

# Rumpfdimensionierung im Flugzeugvorentwurf

Dieter Kohlgrüber

Institut für Bauweisen und Konstruktionsforschung

Bauweisen-Kolloquium 2012, 26.06.2012, Stuttgart



Wissen für Morgen



# DLR- Zielsetzungen im Vorentwurf

## Globale Zielsetzungen

- Bewertung und Entwicklung neuer Flugzeugkonzepte mit besseren Eigenschaften, geringeren Umweltbelastungen, ...
- Verknüpfung unterschiedlicher Disziplinen im Vorentwurf (Aerodynamik, Flugregelung, Struktur, ...)

## Für Strukturforschung

- Abschätzung der Strukturmasse für die Flugleistungsberechnung
- Vergleichende Bewertung unterschiedlicher Bauweisen-Varianten

## Weitere spezifische Ziele

- Berechnung von realistischen Lasten für Auslegung von Komponenten
- Kopplung der statischen Bewertung mit Craschanforderungen



# DLR- Zielsetzungen im Vorentwurf

## Globale Zielsetzungen

- Bewertung und Entwicklung neuer Flugzeugkonzepte mit besseren Eigenschaften, geringeren Umweltbelastungen, ...
- Verknüpfung unterschiedlicher Disziplinen im Vorentwurf (Aerodynamik, Flugregelung, Struktur, ...)

## Für Strukturforschung

- Abschätzung der Strukturmasse für die Flugleistungsberechnung
- Vergleichende Bewertung unterschiedlicher Bauweisen-Varianten

## Weitere spezifische Ziele

- Berechnung von realistischen Lasten für Auslegung von Komponenten
- Kopplung der statischen Bewertung mit Crashanforderungen



# Übersicht

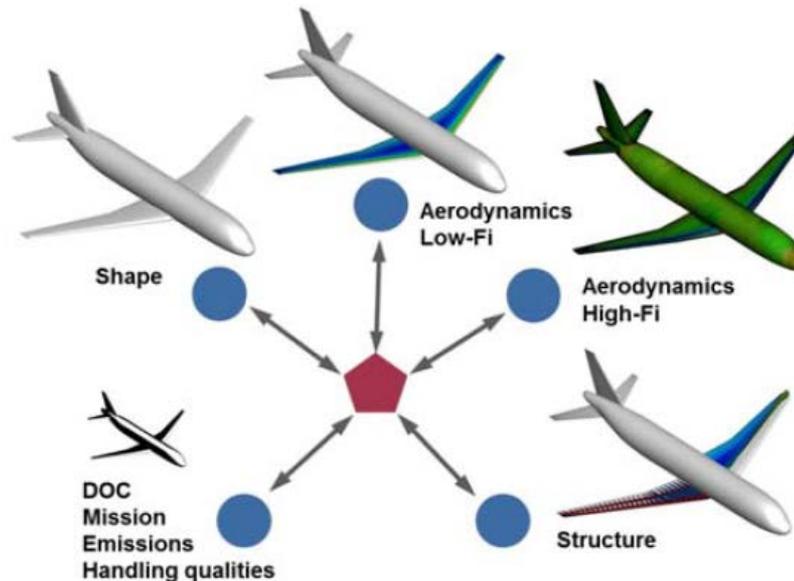
- Zielsetzungen im Vorentwurf
- DLR Prozesskette
  - CPACS Datensatzformat
  - Angeschlossene Werkzeuge
- Rumpfdimensionierung
  - Modellerstellung in TRAFUMO (TRansport FUselage MOdel)
  - Exemplarische Analyseergebnisse
  - Dimensionierung der Struktur
  - Einbindung in Prozesskette
- Ausblick auf weitere Entwicklungen



# DLR Prozesskette (CPACS Datensatzformat)

CPACS: **C**ommon **P**arameterized **A**ircraft **C**onfiguration **S**chema (seit 2005)

- DLR Format zur Beschreibung von Fluggeräten / Luftverkehr (von LY koordiniert)
- Hierarchisch organisierte XML-Datei (seit März 2012 als V2.0 veröffentlicht)
- Zusätzliche Programmbibliotheken zur vereinfachten Auswertung von CPACS Daten, z.B. Berechnung von Oberflächenpunkten auf Rumpf, Flügel, ...



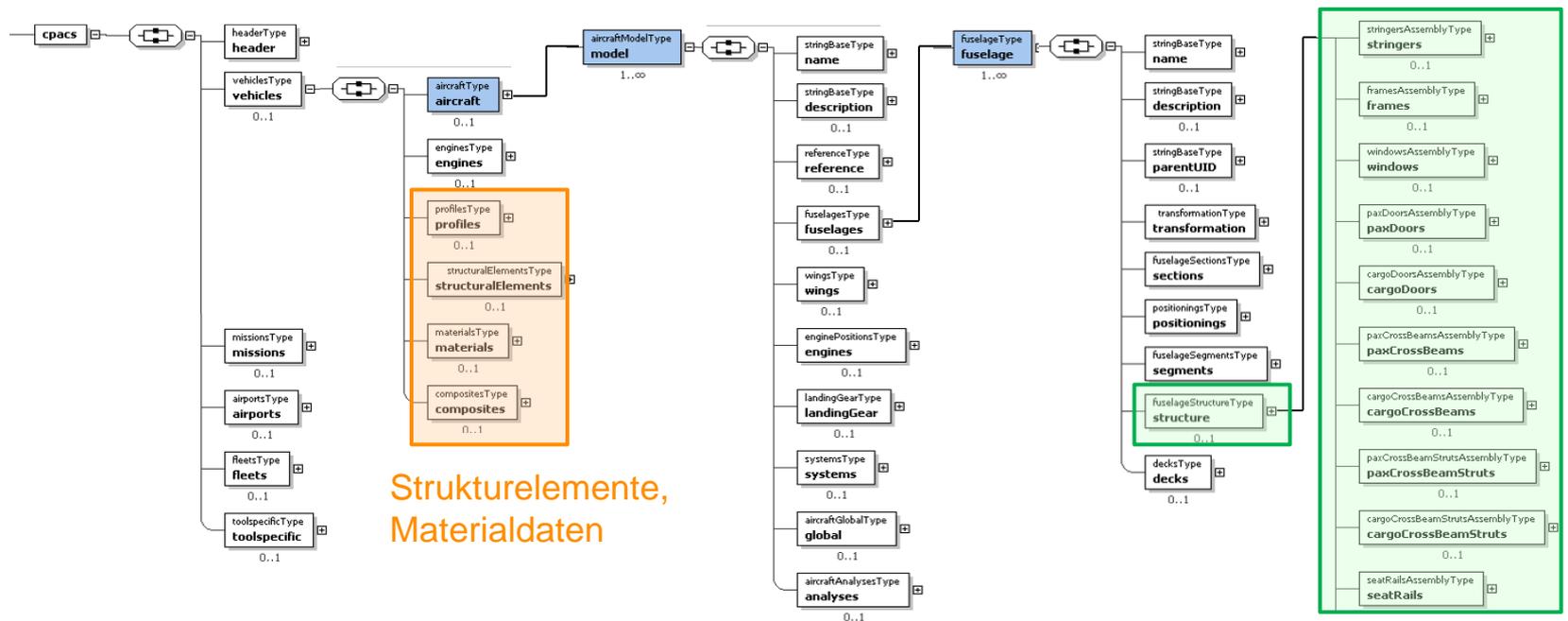
CPACS Datensatzformat



# DLR Prozesskette (CPACS Datensatzformat)

CPACS: **C**ommon **P**arameterized **A**ircraft **C**onfiguration **S**chema (seit 2005)

- DLR Format zur Beschreibung von Fluggeräten / Luftverkehr (von LY koordiniert)
- Hierarchisch organisierte XML-Datei (seit März 2012 als V2.0 veröffentlicht)
- Zusätzliche Programmbibliotheken zur vereinfachten Auswertung von CPACS Daten, z.B. Berechnung von Oberflächenpunkten auf Rumpf, Flügel, ...



Strukturelemente, Materialdaten

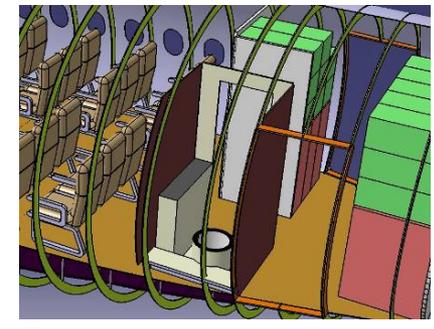
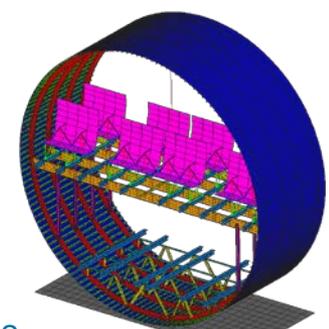
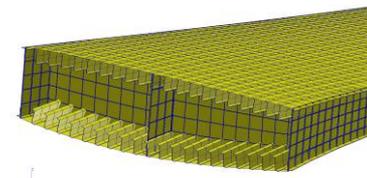
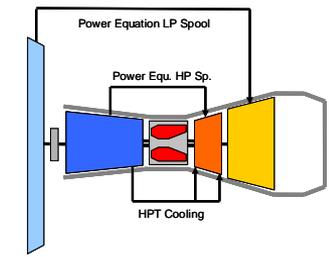
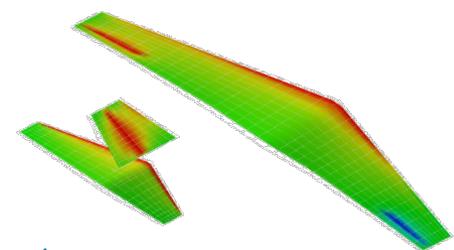
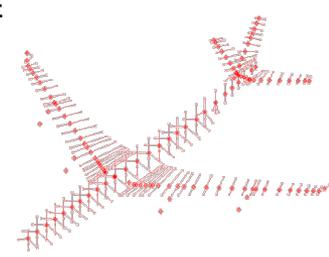
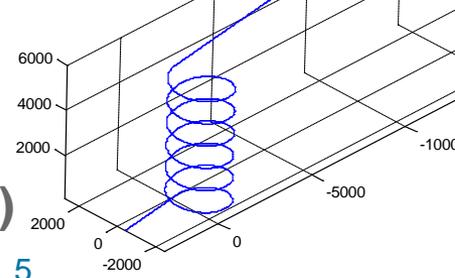
Rumpfstruktur

Auszug aus CPACS Datenstruktur



# DLR Prozesskette (Angeschlossene Werkzeuge)

Handbuchmethoden	VAMPzero	LY, AS, AE
Aerodynamik	LiftingLine 1 / POLINT	AS
	VSAERO	AS
Struktur	BoxBeam	FA
	PARA_MAM / S_BOT	FA, LY
	AC-CRASH 2 / TRAFUMO BK	
Aeroelastik	MODGEN 3 / NASTRAN	AE
Antrieb	TWDat 4	AT
Fahrwerk	LGConcept	AE
	TCM	LY
Missionssimulation	MS 5	RM
	MAPET	FT
Start / Landung	FDS 6	RM
Flugdynamik	HAREM	FT
Flugeigenschaften	FuMe 7	LY
Kabinenvorentwurf	TOMICS	FW
	LCC	LY
Boardingsimulation	DOC	LY
	PANAM	AS
Kosten	HEIDI	AT
Lärmimmissionen	AirClim	PA
Triebwerkslärm	TrafficSim	FL
Klimawirkung	RADIATION	ME
ATM Simulation	SIGMA	MF
Höhenstrahlung	NIRATAM	HR
IR Signatur		
Radar Signatur		

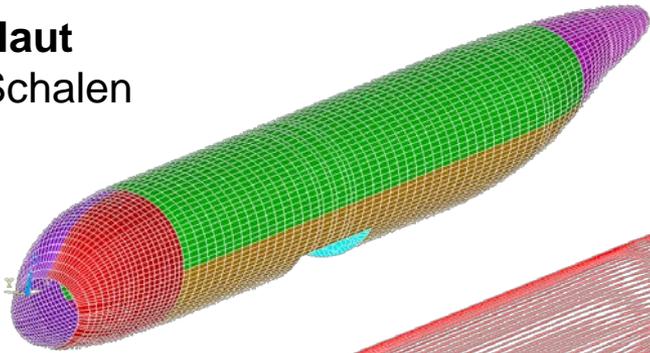


Status: 05/2011

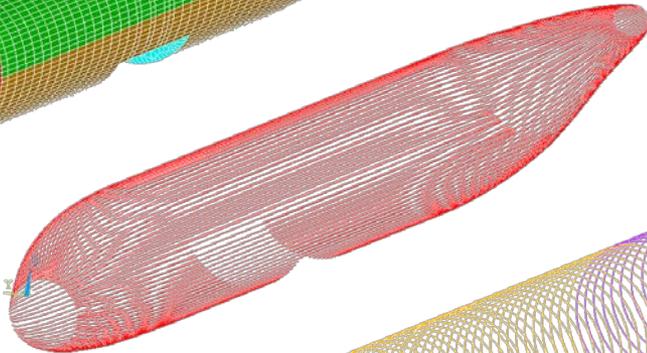


# Modellerstellung in TRAFUMO

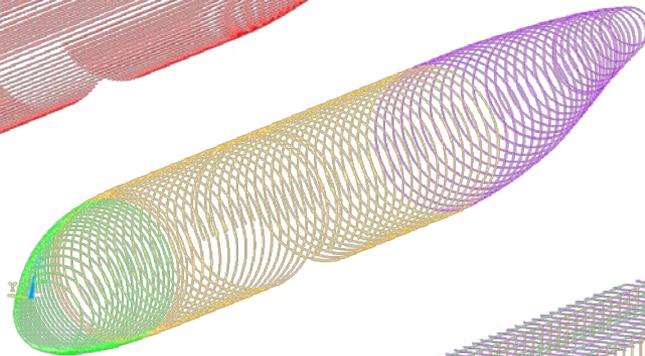
**Haut**  
Schalen



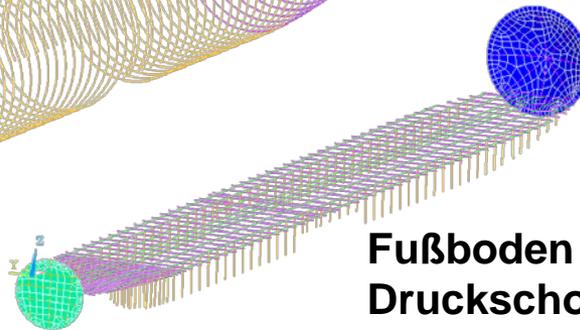
**Stringer**  
Balken  
(Stäbe)



**Spante**  
Balken



**Fußboden** (Balken)  
**Druckschotte** (Schalen/ Balken)



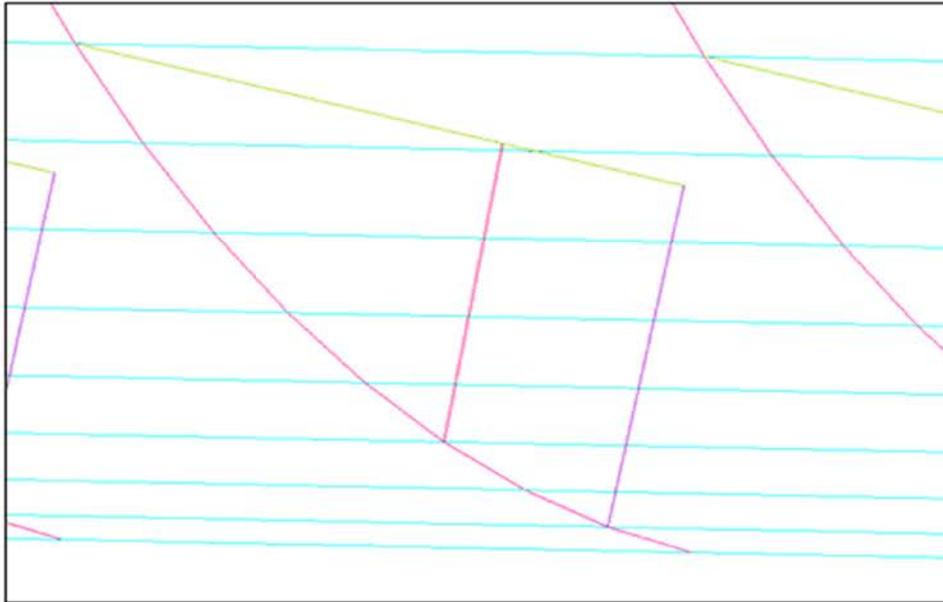
- Vollständig angepasst an DLR CPACS Datensatzformat
- Oberflächenpunkte werden auf CAD Fläche berechnet (DLR Bibliotheken) → hohe Formgüte
- Verwendet werden Schalen und Balkenelemente (Stäbe)



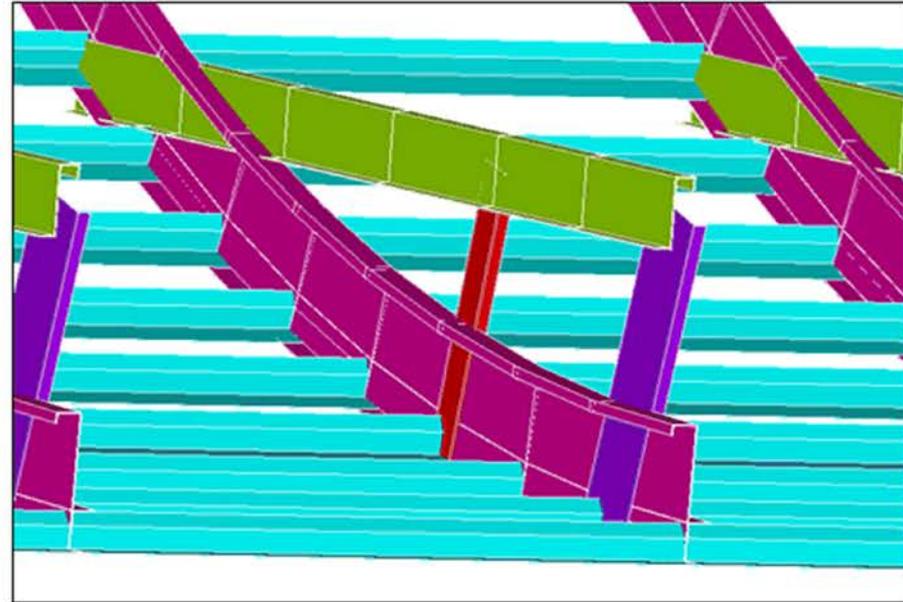


# Modellerstellung in TRAFUMO

Darstellung der realen Elementquerschnitte, -eigenschaften  
Beispiel: Frachtbodenstruktur



Diskretisierung mit  
Balkenelementen

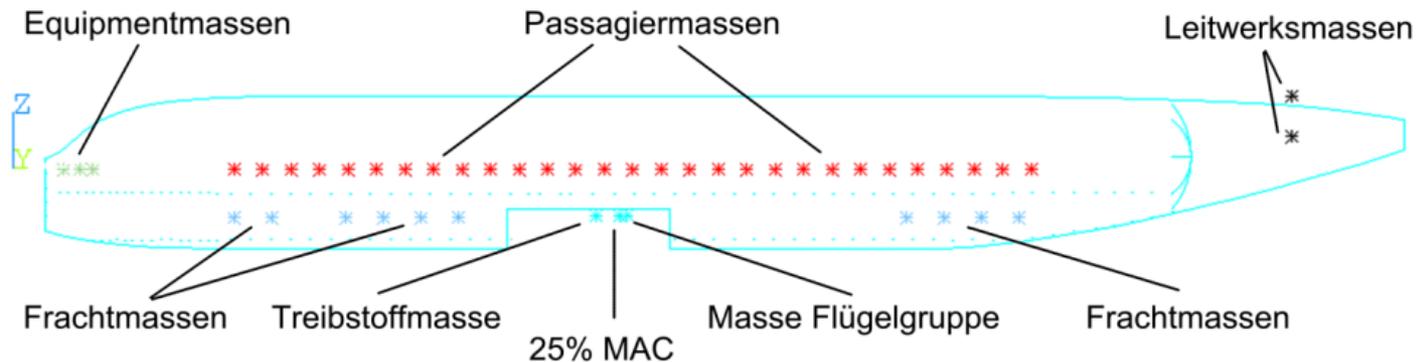
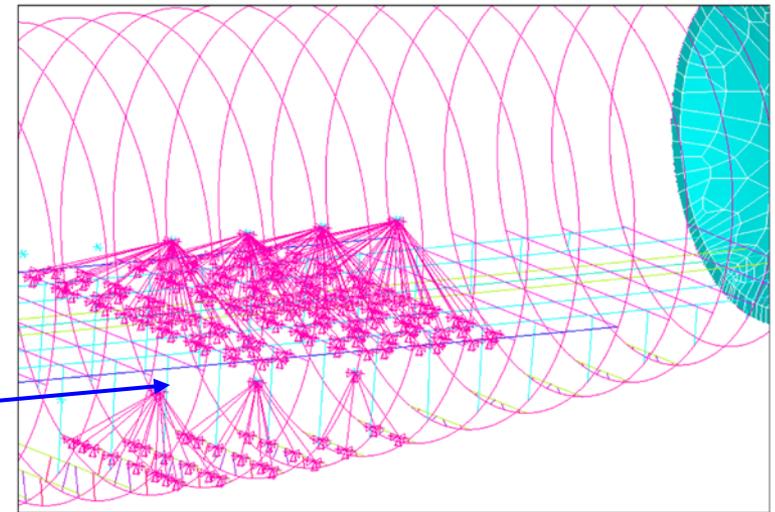


Balkenelement mit realem Querschnitt  
(BEAM188 mit /ESHAPE-Option)

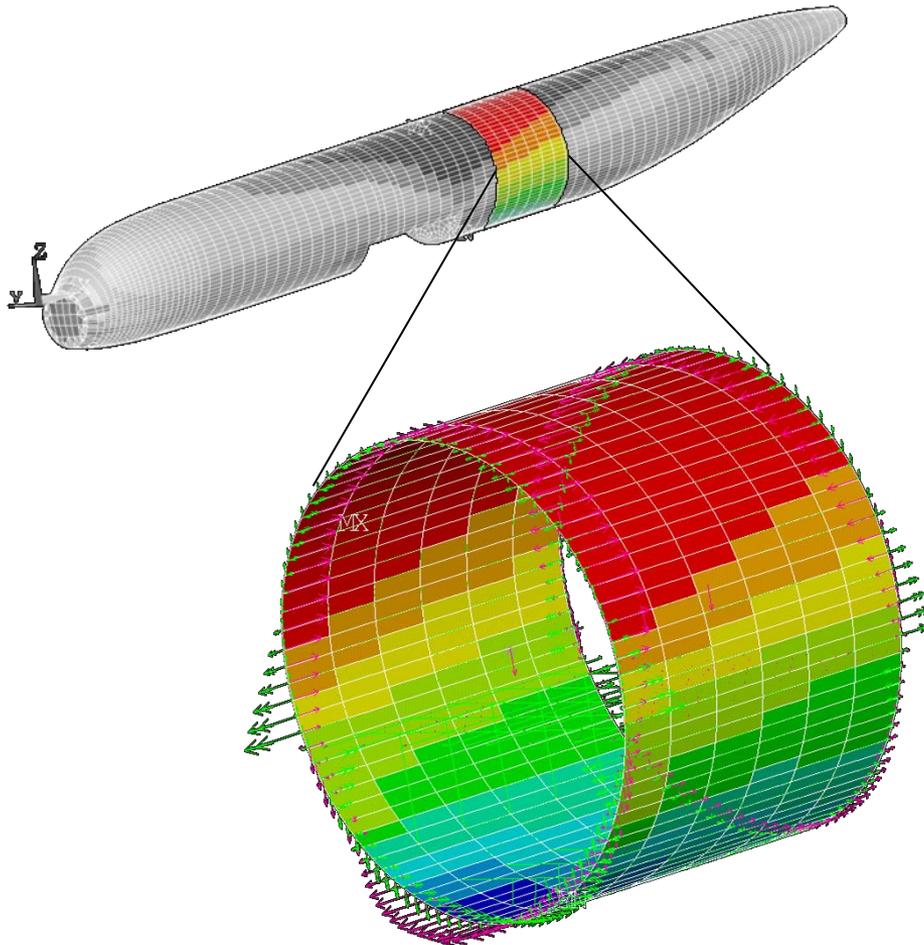


# Modellerstellung in TRAFUMO

- Einbinden von Zusatzmassen
  - Systeme und Ausrüstung
  - Zuladung (PAX, Fracht)
  - Zusätzliche Punktmassen für Flügelgruppe, Treibstoff, Leitwerke
- Zusatzmassen werden über RBE3 Elemente auf Netzknoten verteilt



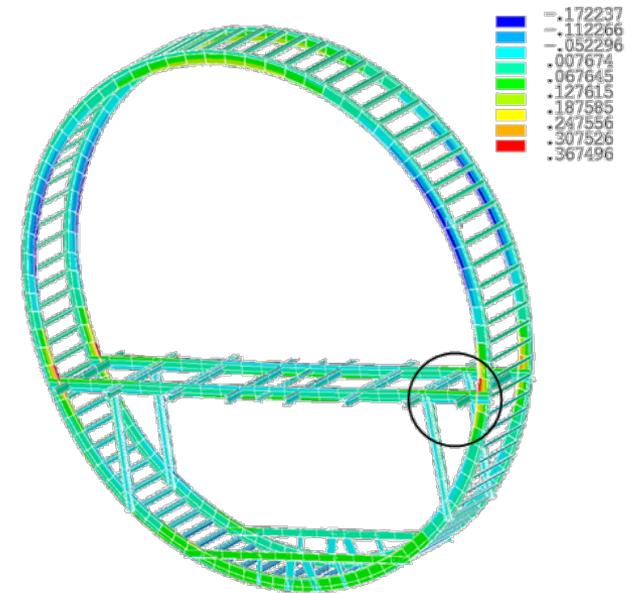
# Exemplarische Ergebnisse von stat. Analysen



Spannungsverteilung (x - Komponenten)

## Auswertung interner Lasten

- Kräfte und Spannungen in Schalen und Balkenelementen
- Beispielplots basieren auf +2,5g Abfanglastfall



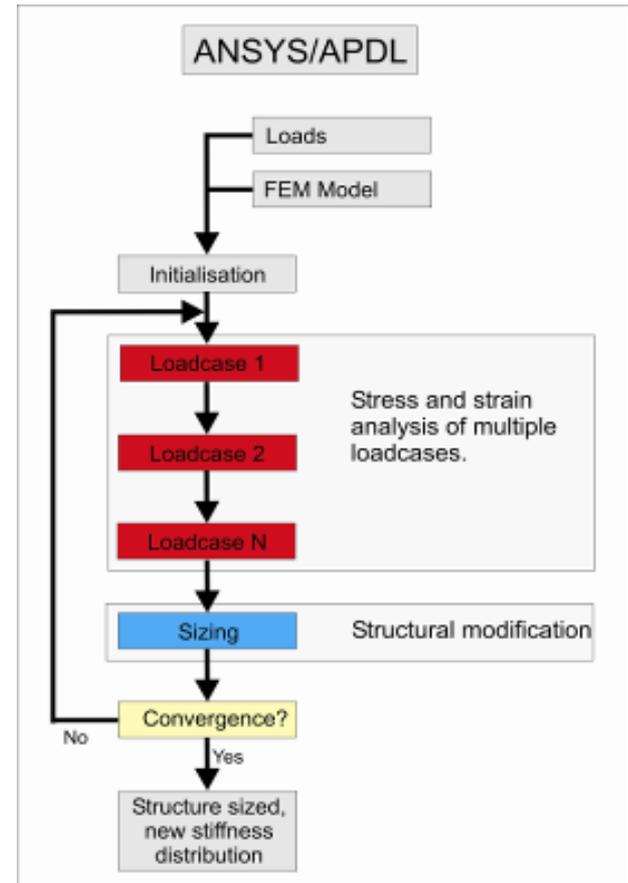
Spannungen in Stützstruktur



# Dimensionierung der Struktur mit S-BOT

## Das Dimensionierungswerkzeug S-BOT

- **S-BOT (Sizing-RoBOT)** wurde ursprünglich bei DLR-FA für Tragflügelstrukturen entwickelt
- S-BOT nutzt die ANSYS Sprache APDL
- Grundsätzlich anwendbar für isotrope und orthotrope Werkstoffe
- Betrachtung unterschiedlicher Lastfälle
- Definition unterschiedlicher Versagenskriterien für die jeweiligen Lastfälle (Bruchgrenze, Fließgrenze, Tsai-Wu, ...)
- Automatischer Update der Elementeigenschaften (Schalendicke, Lagenanzahl, ...) und Durchführung von Iterationsrechnungen
- Abbruch bei Konvergenz oder Erreichen der max. Iterationsanzahl



S-BOT Flussdiagramm

Quelle: B. Nagel



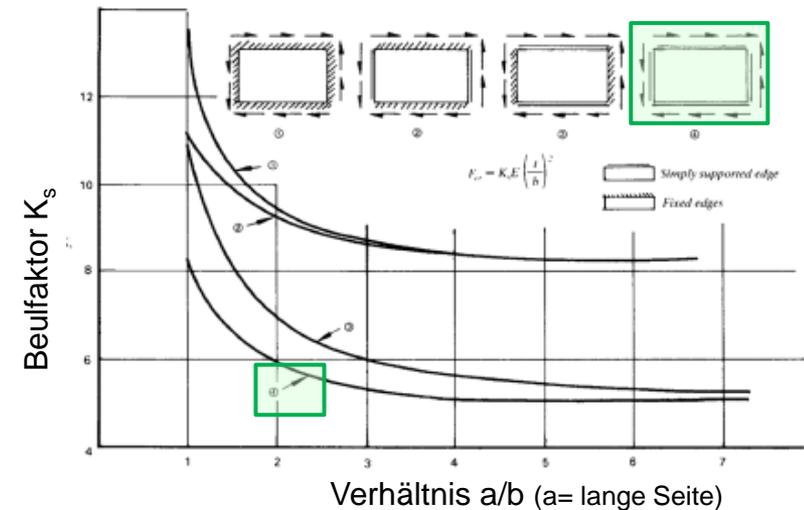
# Dimensionierung der Struktur mit S-BOT

## Weiterentwicklungen von S-BOT für Rumpfdimensionierung

- Erweiterung auf die Dimensionierung von Balkenelementen (für diskrete Versteifungen der Schale)
- Anbindung an CPACS Datensatzformat
- Einbinden eines Dimensionierungskriteriums für Hautbeulen (isotrope Haut)

## Verwendete Dimensionierungskriterien

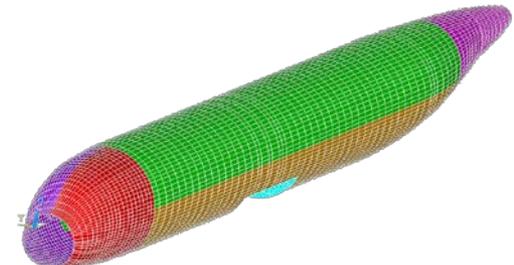
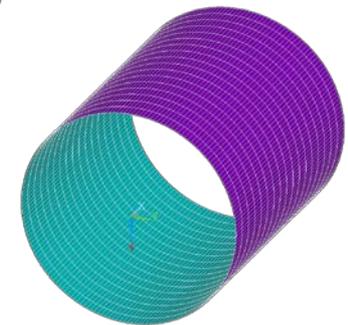
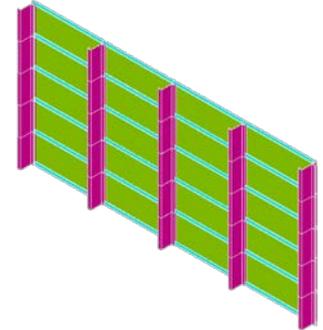
- Spannung (Festigkeit, Ermüdung) in Schalen und Balkenelementen
- Lokales Hautbeulen → nach digitalisierten Design Charts aus Niu ‚Airframe stress analysis and sizing‘
- Zusätzliche Restriktionen möglich, z.B. min. Hautdicke, max. Dicke, ...



# Dimensionierung der Struktur mit S-BOT

## Test und Validierungsschritte

- Versteifte ebene Paneele
  - Basisuntersuchungen zur Dimensionierung von diskret versteiften Häuten (Kombination aus Schalen- und Balkenelementen)
  - Untersuchungen zur Konvergenz der Dimensionierung
- Zylindrische Rumpfsektion
  - Vergleich der S-BOT Dimensionierung mit FAME-F Ergebnissen (mit IFB / Uni Stuttgart)
- TRAFUMO Rumpfmodell
- TRAFUMO Rumpfmodell in generischer Kette mit DLR Vorentwurfstool VAMPzero (DLR-LY)



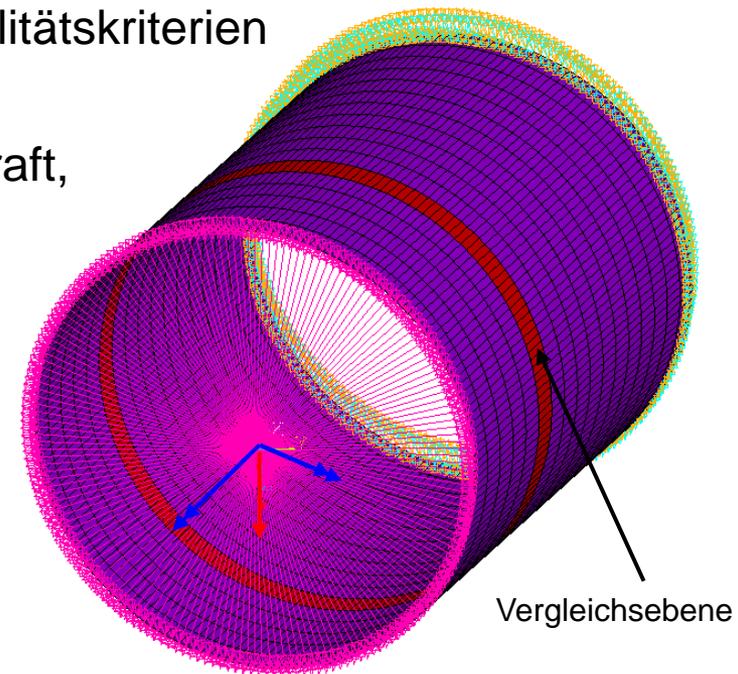
# Zylindrische Rumpfsektion (Vergleich mit FAME-F)

## Vergleich der Dimensionierungsergebnisse mit FAME-F (X-STRESS Kern)

- Kreissektion mit 180 Stringern und 18 Spanten
- Schalenelemente unter Festigkeits- und Stabilitätskriterien
- Balkenelemente unter Festigkeitskriterium
- Betrachtung von insg. 7 Lastfällen, die Querkraft, Biegung, Torsion sowie unterschiedliche Kombinationen umfassen

## Zweistufiges Vorgehen

- a) Vergleich der Spannungsverläufe bei vorgegebener Hautdicke
- b) Vergleich der berechneten Hautdicken nach freier Dimensionierung

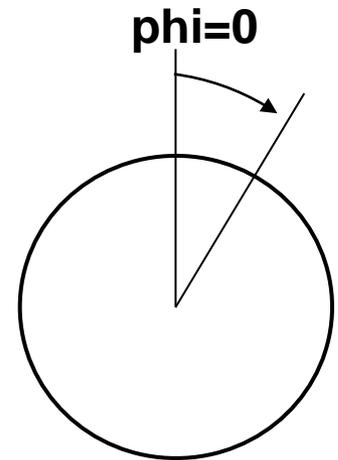
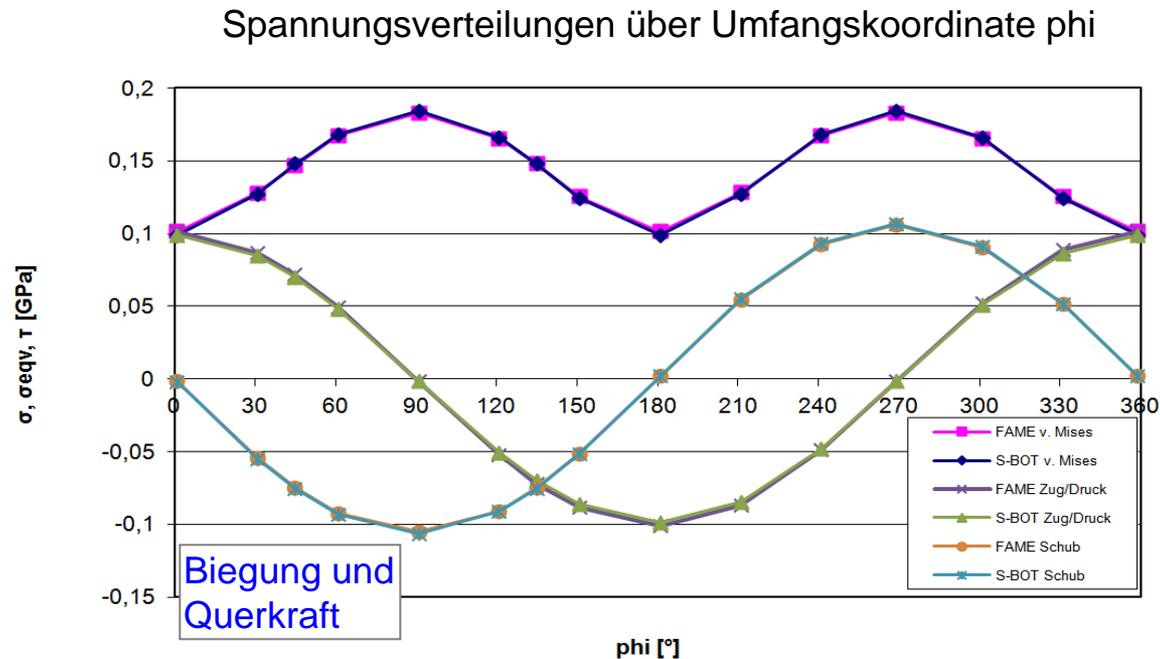


Modell der vereinfachten Rumpfsektion mit Randbedingungen



# Zylindrische Rumpfsektion (Vergleich mit FAME-F)

a.) Sehr gute Übereinstimmung der Spannungsverteilung bei konstanter Hautdicke



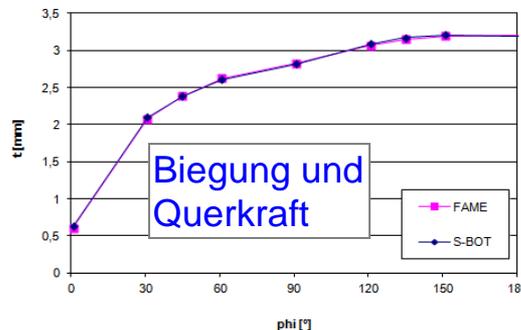
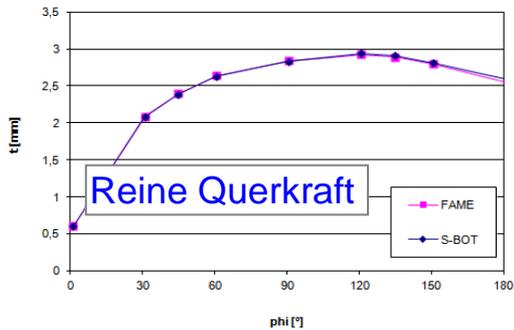
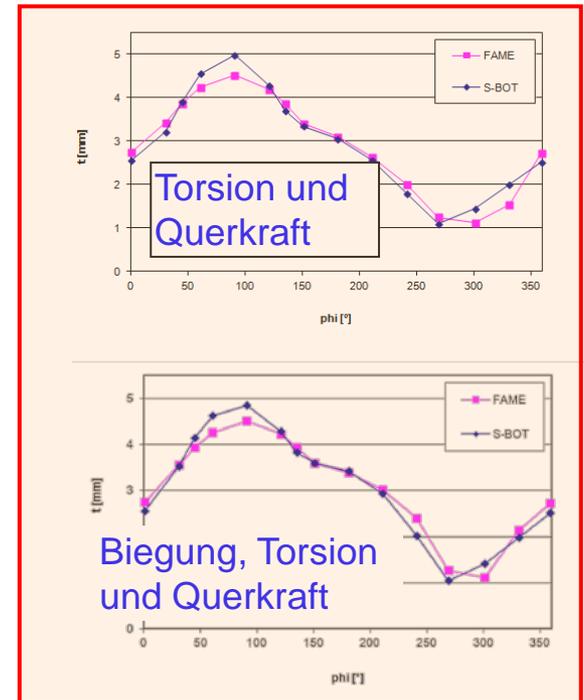
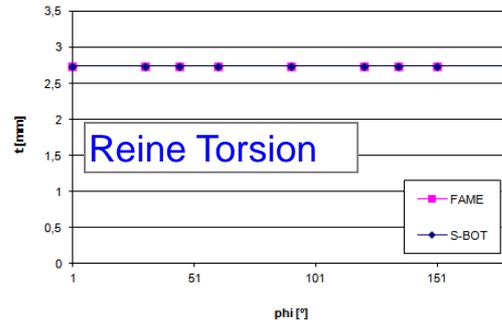
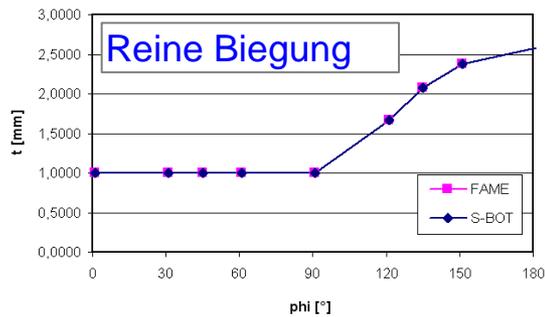
Verlauf von Längs- Schub- und v. Mises-Spannungen bei kombiniertem Lastfall „Biegemoment und Querkraft“



# Zylindrische Rumpfsektion (Vergleich mit FAME-F)

## b.) Vergleich der berechneten Hautdicken bei 7 Lastfällen

I. Allg. sehr gute Übereinstimmung, zwei Lastfälle erfordern jedoch weitere Untersuchungen

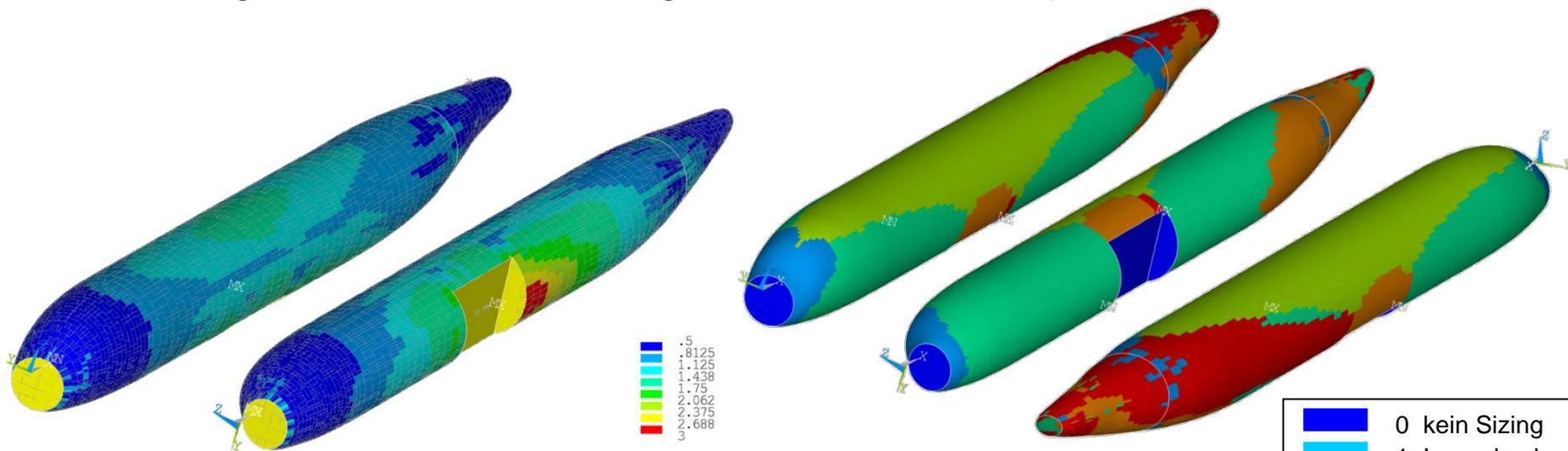


Untersuchung der Unterschiede dauert an



# TRAFUMO Rumpfmodell (exemplarische Dimensionierung)

- Dimensionierung der Haut und Stringer auf Basis von 5 Lastfällen
- Balkenelemente in Nähe des starren Centre Fuselage sowie der Druckschotte wurden aus Dimensionierung abgeschlossen
- Bislang keine Dimensionierung der Druckschotte, Spante und der Fußböden



Berechnete Hautdicken

Dimensionierende Lastfälle

0	kein Sizing
1	Innendruck
2	+2.5 g
3	-1.0 g
4	Vertikalböe
5	Seitenböe

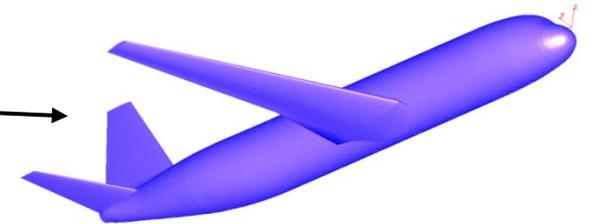


# TRAFUMO Rumpfmodell (in generischer Prozesskette)

## Schritt 1: Basisgeometrie und Verteilung der Zusatzmassen (VAMPzero, DLR-LY)

### - Erstellen eines CPACS Basis-Datensatzes:

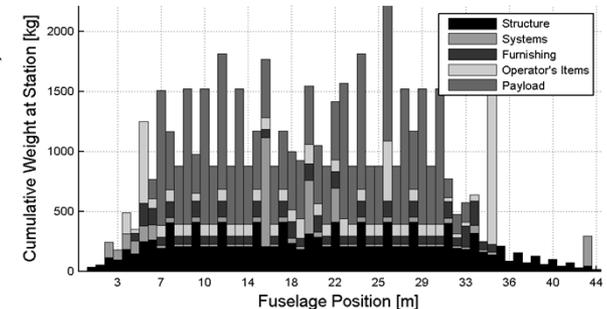
- Basisgeometrie des Flugzeugs
- Verteilung und Positionierung der Zusatzmassen aus Systemen im Rumpf



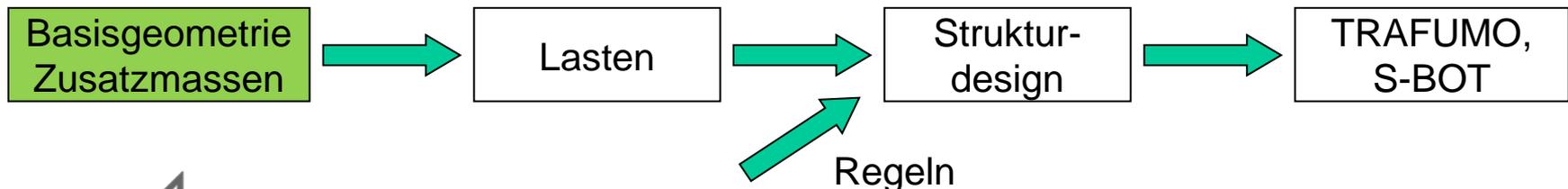
Flugzeug-Geometrie, aus VAMPzero

### - Design basiert auf einer geringen Anzahl von initialen Parametern (top level requirements)

- z.B. Anzahl PAX,  $m_{\text{Cargo}}$ , ...
- z.B. Flügelstreckung, Pfeilwinkel, ...



Verteilung der Zusatzmassen

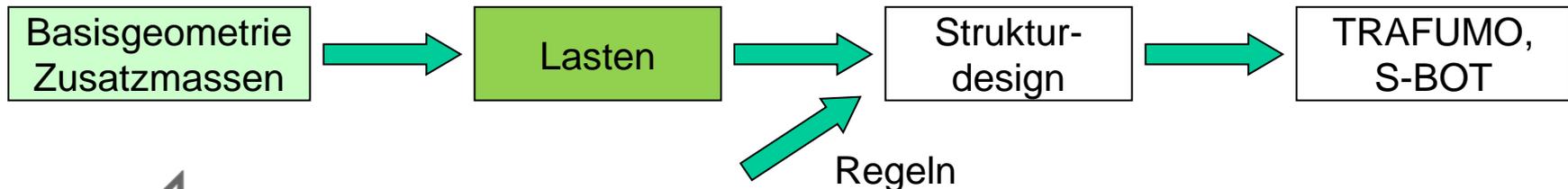


# TRAFUMO Rumpfmodell (in generischer Prozesskette)

## Schritt 2: Lasten (SimLA, BK)

- Vereinfachte Berechnung der auf den Rumpf wirkenden Lasten ~12 Lastfälle
- Wird mittelfristig durch einen DLR weiten Lastenprozess ersetzt werden

#	Lastfall	COG Position	Druck	Materialgrenze	geforderte Sicherheit
1	Max. Differenzdruck	17 % MAC	$1,33 * \Delta p$	Festigkeit	1,5
2	Reiseflug	17 % MAC	$\Delta p$	Ermüdung	1
3	+2.5g Abfangen	17 % MAC	$\Delta p$	Festigkeit	1,5
4	-1.0g Abfangen	17 % MAC	$\Delta p$	Festigkeit	1,5
5	vertikale Böe	17 % MAC	$\Delta p$	Festigkeit	1,5
6	Seitlich Böe	17 % MAC	$\Delta p$	Festigkeit	1,5
7	Seitliche Böe (Gegenrichtung)	17 % MAC	$\Delta p$	Festigkeit	1,5
8	+2.5g Abfangen	17 % MAC	0	Festigkeit	1,5
9	-1.0g Abfangen	17 % MAC	0	Festigkeit	1,5
10	vertikale Böe	17 % MAC	0	Festigkeit	1,5
11	Seitlich Böe	17 % MAC	0	Festigkeit	1,5
12	Seitliche Böe (Gegenrichtung)	17 % MAC	0	Festigkeit	1,5

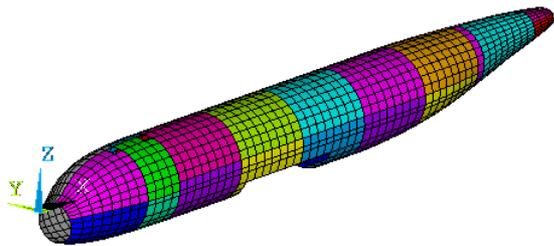


# TRAFUMO Rumpfmodell (in generischer Prozesskette)

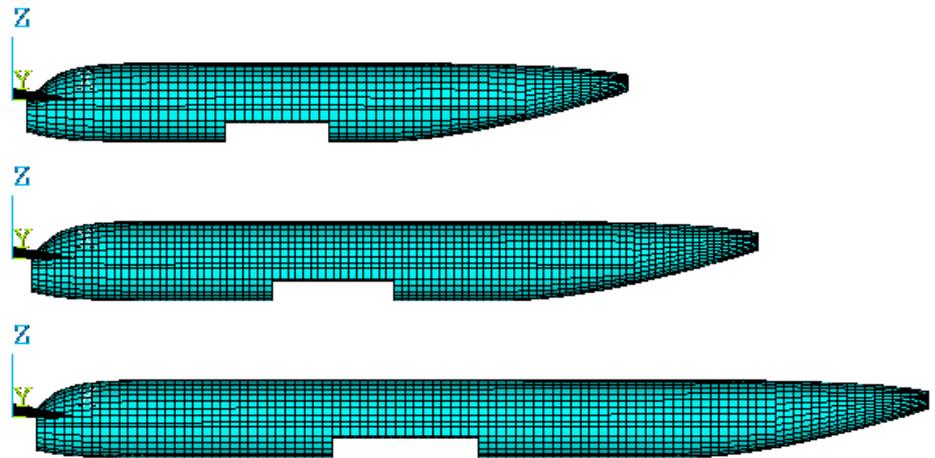
## Schritt 3: Strukturdesign (F-Design, BK)

Automatische, regelbasierte Definition des Strukturbaums im CPACS Datensatz

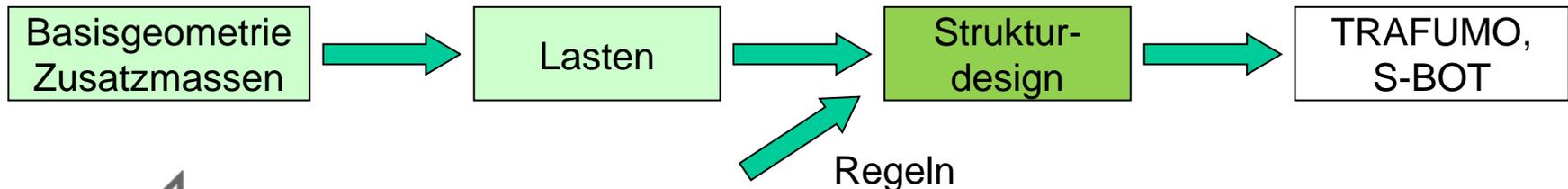
- 'Wingbox'-Position
- Spante (z.B. Spantabstand)
- Stringer (z.B. 'Masterstringer', pitch)
- Panel Verteilung



Beispiel Paneel-Verteilung



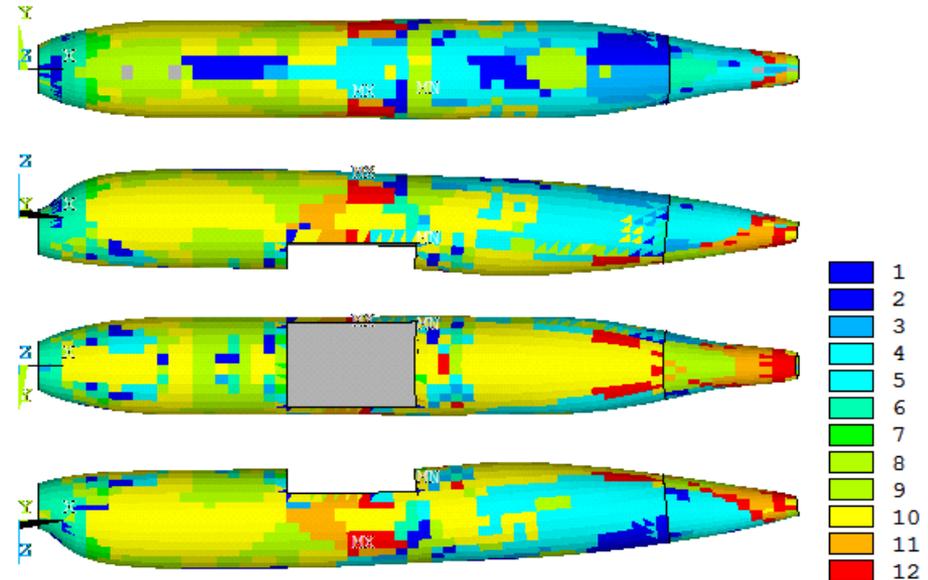
Beispielnetze für D130, D180 und D240



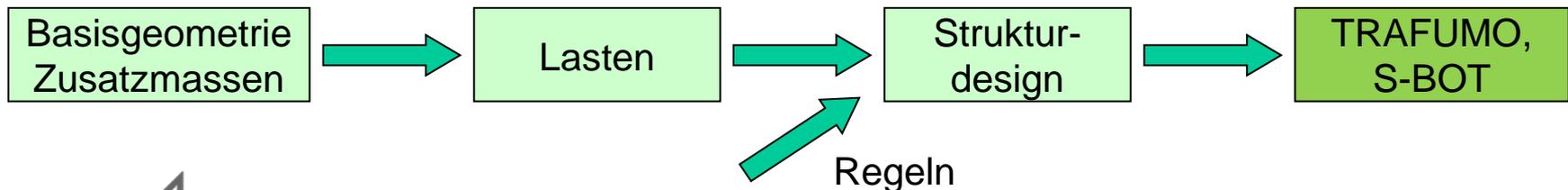
# TRAFUMO Rumpfmodell (in generischer Prozesskette)

## Schritt 4: TRAFUMO / S-BOT

- Modellerstellung (TRAFUMO)
- Dimensionierung (S-BOT)
  - Verteilung der Hautdicken
  - Dicke der Stringer
  - Verteilung der krit. Lastfälle
- Weitere Verbesserungen und Erweiterungen der Modelle erforderlich



Kritische Lastfälle am D130 Beispiel  
(freie Dimensionierung)



# Ausblick

## a.) Vollständige Einbindung in den DLR Vorentwurfsprozess

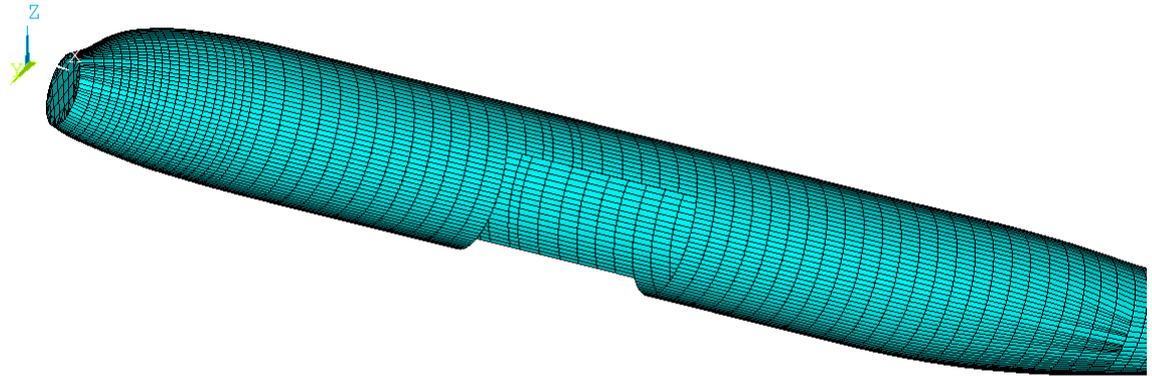
- Einbindung des DLR Lastenprozess
- Auswertung der Masse der Primärstruktur
- Weiterentwicklung hin zu Paneel Optimierungen  
(Eigenschaften und Verteilung der Versteifungsprofile)
- ➔ Strukturoptimierungen im geschlossenen Loop mit anderen Disziplinen  
(MDO / Multi Disziplinäre Optimierung)



# Ausblick

b.) Erweiterung des Rumpfmodells um generischen Flügel-Rumpf Übergang

- Rumpfmodell TRAFUMO  
(starrer Centre Fuselage)



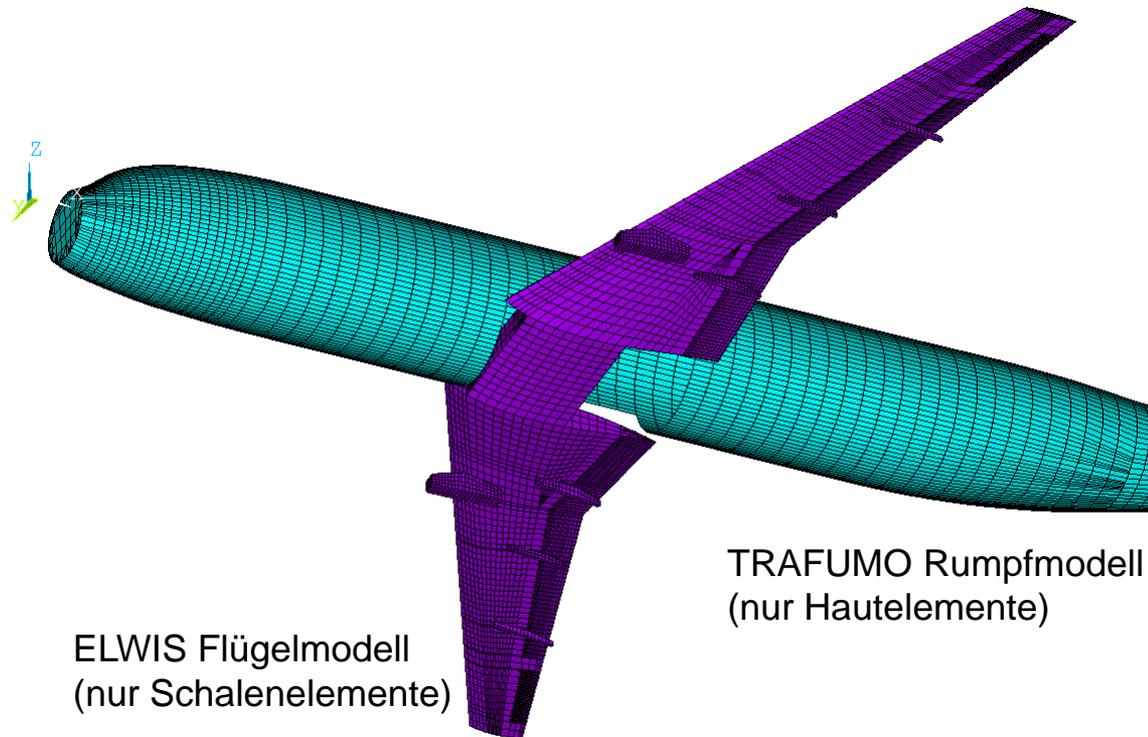
TRAFUMO Rumpfmodell  
(nur Hautelemente)



# Ausblick

b.) Erweiterung des Rumpfmodells um generischen Flügel-Rumpf Übergang

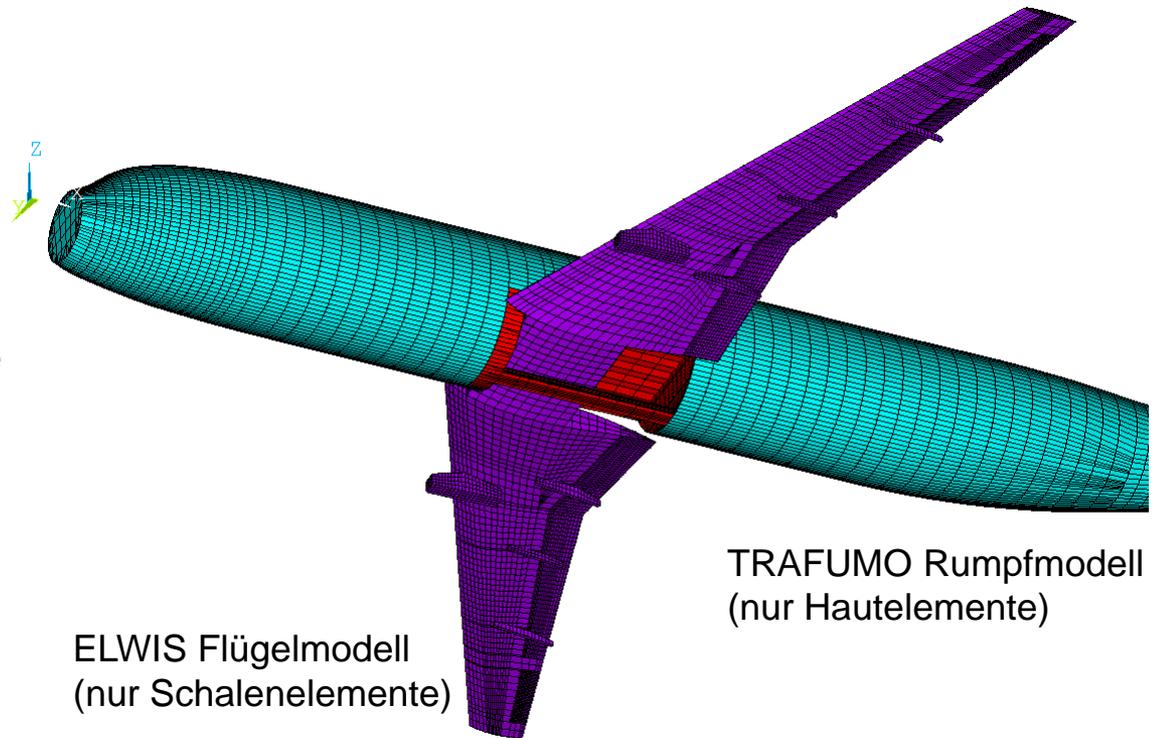
- Rumpfmodell TRAFUMO
- Flügelmodell (DLR-FA, DLR-LY)



# Ausblick

## b.) Erweiterung des Rumpfmodells um generischen Flügel-Rumpf Übergang

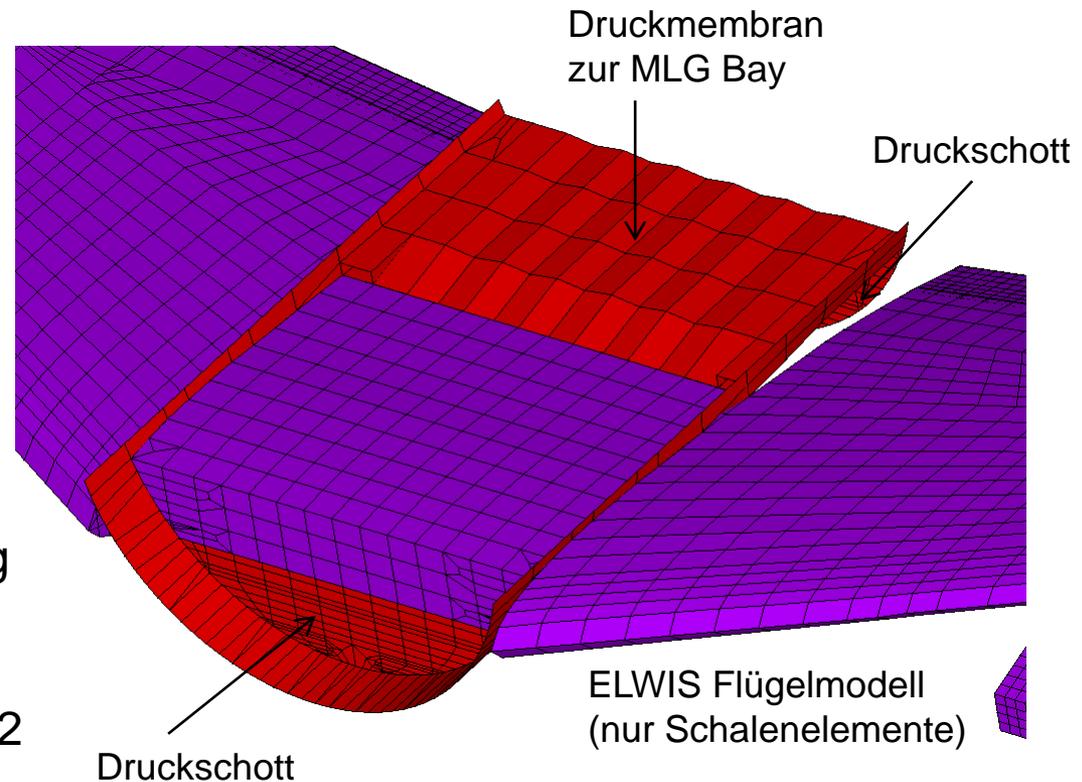
- Rumpfmodell TRAFUMO
- Flügelmodell (DLR-FA, DLR-LY)
- Integration durch parametrisierten Centre-Fuselage
  - Anbindung Rumpf
  - Druckschotte
  - MLG Bay
  - Keelbeam
  - ...



# Ausblick

## b.) Erweiterung des Rumpfmodells um generischen Flügel-Rumpf Übergang

- Integration durch parametrisierten Centre-Fuselage
  - Anbindung Rumpf
  - Druckschotte
  - MLG Bay
  - Keelbeam
  - ...
- Status:
  - Erste manuelle Kopplung
  - Parametrisierung in Vorbereitung
  - Fertigstellung im Q4/2012 erwartet



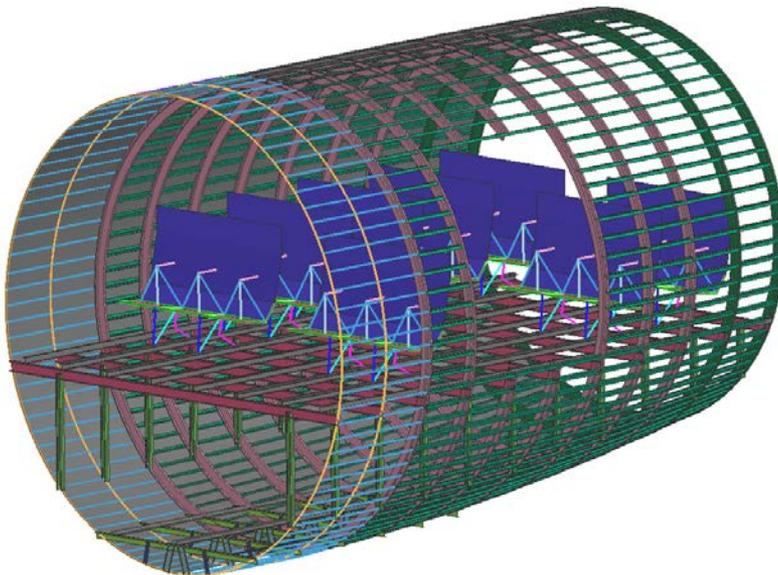
# Ausblick

c.) Partielle Erhöhung der Modellierungseinheit bei identischem Datensatz für:

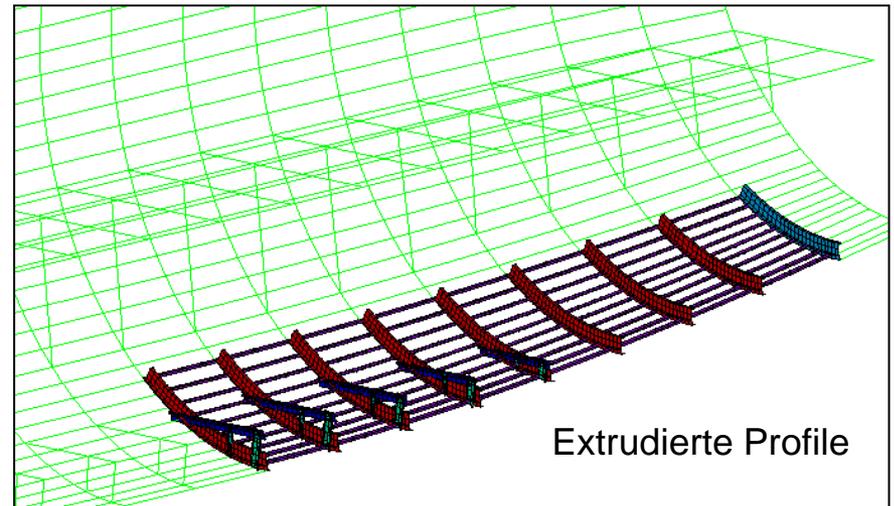
- detaillierte Analysen an Strukturkomponenten
- Crashsimulationen (inkl. Gesamtflugzeug!)
- ...



Source: Airbus



Detailliert modellierte Sektion für Craschanalyse



Kombination aus Balken- und Schalenmodellierung für Rumpferüst



## Maßgeblich beteiligte Kollegen

Klaus Harbig:

Modellgenerator, Prozesskette, Programmierung

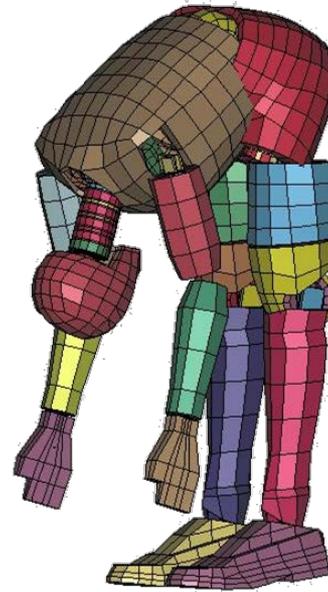
Julian Scherer:

Strukturmechanik, Dimensionierung, Validierung

Dominik Schwinn:

Übergang zu Crashmodellierung

Vielen Dank für Ihre  
Aufmerksamkeit!



Source: CadFEM GmbH

