

Hybride Bauweisen am Beispiel von Triebwerkskomponenten

Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress 2013
11.09.2013, Stuttgart

F. Kocian¹,
P.-B. Ebel¹, B. Drees¹, K. Schulze², J. Hausmann², H. Voggenreiter^{1/2}

¹ DLR Stuttgart - Institut für Bauweisen- und Konstruktionsforschung

² DLR Köln - Institut für Werkstoff-Forschung



Inhalt

Hybride Strukturen

Hybrider Verstellring im Hochdruckverdichter

Hybrides Fanblatt

Verdichterroter neuer Bauweise

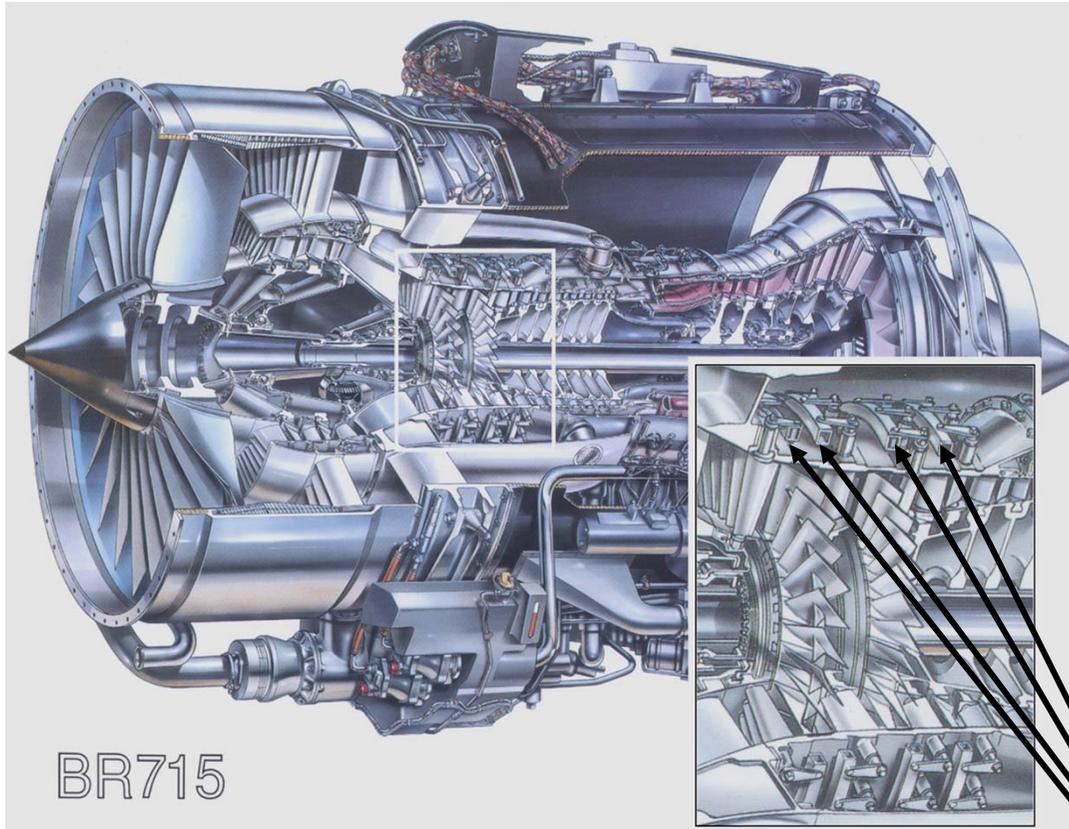


Hybride Strukturen

- ▶ Zusammenbringen verschiedener Strukturkomponenten zu einer Gesamtstruktur
- ▶ Nutzbare Vorteile:
 - gezielte Generierung / Design neuer Eigenschaften
 - Umfangreichere Optimierungsmöglichkeiten
 - Ressourcenschonung durch Funktionentrennung (materialgerechtes Design)
- ▶ Zusätzlicher Aufwand:
 - Umfangreichere Kompetenz notwendig (Entwicklung und Fertigung)
 - Komplexere Modellierung und Optimierung
 - Interface als zusätzliche Herausforderung und Themenschwerpunkt



Hybrider Verstellring im Hochdruckverdichter



Zielsetzungen:

- ▶ Verbesserte Funktionalität
- ▶ Verringerung des Strukturgewichts
- ▶ Reduzierte Herstellungskosten
- ▶ Verbesserte Ringmontage

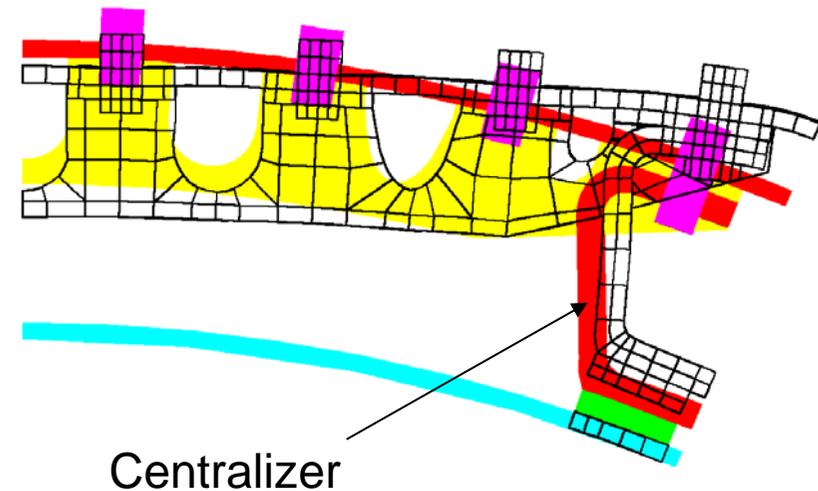
Titan Verstellringe

Quelle: Rolls Royce Deutschland

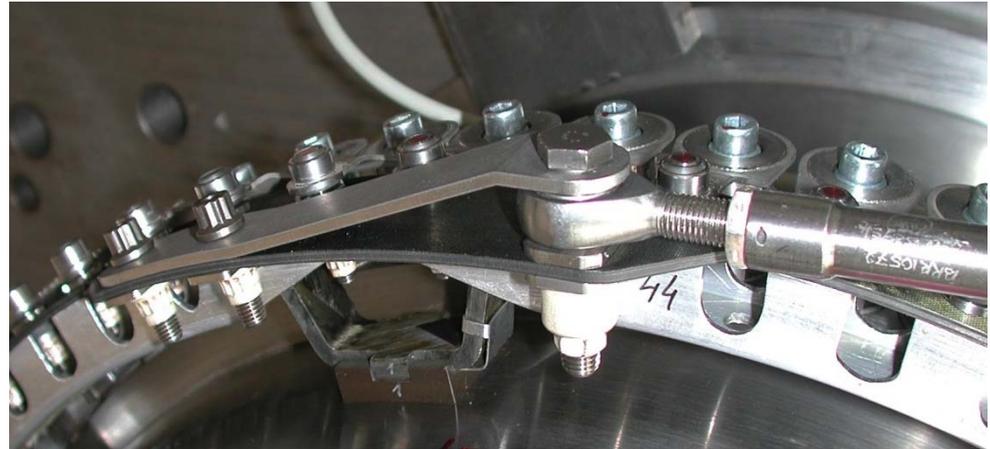
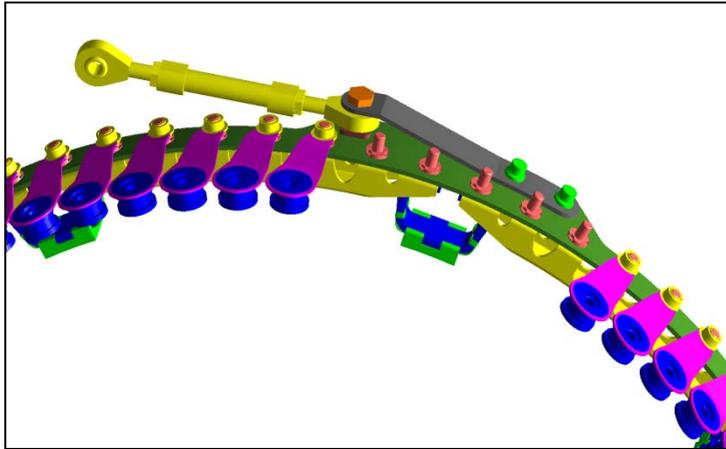


Hybrider Verstärker – Funktionsprinzip

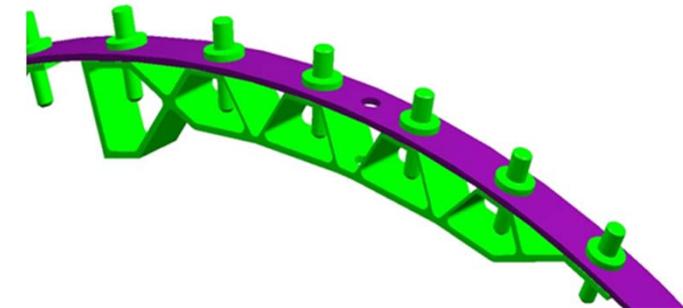
- ▶ Hybridkonzept ermöglicht die Nutzung des mechanischen CFK Potenzials
- ▶ Werkstoffkombination nutzt Bi-Metall Effekt und kompensiert damit den geringen thermischen Ausdehnungskoeffizienten von CFK
- ▶ CFK-Band wird auf Umfangssteifigkeit und Lochleibung ausgelegt in Abstimmung mit der gewählten Fertigungstechnik $[0^\circ, -45, +45, 0^\circ, 0^\circ]_s$ – Lagenaufbau bedeutet Kompromiss zwischen Fertigungstechnik, Steifigkeit und Lochleibungsversagen
- ▶ Stützelement (Centralizer) wurde aus +/- 30° Wickellaminat aufgebaut, um negatives Strukturausdehnungsverhalten zu generieren



Materialgerechte Gestaltung der Hybridstruktur



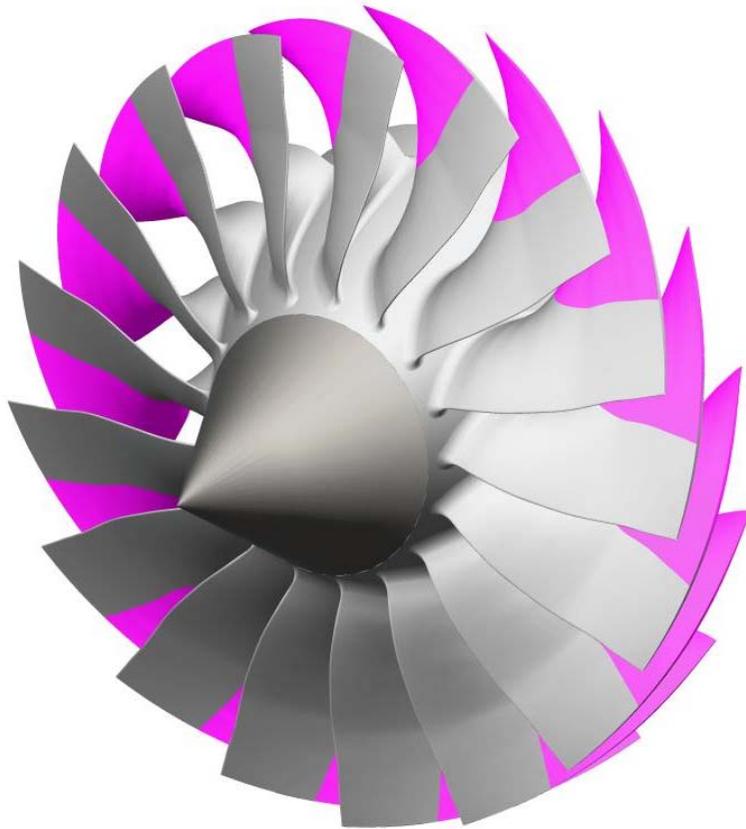
- ▶ Tangentiale Kräfteinleitung in den Ring erhöht die Steifigkeit und somit die Verstellgenauigkeit
- ▶ Einfache Strukturelemente mit Mehrfachfunktion
- ▶ Optimierte Kombination von Hochleistungswerkstoffen
- ▶ Unbelastetes Interface zwischen den Materialien



- ▶ Optimierung des thermalen Ausdehnungsverhaltens
- ▶ Topologieoptimierung der Struktur



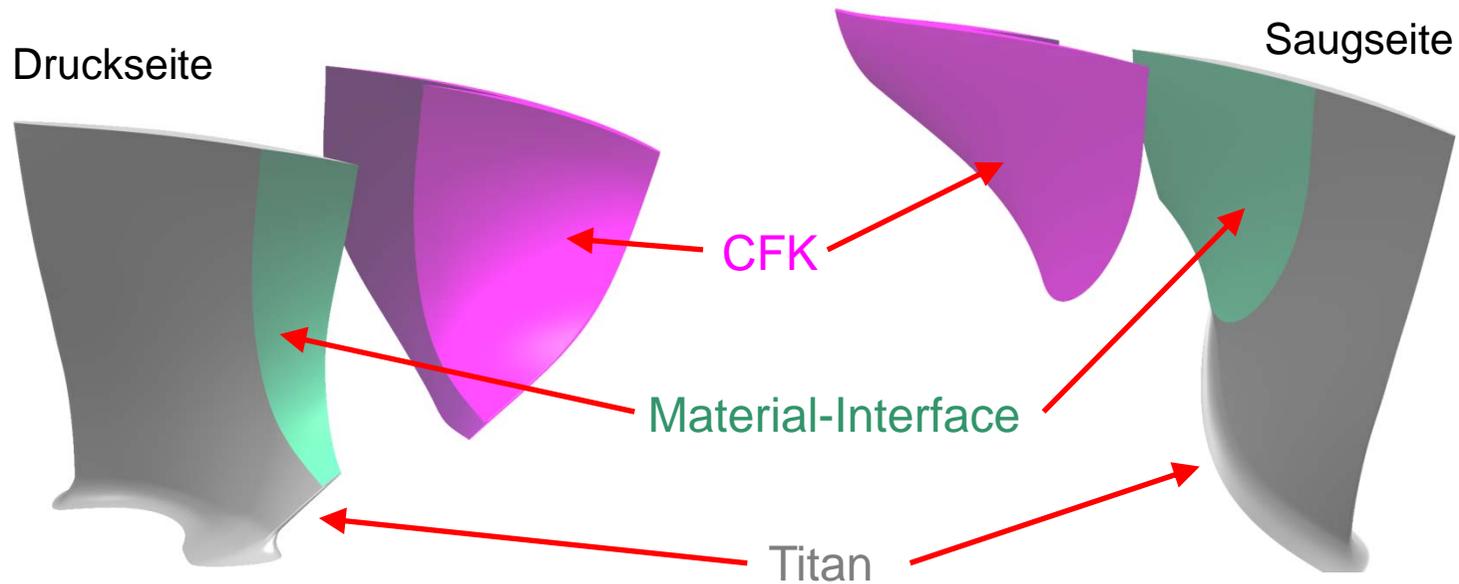
Hybrides Fanblatt



- ▶ Nutzung von spezifischen Materialeigenschaften
- ▶ Titan im Bereich der Krafteinleitung in die Rotorscheibe und der Vorderkante (Beständigkeit gegen Erosion und FOD)
- ▶ CFK im Bereich der Hinterkante (aerodynamischen Kontur)
- ▶ Thermoplastisches Matrixmaterial (PEEK) zur Erzielung guter Schlagzähigkeit und Klebefestigkeit



Vorteile des Hybridkonzeptes

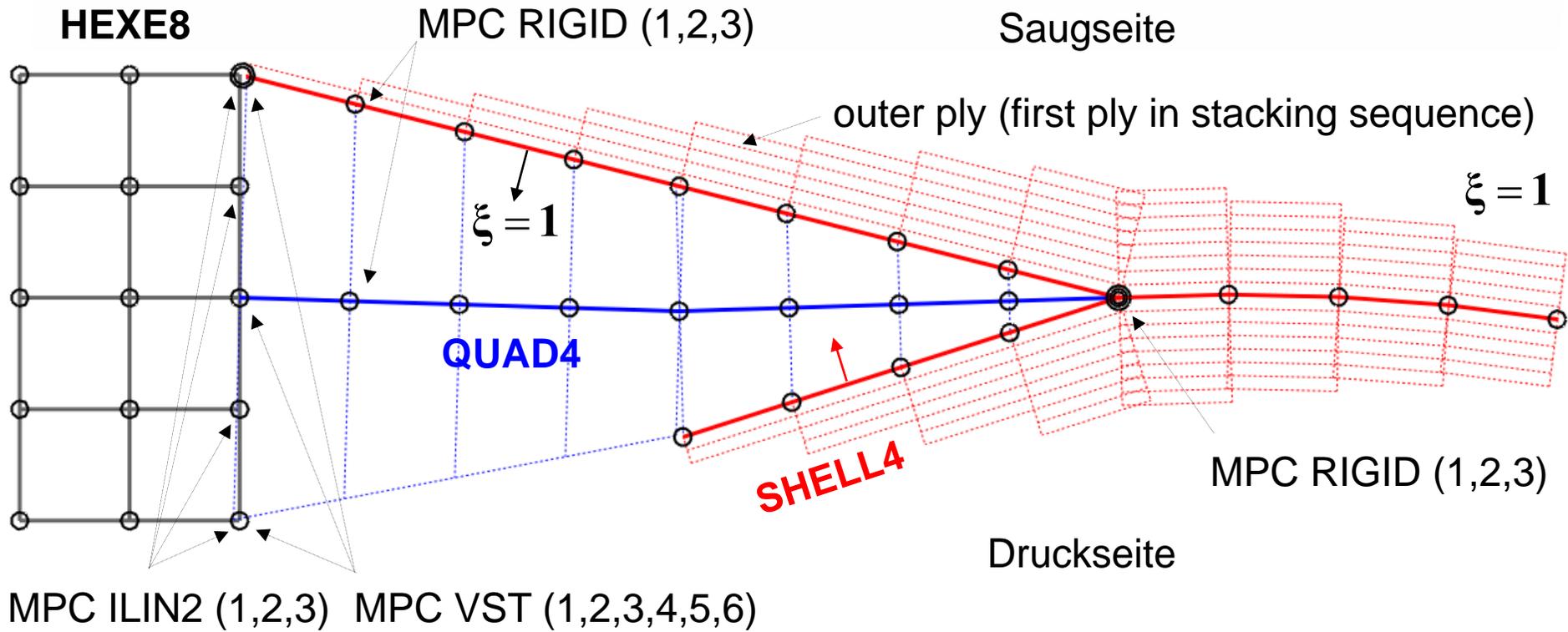
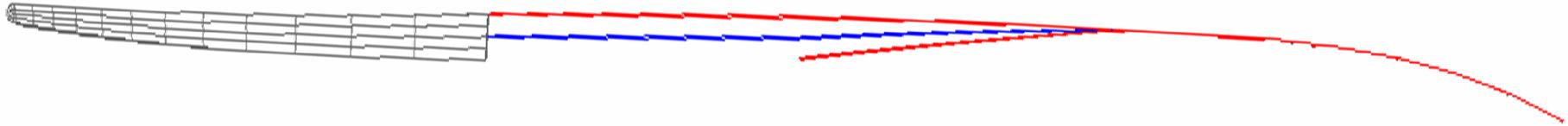


- ▶ Reduktion von Strukturgewicht durch Einsatz von Hochleistungsverbundwerkstoffen
- ▶ Verbesserte strukturelle Dämpfung
- ▶ Reduzierte Blattenergie für den Fall eines Blattverlustes
- ▶ Weiteres Einsparpotenzial im Bereich Containment, Rotorwelle und Lagerung



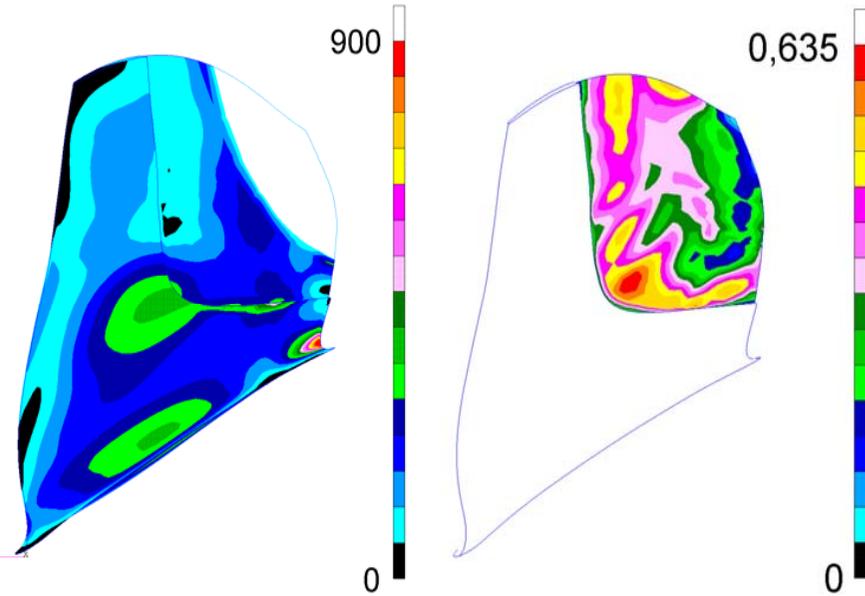
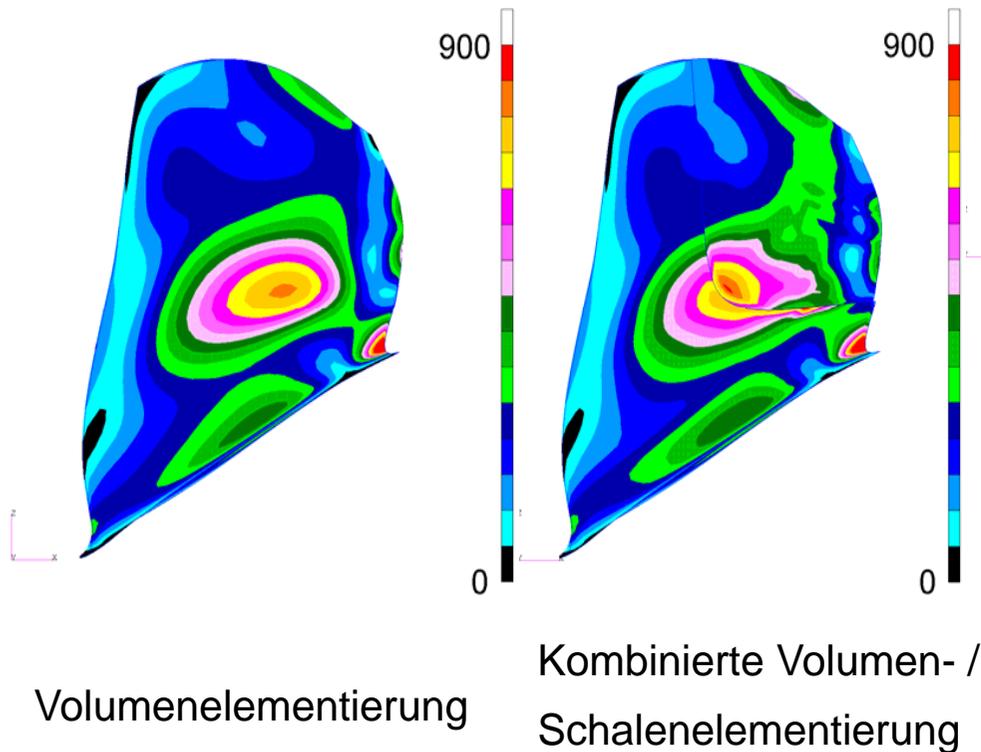
Modellierung

Profilquerschnitt



Auslegung und Berechnung

Unterschiedliche FE-Modelle des massiven Titanblattes zeigen gute Übereinstimmung in Bezug auf das Spannungsniveau in MPa nach v. Mises

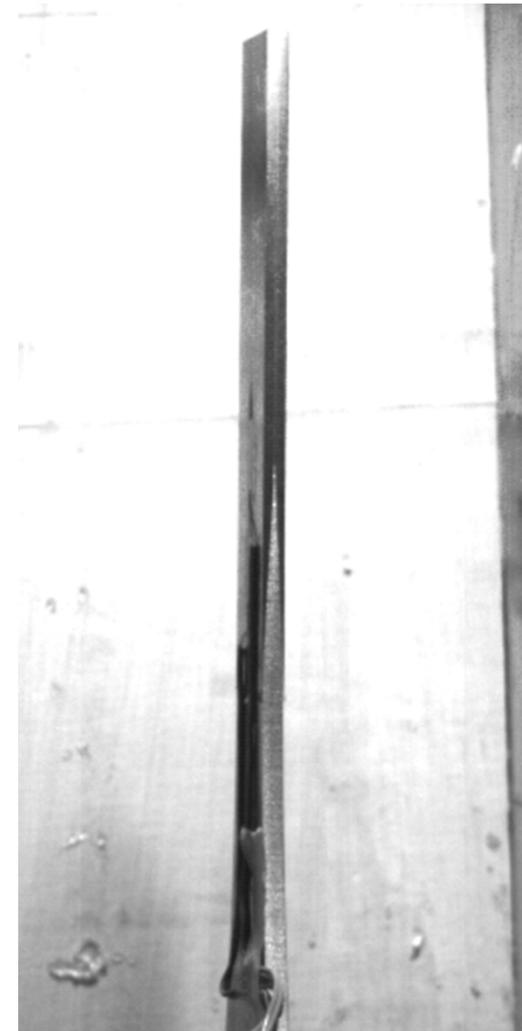


FE-Modell des hybriden Fanblattes weist eine Spannungsreduktion im Titanbereich auf und zeigt eine Materialausnutzung im CFK mit ausreichender Reserve

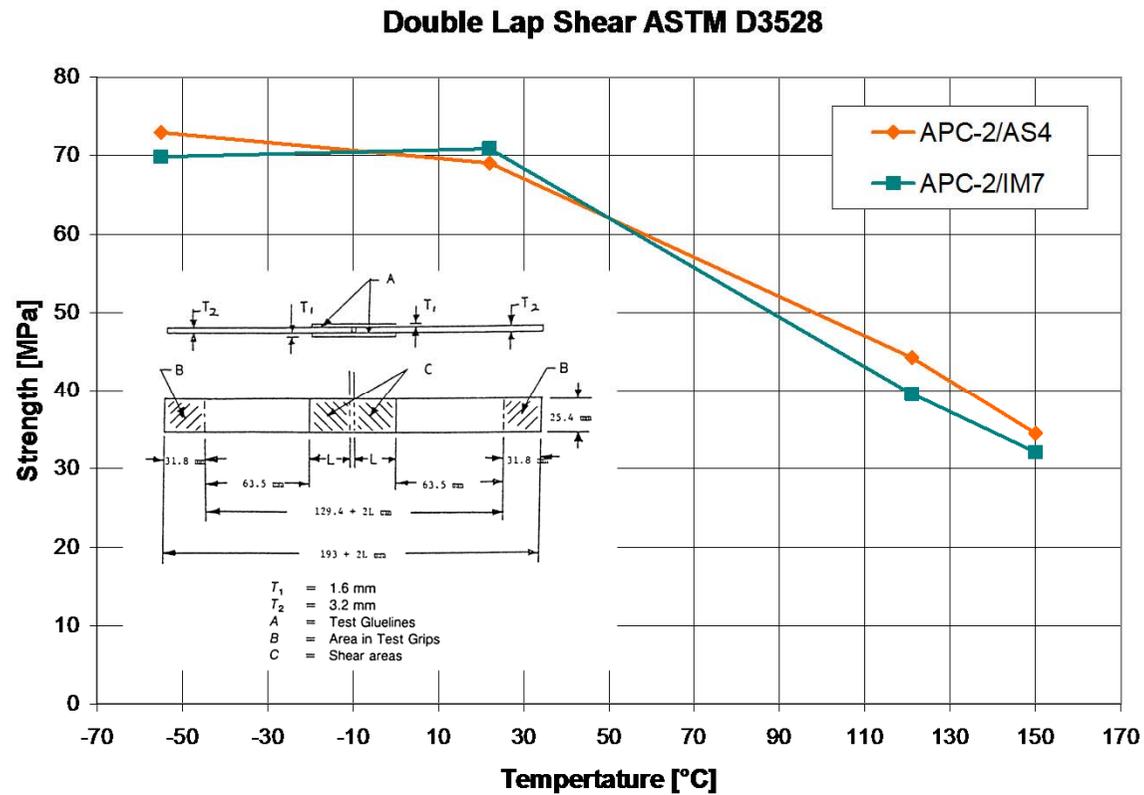


Beschusstest einer Hybridprobe

- ▶ Getestete Geschwindigkeit:
104 bis 151 m/s
- ▶ Projektilmassen:
25 bis 33 Gramm
- ▶ Impact Energien:
135 J bis 376 J
- ▶ Bis zu einer Dehnung von 1,4%
widersteht die Verbindung der
dynamischen Last



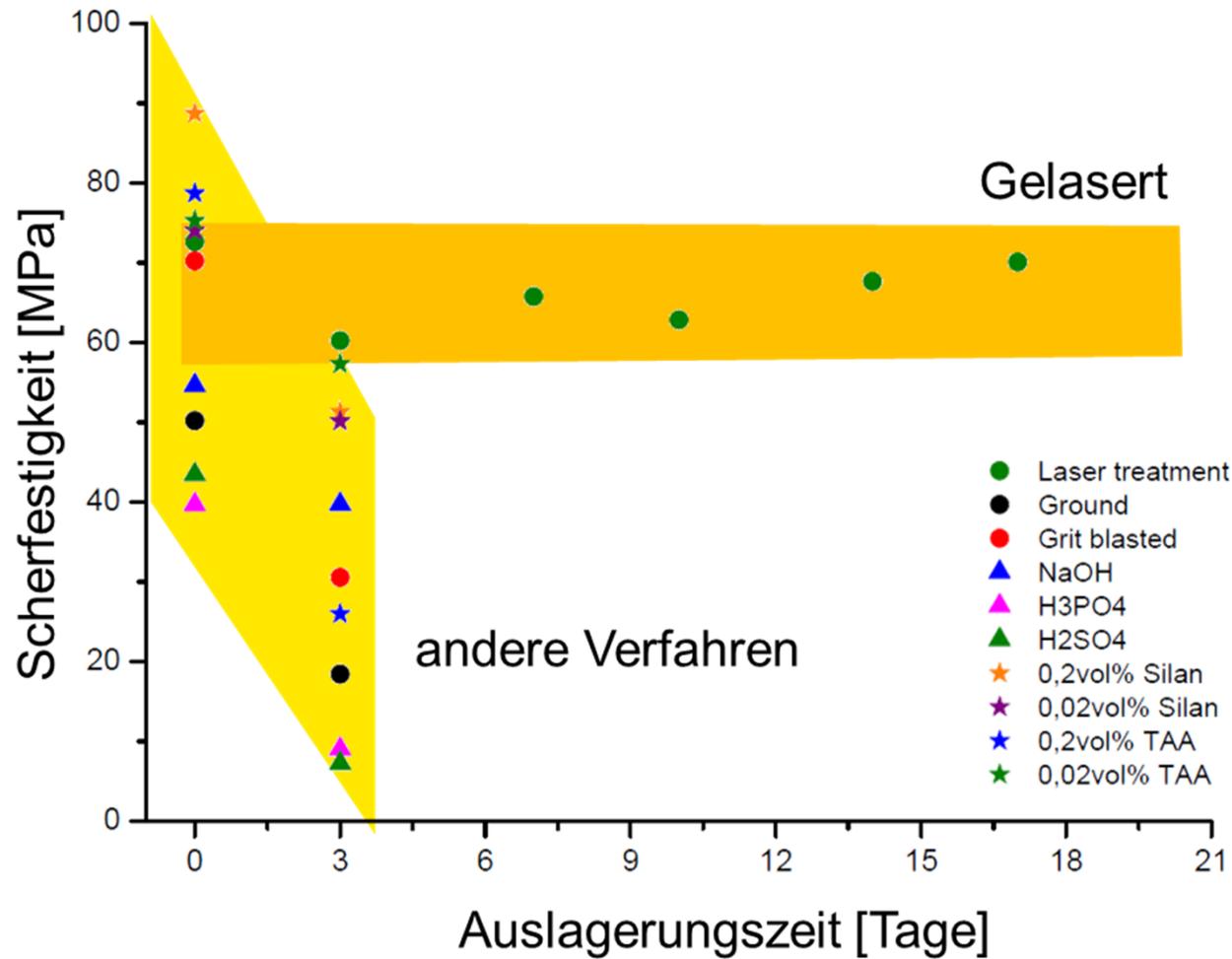
Ausgangspunkt: Hohe Materialfestigkeiten bei der Fügung von CF-PEEK und Titan



Problem: Alterungsbeständigkeit!



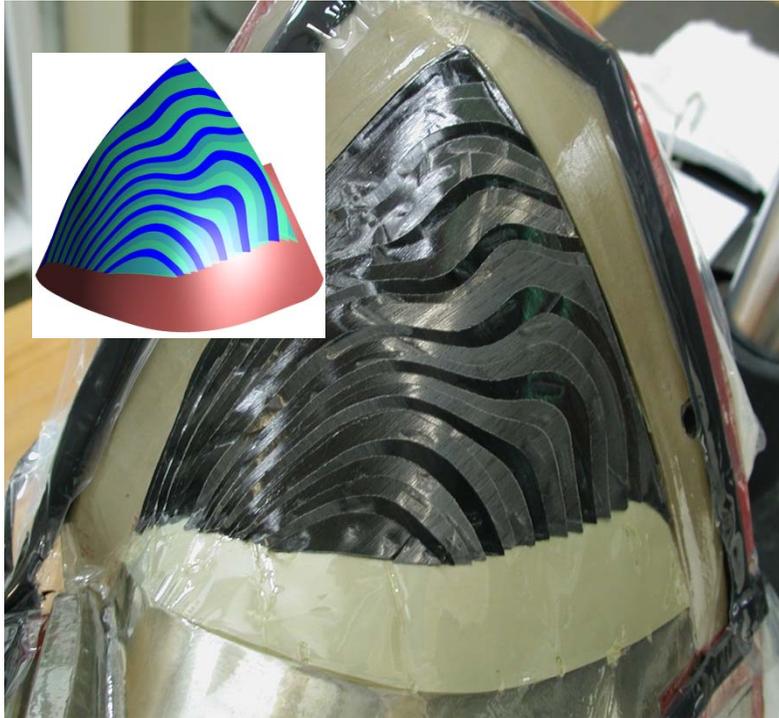
Haftfestigkeit nach Langzeitauslagerung



Quelle: Institut für Werkstoff Forschung (DLR)



Fertigung



Simulation des Lagenaufbaus als Basis für die Drapierung und maschinellen Zuschnitt der UD-Prepreglagen und reales Stacking in der Keramikform

- ▶ Vakuumkonsolidierung der CFK-Prepreglagen und Fügung erfolgt in einem Arbeitsgang
- ▶ Kostengünstige armierte und beschichtete Keramikformen für Prototypenherstellung
- ▶ Drapiersimulation der Einzellagen im CAD und Zuschnitt mittels einer Wasserstrahlschneidanlage
- ▶ Positionierung der Einzellagen in der Form mittels eines optischen Projektionsverfahrens



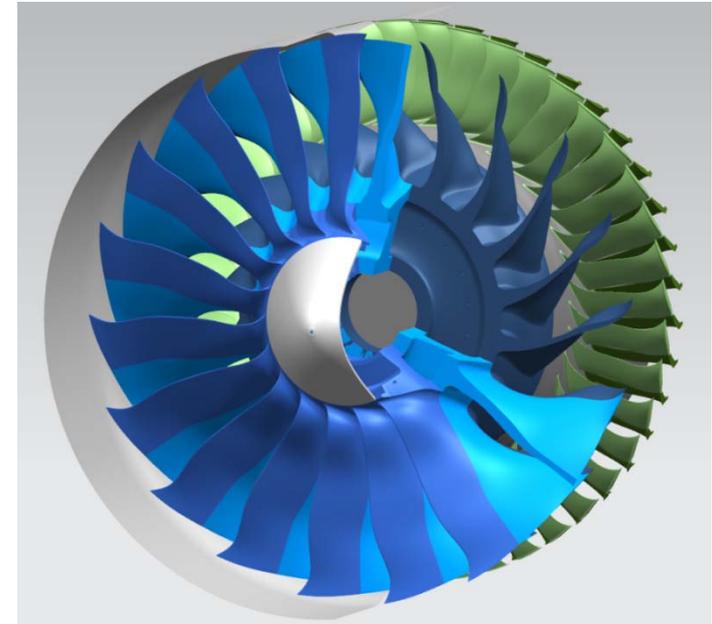
Potenzial

Version A10	Blattmasse [kg]	Rotations- energie [kJ]
Titanblatt	1,42	91,8
Hybridblatt	1,25	75,9
Einspar- potenzial	12,1%	17,4%

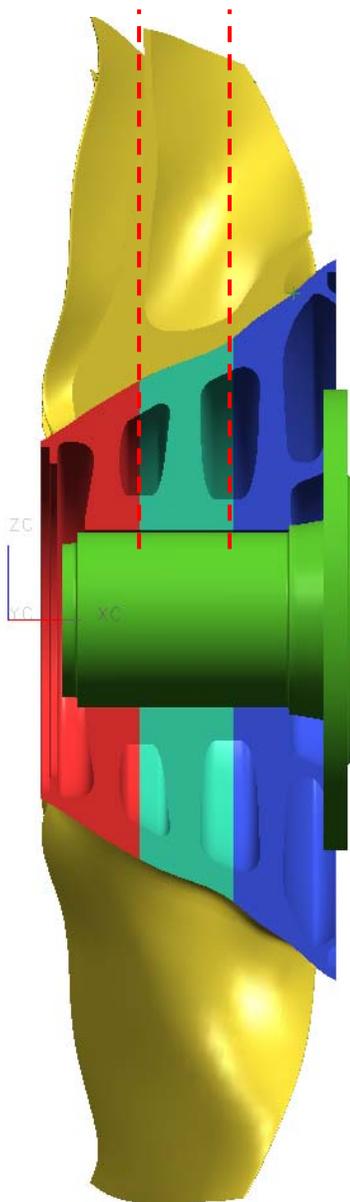
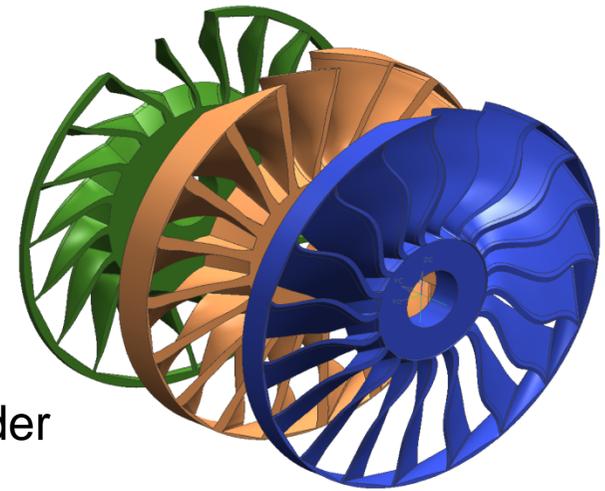


Verdichterrotor neuer Bauweise

- ▶ Tendenz zu faserverstärkten Materialien und Werkstoffverbunden gepaart mit Trend zur BLISK-/BLING-Bauweise erfordert neue Konzepte im Turbomaschinenbau
- ▶ DLR-Ansatz: axial getrennte BLISK-Scheiben werden zu einem monolithischen Rotor gefügt
- ▶ Zuverlässige mechanische und aeroelastische Auslegung des Verdichters unter Berücksichtigung der neuen Bauweise
- ▶ Gleichzeitig Umsetzung hoher aerodynamischer Anforderungen an den Verdichter



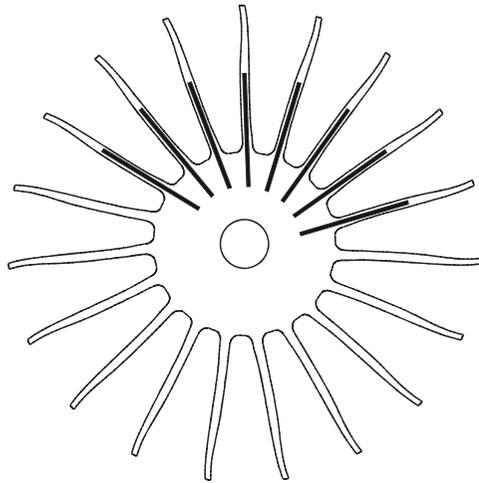
Rotorkonzept



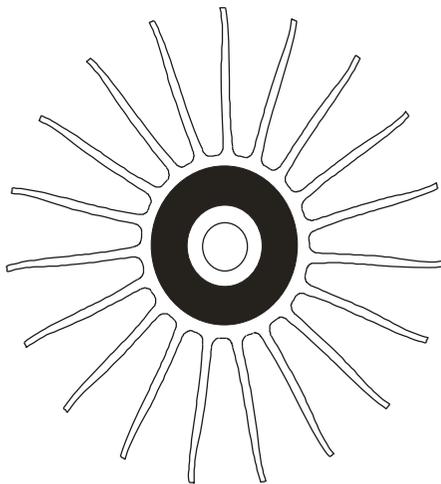
- ▶ Grundlage der Bauweise:
Fügung einzelner, vorgefertigter Rotorscheiben mittels Verlöten der Einzelsegmente
- ▶ Demonstrator mit zwei Lötebenen, Dreistegscheibe und Hohlräumen
- ▶ Rotorlagerung zur Sicherheit für den Testbetrieb auf verlängerter Welle
- ▶ Auslegung erfolgt mit Blick auf genügend Tragfähigkeit voneinander getrennter einzelner Scheibensegmente im Schadensfall



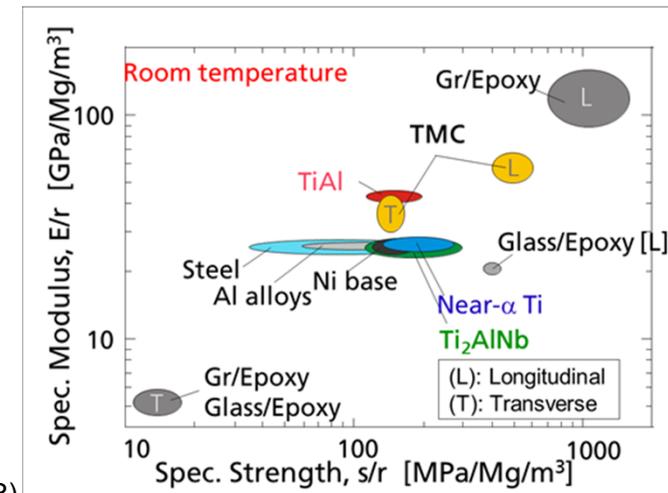
Potenzial der Bauweise



- ▶ Hohe aerodynamische Gestaltungsfreiheit
- ▶ Integrierte Verstärkungselementen (TMC-Stäbe & Ringe) – Hybridstrukturen
- ▶ Integration von Hohlräumen und Kanälen
 - Dämpfungsmechanismen
 - Strömungsbeeinflussung



- ▶ Nutzung bereits erarbeiteter Technologien
- ▶ Fügetechnik stellt Schlüsseltechnologie dar
- ▶ Reparaturfähig



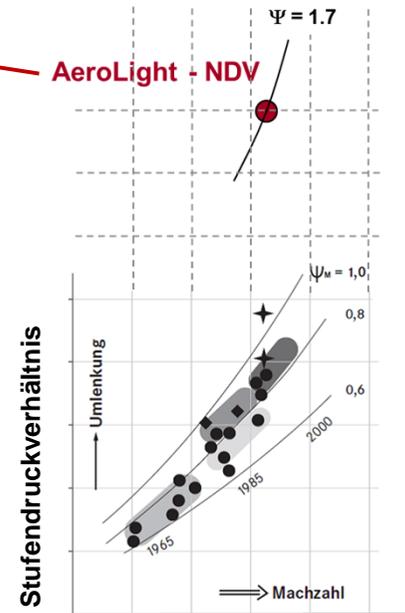
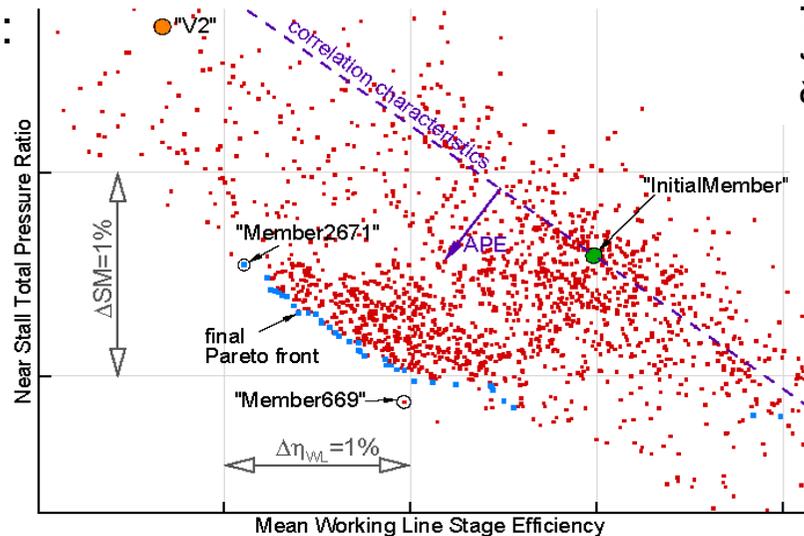
Quelle: Institut für
Werkstoff Forschung (DLR)



Interdisziplinärer Ansatz

- ▶ Ziel: Leistungsfähige Leichtbauweise für Rotoren ohne Restriktionen für die Aerodynamik mit Potenzial für einen Technologiesprung
- ▶ Nutzung der Kompetenzen der DLR-Institute AT, AE, BK, WF, (SHT)
- ▶ Simultane Beteiligung aller Fachdisziplinen am Design- bzw. Optimierungsprozess
- ▶ DLR eigene multidisziplinäre Optimierungsprozesskette unter Berücksichtigung von:

- aerodynamischen
 - aeroelastischen und
 - strukturmechanischen
- Zielfunktionen



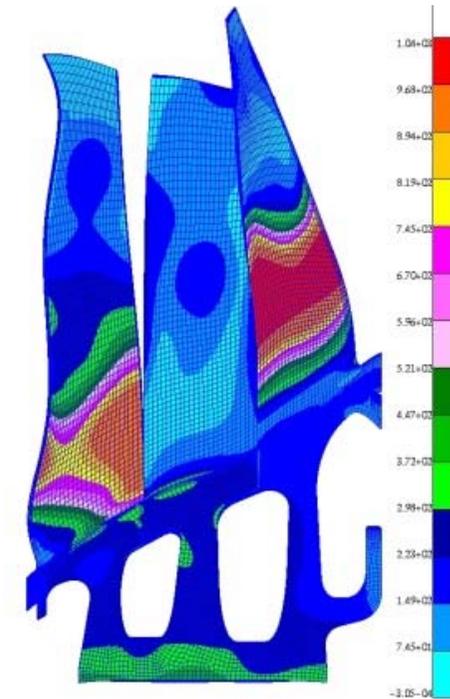
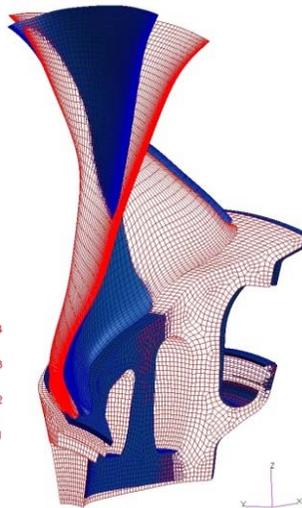
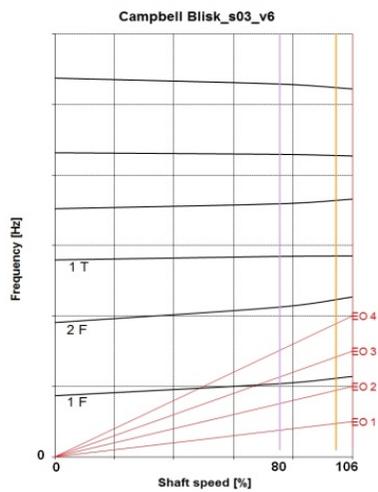
Umfangsgeschwindigkeit

Quelle: Institut für Antriebstechnik (DLR)



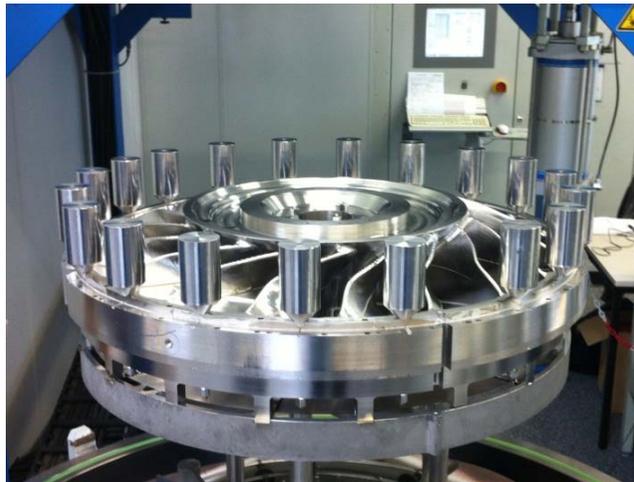
Design

- ▶ BLISK-Gestaltung nutzt verfügbares Leichtbaupotenzial (ausbaufähig)
- ▶ Interdisziplinäre Zusammenarbeit für statische und dynamische Auslegung
- ▶ Gesonderte Auswertung der Fügebereiche
- ▶ Konservative Gesamtauslegung im Hinblick auf Rig-Test
- ▶ Sicherstellung von Schadenstoleranz



Fertigungskonzept

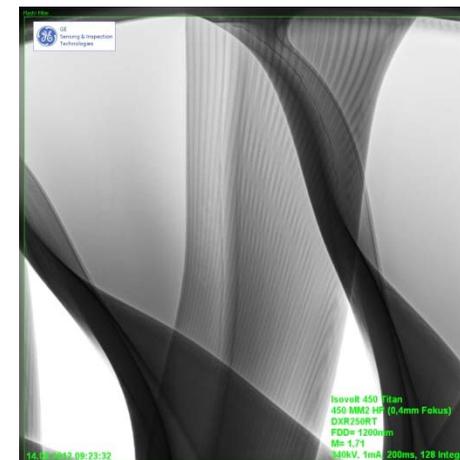
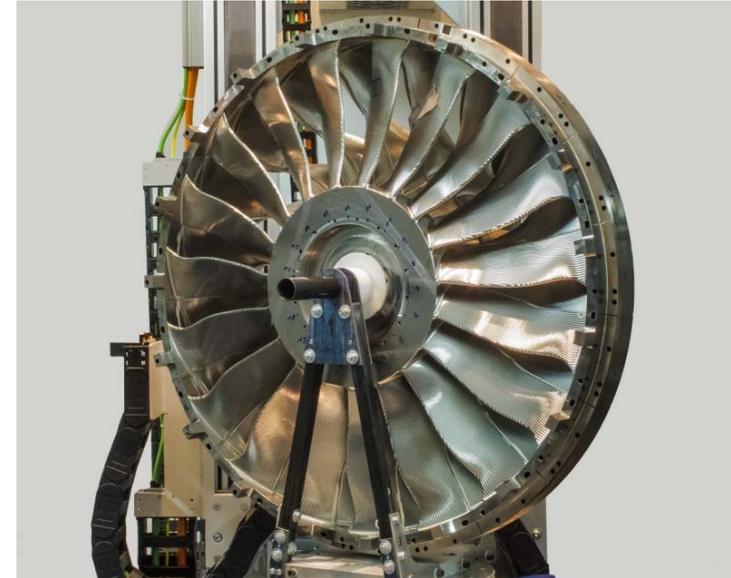
- ▶ Entwicklung eines 3-stufigen Fertigungsprozesses
 1. Vorkonfektionierung geschmiedeter Scheiben unterstützt durch Wasserstrahlschneiden
 2. Optimierter Fügeprozess (Löten)
 3. Bearbeitung auf Endkontur
- ▶ Verifikation des Prozesses an einem Teilsegment
- ▶ Herstellung des Rotors für Testzwecke noch in der Umsetzung



Qualitätssicherung

Etablierte Maßnahmenkette

- ▶ Zertifiziertes Material
- ▶ Verifizierte Materialkennwerte
- ▶ Gesteuerter / überwachter Fügeprozess
- ▶ ND-Prüfmethoden zur Kontrolle des Fügeprozesses
- ▶ Umfangreiche Testkampagne (Shakertest von Komponenten, Schleudertest)



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !

Kontakt

Institut für Bauteilgestaltung und Fertigungstechnologien

Pfaffenwaldring 38 – 40

70569 Stuttgart

Dipl.-Ing. Frank Kocian

+49 (0)711 / 6862 - 664

