

Zerstörungsfreie Prüfung an Rotorblättern von Windenergieanlagen

Dr.-Ing. Anne Jüngert

Dr.-Ing. Sandra Dugan

Materialprüfungsanstalt Universität Stuttgart (MPA)

Abteilung „ZfP im Anlagen- und Maschinenbau“



Umsetzung des EU-Klimapakets/ der Energiewende

- Ziel: **30 %** des Strom aus erneuerbaren Energien bis 2020
- Voraussetzung: Ausbau der Windenergie

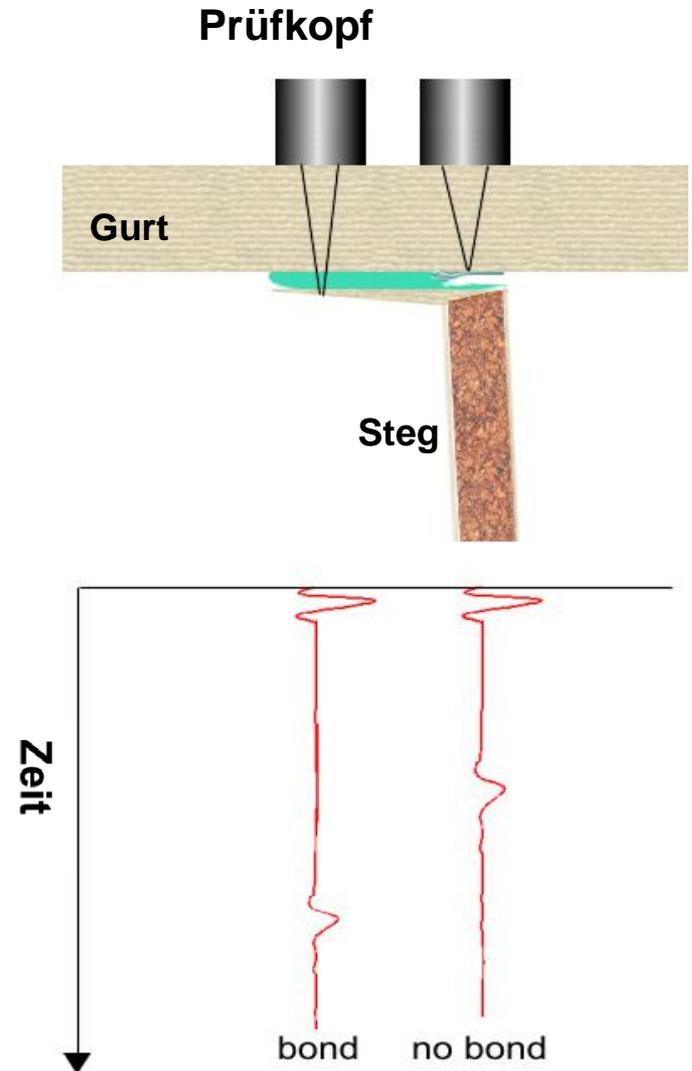
- Wirtschaftlichkeit der Anlage gefährdet
 - Komplette Zerstörung oder temporäre Stilllegung
 - Vorsorgliche Stilllegung baugleicher Anlagen
 - Möglicherweise verzögerte Wiedereinbetriebnahme durch Gerichtsverfahren
- Akzeptanz in der Bevölkerung nimmt ab
- Verfügbarkeit von Windstrom kann nicht gewährleistet werden
 - Zustandserfassung und -überwachung der Windenergieanlagen und Rotorblätter für Umsetzung der Energiewende notwendig

- Prüfobjekt
 - Komplexer heterogener Aufbau des Rotorblattes
 - Unbekannter Aufbau des Rotorblattes
 - Schwer prüfbare Materialien (CFK/GFK, Kunststoffschäum, Holz)
- Aufzufindende Fehlstellen
 - Breites Spektrum an Fehlertypen und möglichen Schädigungen
 - Mangelnde Kenntnis der Auswirkung von Fehlstellen
 - Kritische Fehlergrößen bzw. Fehlereigenschaften
 - Schädigungsentwicklung

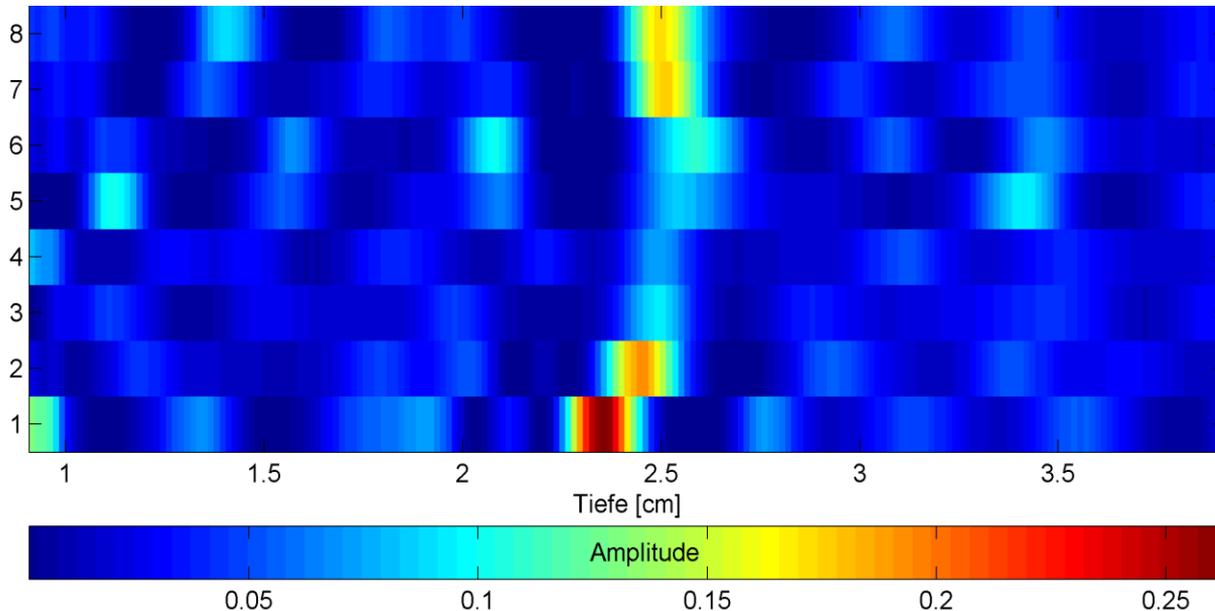
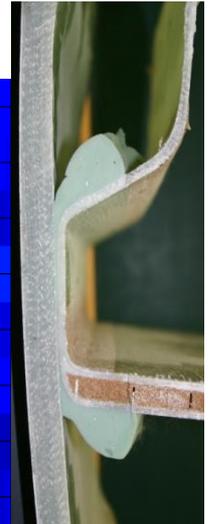
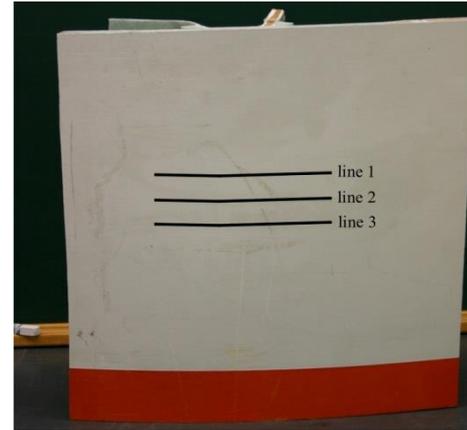
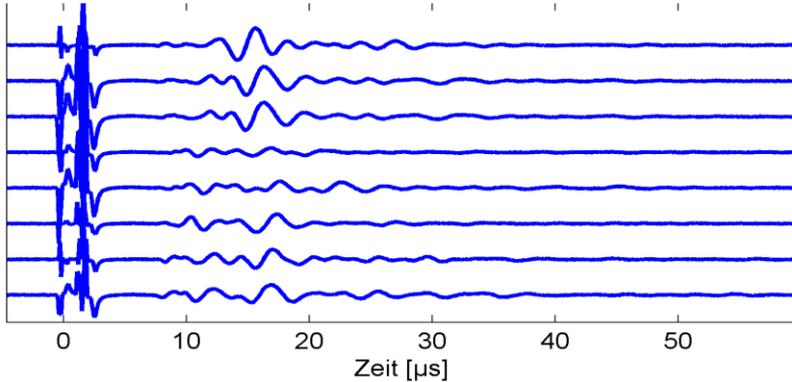
- Akustische Verfahren
 - Ultraschallprüfung
 - Lokale Resonanzspektroskopie
- Thermografie
- Mikrowellen- und Terahertz-Technik
- Röntgen-Durchstrahlung
- Optische Verfahren
 - Visuelle Inspektion
 - Laser: Speckle-Interferometrie, Shearografie
- Überwachung von Schwingungen/ Dehnungen

■ Prinzip

- Ultraschallwandler („Prüfkopf“) sendet und empfängt Schallimpuls
 - Ultraschallimpuls wird reflektiert an Grenzflächen
 - Bestimmung des Ortes über die Laufzeit
-
- Herausforderungen:
 - Hohe Schallschwächung
 - Komplexe Geometrie

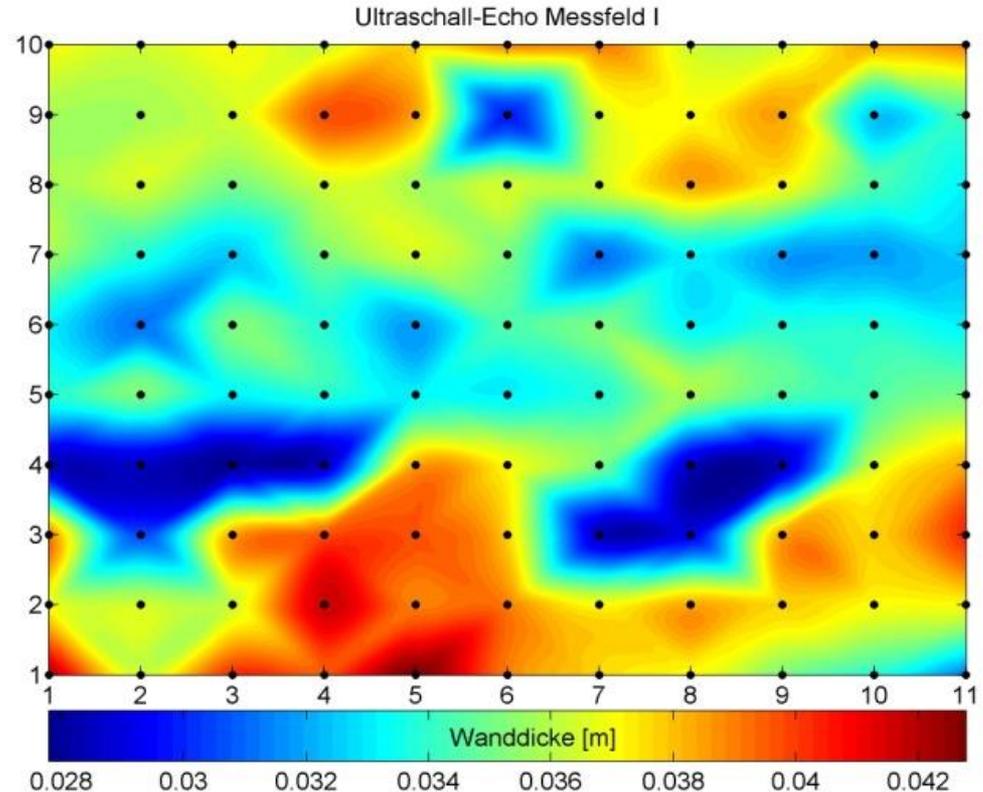


■ B-Bild /B-Scan: Linienscan, Amplitude farbcodiert



■ Flächen-Scan

- Farbcodierte Darstellung von
 - Amplitude in einer bestimmten Tiefe
 - Amplituden-Summen in einem Tiefenbereich
- oder:
- aus der Laufzeit ermittelte Wanddicke von Schichten



Ultraschallprüfung – Anwendung

40 m Länge

keine Beschichtung

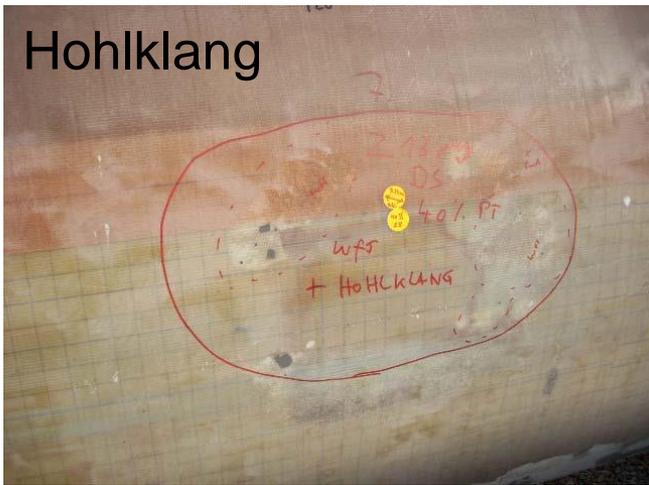
Hülle GFK

Gurt CFK

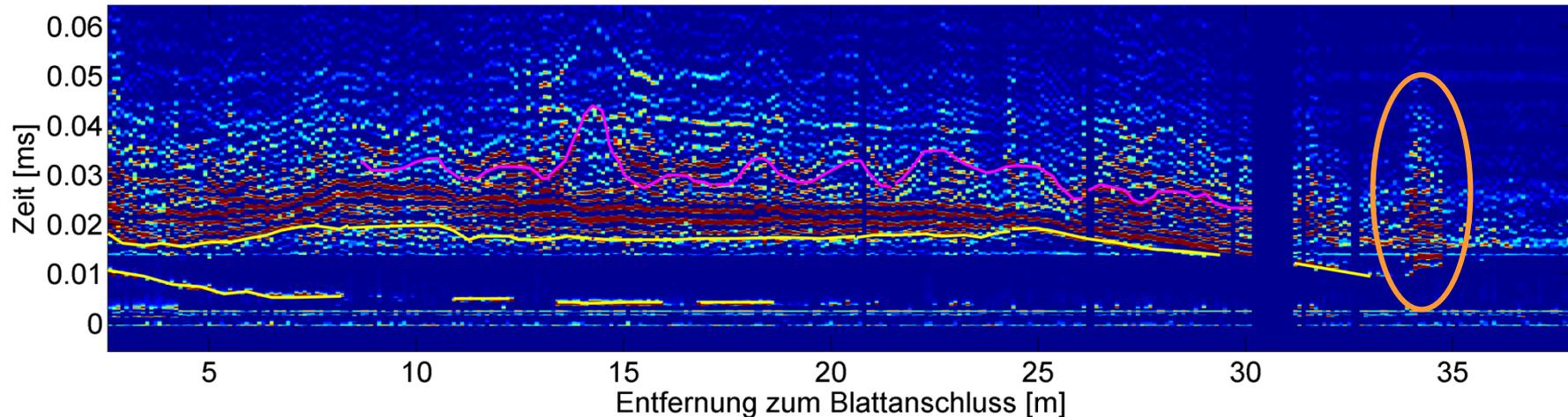


- Messungen an einem ausgebauten Rotorblatt
- 5 Längsprofile auf dem CFK-Gurt

■ Rotorblatt: bekannte Vorschädigung



- B-Scan für Messpunkt-Reihe entlang der Saugseite (Messpunkt-Abstand 10 cm)



- Reflexionen einzelner Schichten erkennbar
- Verklebung erkennbar (wellige Linie)
- Reparierter Bereich zeichnet sich ab

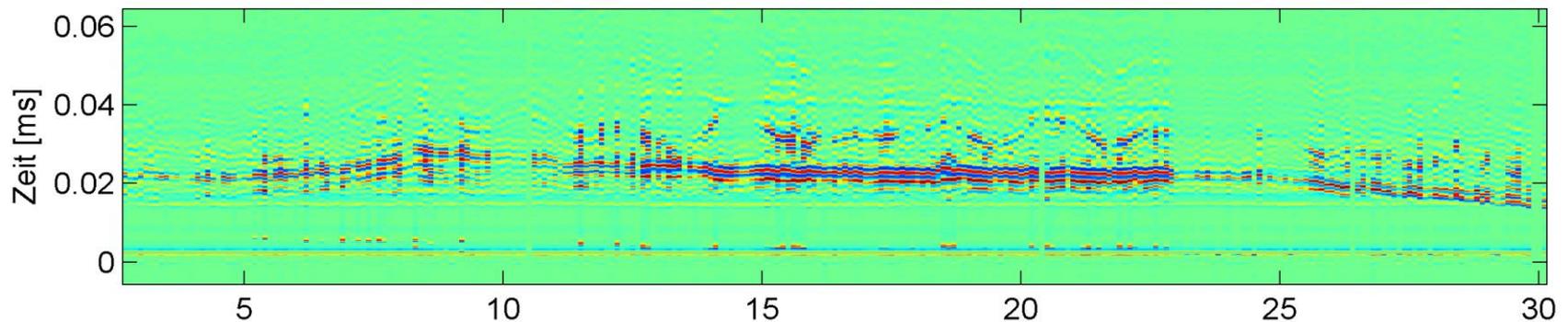
- Messungen vor / nach dynamischer Belastung
- Wiederholungsmessung nach 1 Mio. Zyklen



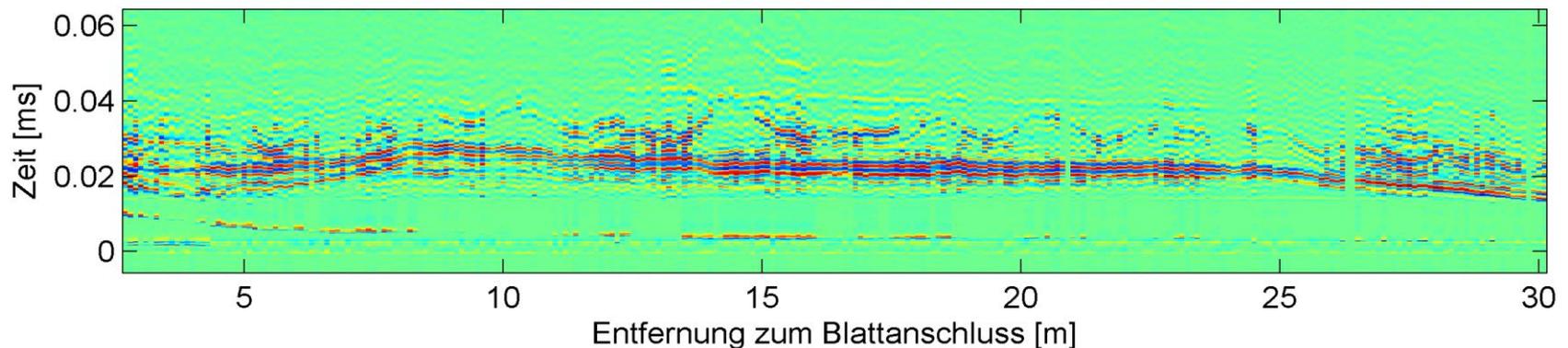
- Messungen gut reproduzierbar
- Änderungen im Signal zurückzuführen auf strukturelle Änderungen durch die Belastung

- Messungen vor / nach dynamischer Belastung
- Wiederholungsmessung nach 1 Mio. Zyklen

Wiederholungsmessungen



erste Messungen

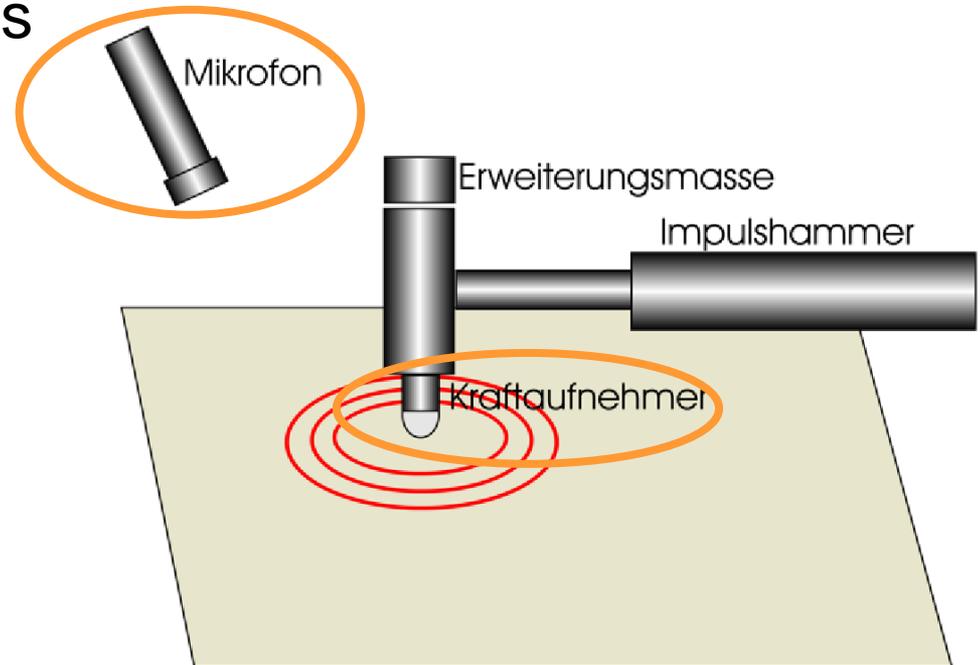


■ Messprinzip:

- Anregung eines Klangs mit einem Hammer
- Bauteil schwingt → Klang wird erzeugt
- Defekte ändern das Schwingverhalten
- Änderung des Klangs

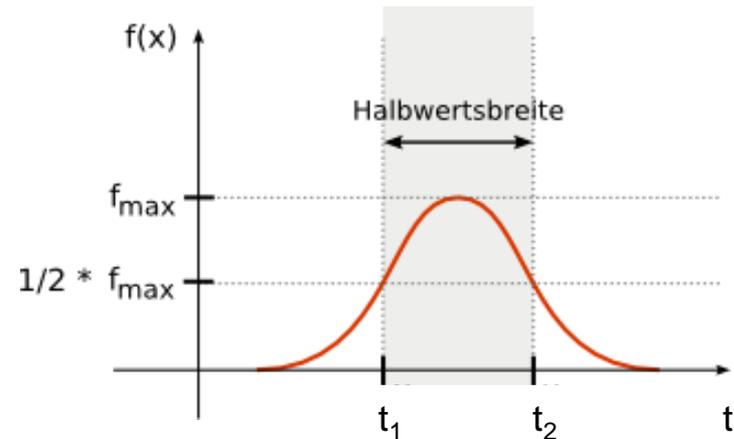
■ Messung von:

- Klang
- Anregungskraft



■ Kraftanregung

- Änderung der Kontaktsteifigkeit führt zu Änderung in der Kontaktdauer
- Darstellung der Halbwertsbreite



■ Klangsignale

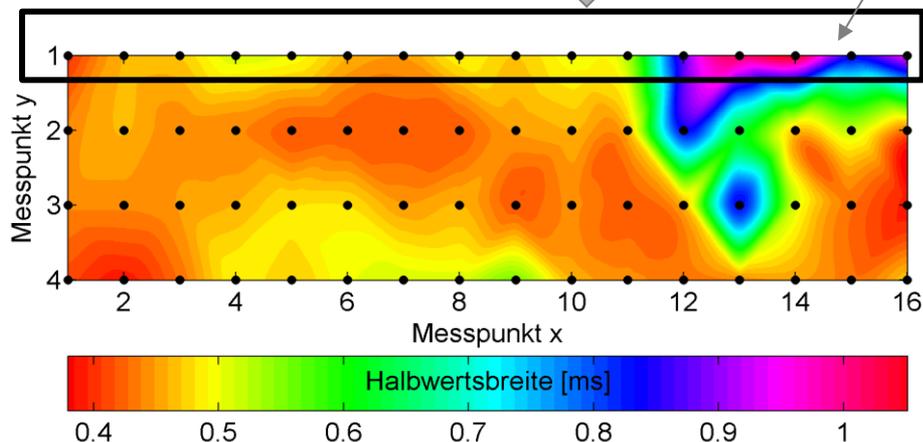
- Änderungen des Klanges zeigen sich in Änderungen des Frequenzgehaltes der Signale
- Darstellung von Fourierspektren

■ Rotorblattsegment mit Schädigung

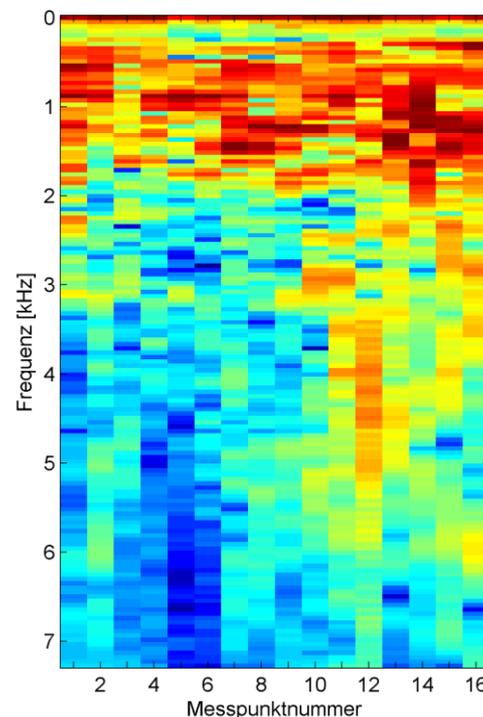
4 Linien mit je
16 Messpunkten



Halbwertsbreiten
der Anregungssignale
für alle Messlinien



Amplitudenspektren der
Klangsignale einer Messlinie



40 m Länge

keine Beschichtung

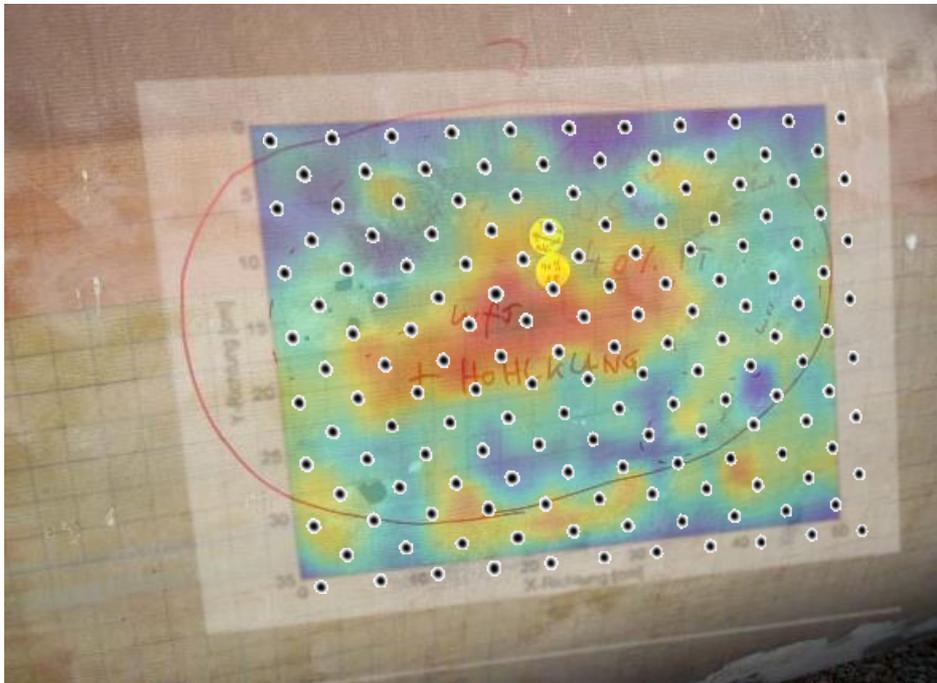
Hülle GFK

Gurt CFK

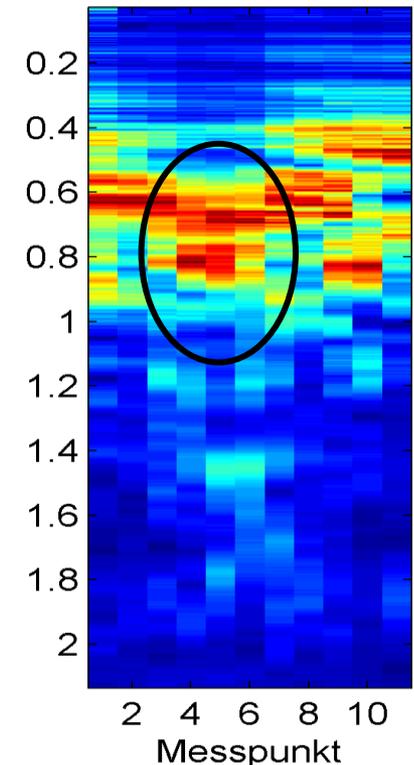
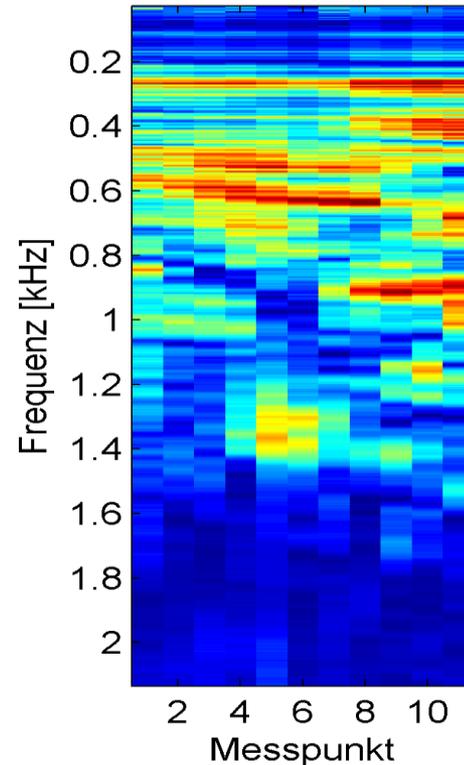
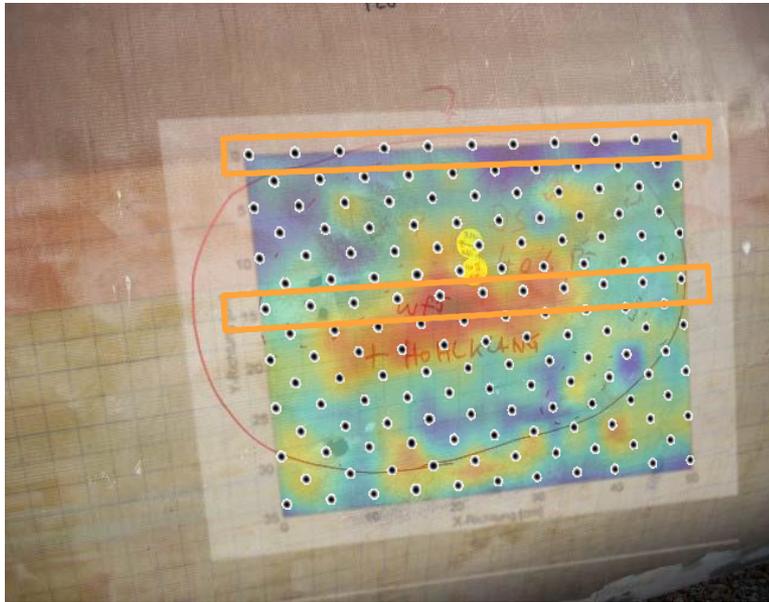


- Messungen am ausgebauten Rotorblatt
- Messungen an kleineren Messfeldern ($< 0,5 \text{ m}^2$) auf Gurt und Sandwich (Messpunktabstand 5 cm)

- Messung am ausgebauten Rotorblatt –
Auswertung der Halbwertsbreite der Anregung
 - Hohlklang zeigt sich in verlängerten Kontaktzeiten
 - Oberflächennahe Luft einschüsse werden abgebildet



- Messung am ausgebauten Rotorblatt – Auswertung der Amplitudenspektren
 - Frequenzänderung im Bereich des Hohlklangs erkennbar



- Inspektion von Rotorblättern mit **Ultraschall**
- geeignet zur Detektion von Delaminationen im Volumen von GFK-Bauteilen
- Information über Tiefenlage von Fehlstellen und Tiefenausdehnung von Schichten
- Mechanisierte Prüfung gut realisierbar
- Herausforderungen:
 - hohe Schallschwächung
 - komplexe Geometrie

- Inspektion von Rotorblättern mit **Lokaler Resonanzspektroskopie**
- empfindlich zum Nachweis von Delamination und Hohlräumen nahe der Oberfläche
- Keine Information über Tiefenlage
- Mechanisierte Prüfung prinzipiell möglich
- Geometrieeinfluss (Einfluss der Bauteilgröße auf das Schwingungsverhalten – zu Beachten bei Erprobung/Optimierung an kleinen Probestücken)

- Entwicklung mechanisierter Prüfsysteme
- Kombination verschiedener Prüfverfahren
- Weiterentwicklung von Datenanalysemethoden
- Charakterisierung von Faserwellen
- Für Anlagen im Betrieb:
 - Kombination mit Überwachungsverfahren, z.B. Schwingungen, Schallemission
 - Drahtlose Datenerfassung
- Untersuchung menschlicher Einflussfaktoren bei manuellen oder teilmechanisierten Verfahren
- Bewertungskonzept für kritische Fehler

- Zielsetzung: Sicherer und wirtschaftlicher Betrieb der Anlage über die gesamte Lebensdauer
 - Maximale Werkstoffausnutzung durch geeignete Auslegungs- und Berechnungsmethoden
 - Im Bauteilversuch abgesicherte Konstruktionen
 - Material- und Prozessqualifizierung
 - Anlagenüberwachung und Bewertung

- ➔ Zustandsorientierte Instandhaltung

Ein Großteil der Arbeiten wurde gefördert über ein Vorhaben des BMWi

Förderkennzeichen 16IN0354

Projekt **RIWEA** (Roboter zur Inspektion der Rotorblätter von Windenergieanlagen mit Thermographie und Ultraschall)



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Mehr Information:

A. Jüngert „Untersuchung von GFK-Bauteilen mit akustischen Verfahren am Beispiel der Rotorblätter von Windenergieanlagen“ Dissertation, Stuttgart 2010