

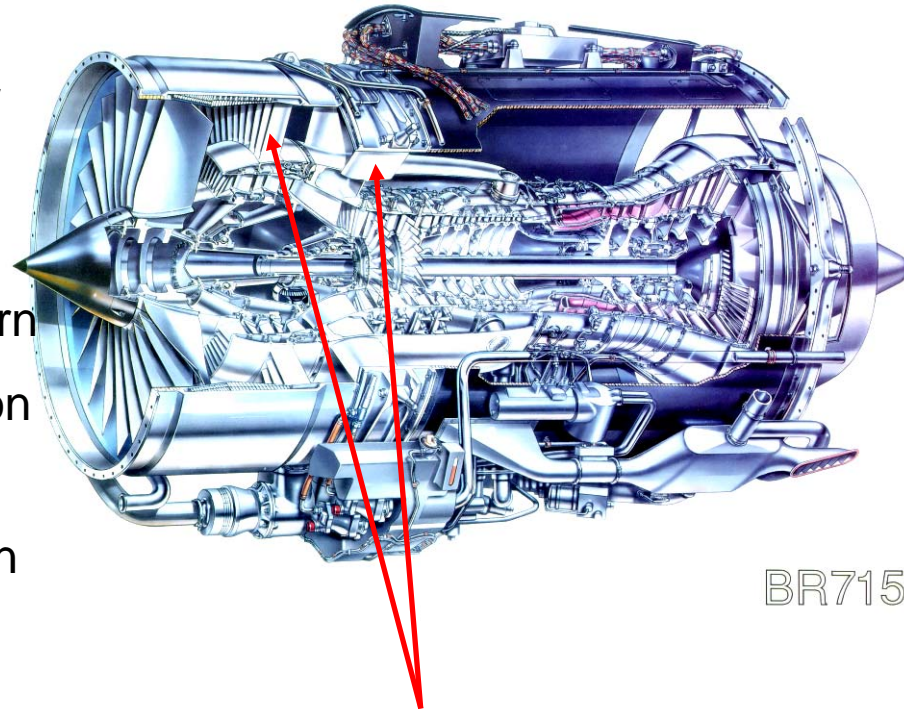
# Strukturelles Leitgitter mit thermoplastischen Leitschaufeln für Triebwerke

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

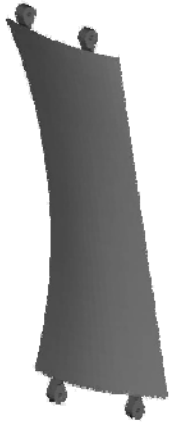
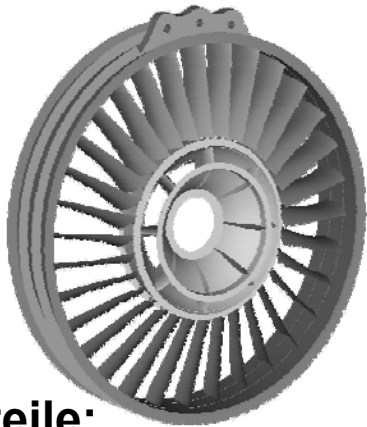


# Generelle Aspekte

## 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

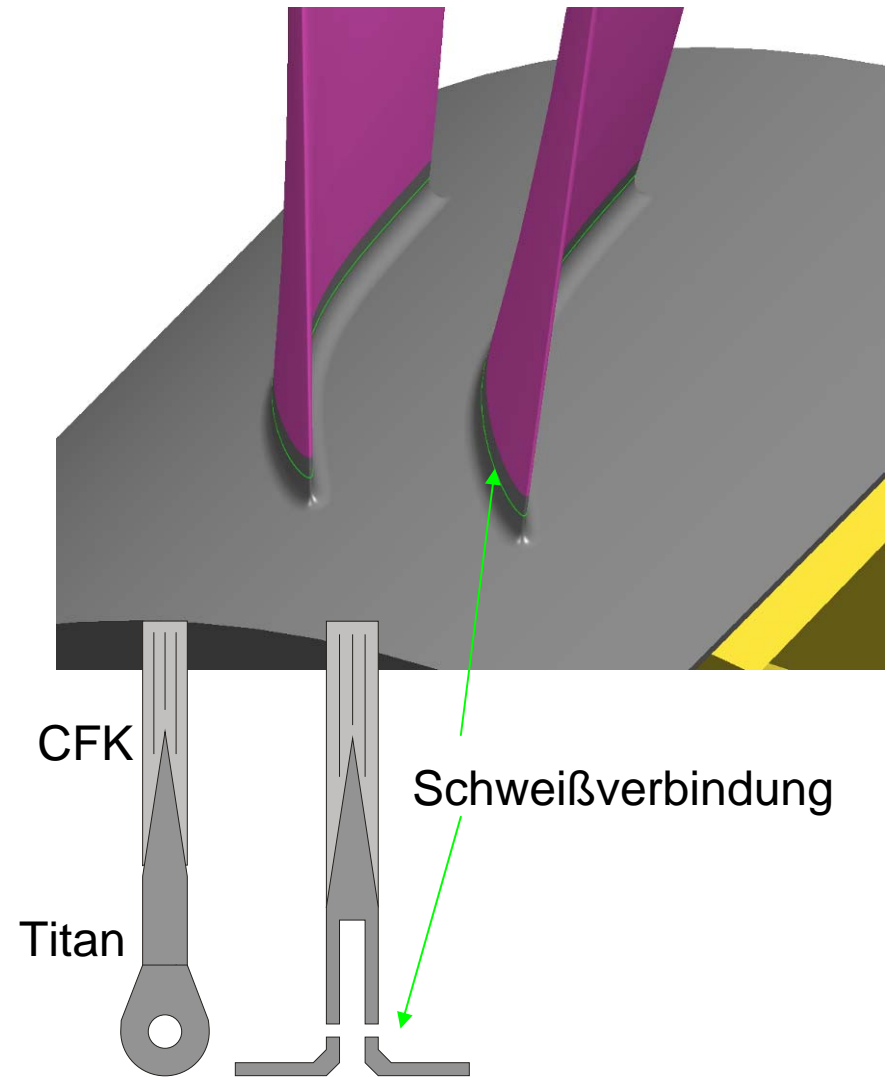


## Vorteile:

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

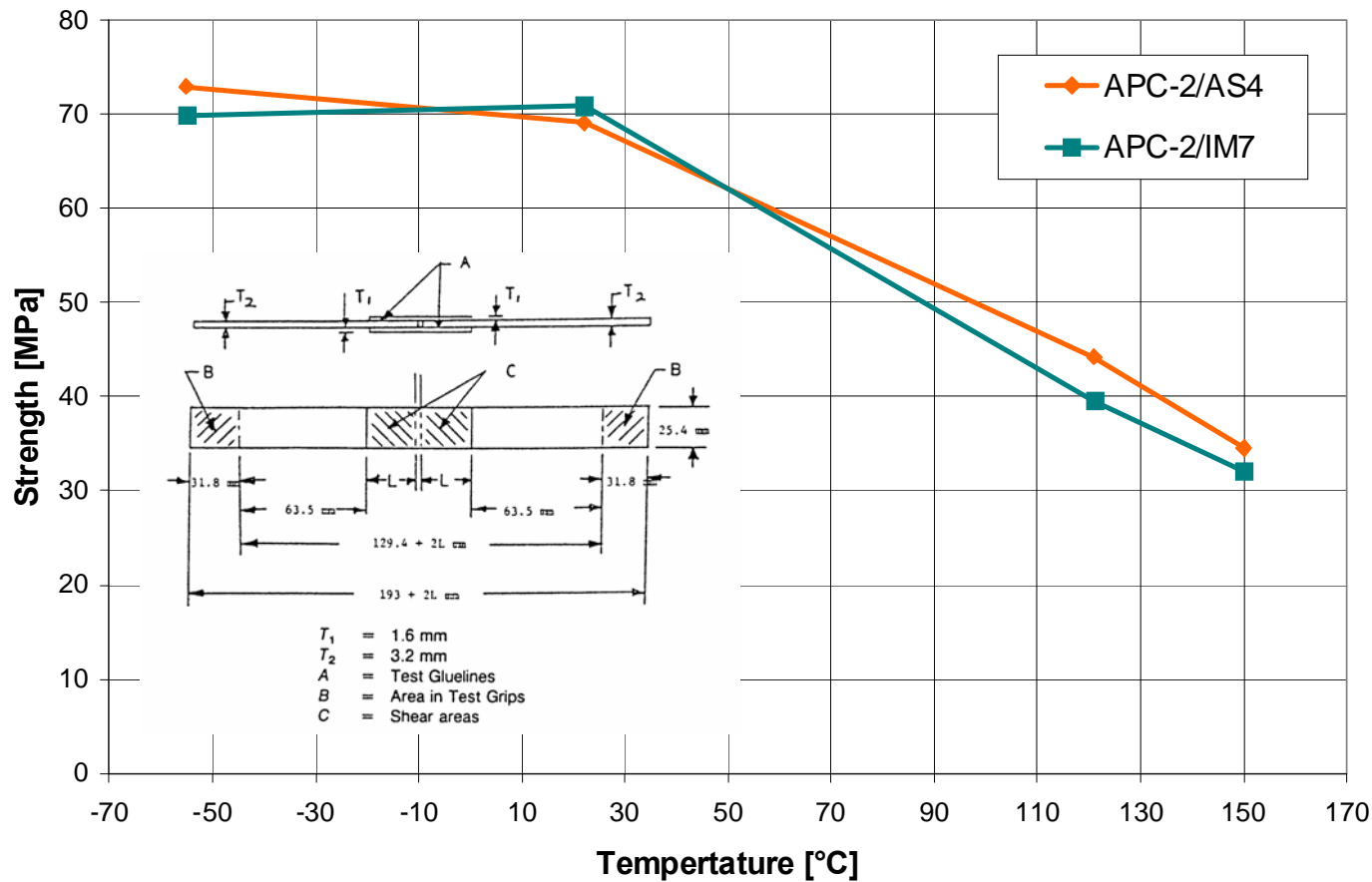
## Nachteile:

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



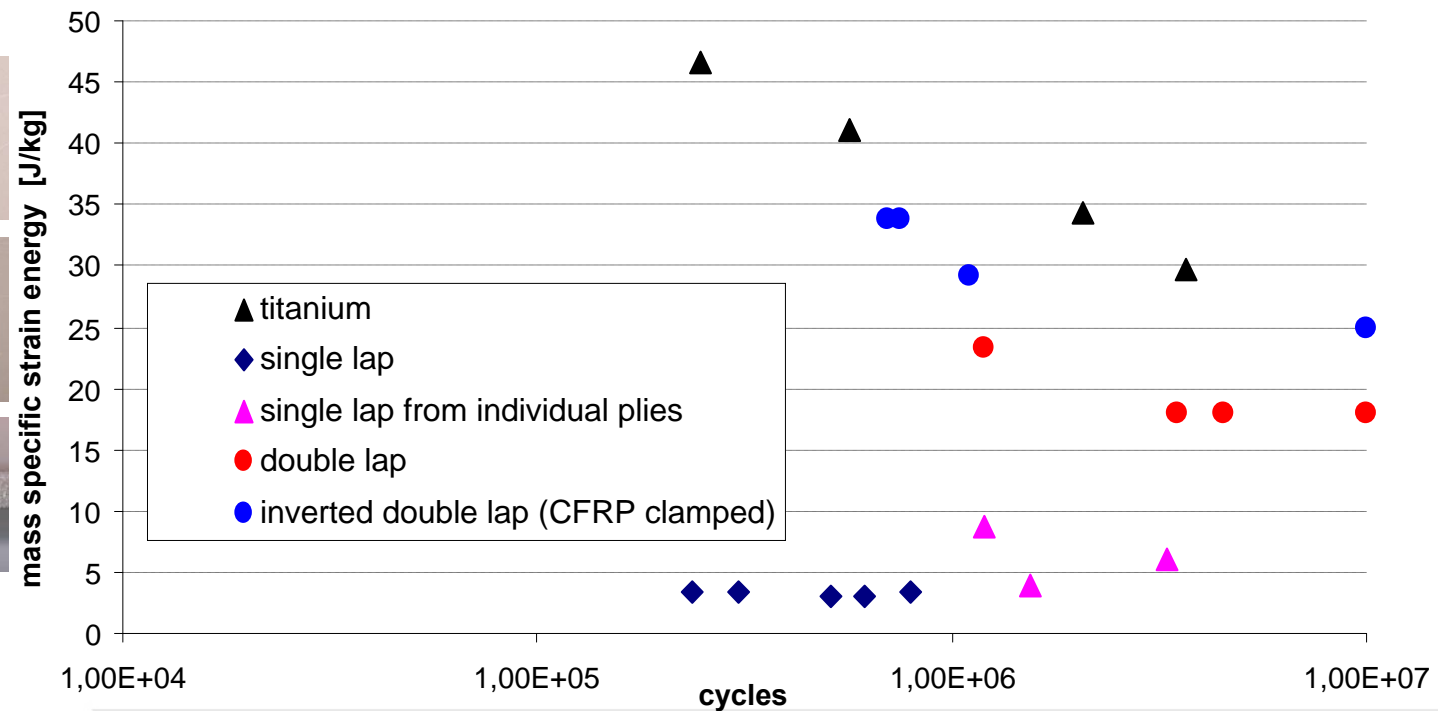
# Statischer Test der Metall-Composite Verbindung

## Double Lap Shear ASTM D3528



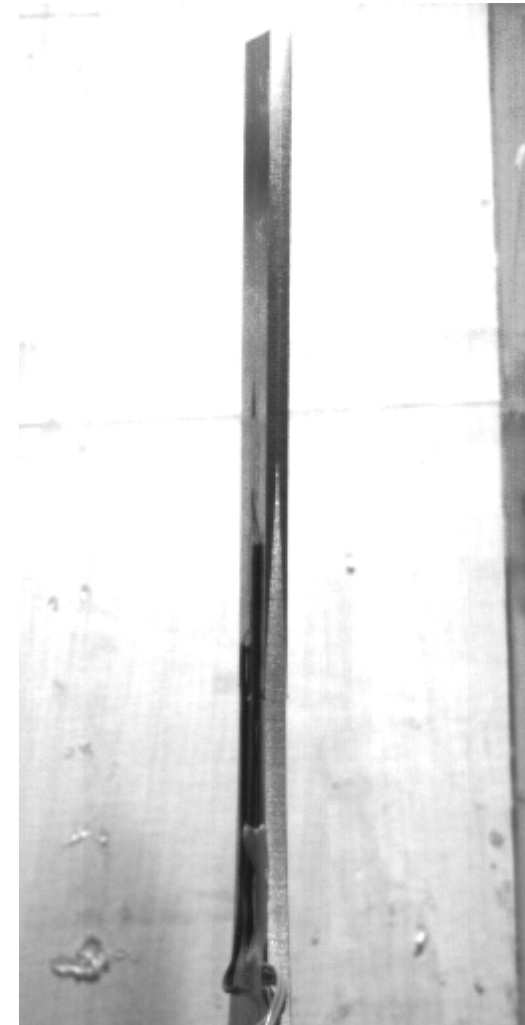
# Dynamische Tragfähigkeit der Hybridverbindung

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

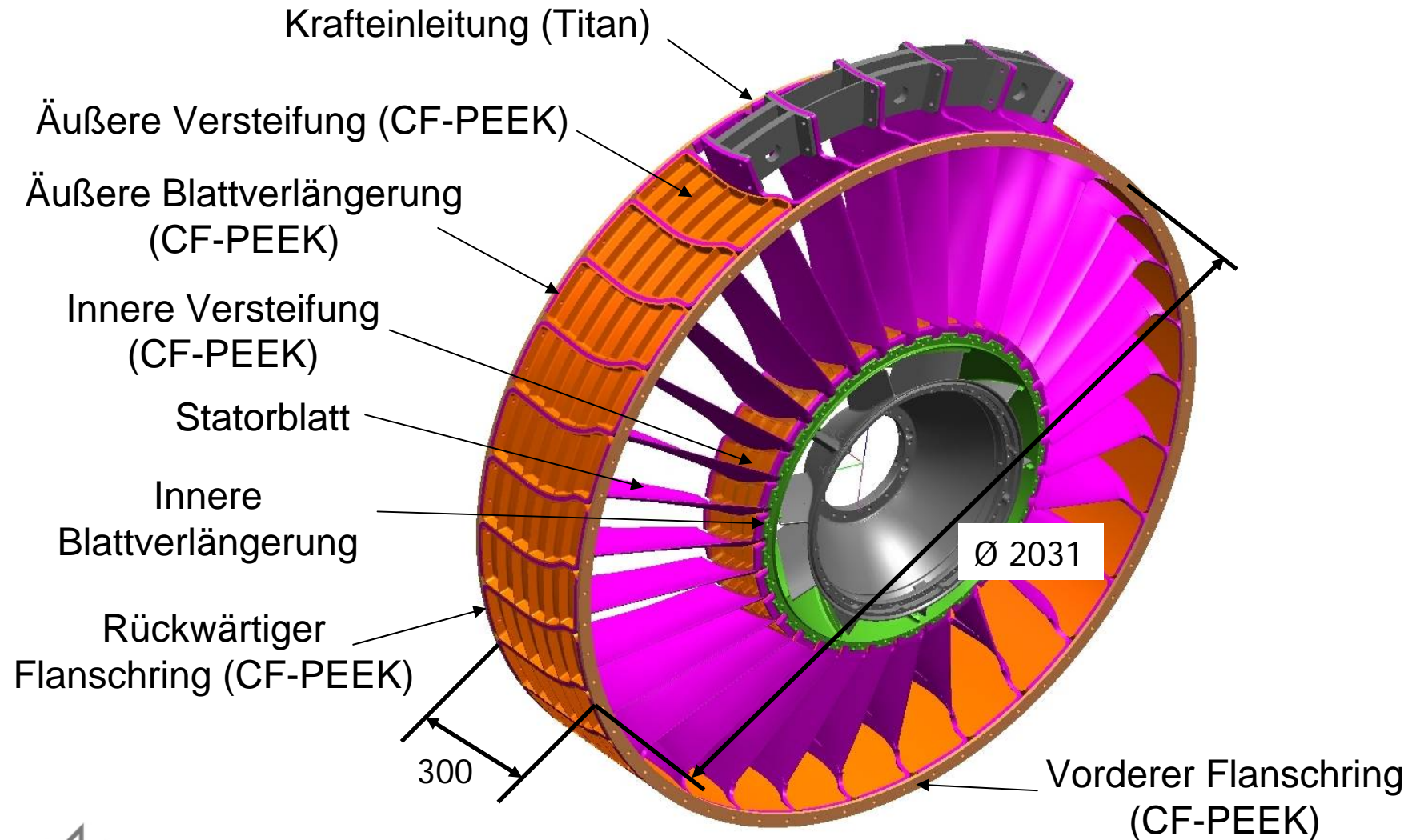


## Beschusstest einer Hybridprobe

- 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







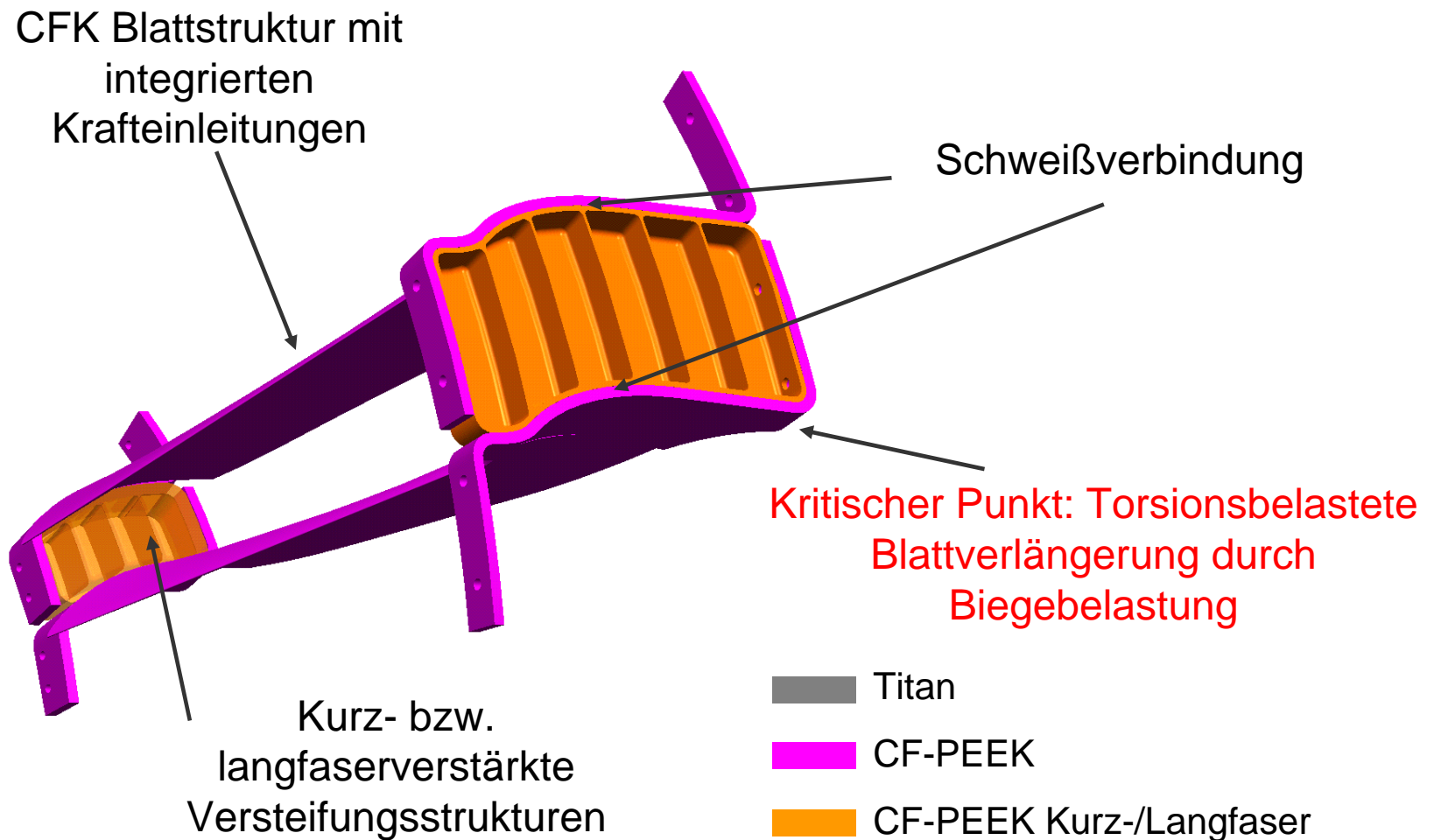
# Composite OGV mit Titan Innengehäuse und Krafteinleitungen

## **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

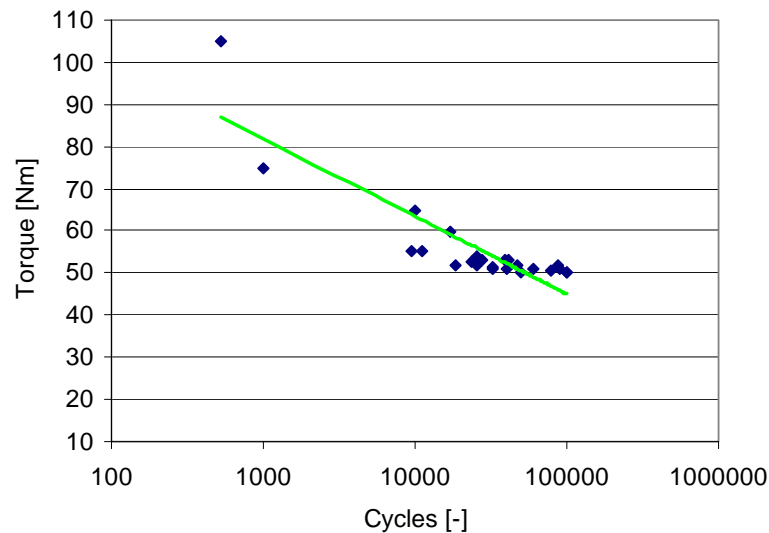


# Composite OGV mit Titan Innengehäuse und Krafteinleitungen

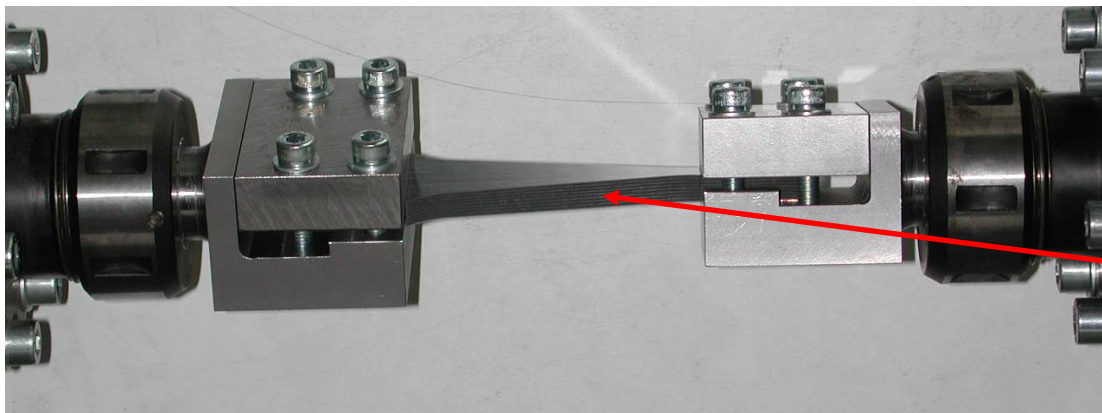
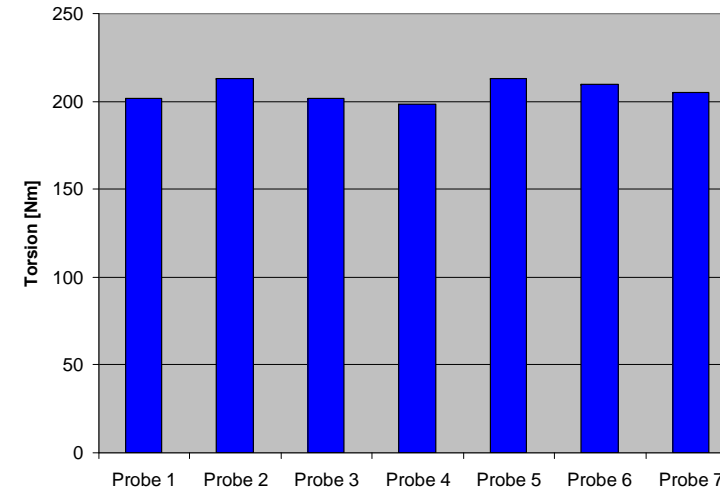


# Experimentelle Untersuchung der Blattverlängerungen

## LCF-Test



## Statischer Test

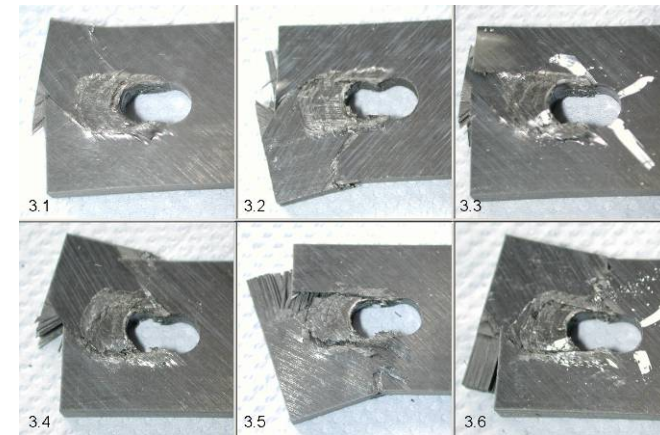


- Testquerschnitt der Probe 9 mm x 30 mm
- Material APC2 AS4 – quasi isotroper Lagenaufbau
- Delaminationen treten im Mittelbereich auf, wie erwartet
- Plastische Deformationen können ab 70 Nm beobachtet werden

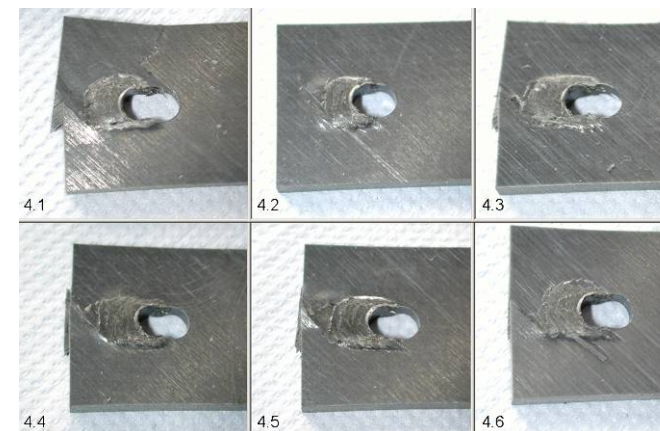


## Lochleibungstests an CF-PEEK Proben

W/D / t / e/D	$\sigma_{\max}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
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

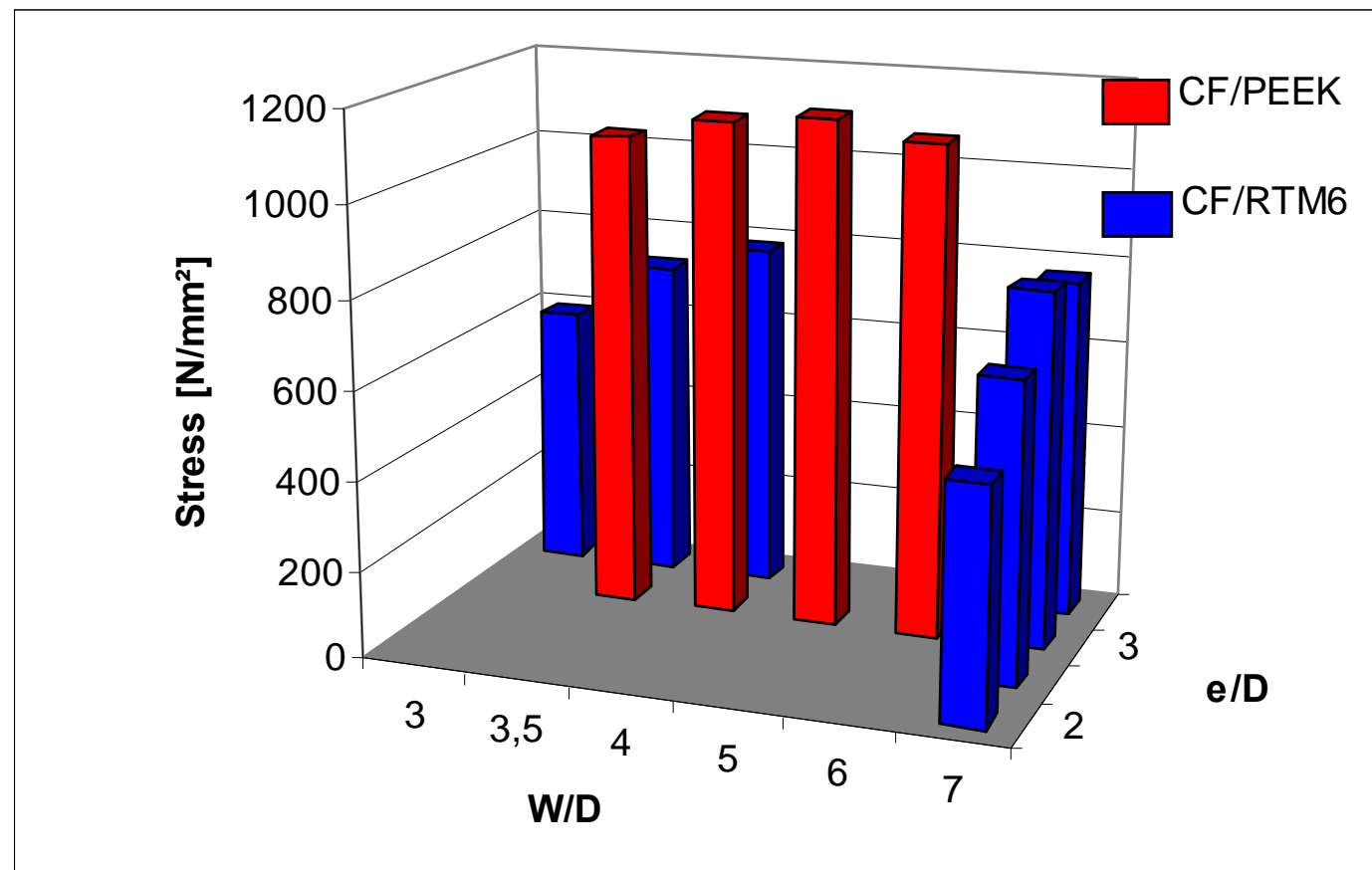


Fehler Mode für W/D=5



# Lochleibungstests an CF-PEEK Proben

Vergleich von CF-PEEK und CF-RTM6 Proben





# Widerstandsschweißen als Basis für eine Fügetechnik

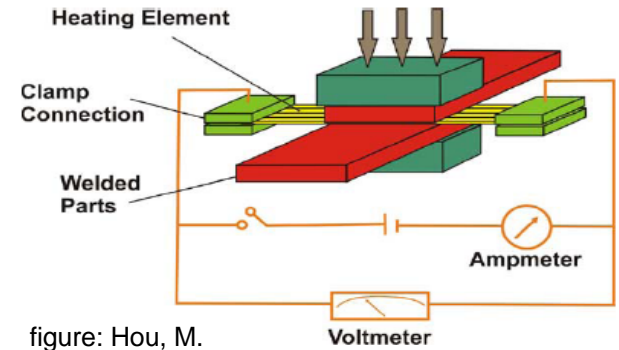


figure: Hou, M.

## CF-PEEK prepreg als Widerstandselement



- + kein zusätzliches Material
- + akzeptable Festigkeit
- Leckströme möglich
- unzureichende Prozessstabilität
- Zerstörung von Einzelfilamenten

## VA-Gitter als Widerstandselement mit PEEK Matrix



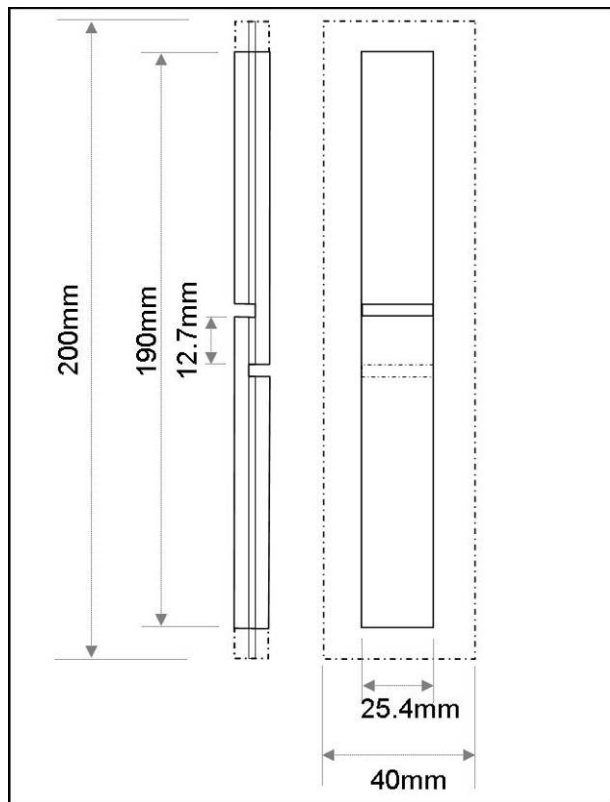
- + stabile Prozessführung
- + akzeptable Festigkeit
- + einfach herzustellen
- Leckströme möglich
- zusätzliches Material in der Fügung

## 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

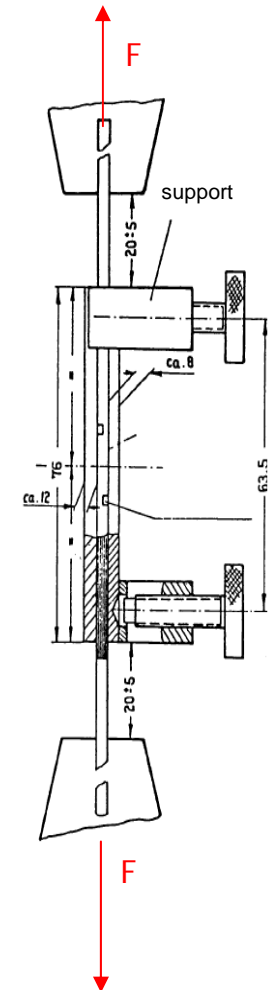


## Überblick

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

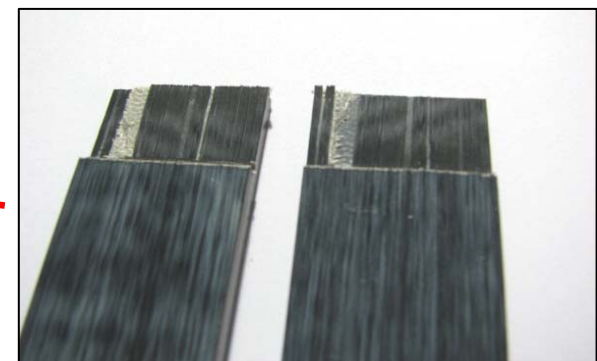
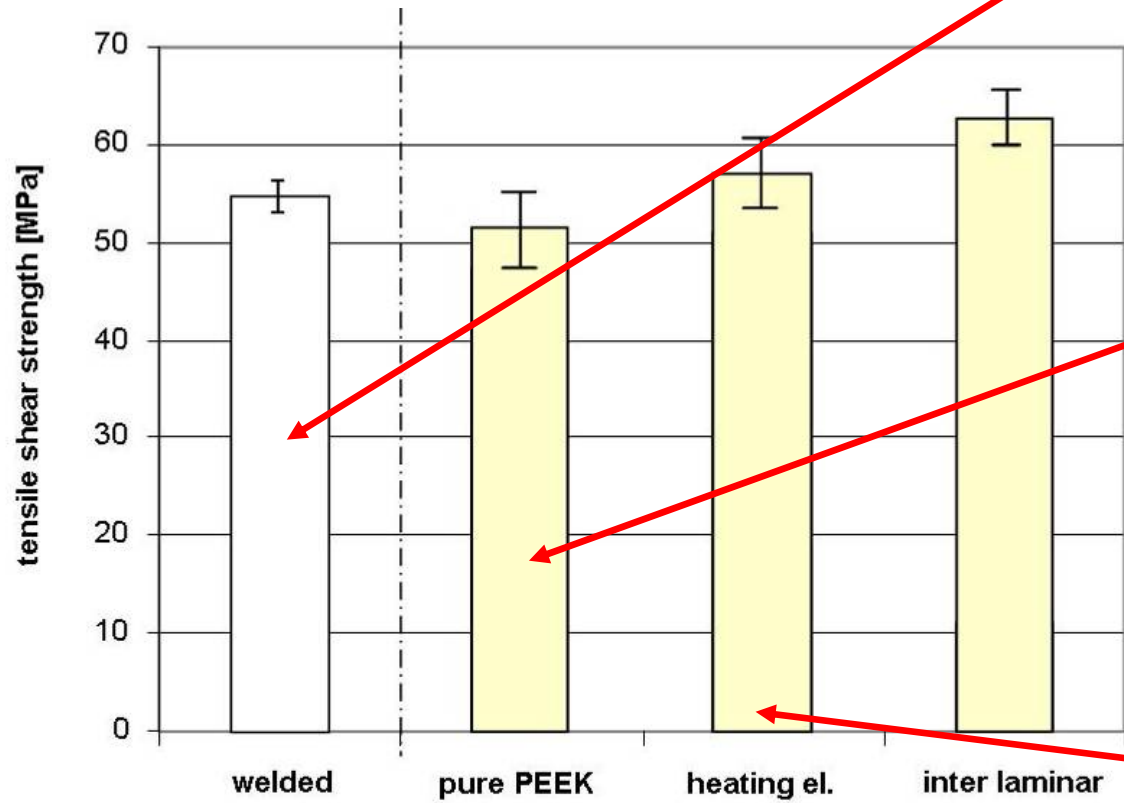
## Vorteile

- 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

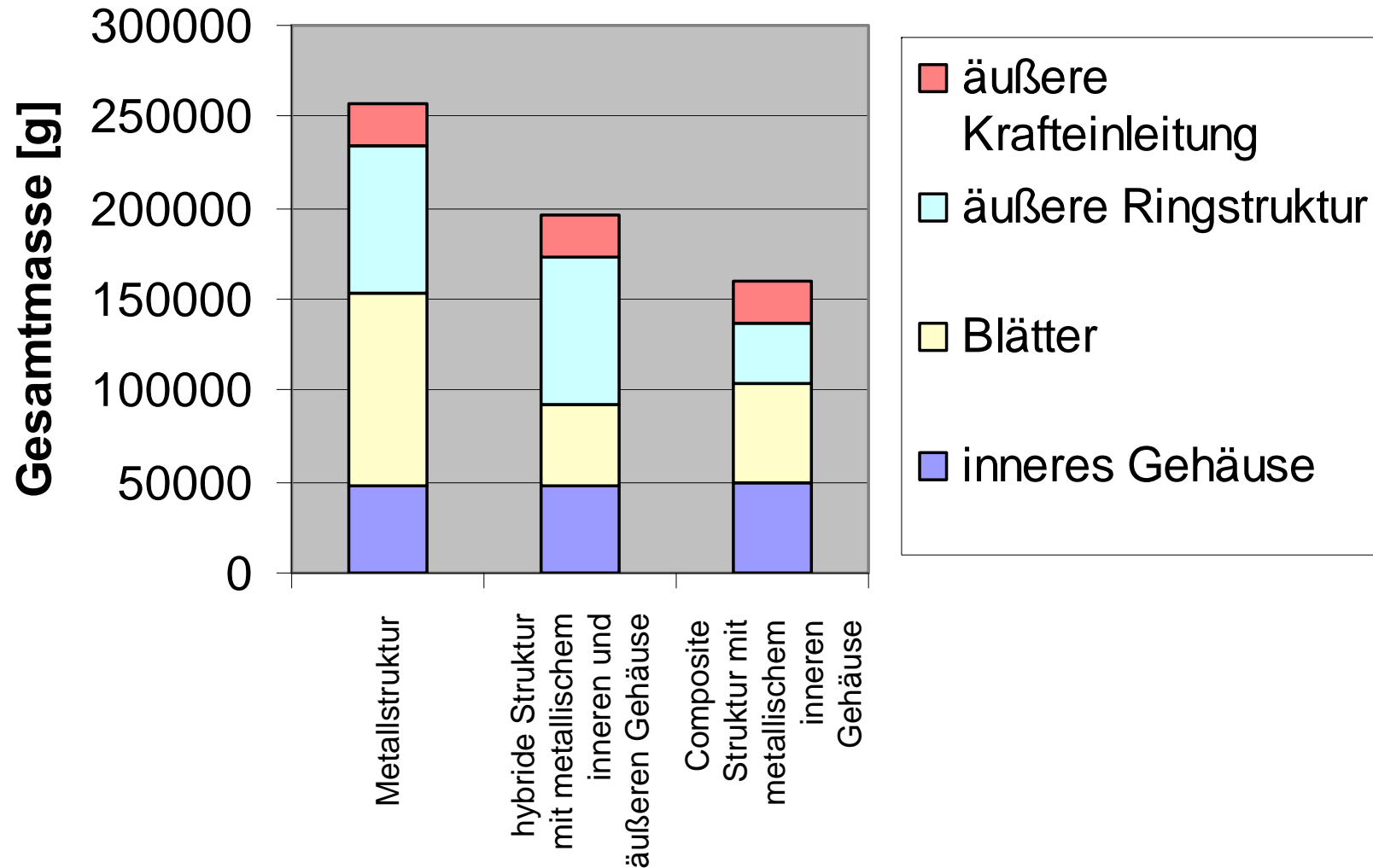
Folie 16 > Kocian

Bauweisen-Kolloquium > 06.05.09





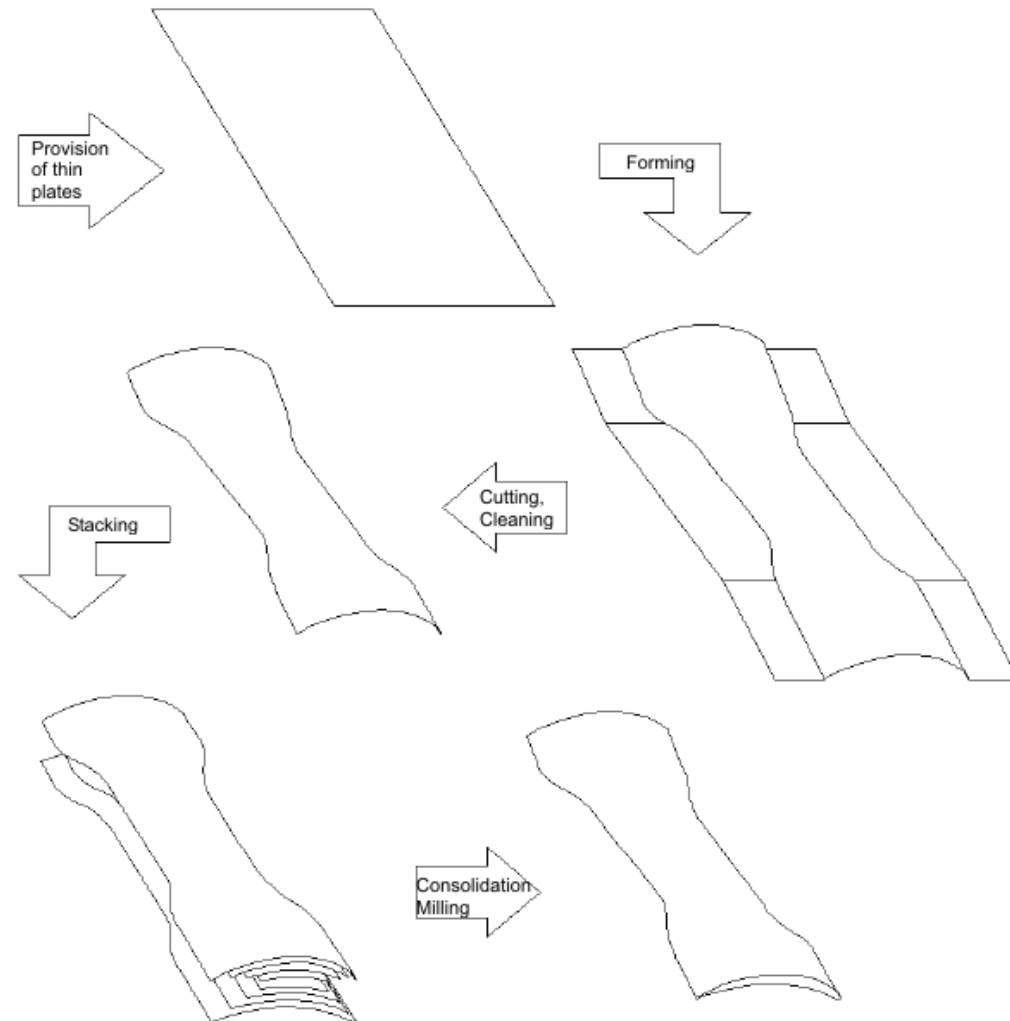
# Gewichtsabschätzung der unterschiedlichen Bauweisen



# Herstellung einer thermoplastischen Blattstruktur

## Variante I – Dünne Platten

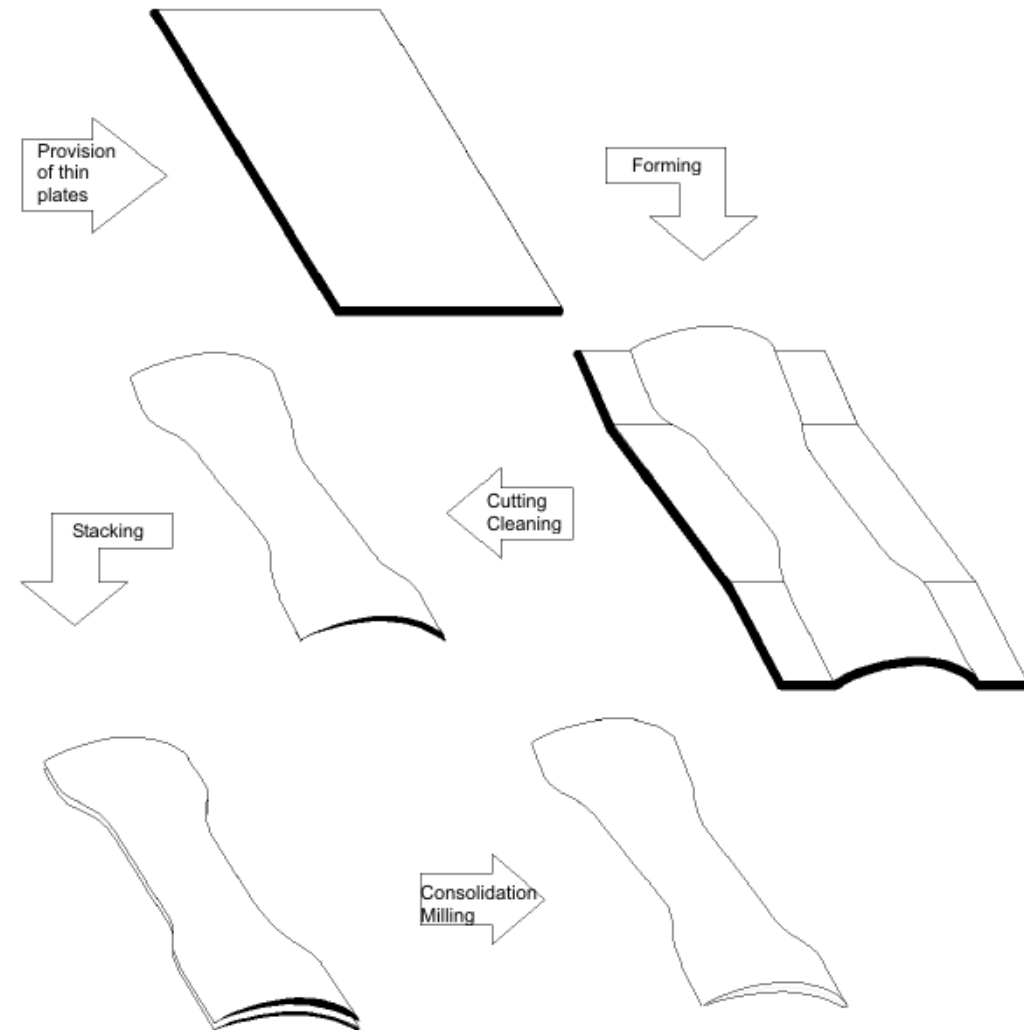
- Vorkonsolidierung dünner Platten
- Umformen der dünnen Platten
- Zuschnitt der umgeformten Platten
- Säuberung und Vorbehandlung der Zuschnitte
- Einlegen der Zuschnitt in eine Form
- Konsolidierung der Zuschnitte
- Finale Endbearbeitung der Struktur



# 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

Infrarotheizfeld

heizbare Presse



# Umformung, Zuschnitt und Positionierung der Zuschnitte in der Form

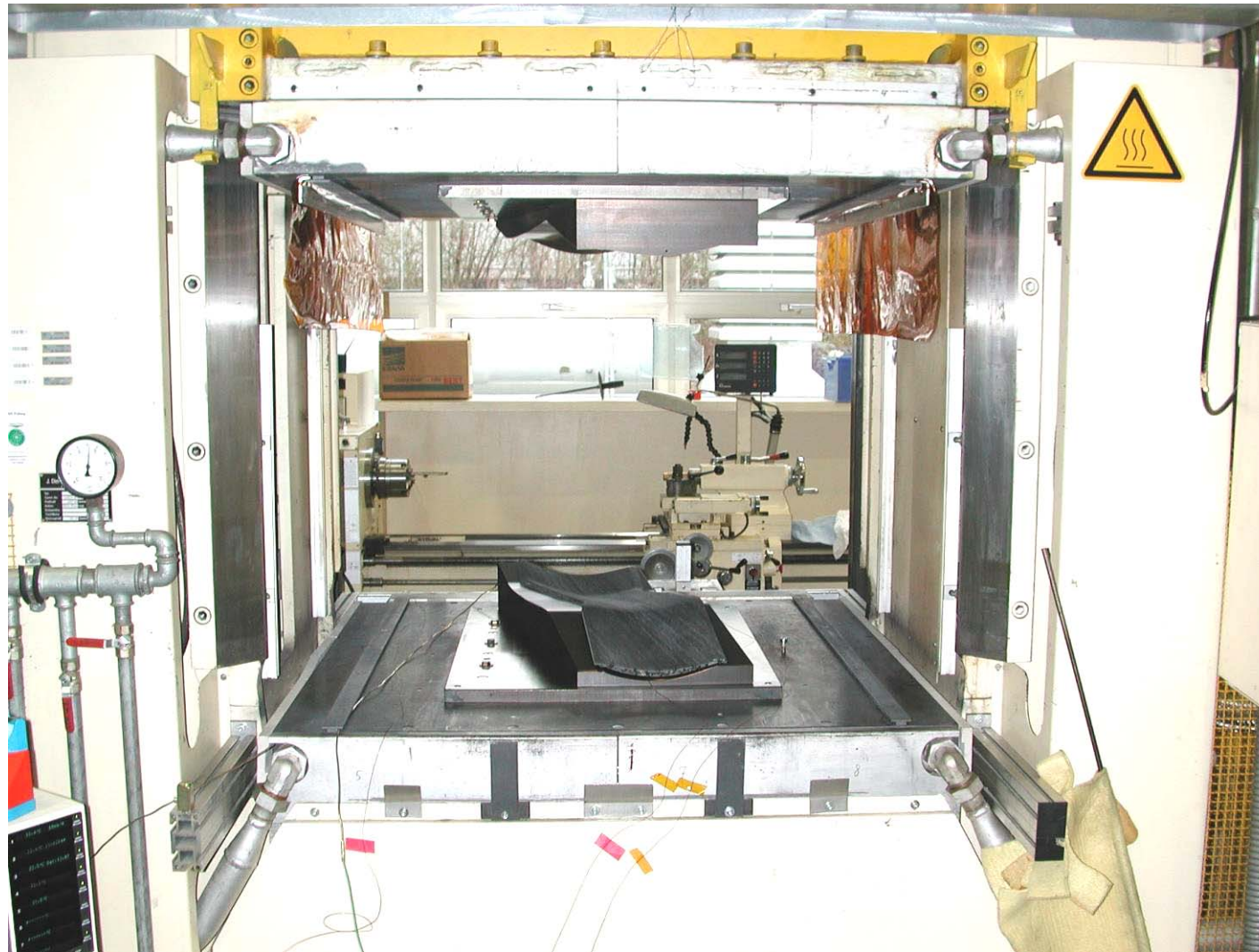


## Herstellung eines Prototypen gemäß Variante I

- 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

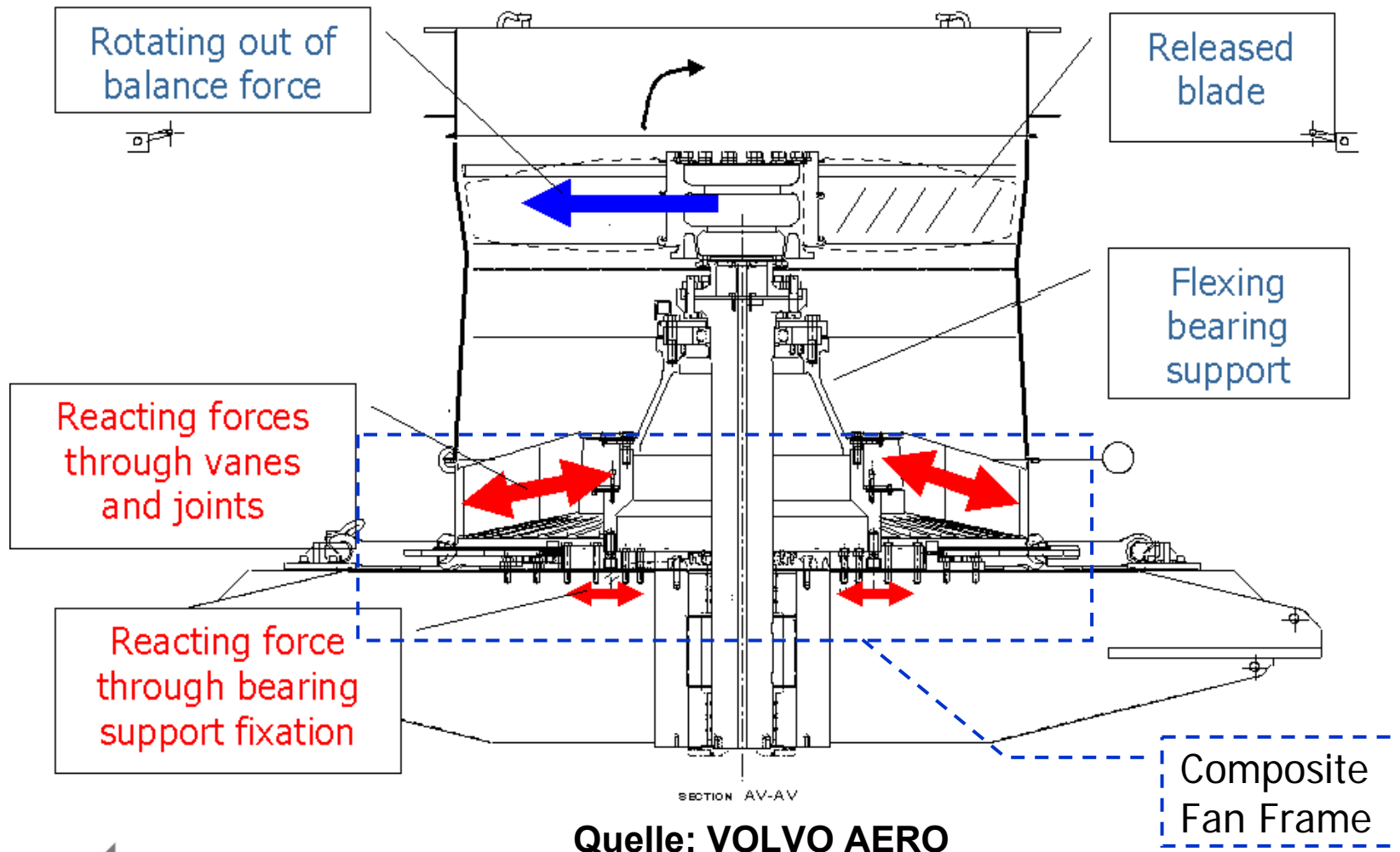


## Finales Blatt für den Test

- 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



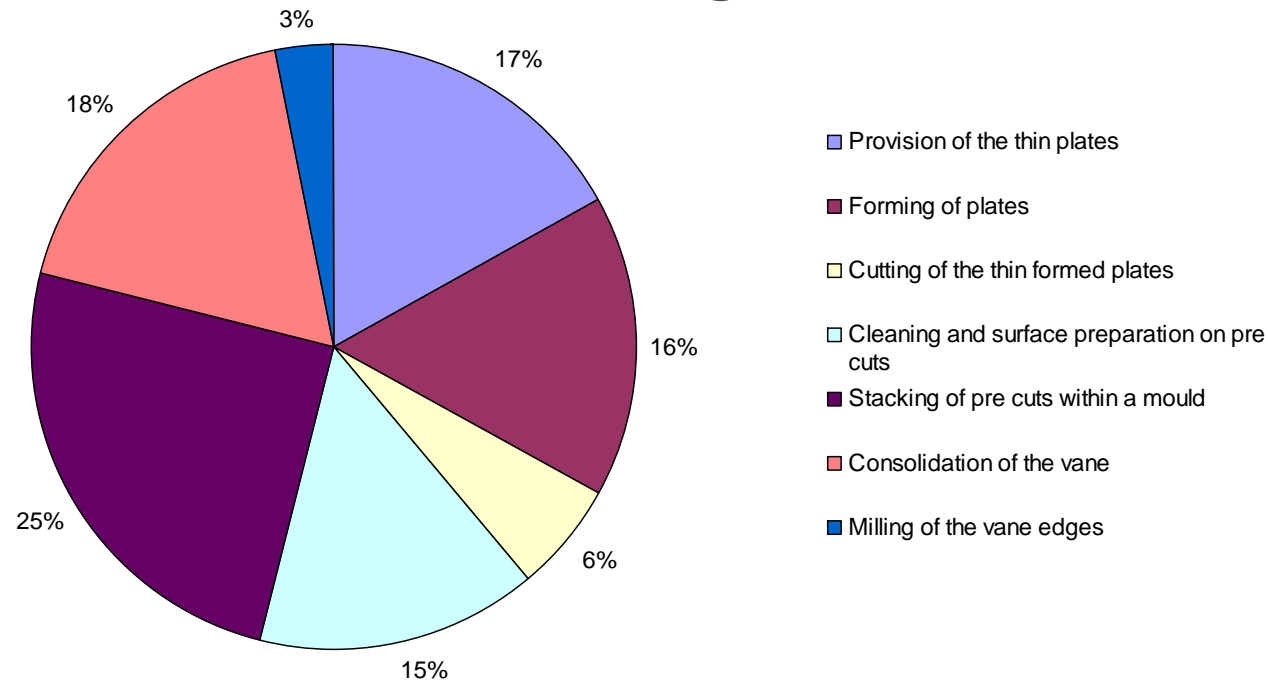
# Mechanischer Test bei RR (Blattverlust)



Quelle: VOLVO AERO



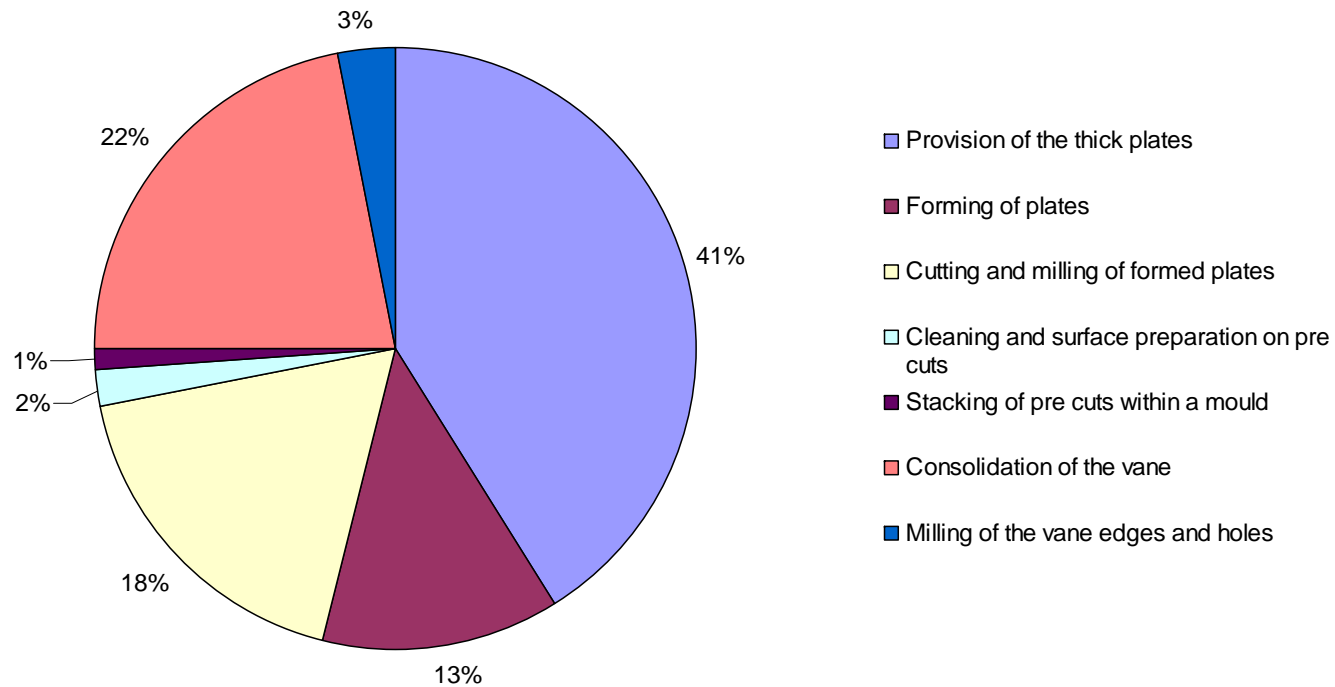
# Kostenabschätzung Variante I



- 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!