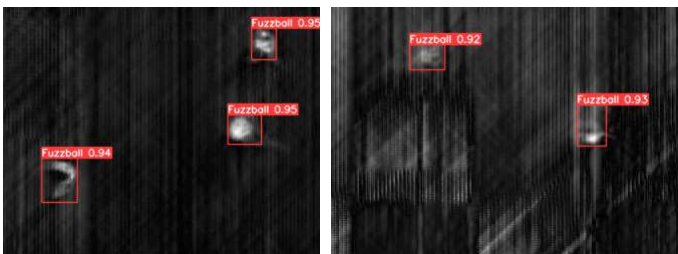
Erkennung von Faserknäueln



Faserknäuel



Autokompensierte Messdaten eines CF-Geleges mit eingenähten Faserknäueln



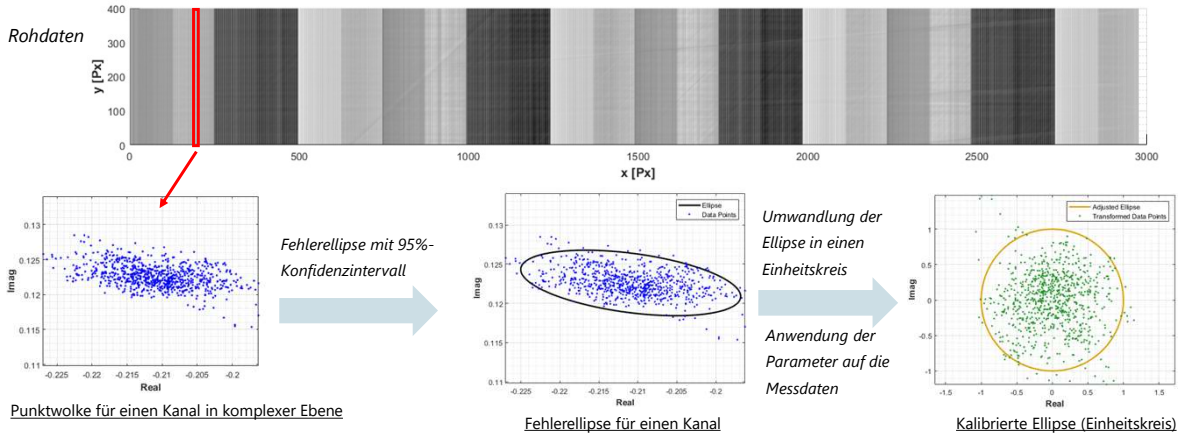
Detektion der Faserknäuel mittels eines YOLOv5-Modells und zugehörigen Konfidenzen

- Materialähnlichkeit zum Textil erschwert Erkennbarkeit durch Fehlerellipsen
- Verschiedene Textilien (unterschiedliche Lagenanzahl/Orientierung/ Feinheit der Fasern)
- Generalisierungsfähigkeit notwendig
- CNN-basierte Objekterkennung in Echtzeit mit YOLOv5

10

Methode 2 - Fehlerellipsen

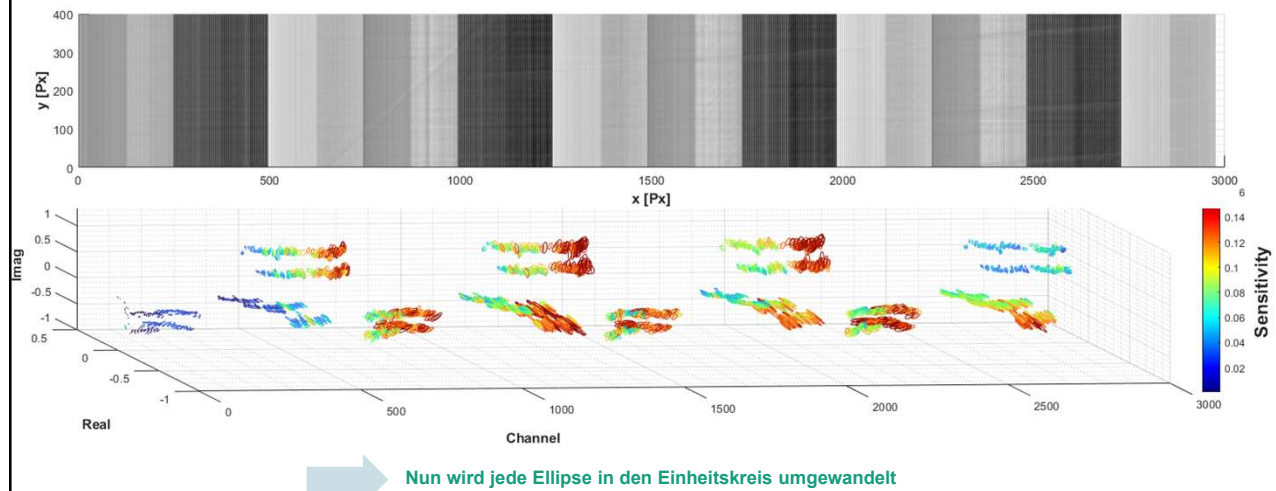
Fehlerellipse wird für jeden Kanal in komplexer Ebene berechnet



11

Fehlerellipsen

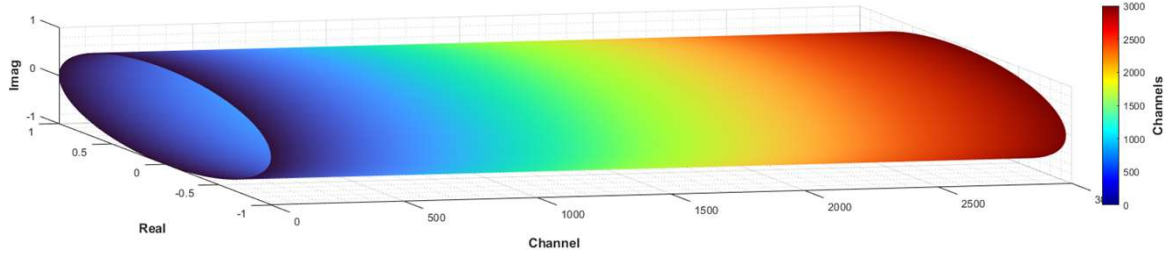
Fehlerellipse wird für jeden Kanal in komplexer Ebene berechnet



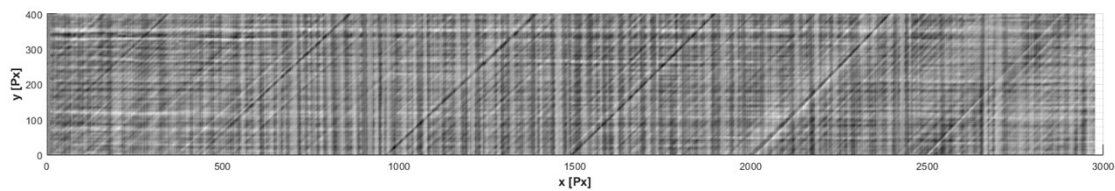
12

Fehlerellipsen

Transformierte Ellipsen

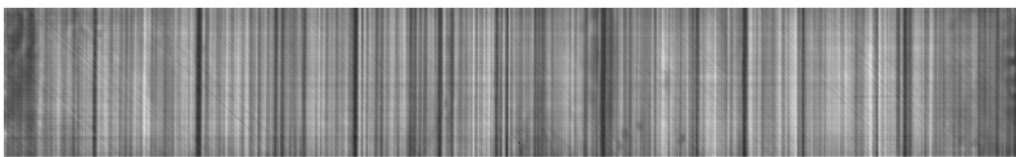


Ellipsenparameter werden für jeden Kanal auf die Messdaten angewandt



13

Fehlerellipsen – Nutzung zur Gassendetektion in 0°-Lagen



Mittels Fehlerellipsen kalibrierte Messdaten eines CF-Geleges mit Gassen in der 0°-Lage

Vorteil:

- Fehler in Kanalrichtung (0°-Gassen) sind erkennbar

Nachteile:

- Fehlerfreies Material notwendig
- Kalibrierparameter müssen einmalig vor Messbeginn geladen werden

14

Kanalabgleich nach DIN EN ISO 20339

oder anderes Signalereignis:
Abhebe-Kurve, Kante, Fehler

Die Normierung wird durchgeführt, um für die Vergleichsrille auf allen Kanälen die gleiche Amplitude und Phase zu erhalten; diese Amplitude muss im Bereich zwischen 25 % und 80 % des Dynamikbereiches des Gerätes liegen.

Das Referenzsignal S_{ref} entspricht dem während der Abtastung auf allen Kanälen auftretenden Höchstwert des Signals.

15

Methode 3 - Least Squares Fit: Kanalabgleich an CF-Gelege-Kante

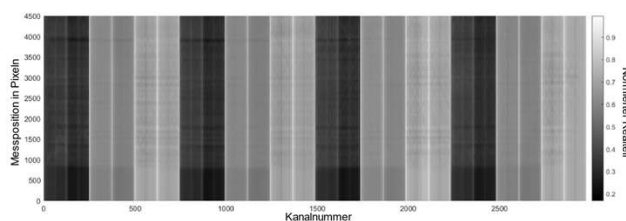
Methode der kleinsten Fehlerquadrate:

$$SNR = \frac{\text{mittlere Nutzsinalamplitude}}{\text{Rausch-Standardabweichung}}$$

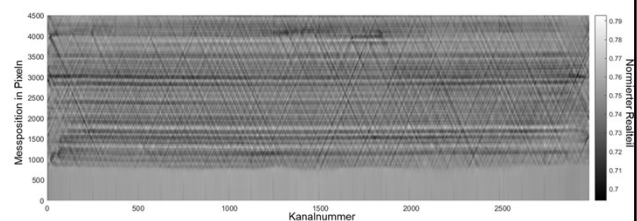
Minimiere $f(x) = \sum [((x1 + \text{Rohdaten}) \cdot x2) - \text{Referenzkanal}]^2$

$x1$ – 1. komplexer Kanalabgleichparameter (Offset Real- und Imaginärteil)

$x2$ – 2. komplexer Kanalabgleichparameter (Phase + Verstärkung)



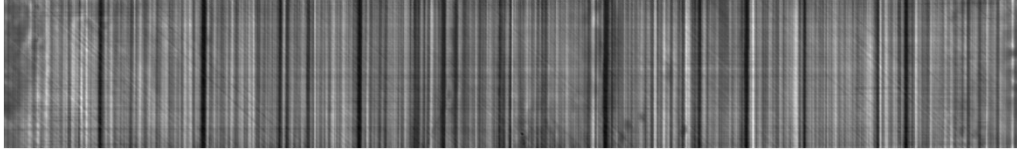
Wirbelstrom-Rohdaten einer Messfahrt über die Kante des CF-Geleges



Mittels LSFit-Kanalabgleich kalibrierte Messdaten derselben Messfahrt

16

LSFit – Nutzung zur Gassendetektion in 0°-Lagen



Mittels LSFit-Kanalabgleich kalibrierte Messdaten eines CF-Geleges mit Gassen in der 0°-Lage

Vorteile:

- Fehler in Kanalrichtung (0°-Gassen) sind erkennbar
- Kanalabgleich nach DIN-Norm
- Beachtung des Kanals mit maximalem SNR

Nachteile:

- Fehlerfreies Material notwendig
- Kalibrierparameter müssen einmalig vor Messbeginn geladen werden

Kapitel 03

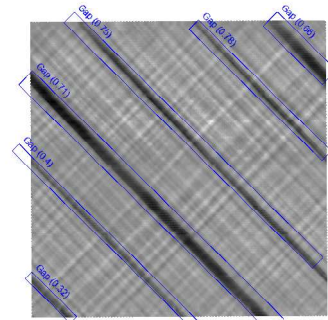
Fazit und Ausblick

Fazit und Ausblick

- Entwicklung verschiedener **Kanalabgleichmethoden für anisotrope Materialien**
- Anwendung bei der **prozessintegrierten Prüfung** von multiaxialen Kohlenstofffasergelegen
- **Automatisierte Fehlererkennung** an verschiedenen CF-Gelegearten

Ausblick

- Nutzung **maschineller Lernverfahren** zur Bewertung der Kanalabgleichmethoden



Gassenerkennung mit YOLOv5

Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit

Kontakt

Dipl.-Ing. Maren Rake
Eddy-Current Methods
Tel. +49 351 88815-594
maren.rake@ikts.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS
Maria-Reiche-Str. 2
01109 Dresden
www.ikts.fraunhofer.de



Fraunhofer Institute for Ceramic
Technologies and Systems IKTS



<https://s.fhg.de/eddycus>