TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN

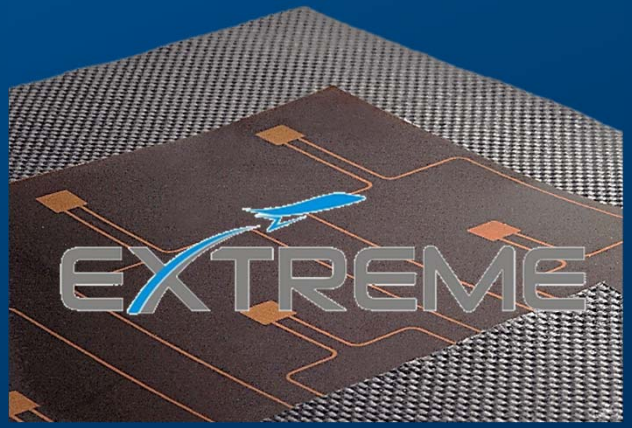
DRESDEN concept

Fakultät Maschinenwesen, Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“

Integrierte Sensoren für die Erfassung hochdynamischer Belastungen in der Luftfahrt

13. Tagung „Feinwerktechnische Konstruktion“
27.09. 2019, Dresden

Dr.-Ing. A. Winkler, Dr.-Ing. A. Hornig, Prof. Dr-Ing. N. Modler, Dr.-Ing. Martin Dannemann, Dipl.-Ing. Eric Bauerfeind
Dipl.-Ing. S. Nitschke



Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik

HIGHTECH
MADE IN GERMANY
CREATED IN SAXONY

Mail: ilk@mailbox.tu-dresden.de | Web: tu-dresden.de/mw/ilk | Tel: +49 351 463 37915 | Fax: +49 351 463 38143

Gliederung

- Motivation
- Integrierte Sensoren/Aktoren
- Strukturen mit integrierten Sensoren

  Auslegung, Herstellung, Charakterisierung
- Generische Demonstratoren
- Hochdynamische Impact-Versuche
- Zusammenfassung und Ausblick

Motivation

Luftfahrt

Erhöhung der ökologischen und ökonomischen Leistungsfähigkeit

Einsatz von Hochleistungsverbunden (CFK)

- Erhöhung von Ressourcen- und Werkstoffeffizienz
- Reduzierung der Umweltbelastung
- Integration von Funktionselementen zur Strukturüberwachung
- Reduzierung von Wartungs- und Reparaturzeiten sowie Kosten

Rumpfsegment aus CFK [www.augsburger-allgemeine.de]

Rolls Royce Fan Blade aus CFK [https://i.pinimg.com]

Motivation

Digital representation of
entire system and individual components

Integrierte Sensoren/Aktoren

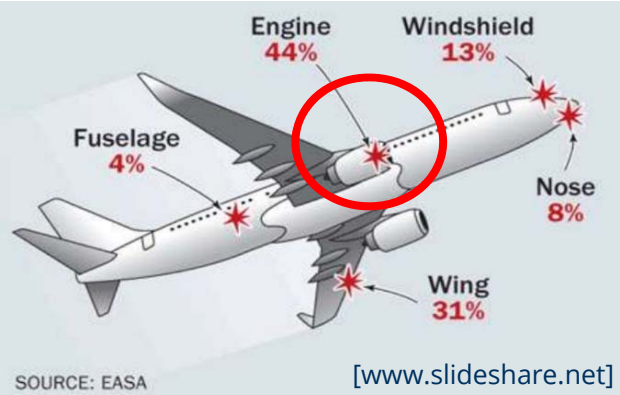
Einsatz von Sensoren

- Erfassung von physikalischen Größen (Temperatur, Längenänderung, ...)
- Erfassung von Impact-Belastungen
- Verlängerung / Vorhersage des Produktlebenszyklus und Gewährleistung eines sicheren Betriebs

Einsatz von Aktor-Sensor-Netzwerken

- Nutzung zur Strukturüberwachung (z.B. Zustandserkennung oder Structural Health Monitoring)

Impactanfällige Bereiche



[www.slideshare.net]

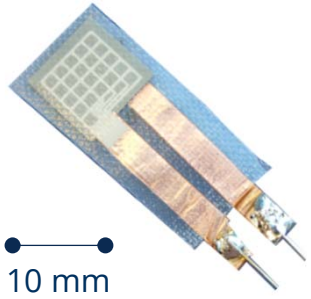
Rolls Royce Fan Blade aus CFK
[https://i.pinimg.com]

Entwicklung von zugeschnittenen individuell anpassbaren und integrierbaren Sensor-/Aktor-Netzwerken für kohlenstofffaserverstärkte Luftfahrtstrukturen

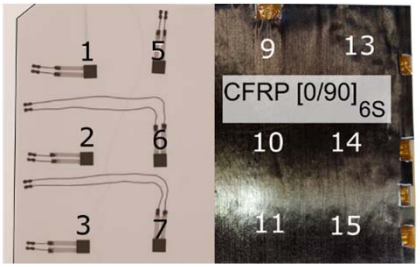
Integrierte Sensoren/Aktoren für hochdynamische Belastungen in der Luftfahrt

Anforderungen

- Möglichst hohe Sensitivität
- Geringe Zeitverzögerung
- Geringer Aufwand zur Datenerfassung, -aufbereitung und -auswertung
- Betrieb als Sensor- und Aktor für Strukturüberwachung vorteilhaft
- Integrierbar in bestehende Strukturen und Fertigungsprozesse (flach und temperaturbeständig)



Piezokeramik-element (PE)



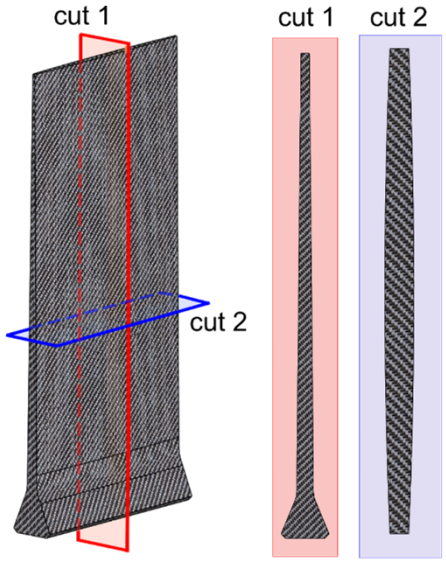
Kohlenstoffaserverstärkte Kunststoffplatte (CFK) mit integrierten PE

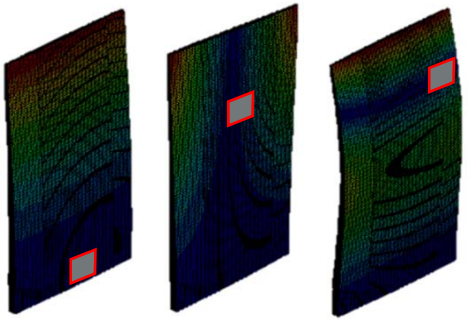
Integration von **Piezokeramikele-menten** in Luftfahrstrukturen

Auslegungs- und Herstellungsprozess

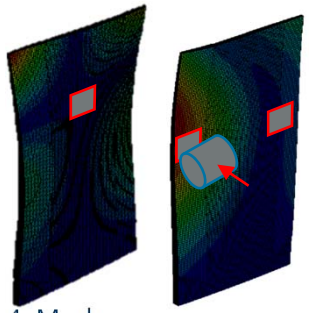
Am Beispiel eines generischen Blades

Reales Bauteil	Generisches Bauteil	Strukturanalyse	Design einer Aktivschicht (TemSAL)
- Geometrische Abmessungen - Belastungen	- Geom. Abmessungen - Definition Lagenaufbau - Definition der Funktion der Piezoelemente	- Eigenfrequenzen - Belastungsanalyse - Positionierung der Piezoelemente	- Elektrodenflächen - Leiterbahnen - Kontaktierung





1. Mode 2. Mode 3. Mode



4. Mode

Impact Position + ein zusätzlicher Sensor

Bereich der Bladefläche

Bereich der Einspannung

Auslegungs- und Herstellungsprozess

Herstellung einer Aktivschicht

- Drucken von individuellen Leiterbahnen und Elektroden (Siebdruck)
- Positionierung von Piezoelementen
- Konsolidierung der Aktivschicht

Bauteilherstellung

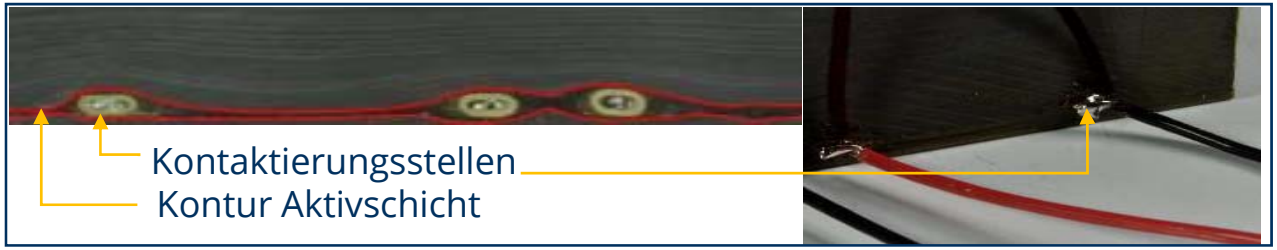
- Konventionelle Herstellung von CFK-Komponenten (Prepreg, RTM)
- Integration der Aktivschicht in ursprünglichen Fertigungsprozess

Siebdruckanlage

Aktivschicht-Trägerfolie

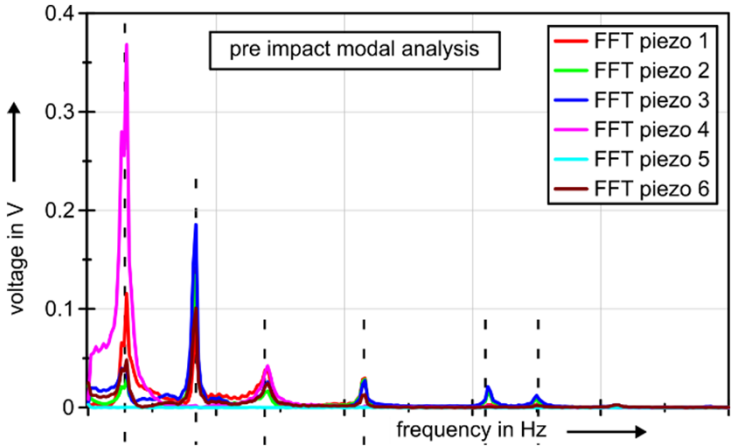
CFK-Blade mit integrierter Aktivschicht

Angepasste Kontaktierung



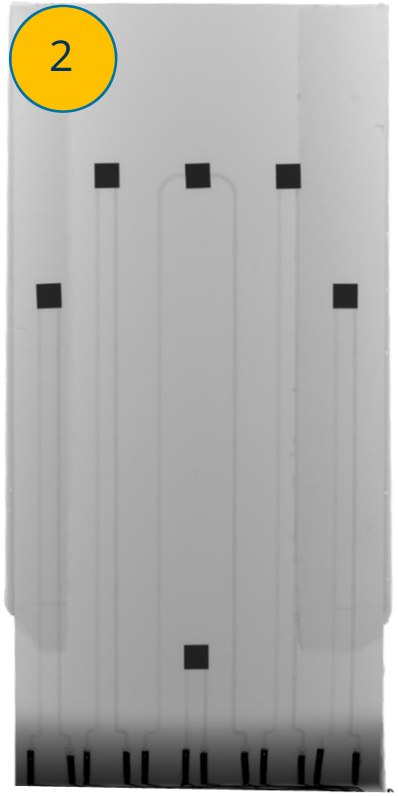
Überprüfung der Strukturen

1



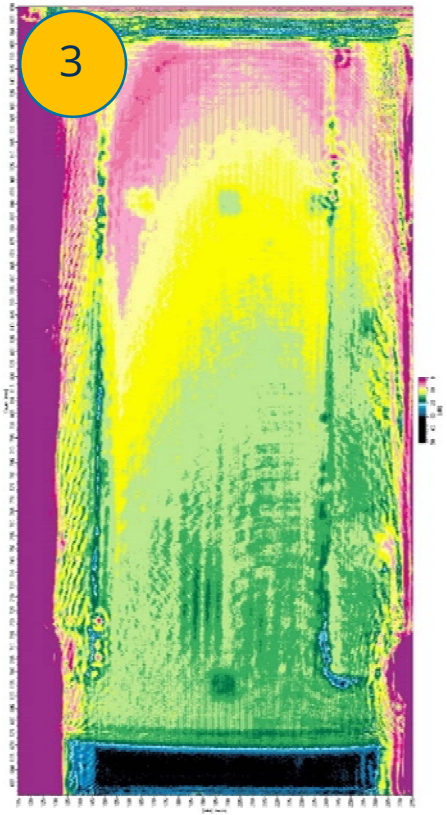
Modalanalyse zur Ermittlung der Eigenfrequenzen

2



CT-Scan zur Identifizierung von Lageabweichungen und Schäden

3



Ultraschallanalyse zur Ermittlung von Delaminationen und Defekten

4

Ermittlung der Kapazitäten der Piezoelemente

Untersuchung verschiedener Strukturen

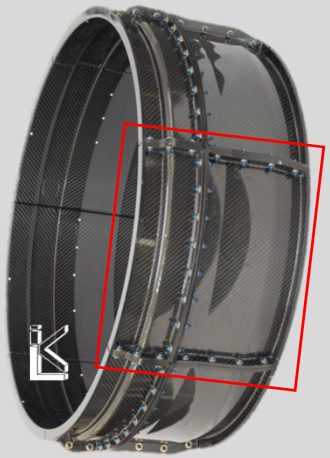
Labormaßstab

Grundlegende Untersuchungen an Musterplatten

- Aktor/Sensorpositionierung
- Fertigungskonzept
- Messaufbau und Signalverarbeitung
- Prüfablauf

Tests unter anwendungsnahen Versuchsbedingungen

Blade
(Soft Body Impact)



Containment
(Fan-Blade-Off)

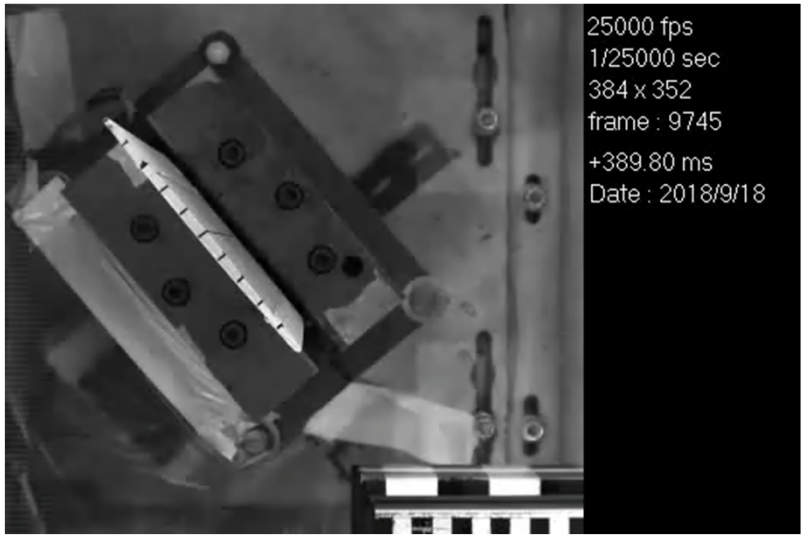
Validierung

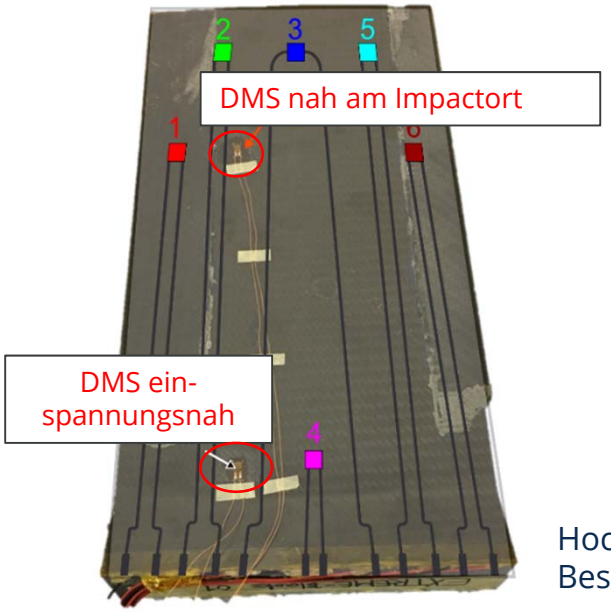
- Fertigung
- Prüfablauf
- Versuchsbedingungen

Generisches Fanblade –Soft Body Impact (SBI)

- Simulation eines Vogelschlags
- Zylindrischer Gelatineimpaktor
- Beschußgeschwindigkeit 100 m/s

- Verifikation der integrierten Aktivschicht
- Zusätzliche Dehnungsmesstreifen zur Referenzierung des Antwortverhaltens





Hochgeschwindigkeits-
Beschussprüfstand

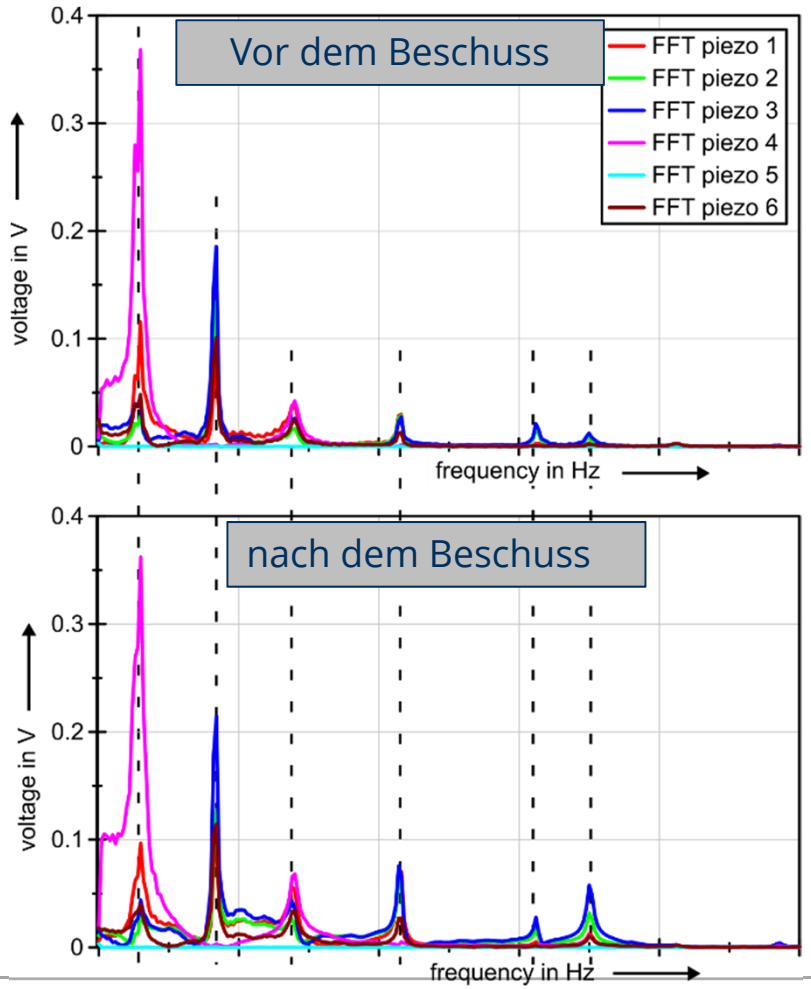
Generisches Fanblade - Charakterisierung

Keine Verschiebung der EF
→ Kein sign. Schaden im Blade

Analyse nach dem Beschuss

Blade

- Visuelle Inspektion
- Ultraschall scan
- Vergleich der Eigenfrequenzen



Generisches Fanblade - Charakterisierung

Analyse nach dem Beschuss

Blade

- Visuelle Inspektion
- Ultraschall scan
- Vergleich der Eigenfrequenzen

Aktivschicht - TEmSAL

- Computertomografie
- Ermittlung der Kapazitäten der PE vor und nach dem SBI (7,57 nF bis 8,34 nF)

Keine Änderungen der Kapazitäten infolge der Beschussprüfung
→ **voll funktionsfähige PE/TEmSAL**

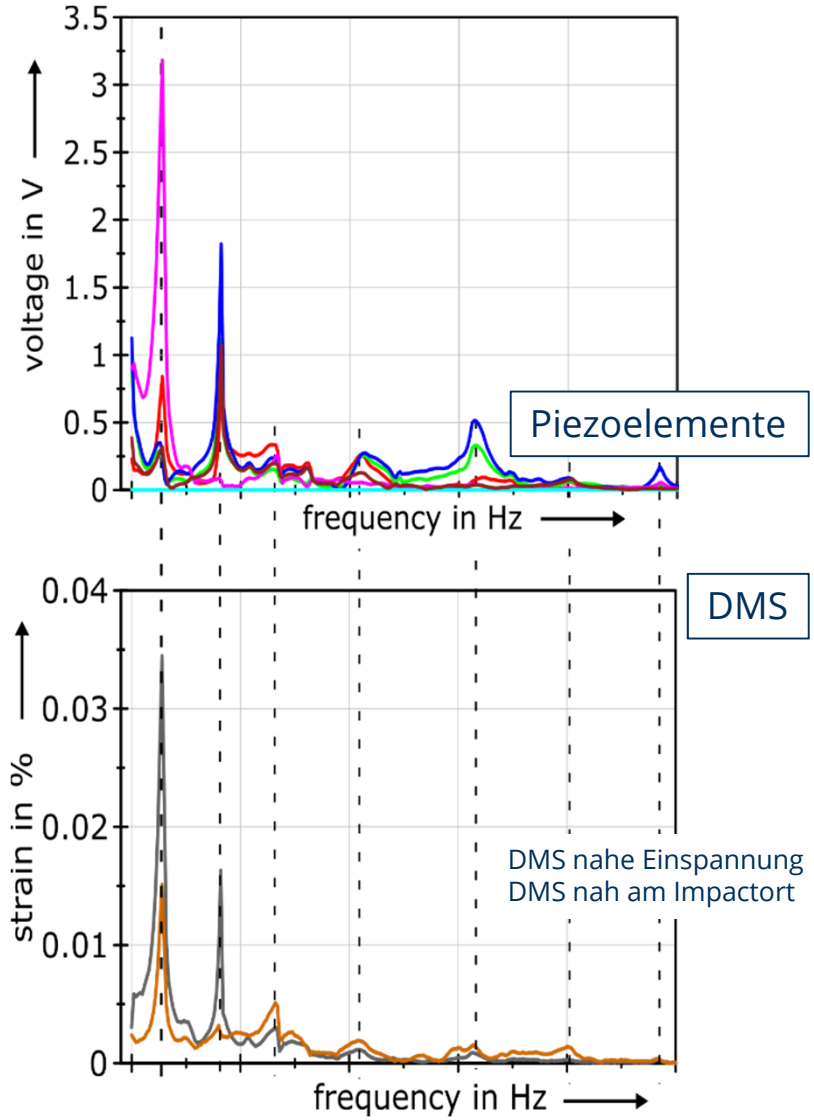
CT- Keine Zerstörung der PE

Generisches Fanblade - Charakterisierung

Vergleich der Messsignale von PE und DMS

- Piezoelemente zeigen deutliche Signale
- Hohe Sensitivität im Vergleich zu DMS
- Spannungsbegrenzung für höhere Geschwindigkeiten notwendig

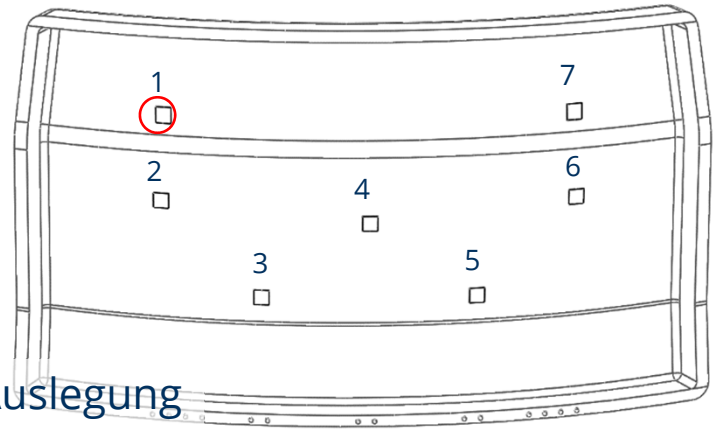
- Sehr gute Korrelation des Frequenzgangs bezüglich der PE und DMS
- Derzeit noch in Bearbeitung: Referenzierung der Ausgangsspannung der PE in Bezug auf Impactkraft/-energie und –ort (Kooperation mit Univ. Bath, Prof. M. Meo)



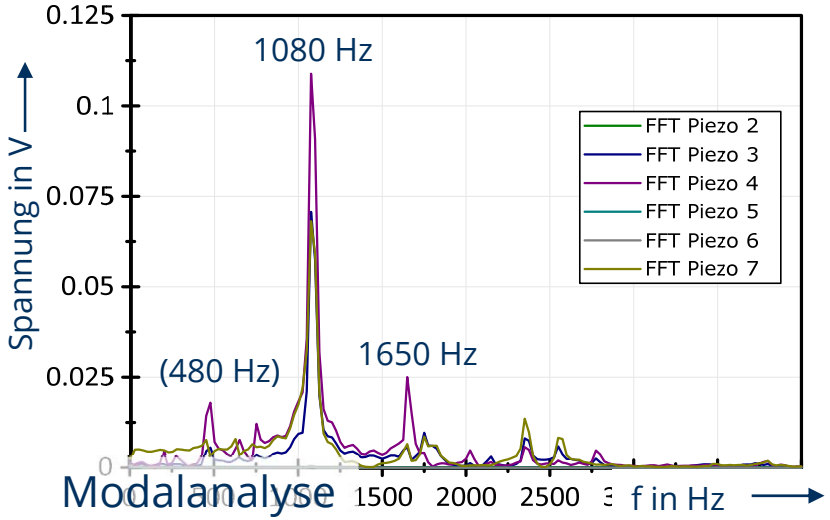
Containment mit integrierter Sensorik

Übertragung der Erkenntnisse auf eine Containmentstruktur

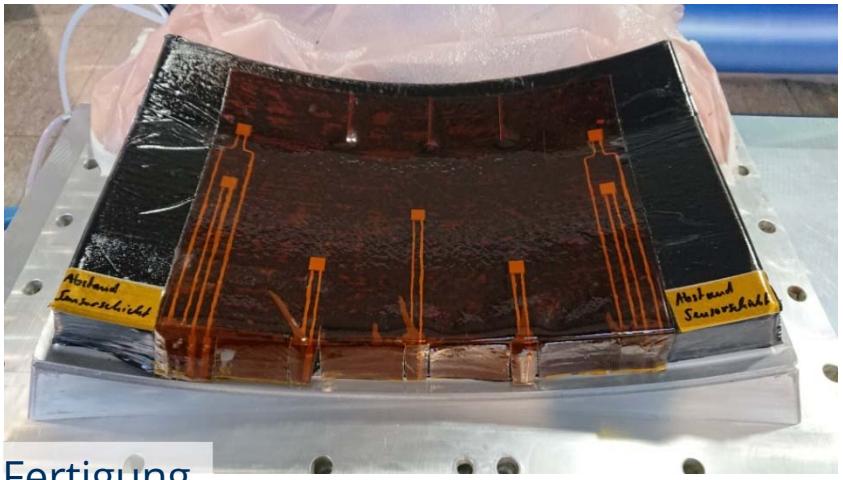
Containmentsegment



Auslegung



Modalanalyse



Fertigung

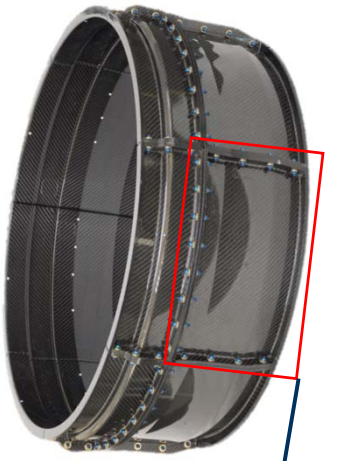
Zusammenfassung und Ausblick

Entwicklung von Luftfahrtstrukturen mit integrierten Sensoren/Aktoren

- Auswahl geeigneter Sensoren/Aktoren
- Skalierbare und kostengünstige Fertigungsverfahren
- Bewertung der Aktivschicht - TEmSAL durch experimentelle Untersuchungen

Ausblick

- Soft body imact-Test bis zu signifikanter Schädigung
- Fan-Blade-Off-Test am Containmentsegment mit integrierter Aktivschicht
- Technologietransfer in andere Bereiche



Containment, segmentiert

Containmentsegment

Vielen Dank für ihre Aufmerksamkeit!

The project leading to this publication has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 636549, project EXTREME.

EXTREME project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 636549