

17.03.2016

EINFLUSS VON FERTIGUNGSFEHLERN AUF DIE RISSBILDUNG IN FKV-SANDWICH-SCHALENSTRUKTUREN

OFFSHORETAGE 17.03 - 18.03.2016, TU Berlin

D. Nielow, Prof. Dr.-Ing. V. Trappe

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)

Motivation

Der Schalenprüfstand

Schalenprüfkörper

Zerstörungsfreie Zustandsüberwachung

Experiment – ZfP in-situ Schwingfestigkeit

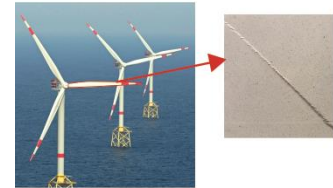
Design-Empfehlungen

Motivation

- während des Betriebes bilden sich häufig Risse in der Blattschale
- 70% - 80% der Schäden sind die Folge von fertigungsbedingte Imperfektionen
- durch Witterungseinflüsse kommt es meist zum Schadensfortschritt
- Folgen: Stillstand der Anlage und kostenintensive Reparaturen am montierten Rotorblatt



Nicht erkannte Imperfektionen

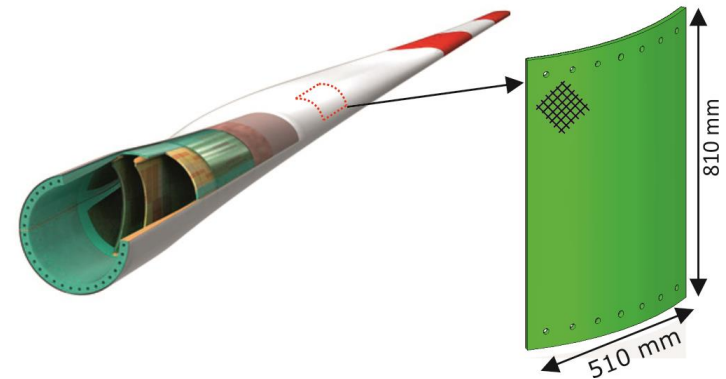


frühzeitige Schäden



kostenintensive Reparaturen

- Komponentenversuche an Schalenstrukturen
- dadurch deutlich reduzierter Versuchsaufwand
- Schalenprüfkörper werden nach dem Vorbild des realen Rotorblattes umgesetzt
- herstellungsbedingte Imperfektionen werden eingebracht
- Ziel: Schwingversuche zur Beurteilung der Auswirkung auf die Schwingfestigkeit (effects of defects)



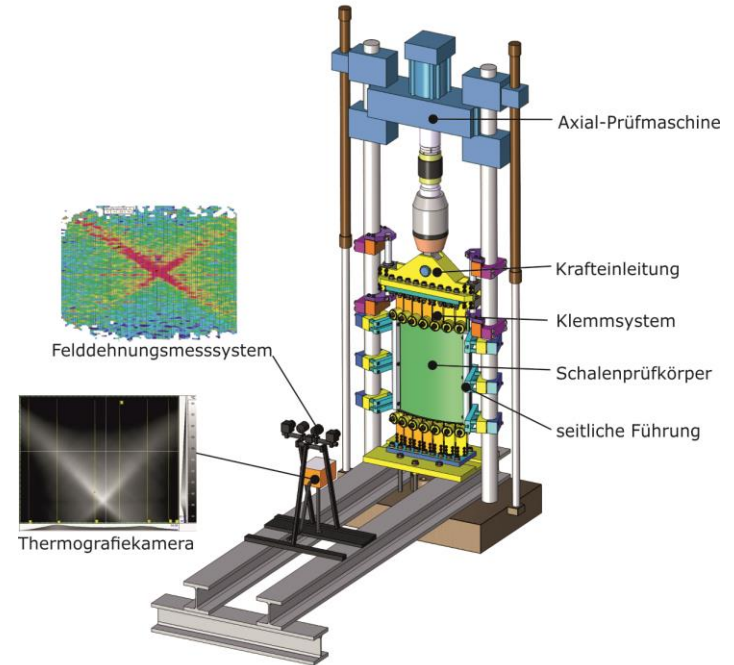
schematische Darstellung Schalenprüfkörper

Bild: Bayer AG, www.produktion.de, 19.07.2013

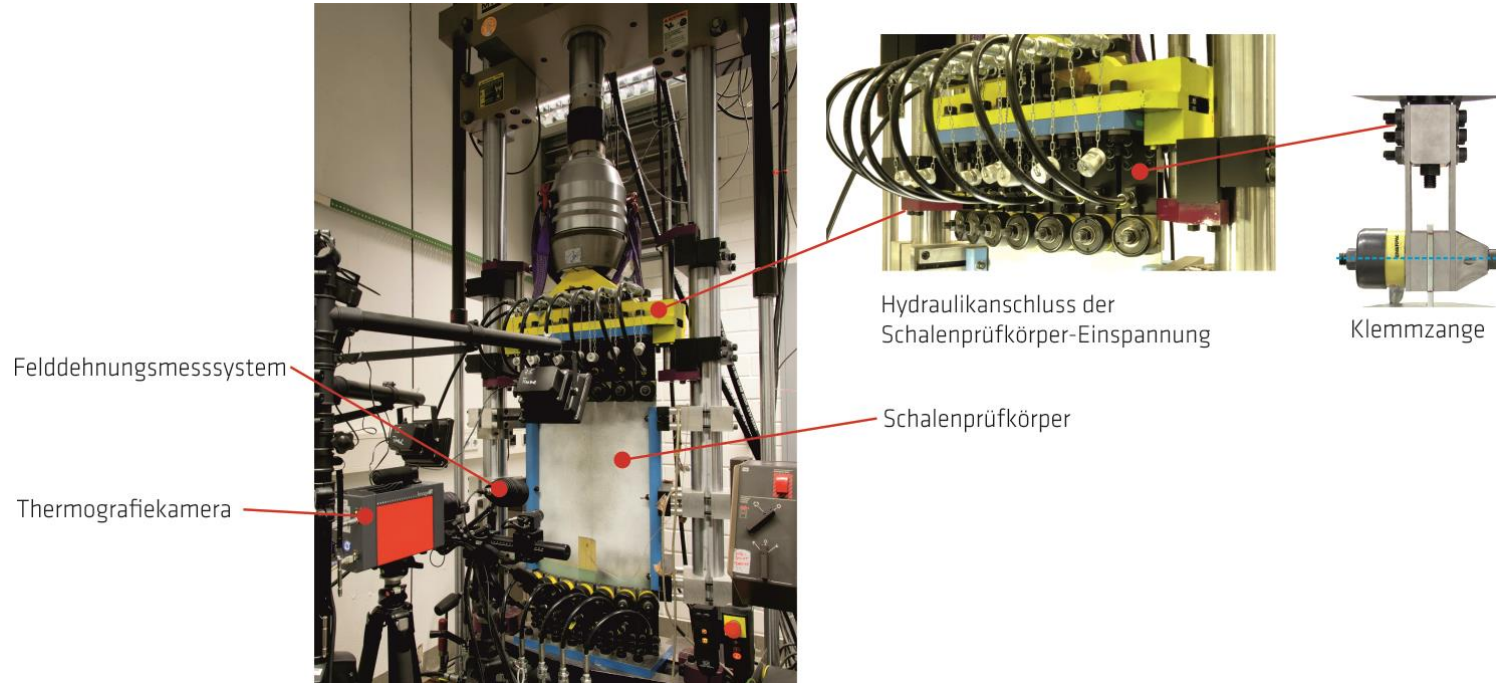
Der Schalenprüfstand

Entwicklungsziele:

- Integration in eine 500 kN Axialprüfmaschine
- Einspannung für gekrümmte Prüfkörper
- Variation Prüfkörperdicke und Krümmung
- möglichst homogenes Dehnungsfeld im Prüfkörper
- Integration der zerstörungsfreien Zustandsüberwachung



Der Schalenprüfstand



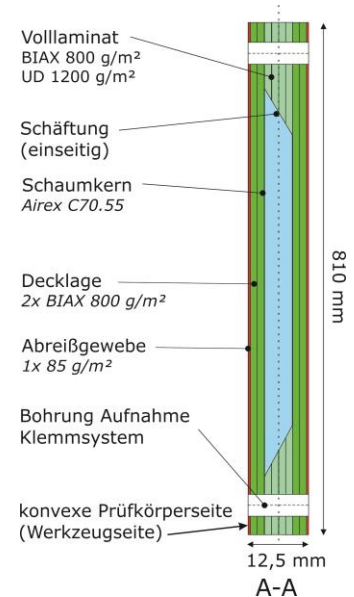
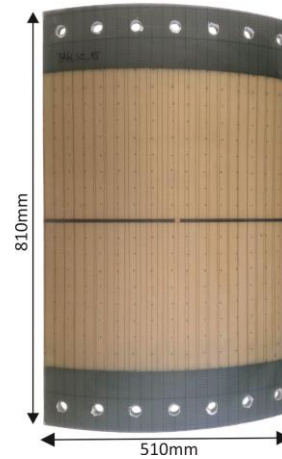
Der Schalenprüfkörper

Der Schalenprüfkörper - Konzept

Abmessungen: 810 mm x 510 mm
Krümmungsverhältnis: 1 : 10
Mittelradius: 650 mm

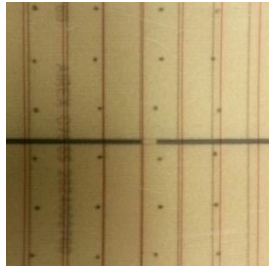
Materialien:
BIAX-Gelege (800 g/m²)
PVC-Schaumkern 10 mm (Airex C70.55)
Epoxidharz RIM135/H137

Fertigungsverfahren:
Infusionsverfahren VARI (Vacuum assisted Resin Infusion)

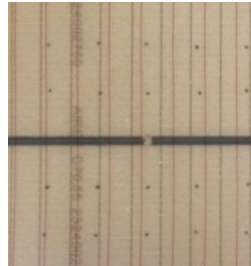


Schaumstoß:

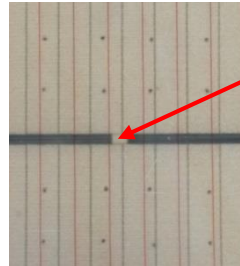
- Rotorblatt: Stoßstellen im Stützwerkstoff infolge der kleinen Halbzeug-abmessungen
- Variation der Schaumstoßbreite



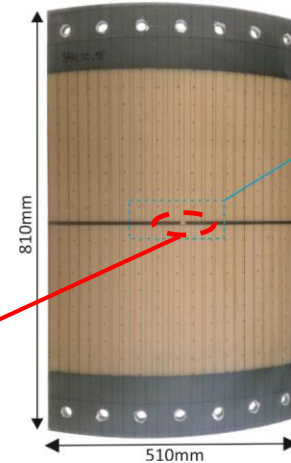
3mm



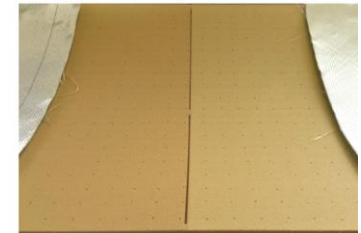
5mm



7mm



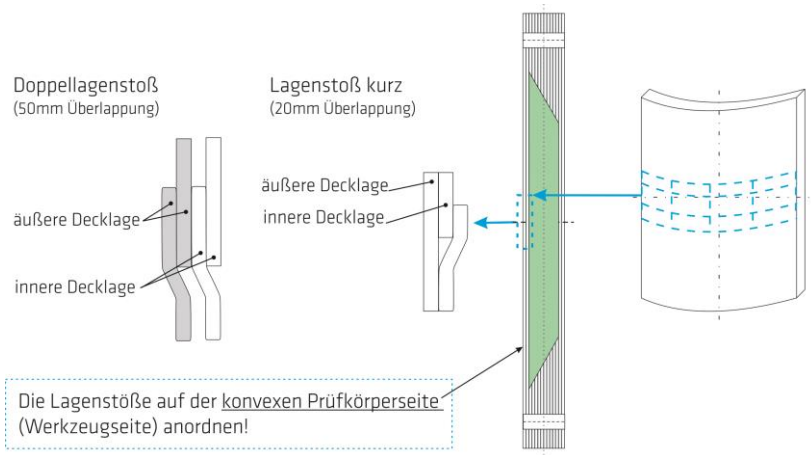
Detailaufnahme Schaumstoß



eingelagerter Schaumkern mit Schlitz im Fertigungsprozess

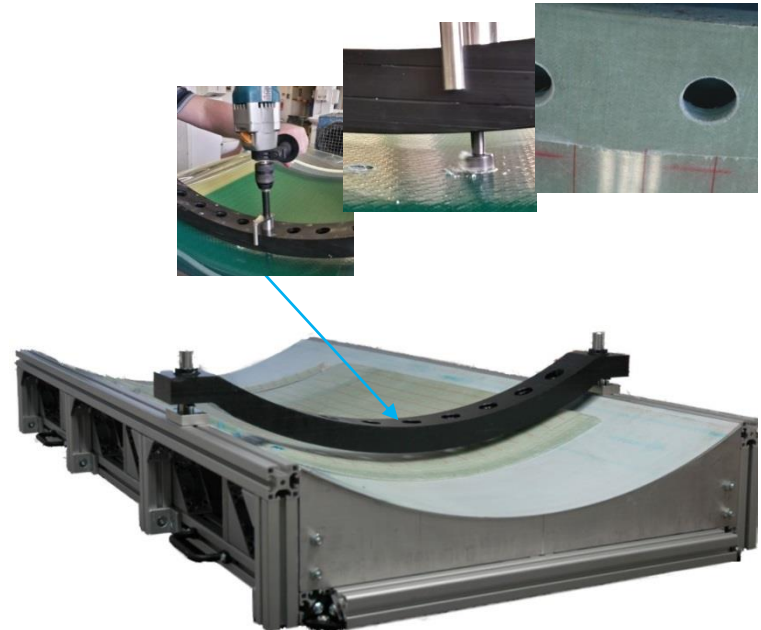
Lagenstöße der Decklagen:

- Rotorblatt: Überlappung der textilen Halbzeuge aufgrund der Bauteilgröße und der begrenzten Halbzeugabmessungen



Lagenstoß kurz

- Entwicklung eines einseitigen Fertigungswerkzeuges
- Variation der Schalendicke bei konstantem Mittelradius
- Bohrschablone für die Einbringung des exakten Bohrbildes



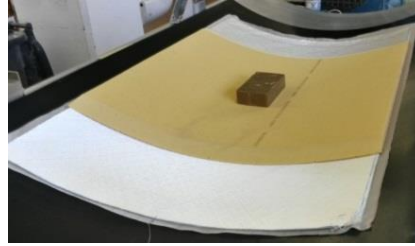
Fertigungswerkzeug für die Schalenfertigung

Der Schalenprüfkörper - Fertigung

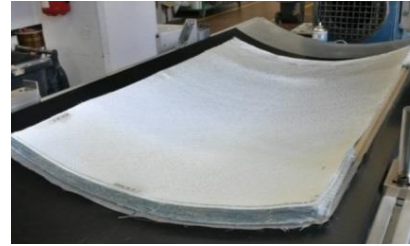
– Fertigung der Schalenprüfkörper bei SINOI



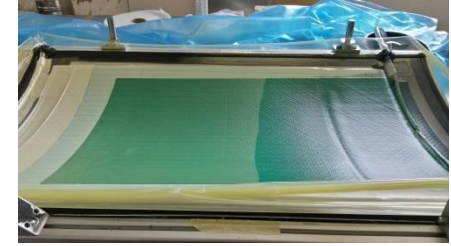
Belegen des Werkzeuges



eingebachter Schaumkern



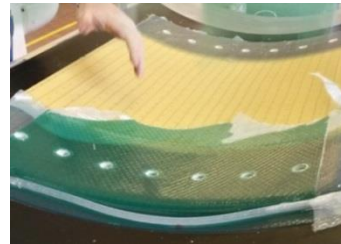
vollständiger Lagenaufbau



fertiger Vakuumaufbau



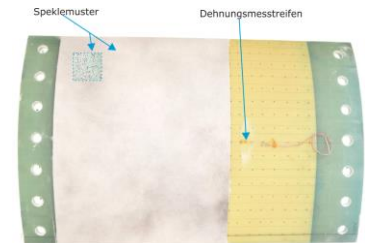
Einbringung des Bohrbildes



Entformen



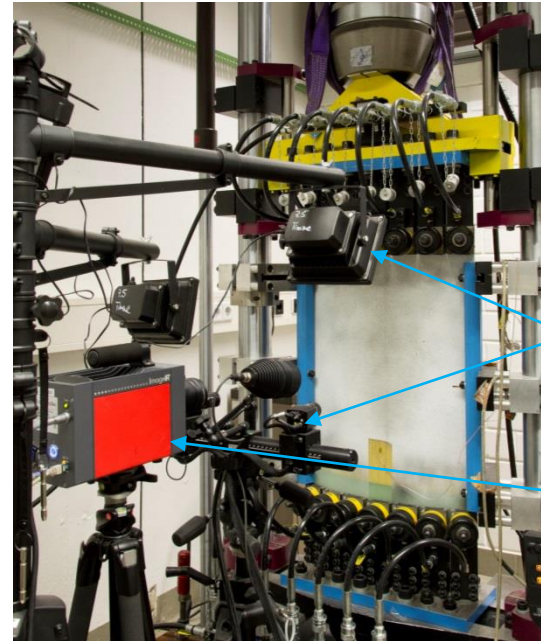
Besäumter Prüfkörper



fertiger Prüfkörper

Zerstörungsfreie Zustandsüberwachung

- für die Versuche wurde eine kombinierte Zustandsüberwachung mittels Thermografie und 3D-Felddehnungsmessung angewendet
- beide Systeme wurden im Prüfstand integriert und automatisiert ausgelöst



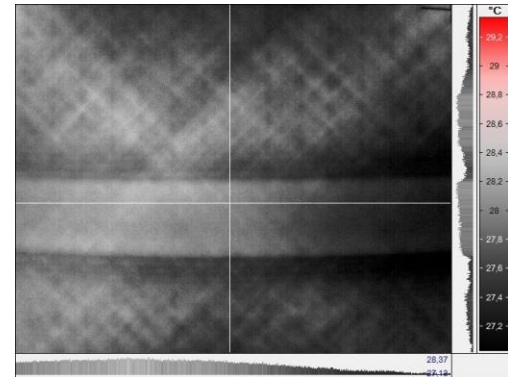
ARAMIS-System
mit Beleuchtung

Thermografie-
kamera

zerstörungsfreie Zustandsüberwachung - Thermografie

- Thermografiekamerasystem IR 8300 (Infratec)
- System für Labor- und Forschungsanwendungen

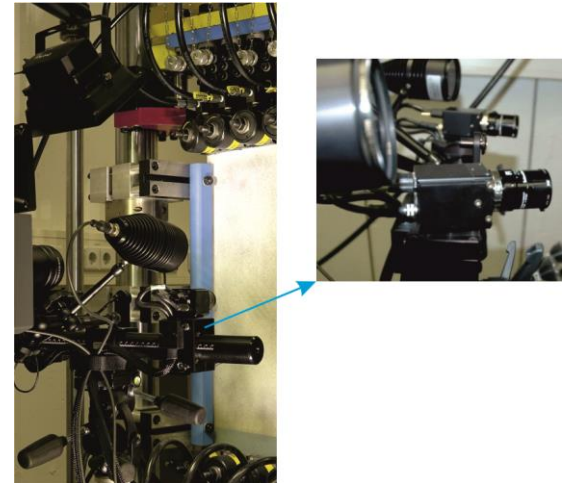
- Für die Überwachung von Schwingversuchen eignet sich die passive Thermografie sehr gut



Thermogramm, doppelter Lagenstoß

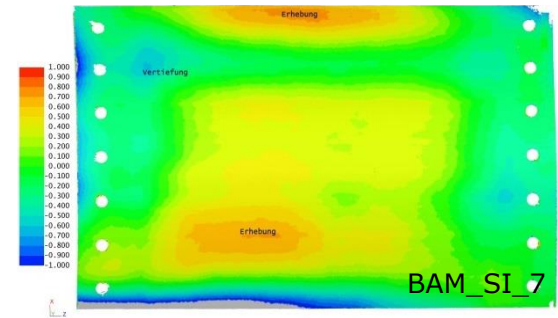
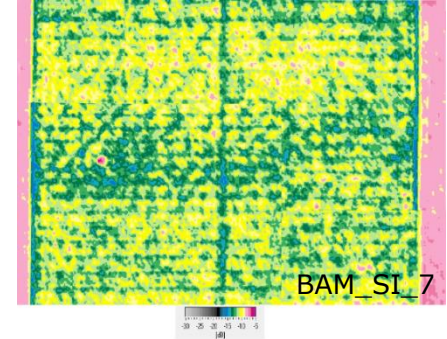
zerstörungsfreie Zustandsüberwachung – 3 D Felddehnungsmessung

- 5 M ARAMIS Messsystem (*GOM*)
- ARAMIS greift dort an wo die DMS an die Grenzen stoßen
- Erfassung größerer Verformungsfelder
- Dokumentation von Stabilitätsversagen (Beulen) ist möglich



5 M ARAMIS Messsystem

- Ultraschall Scan der ungeschädigten Schalenprüfkörper (3 mm Schaumstoß) an der TU Berlin
- Harzkanal im Ultraschall C-Bild (mit erhöhter Amplitudenauflösung) erkennbar
- Geometrievermessung mit dem COMET-System (*Steinbichler*) an der TU Berlin
- Geometrische Abweichung aus Vergleich Messung und CAD Modell
- geringe Abweichungen max. $\pm 0,800$ mm

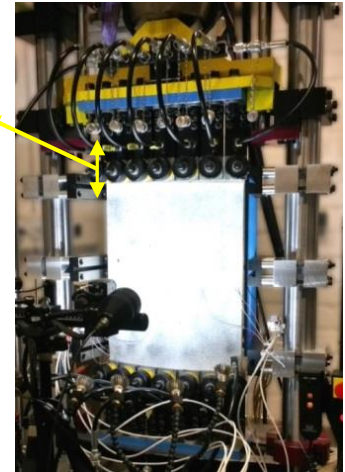
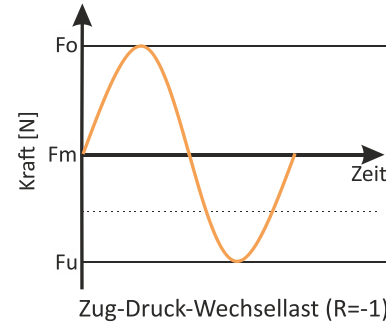


Schwingversuche an Schalenprüfkörpern

- Schwingversuche bei $R = -1$
- Einstufen- und Mehrstufen-Versuche
- Einstufen-Versuch bei 2 ‰, 3 ‰
- Mehrstufenversuch bei 2 ‰ + 3 ‰

Prüfparameter:

- 2 ‰ (35 kN), Frequenz 3 Hz
- 3 ‰ (49 kN), Frequenz 1,5 Hz

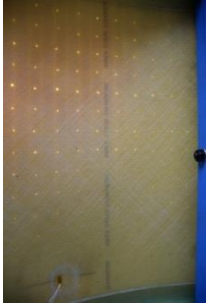


Betriebsfestigkeit von FKV-Schalenstrukturen

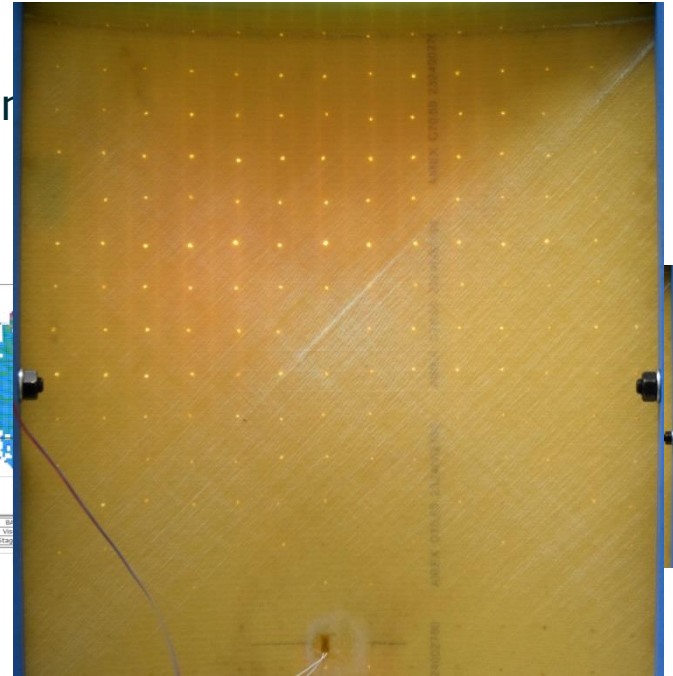
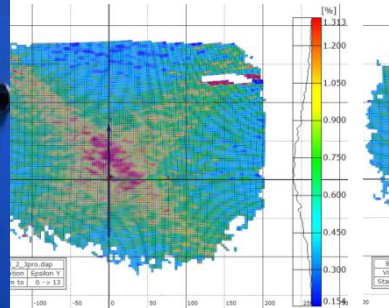
Sandwich-Schale unter wechselnder
Ermüdungsbeanspruchung

Schwingversuche - Referenzprüfkörper

- Mehrstufiger Schwingversuch:
- 2 %o 1*10⁷ CY Ermüdung im Laminat
- 3 %o Verformung im Kern

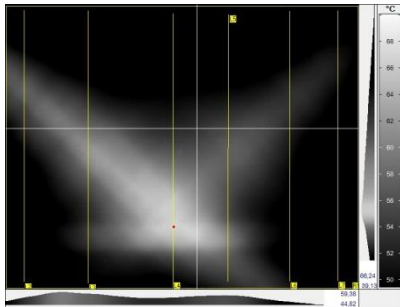


Nach 1*10⁷ CY

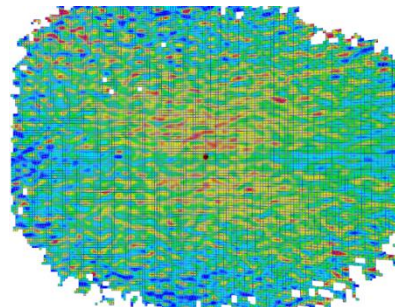


Schwingversuche – einfacher Lagenstoß

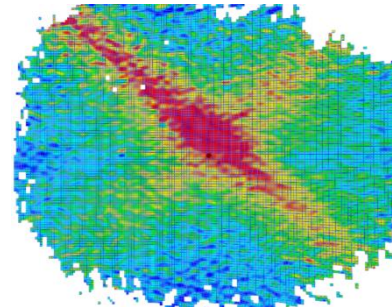
- einfacher Lagenstoß
- Einstufen-Schwingversuch bei 3 ‰



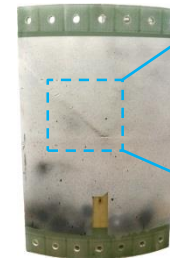
Thermogramm
kurz vor Versagen



Dehnungsfeld (ARAMIS)
Nach 4000 Lastwechsel



Dehnungsfeld (ARAMIS)
kurz vor Versagen



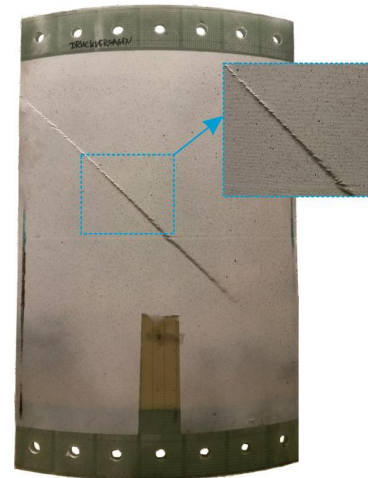
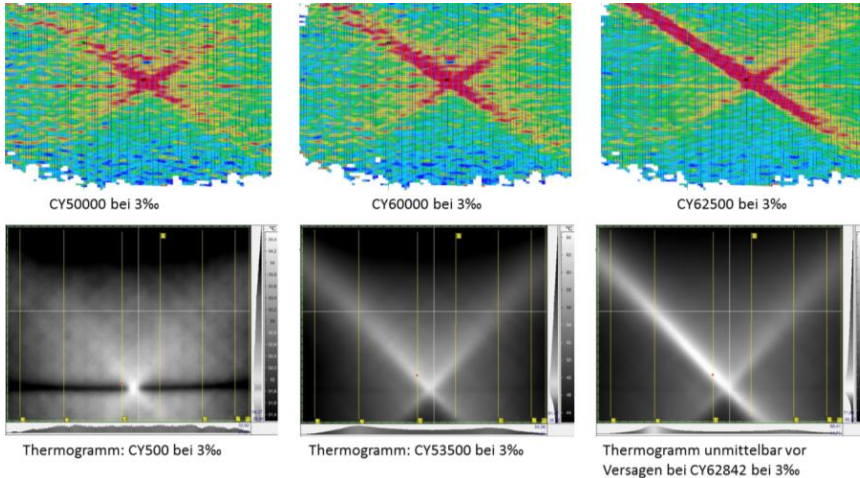
Vorderseite
Nach Versagen



Rückseite nach
Versagen

Schwingversuche – 7 mm Schaumstoß

- Mehrstufen-Schwingversuch 2 ‰ 380000 CY keine Schäden
- bei 3 ‰ Versagen nach 64000 CY



Ranking	Imperfektion	Bemerkung
1	Kurzer Lagenstoß	besonders kritisch, schwächt die Ermüdungsfestigkeit bzw. Lebensdauer im besonderen Maße
2	Doppelter Lagenstoß	kritisch, reduziert die Lebenserwartung deutlich
3	7 mm Schaumstoß 5 mm Schaumstoß	Einfluss auf das Ermüdungsverhalten, Schwächung der Lebenserwartung, weitere Versuche notwendig um eine Abstufung der Imperfektionen herauszustellen
4	3 mm Schaumstoß	geringster Einfluss, ist als unkritisch einzustufen

Erkenntnisse aus den Versuchen

Empfehlungen für den Rotorblattbau

Versuche lassen deutliche Empfehlungen für die Konstruktion von FVK-Bauteilen zu:

- Lagenstoß - Textile Halbzeuge mindestens 50 mm überlappen
- Doppelte Überlappungen vermeiden
- Schaumstöße von mehr als 5 mm Breite verhindern

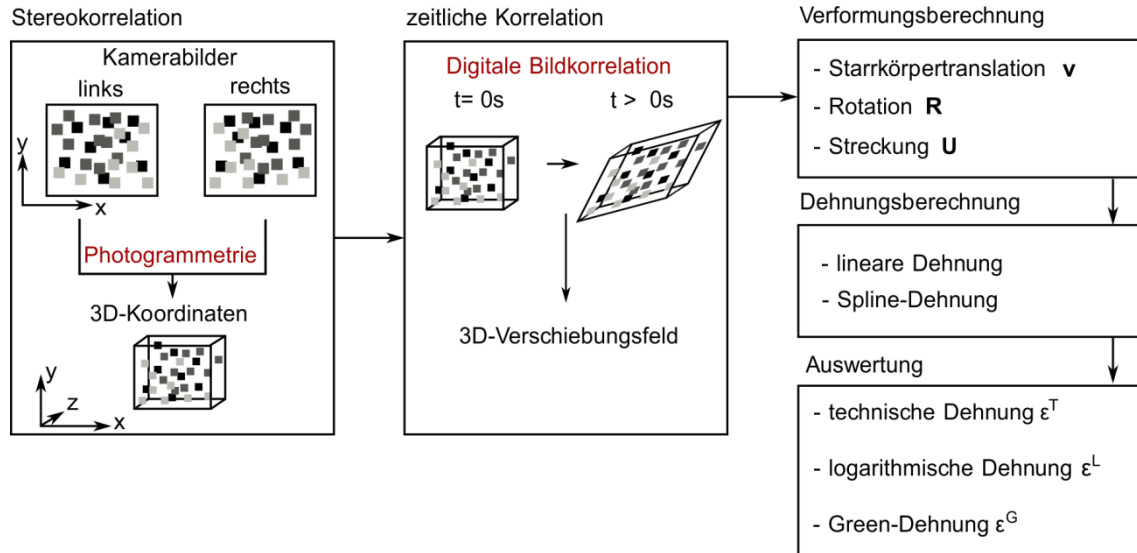
Ausblick: Numerische Modellierung der Imperfektionen und Kalibrierung an den Versuchsdaten wird verfeinerte Design-Regeln liefern.

Vielen Dank

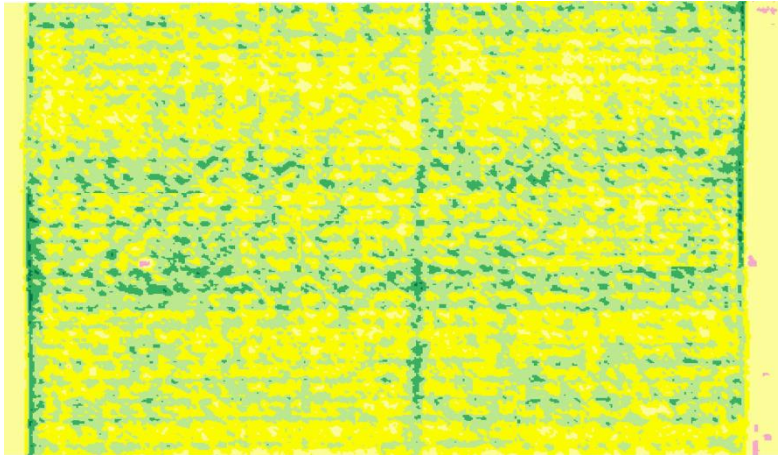
Anhang

zerstörungsfreie Zustandsüberwachung – 3 D Felddehnungsmessung-ANAHNG

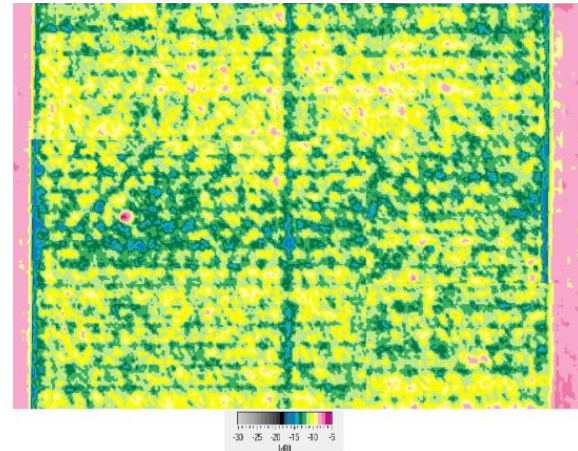
– Messprinzip 5 M ARAMIS Messsystem (GOM)



zerstörungsfreie Zustandsüberwachung – MUSE Scan



Ultraschall C-Bild mittels Muse Z400 des Prüfkörpers
BAM_SI_7



Muse Scan Schalenprüfkörper mit
mit angepasster Amplitudenskala