

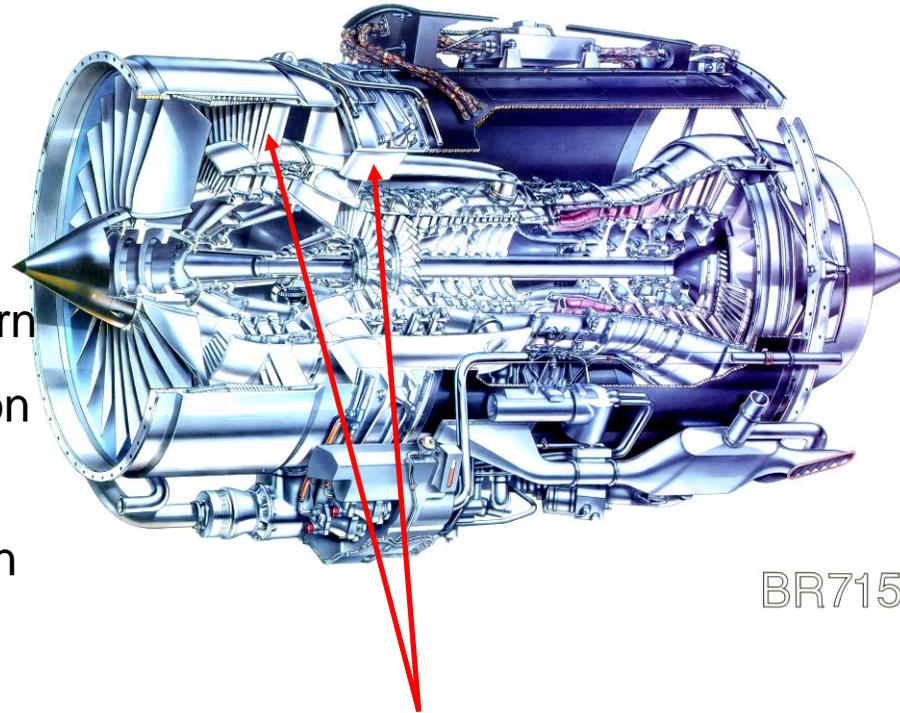
Strukturelles Leitgitter mit thermoplastischen Leitschaufeln für Triebwerke

Frank Kocian

Bauweisen-Kolloquium 2009 in Stuttgart

Inhalt

- Generelle Aspekte thermoplastischer Werkstoffe
- Unterschiedliche Ansätze für Bauweisen von strukturellen Leitgittern
 - Titan / CFK Materialkombination
 - Übergreifendes thermoplastisches OGV-Design
- Herstellung einer thermoplastischen Leitschaufel - Test
- Kostenschätzung der hergestellten Komponenten
- Zusammenfassung



BR715

EU-Projekt VITAL
Strukturelles Leitgitter –
Integration von
aerodynamischen und
strukturellen Zielsetzungen

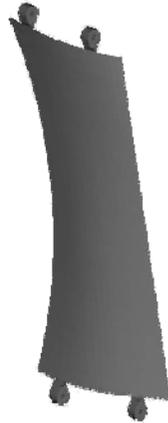
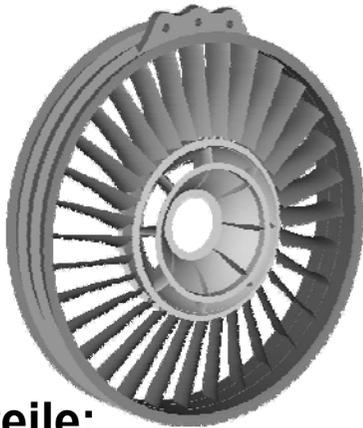


Generelle Aspekte

Motivation für den Einsatz von CF-PEEK

- Das Material ist weit verbreitet in luftfahrttechnischen Anwendungen
- Umfangreiche Materialvarianten sind in Europa verfügbar
- Herausragende mechanische Eigenschaften
- Gute chemische Beständigkeit
- Geringe Feuchtigkeitsaufnahme mit vernachlässigbarem Einfluss auf die Materialkennwerte
- Potenzial für alternative Verbindungstechnologien und Reparaturmöglichkeiten
- Kein Abfall mit Blick auf die Rezyklierbarkeit
- Prozesse sind automatisierbar mit Blick auf hohe Stückzahlen

Titan / CFK Materialkombination

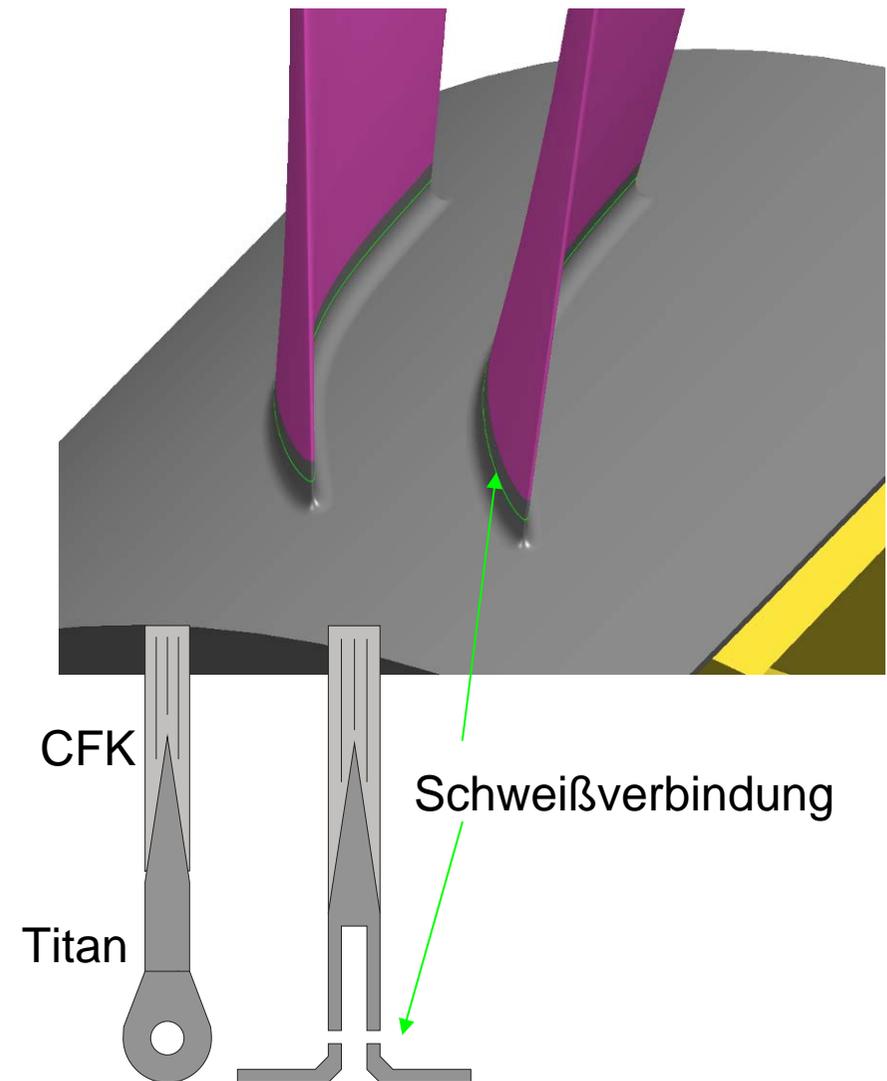


Vorteile:

- Konventionelle metallische Schweißtechnik einsetzbar
- Hohe inhärente Steifigkeit der Verbindung
- Umsetzbar mit einfachen Prozessschritten
- Verschiedene Varianten der Krafteinleitung realisierbar

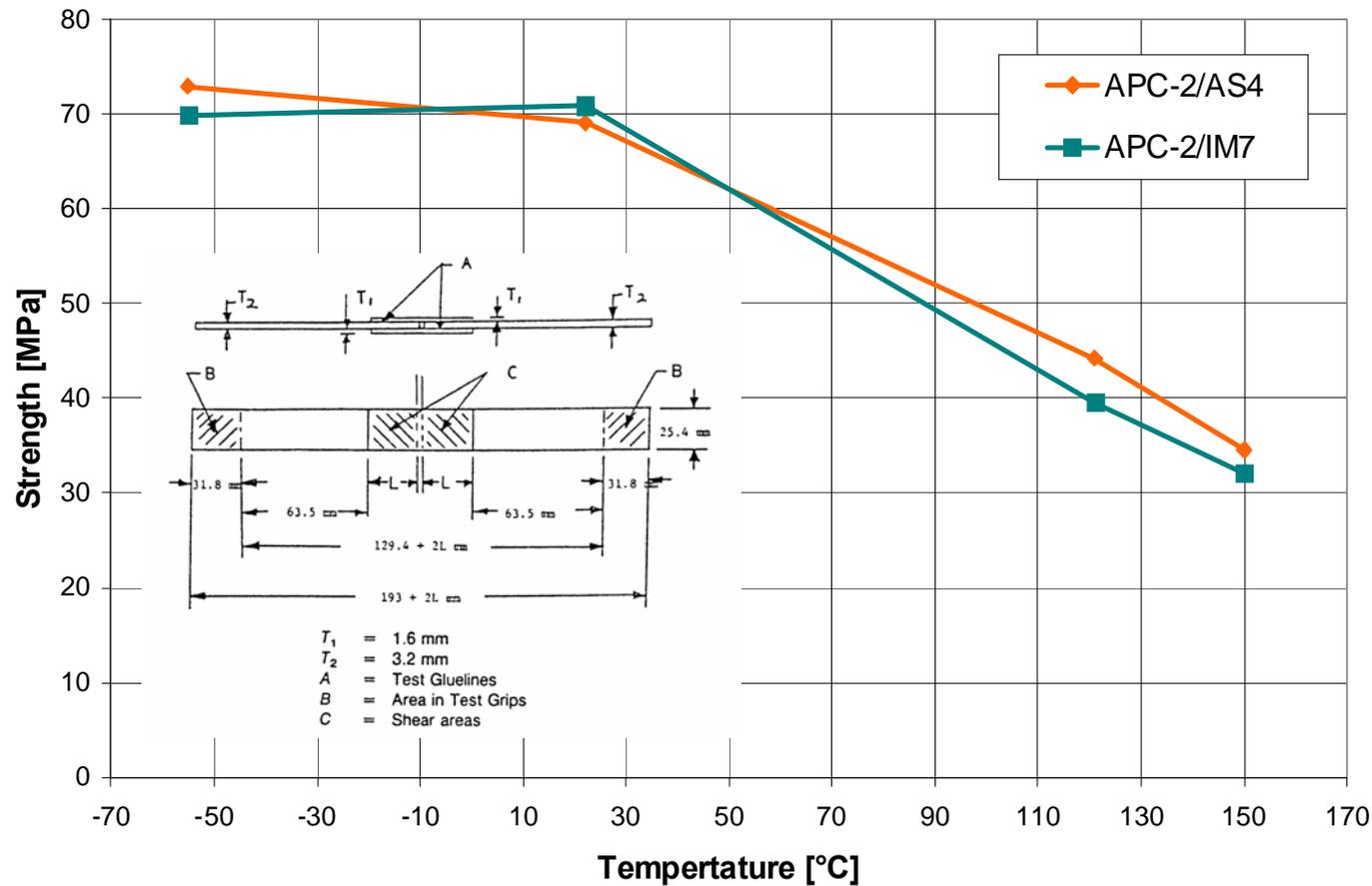
Nachteile:

- Austauschbarkeit im Fall der metallischen Schweißverbindung schwierig
- Hybride Verbindung muss umfangreich getestet und qualifiziert werden



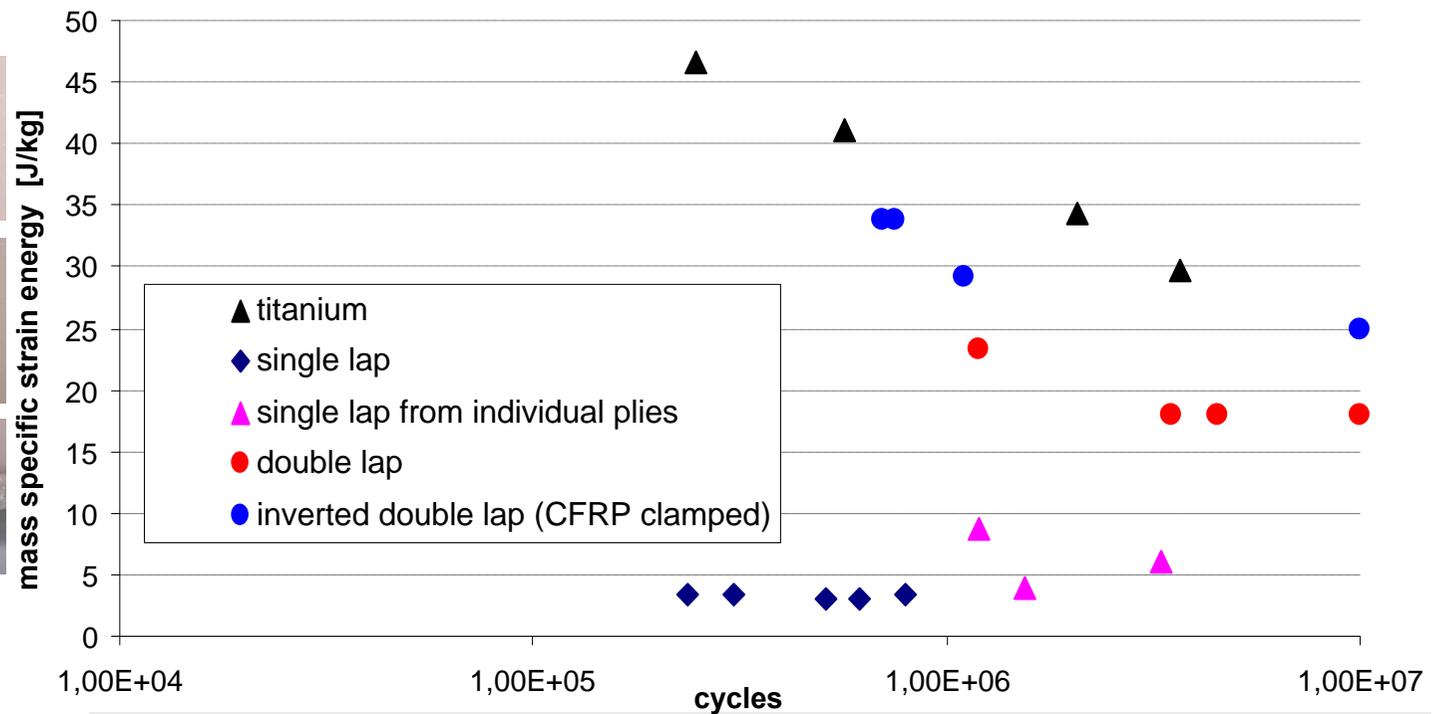
Statischer Test der Metall-Composite Verbindung

Double Lap Shear ASTM D3528



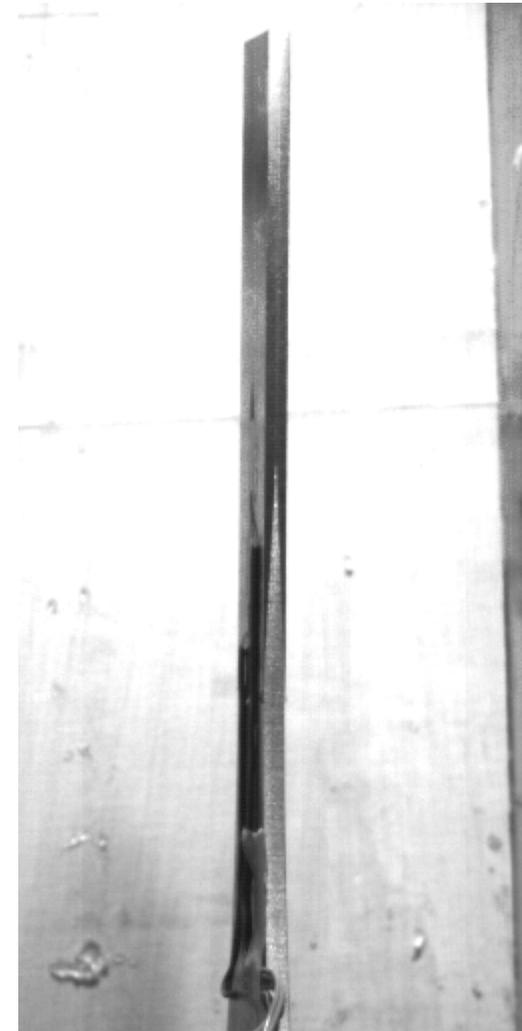
Dynamische Tragfähigkeit der Hybridverbindung

- Test im zweiten Biegemode
- Vergleich der Dehnungsenergie im Fügebereich, um Proben vergleichbar zu machen
- Zweischnittige Verbindung erreicht massenspezifisch vergleichbare Festigkeiten wie Titan

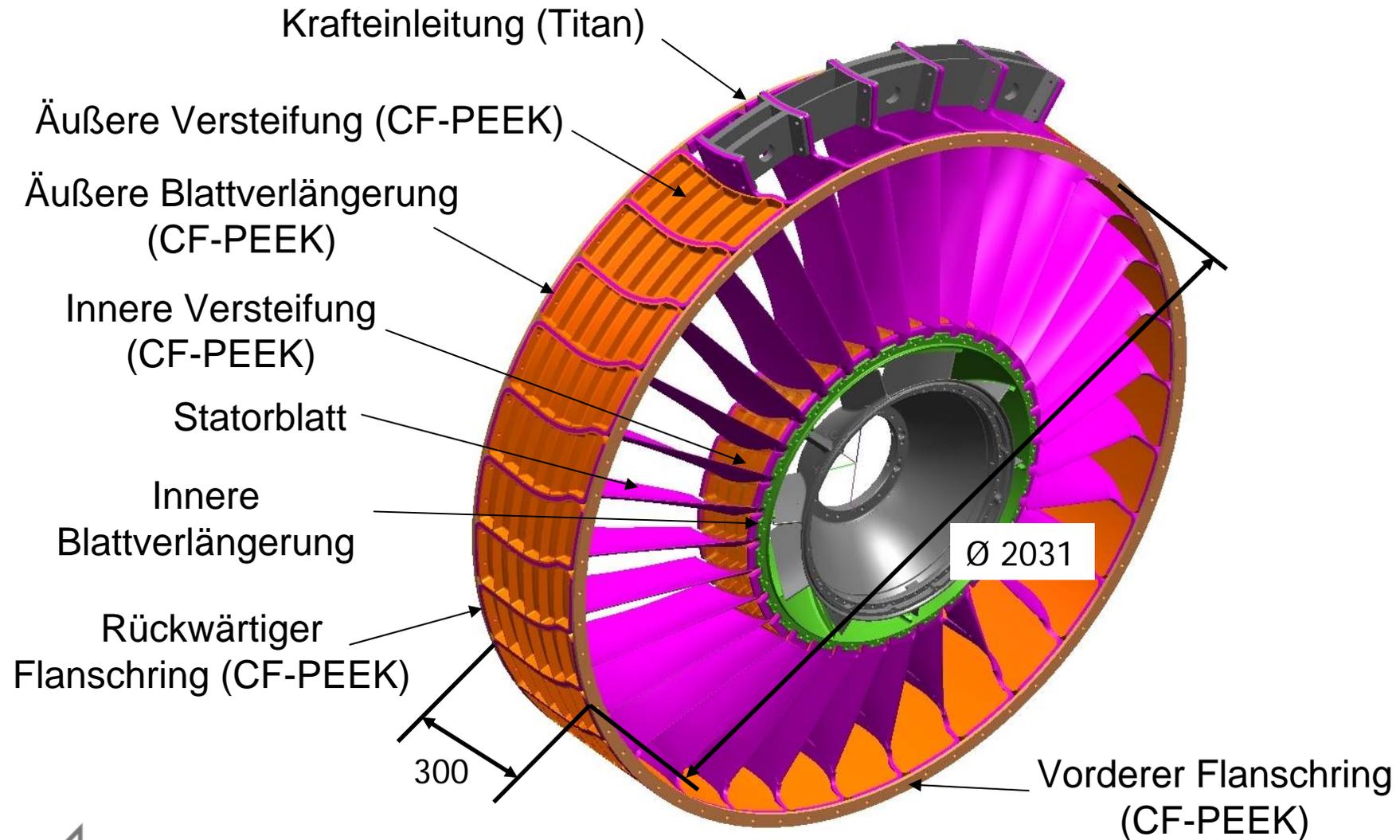


Beschusstest einer Hybridprobe

- Getestete Geschwindigkeit im Bereich von 104 bis 151 m/s
- Projektilmassen im Bereich von 25 bis 33 gramm
- Impact Energien im Bereich von 139 J bis 306 J
- Bis zu einer Dehnung von 0.9% konnte kein Fehler in der hybriden Verbindung festgestellt werden



Composite OGV mit Titan Innengehäuse und Krafteinleitungen





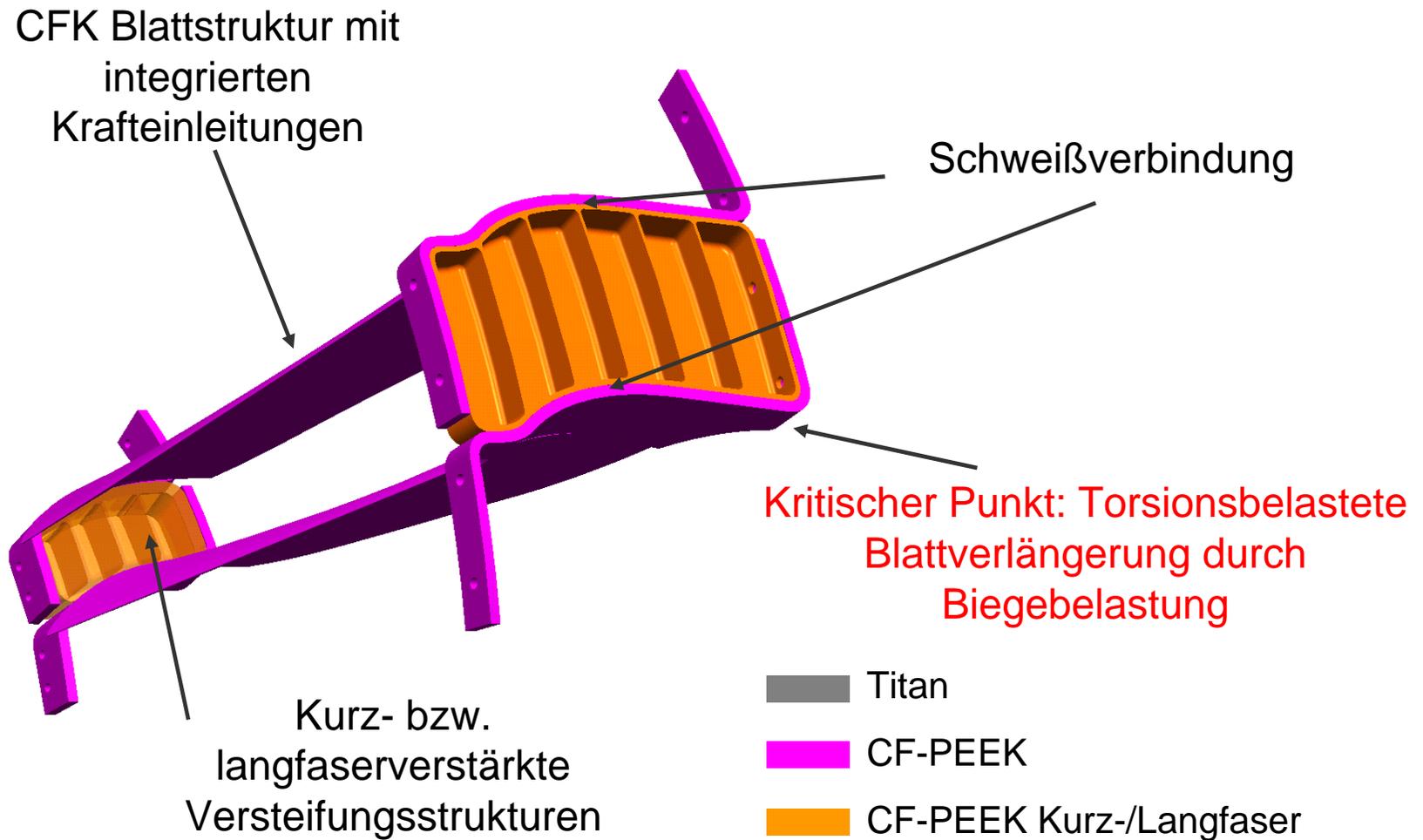
Composite OGV mit Titan Innengehäuse und Krafteinleitungen

Kennzeichnende Eigenschaften:

- Endlosfaserverstärkte Blattstruktur mit integrierten Lasteinleitungen
- Ununterbrochene FV-Struktur zwischen den Flanschbereichen
- Nutzung der inhärenten MembranstEIFigkeit zur Vermeidung von zusätzlichen Versteifungsrippen
- Thermoplastisch eingeschweißte kurz- bzw. langfaserverstärkte Versteifungselemente erhöhen die Steifigkeit
- Es besteht die Möglichkeit mehrere Blattstrukturen zu einem Cluster zusammenzufassen
- Austausch einzelner Blattstrukturen zu Reparaturzwecken ist möglich
- Möglichkeit der wirtschaftlichen Herstellung
- Keine zusätzlichen Verbindungselemente notwendig – Lasteinleitung erfolgt direkt über die Verlängerungen der Blattstrukturen
- Toleranzprobleme beim Zusammenbau sind gelöst
- Akustischer Liner kann direkt in die Versteifungselemente integriert werden

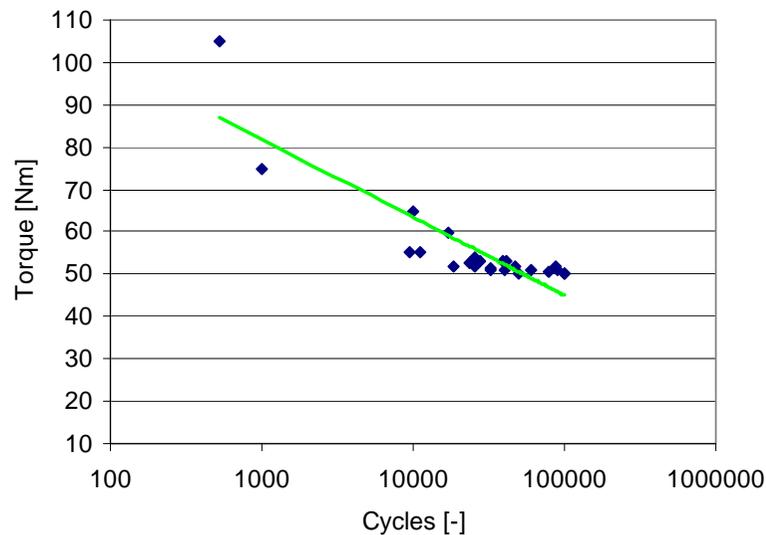


Composite OGV mit Titan Innengehäuse und Krafteinleitungen

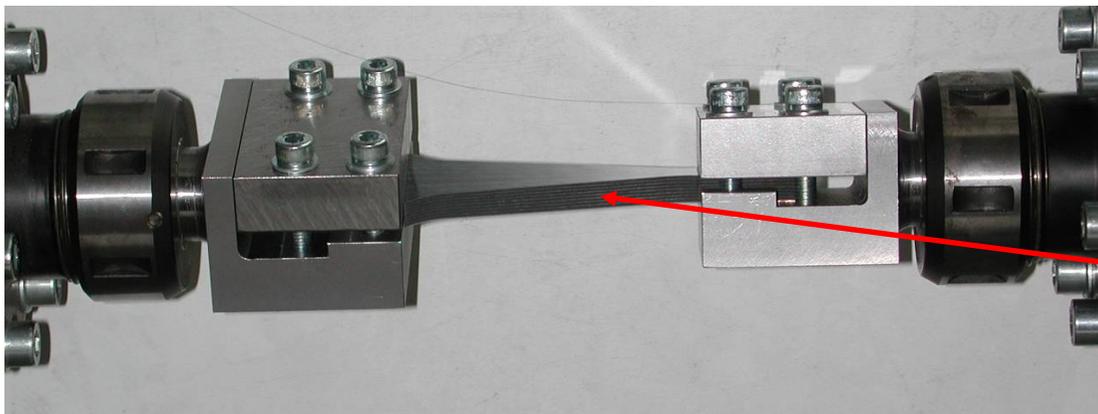
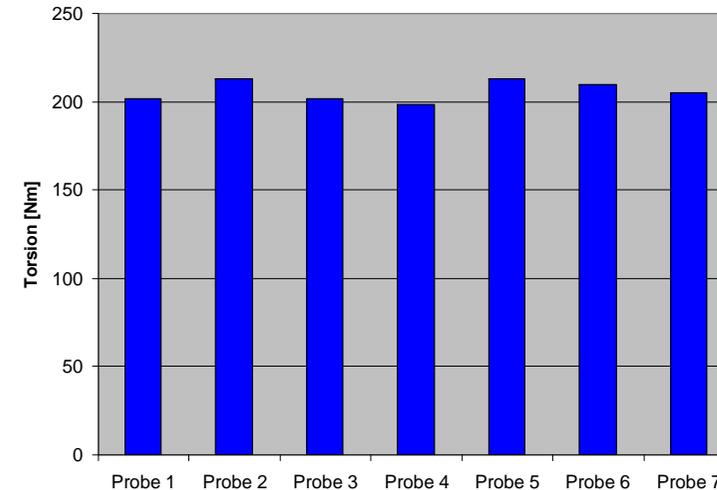


Experimentelle Untersuchung der Blattverlängerungen

LCF-Test



Statischer Test

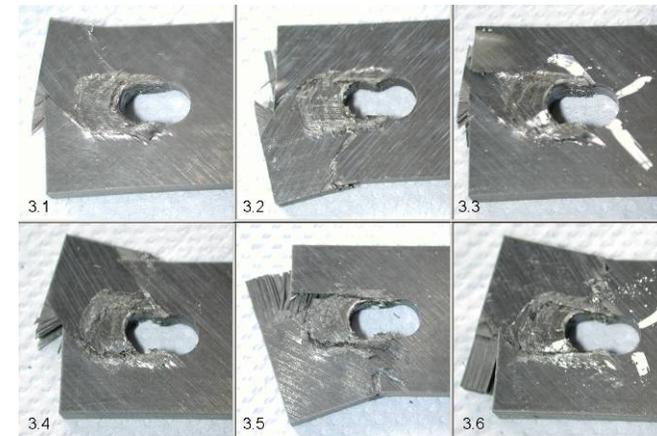


- Testquerschnitt der Probe 9 mm x 30 mm
- Material APC2 AS4 – quasi isotroper Lagenaufbau
- Delaminationen treten im Mittelbereich auf, wie erwartet
- Plastische Deformationen können ab 70 Nm beobachtet werden

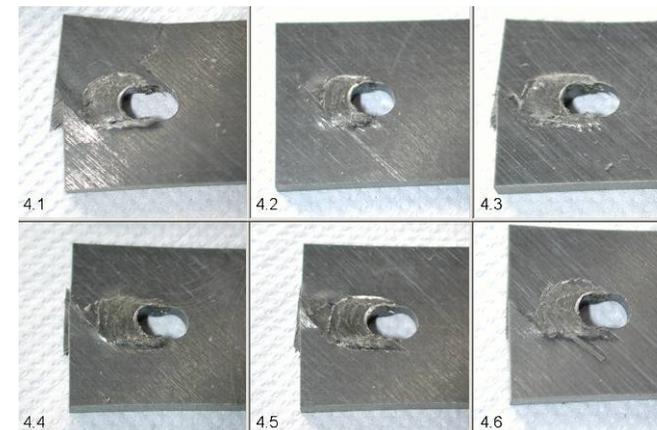


Lochleibungstests an CF-PEEK Proben

W/D / t / e/D	σ_{\max} [N/mm ²]
3,5 / 4 / 3	1074,47
4 / 4 / 3	1125,19
5 / 4 / 3	1144,31
6 / 4 / 3	1106,07
6 / 9 / 3	830,21



Fehler Mode für W/D=4

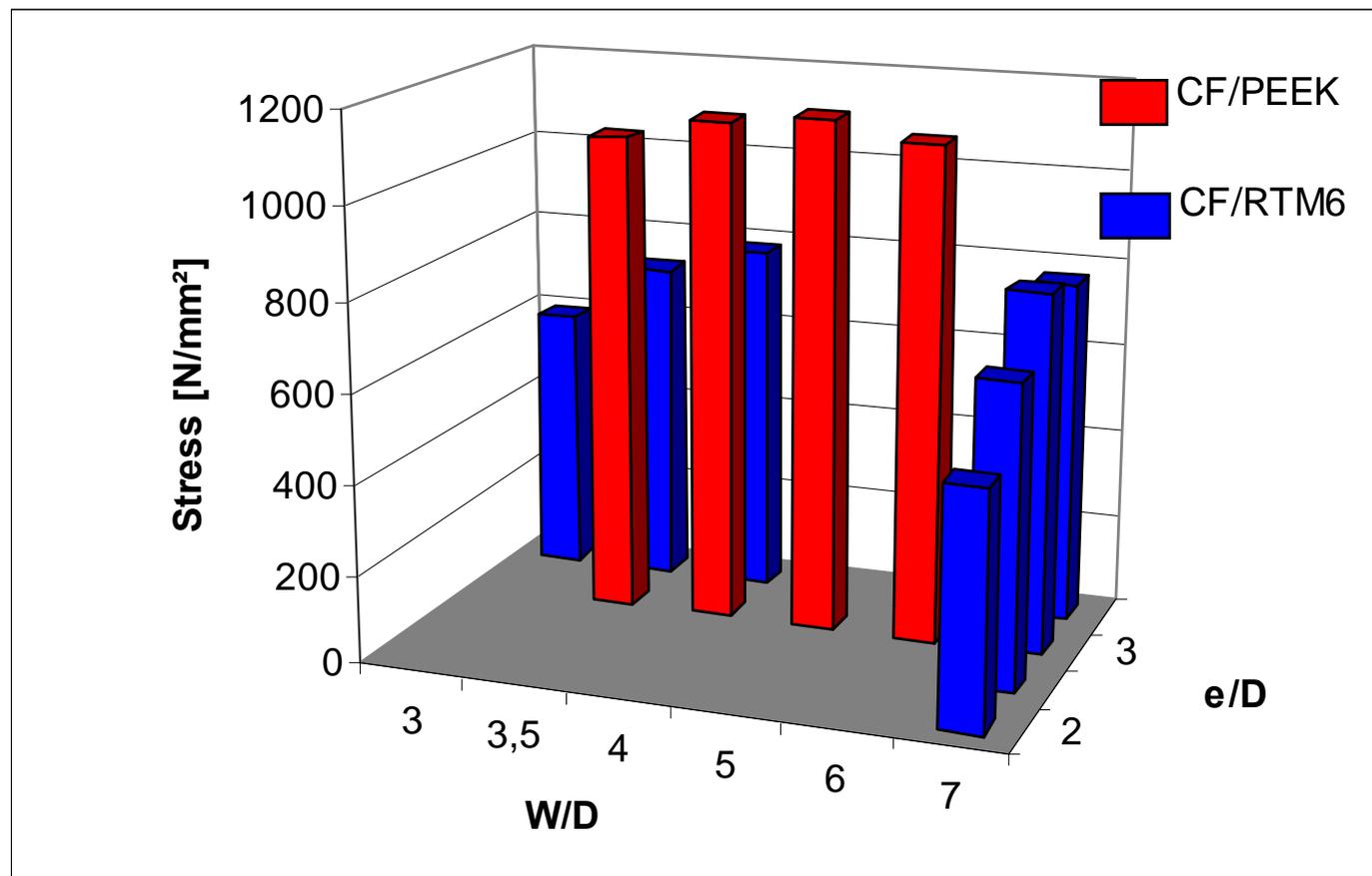


Fehler Mode für W/D=5



Lochleibungstests an CF-PEEK Proben

Vergleich von CF-PEEK und CF-RTM6 Proben





Widerstandsschweißen als Basis für eine Fügetechnik

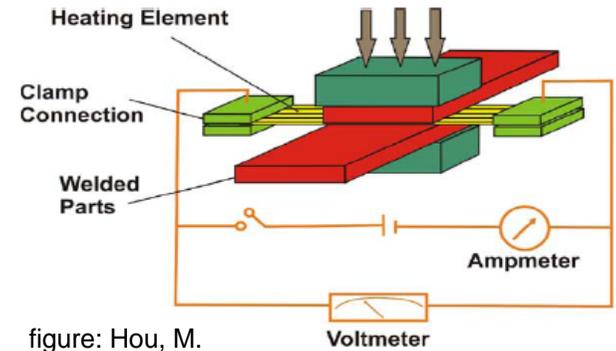


figure: Hou, M.

CF-PEEK prepreg als Widerstandselement



- + kein zusätzliches Material
- + akzeptable Festigkeit

- Leckströme möglich
- unzureichende Prozessstabilität
- Zerstörung von Einzelfilamenten

VA-Gitter als Widerstandselement mit PEEK Matrix



- + stabile Prozessführung
- + akzeptable Festigkeit
- + einfach herzustellen

- Leckströme möglich
- zusätzliches Material in der Fügung

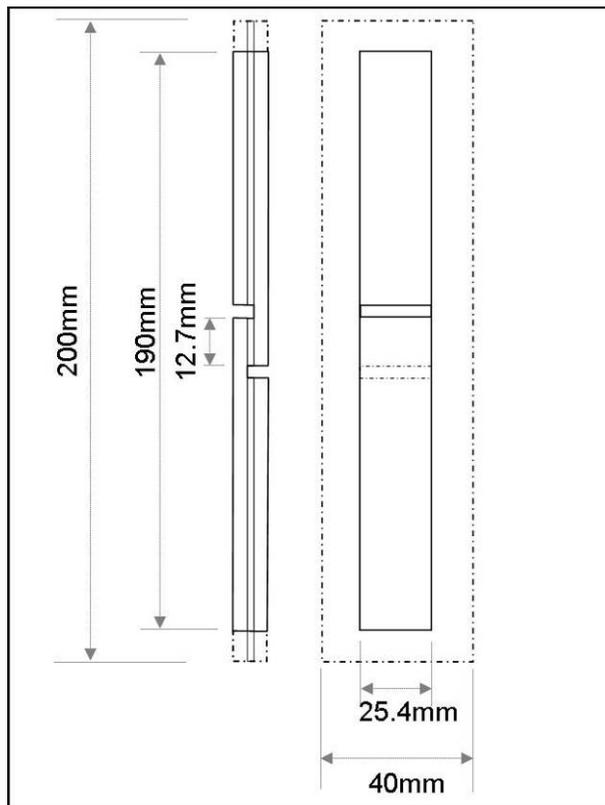
VA-Gitter als Widerstandselement mit GF-PEEK



- + stabile Prozessführung
- + keine Leckströme
- + keine Korrosionsprobleme
- + akzeptable Festigkeit
- + gleichmäßiges Aufschmelzen

- zusätzliches Material in der Fügung

Widerstandsschweißen als Basis für eine Fügetechnik - Schubversuch

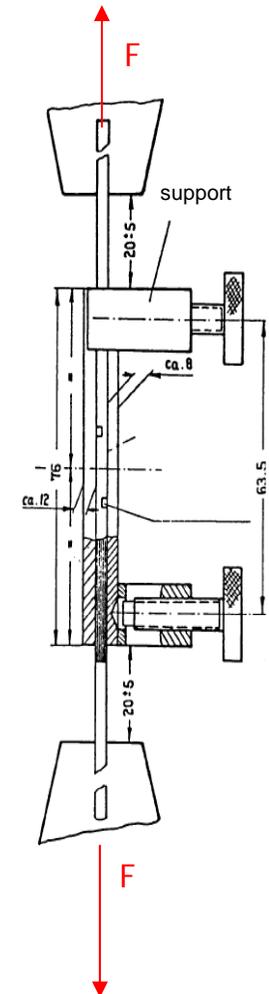


Überblick

- Schweißzone: 200mm x 40mm
- Probenvorbereitung und Test in Anlehnung an ASTM D1002 und QVA-Z10-46-9

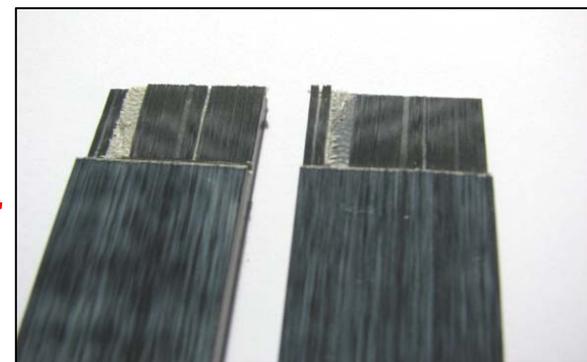
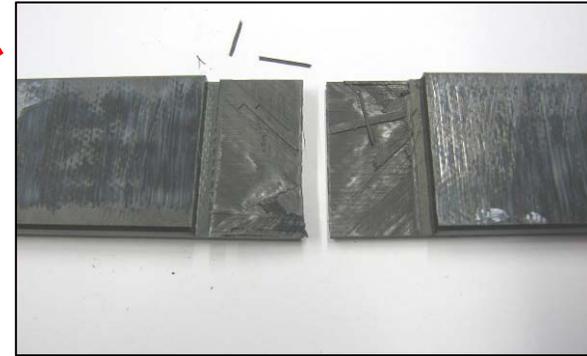
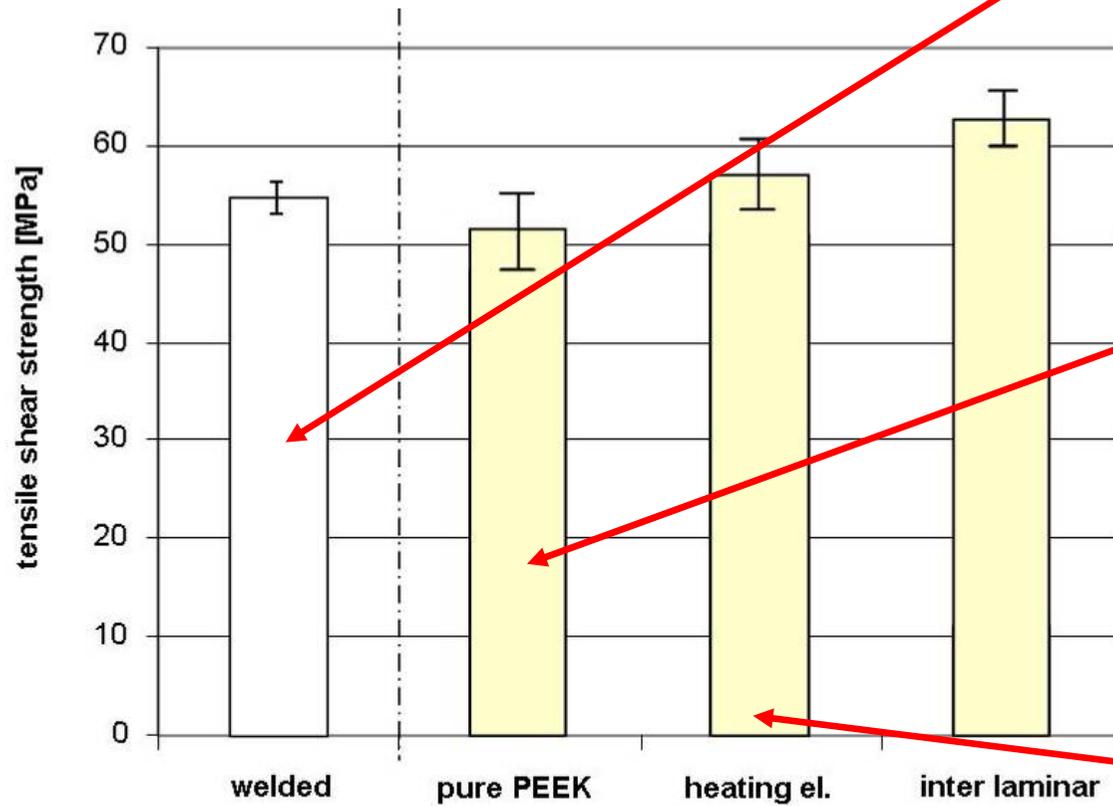
Vorteile

- Keine Randeffekte im Prüfbereich
- Große Schweißzone





Schubfestigkeit der Schweißverbindung



□ geschweißte Proben

□ konsolidierte Referenzproben



Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft

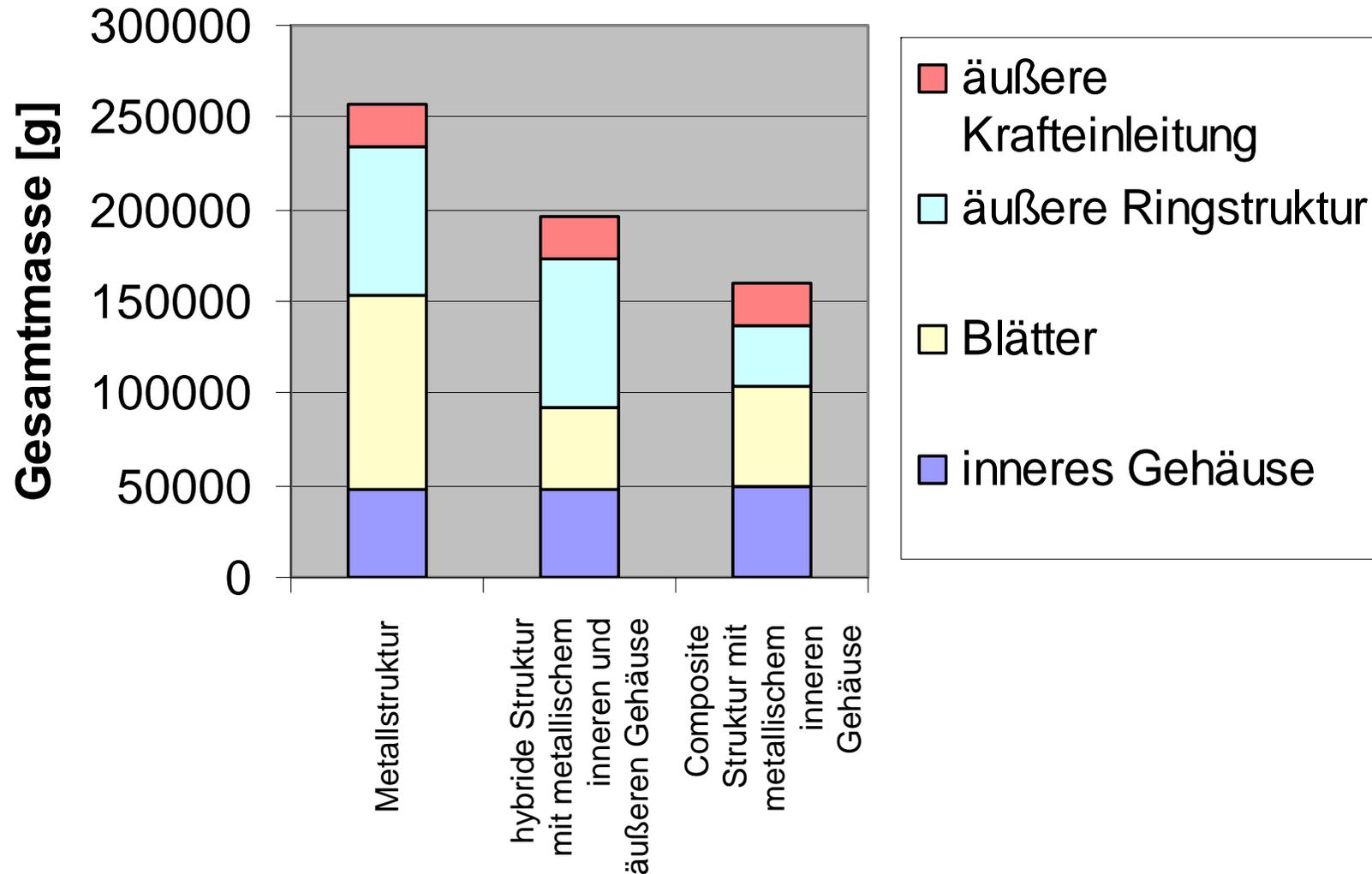
Institut für Bauweisen- und Konstruktionsforschung

Folie 16 > Kocian

Bauweisen-Kolloquium > 06.05.09



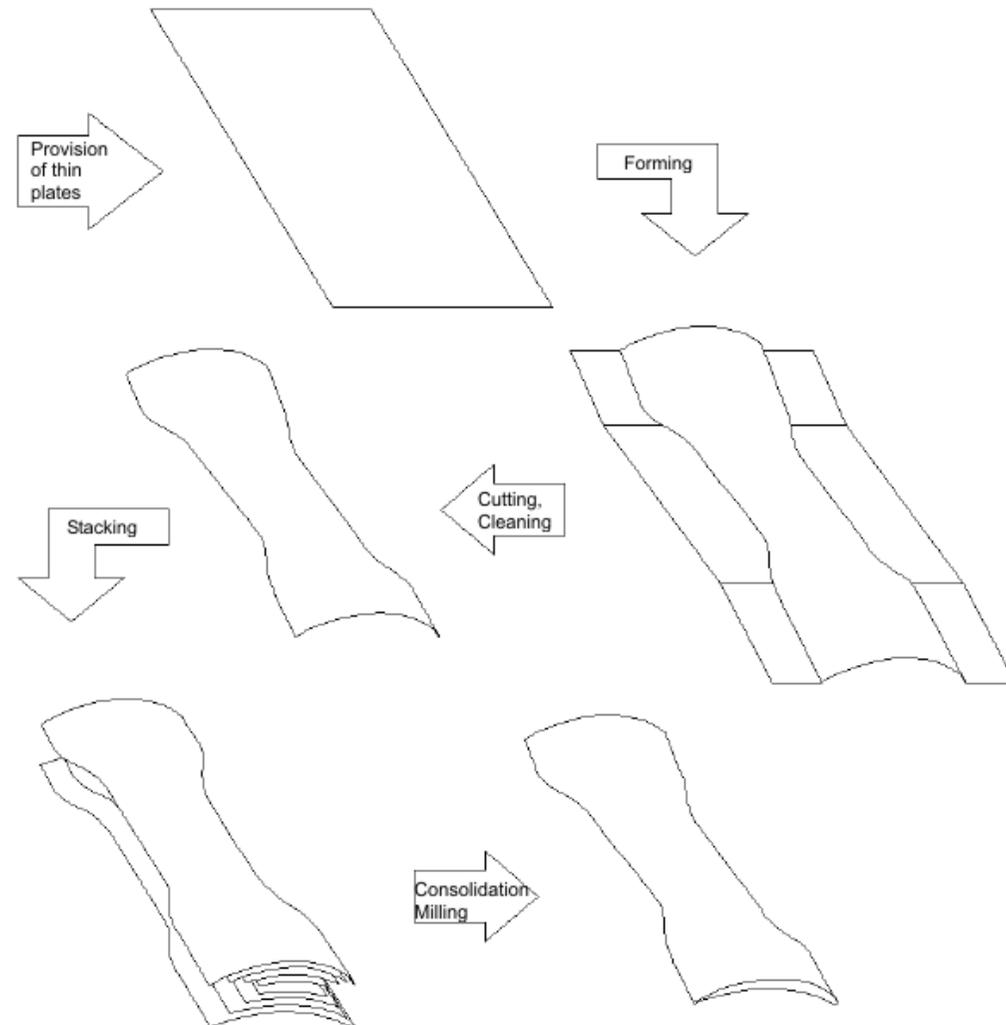
Gewichtsabschätzung der unterschiedlichen Bauweisen



Herstellung einer thermoplastischen Blattstruktur

Variante I – Dünne Platten

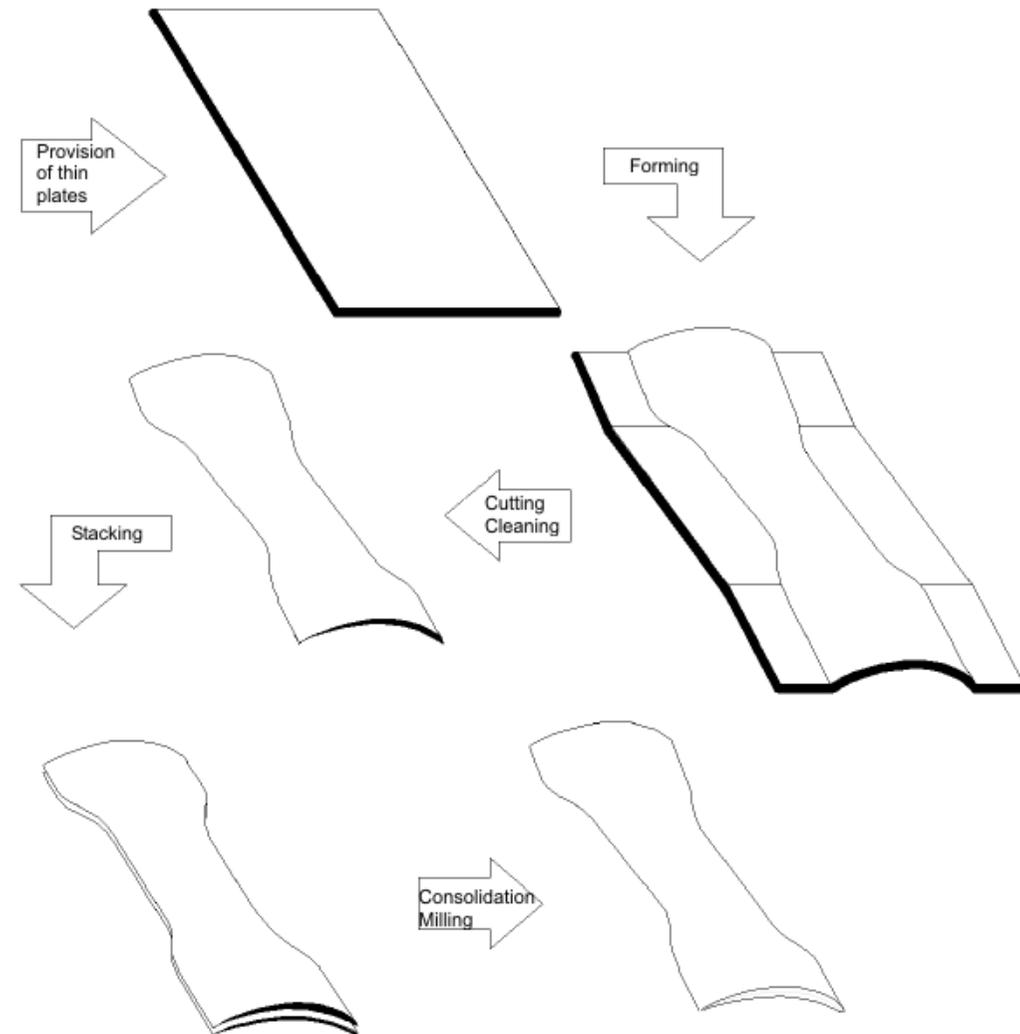
- Vorkonsolidierung dünner Platten
- Umformen der dünnen Platten
- Zuschnitt der umgeformten Platten
- Säuberung und Vorbehandlung der Zuschnitte
- Einlegen der Zuschnitt in eine Form
- Konsolidierung der Zuschnitte
- Finale Endbearbeitung der Struktur



Herstellung einer thermoplastischen Blattstruktur

Variante II – Dicke Platte

- Vorkonsolidierung dicker Platten
- Umformen der Platten
- Zuschnitt und Bearbeitung der umgeformten Platten
- Säuberung und Vorbehandlung der Zuschnitte
- Einlegen der Zuschnitt in eine Form
- Konsolidierung der Zuschnitte
- Finale Endbearbeitung der Struktur



Produktionseinheit zur Herstellung von thermoplastischen Blattstrukturen



Transporteinheit auf dem die Platten eingerichtet werden

Infrarothheizfeld

heizbare Presse



Umformung, Zuschnitt und Positionierung der Zuschnitte in der Form

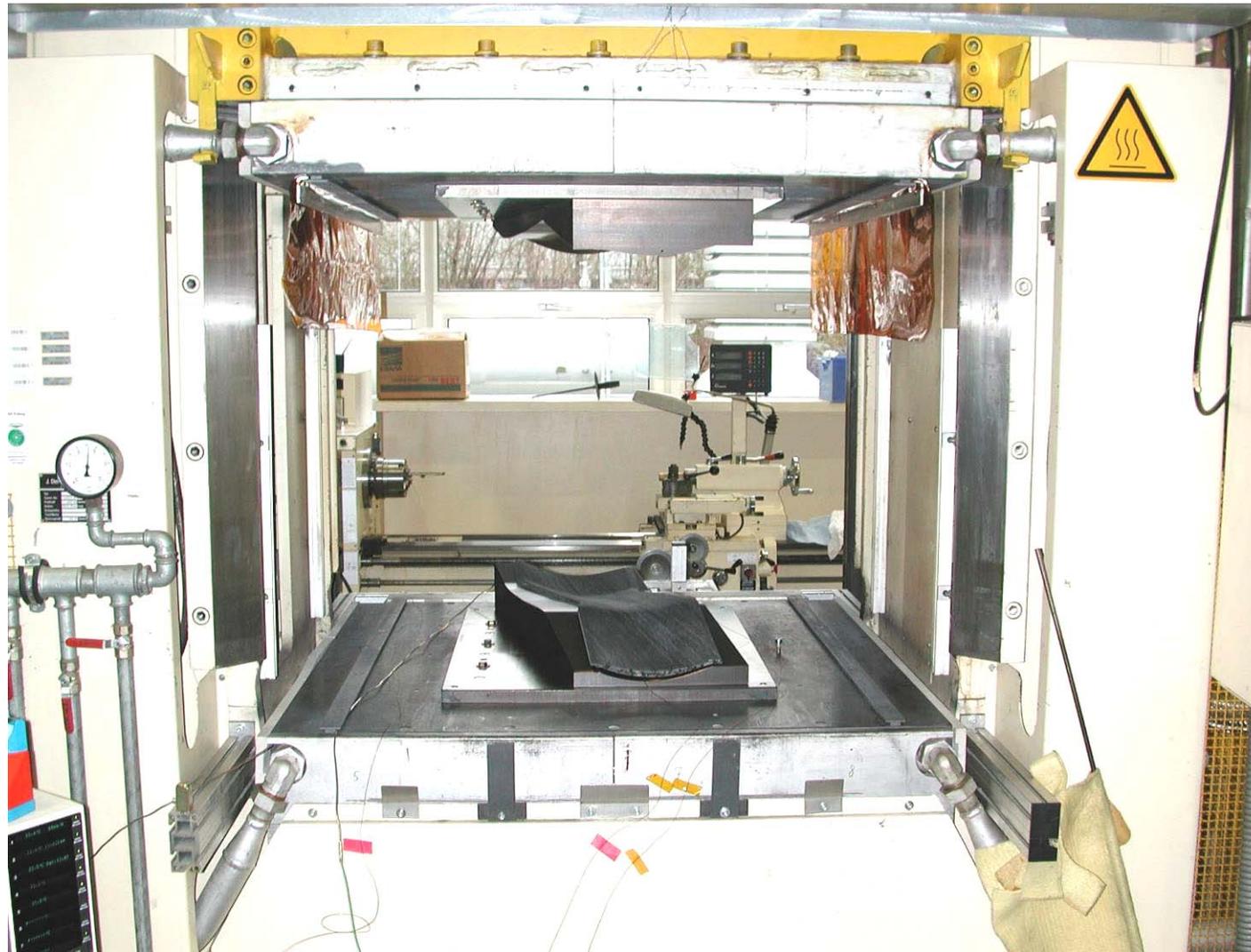


Herstellung eines Prototypen gemäß Variante I

- Positionierung der Einzellagen durch Laserprojektion – Optimierung des Fertigungsablaufes durch Nutzung einfacher Zentrierstifte
- Zusätzliche Einbringung von Matrixmaterial in Form von Folienstücken muss durch Beschichtungstechnik ersetzt werden
- Geometrie muss geringfügig an Fertigung angepasst werden, um Materialeigenschaften besser berücksichtigen zu können und die Komplexität zu reduzieren



Konsolidiertes Blatt in der geöffneten Presse

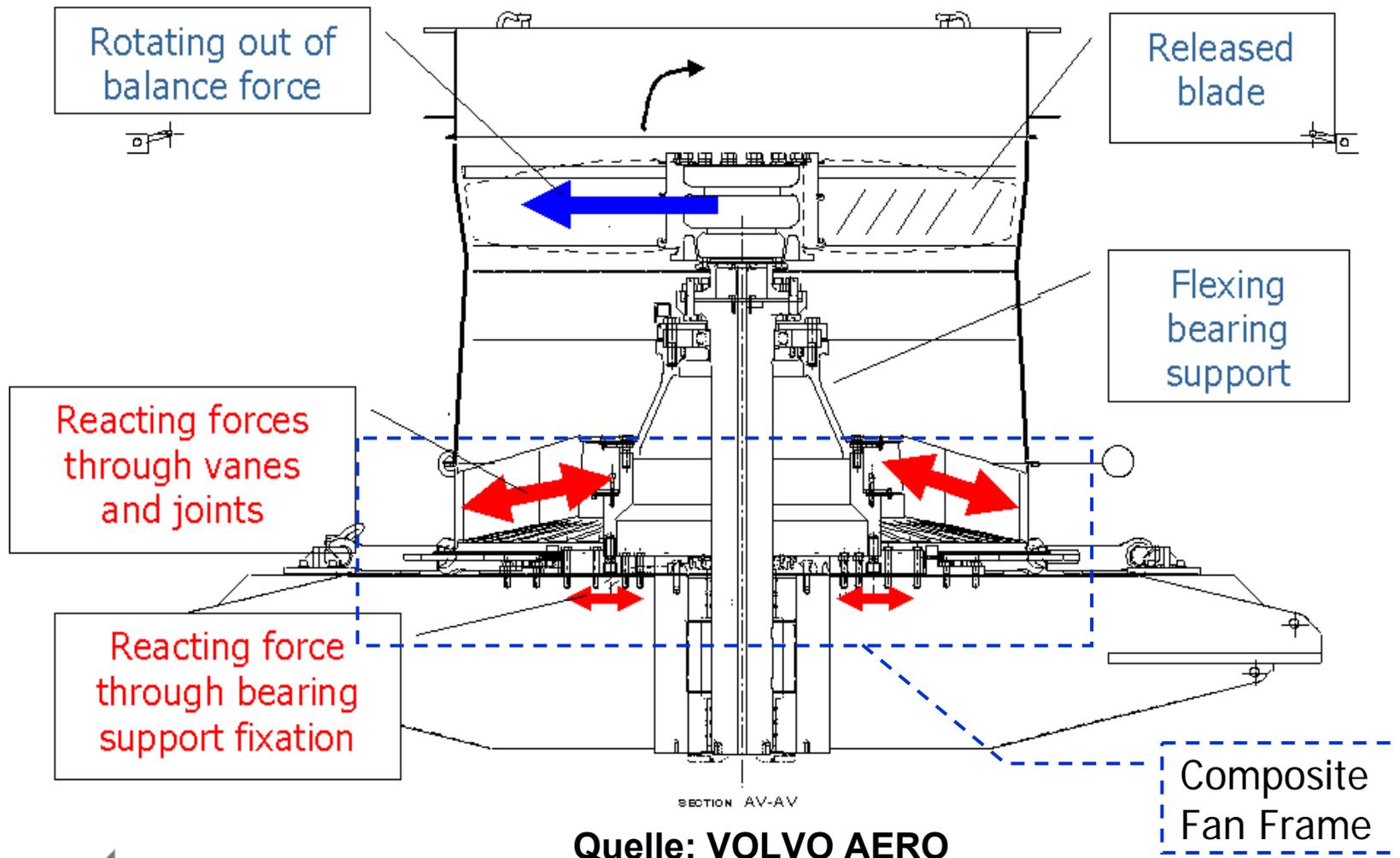


Finales Blatt für den Test

- Zwei Blattstrukturen sind für Testzwecke hergestellt worden
- Finale Bearbeitung des Blattes umfasst das Fräsen der Vorder- und Hinterkante und die Bearbeitung des Einspannungsbereiches
- Fertigungsprozess ist die Grundlage für Kostenschätzung zusammen mit RRD

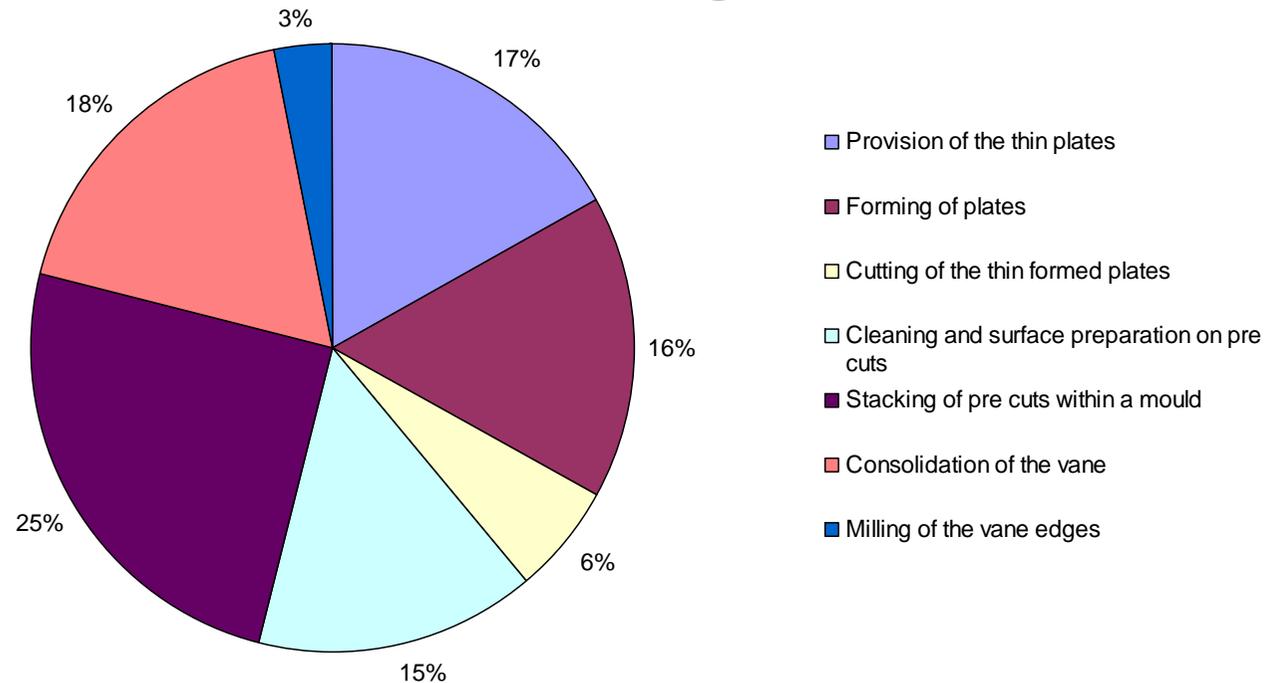


Mechanischer Test bei RR (Blattverlust)



Quelle: VOLVO AERO

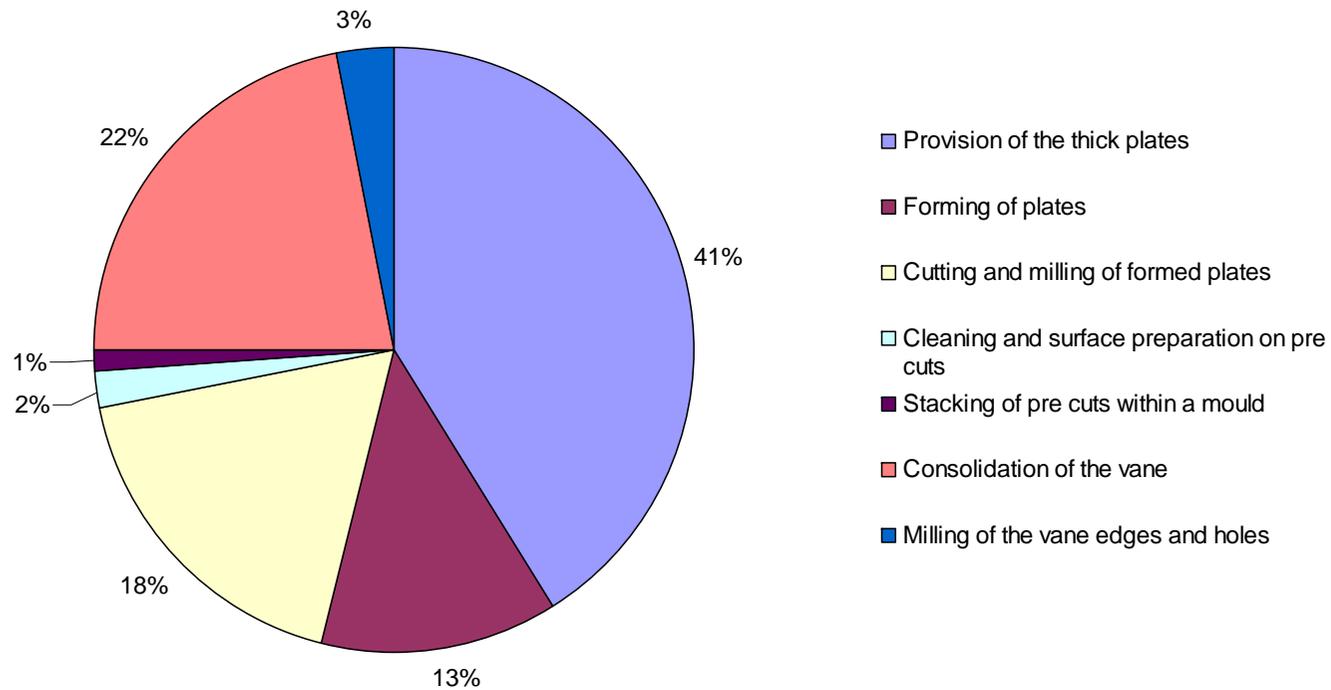
Kostenabschätzung Variante I



- Abgeschätzte Kosten sind konkurrenzfähig zu den bestehenden Alternativbausweisen (Statement RRD)
- Die Kostenabschätzung basiert auf den gemessenen Fertigungszeiten, und einer detaillierten Analyse des Fertigungsablaufes
- Optimierungspotenziale sind bei der Kostenschätzung berücksichtigt worden
- Handling Systeme müssen in den automatisierten Prozess integriert werden



Kostenabschätzung Variante II



- Kostenabschätzung basiert auf der Erfahrung von Variante I
- Variante II ermöglicht weiteres Kostenreduktionspotenzial von 17% durch reduzierten Aufwand der Formbestückung



Zusammenfassung

- Technische Realisierbarkeit von Blattstrukturen für Triebwerke speziell unter dem Gesichtspunkt der automatisierbaren Herstellung konnte gezeigt werden
- Weitgehende Automation ist notwendig, um hohe Effizienz zu erzielen
- Mechanischer Strukturtest belegt strukturelle Integrität
- Technologie hat Potenzial für weiterführende, neue Bauweisenkonzepte

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!