

# 4a micromec für die integrative Simulation faserverstärkter Kunststoffe

A. Fertschej, B. Jilka, P. Reithofer (4a engineering GmbH)

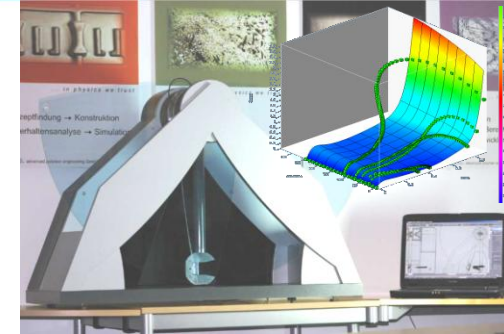
NAFEMS  
Deutschsprachige Konferenz  
Bamberg 2014

NAFEMS  
DEUTSCHSPRACHIGE  
KONFERENZ 2014

Bamberg, Germany  
20-21 May

4a engineering GmbH  
Industriepark 1  
A-8772 Traboch  
reithofer@4a.co.at  
++43 (0) 664 8010 6601

© 4a engineering GmbH, all rights reserved



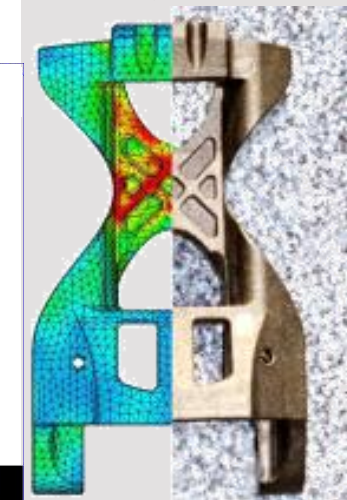
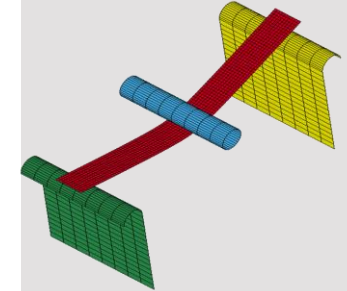
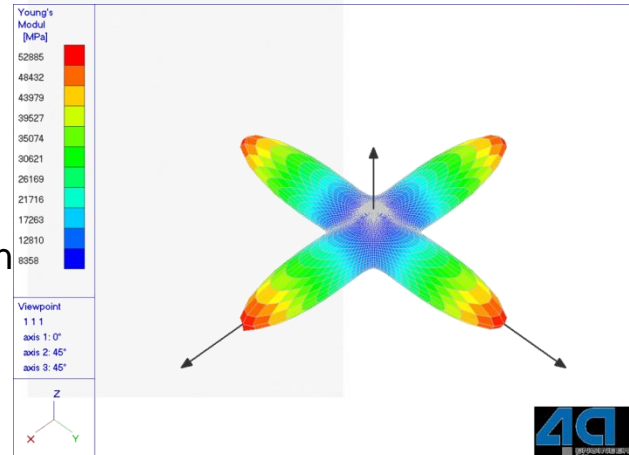
- Gründungsjahr 2002
- F&E - Dienstleistung
- 15 bis 20 Kernkunden
- bisher mehr als 500 Projekte

.. in physics  
we trust

- 45% Automotive
- 15% Luft- und Raumfahrt
- 15% Maschinenbau
- 10% Medizintechnik
- 15% Consumer goods

## ■ Kernkompetenzen

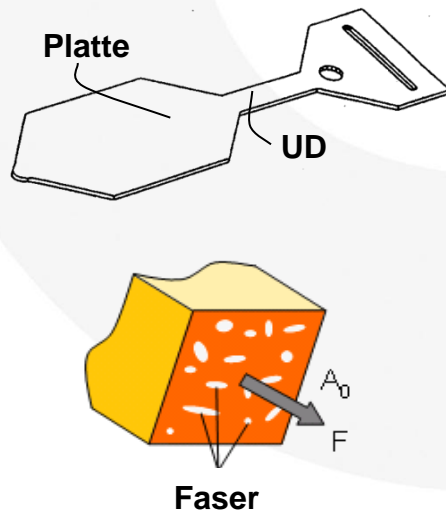
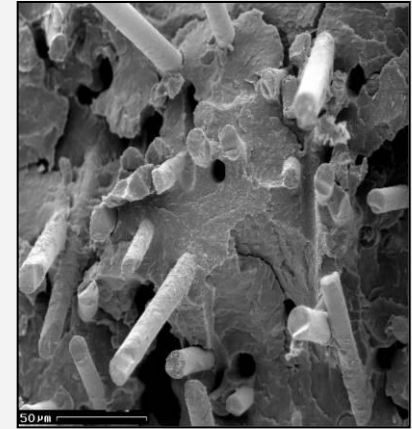
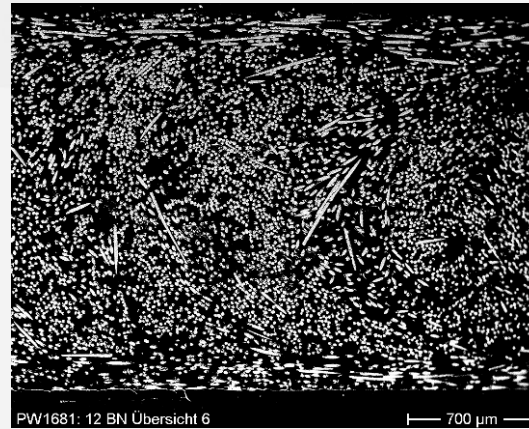
- Kunststoff- und Werkstoffwissenschaften
- Numerische Simulationsmethoden
- Leichtbau und Faserverbundwerkstoffe
- Methodenentwicklungskompetenz



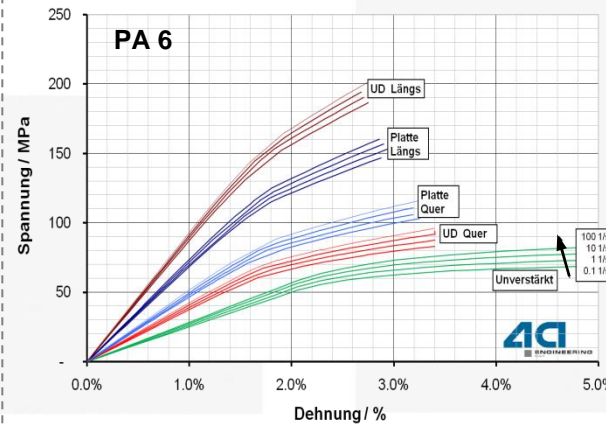
Wesentliche Einflussgrößen sind Fasergehalt und -form. Mit steigendem Fasergehalt steigt der Einfluss der Orthotropie und sinkt der anteilige matrixbedingte Einfluss der Dehnrates.

Werkstoffverhalten ist

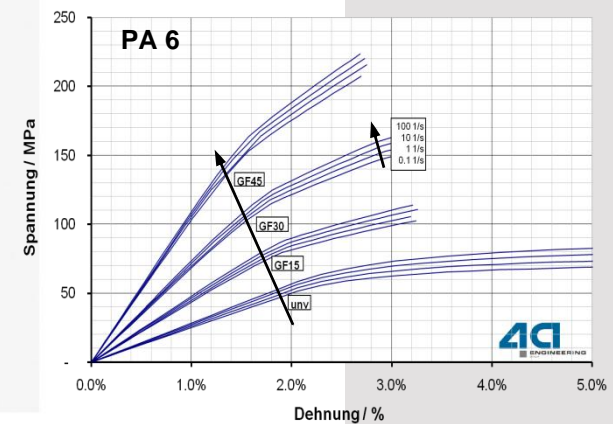
- orthotrop
- viskoelastisch
- viskoplastisch



### Einfluss der Faserorientierung

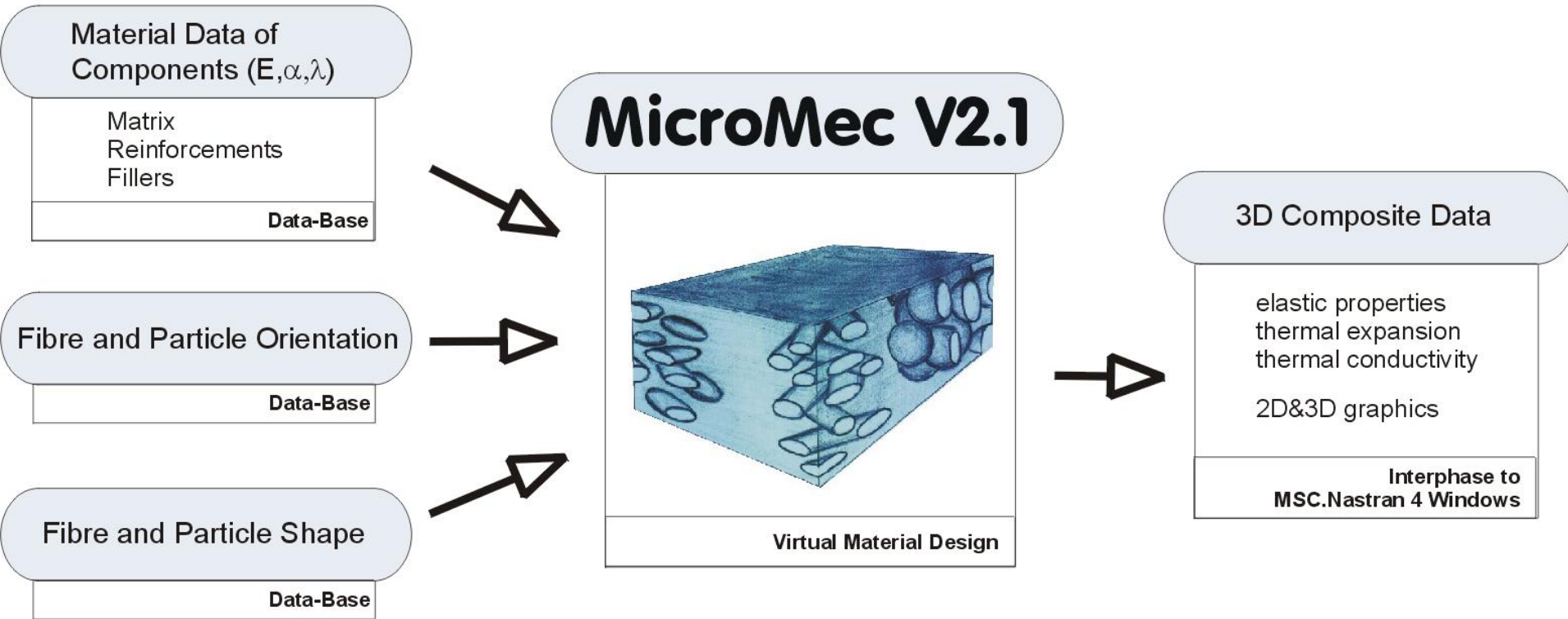


### Einfluss des Fasergehaltes



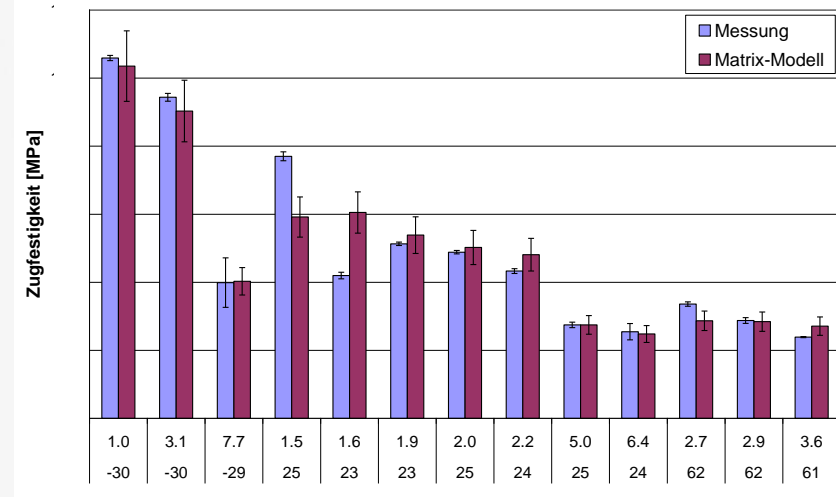
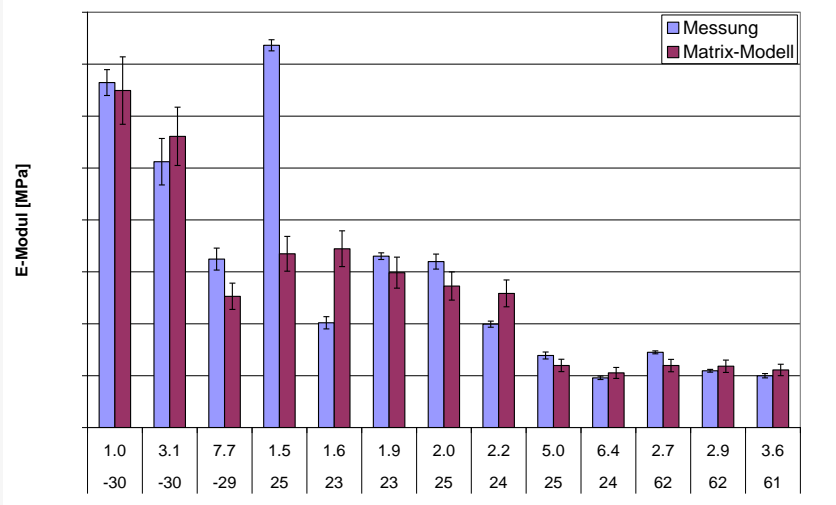
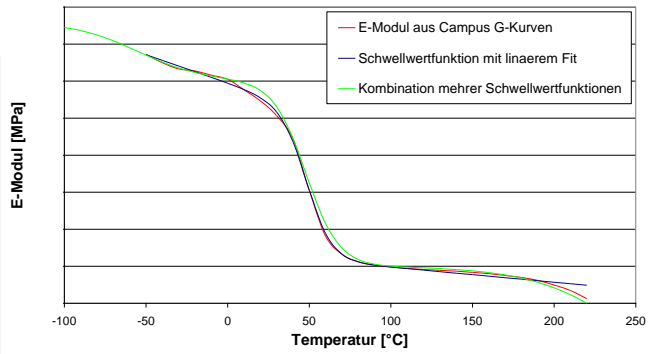
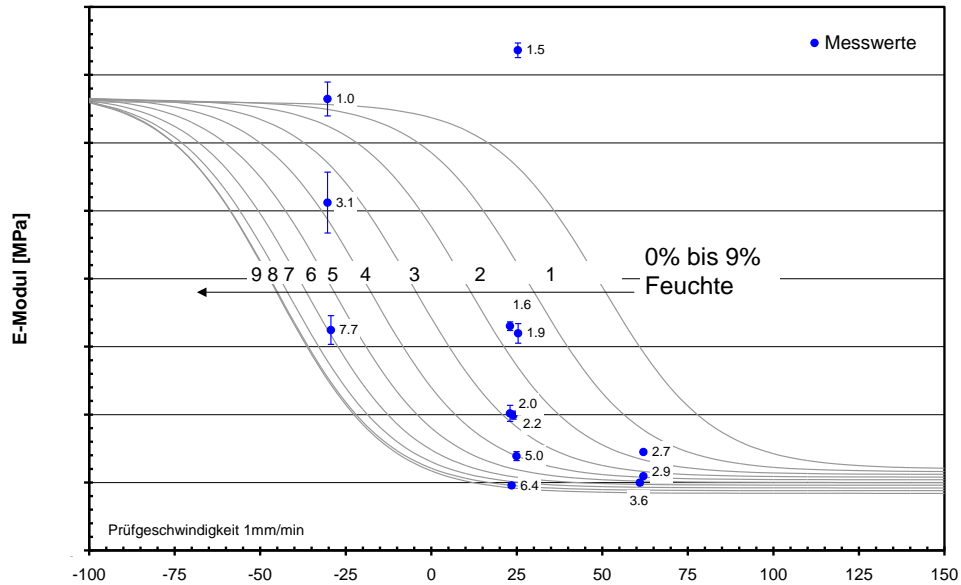
## Input

## Output



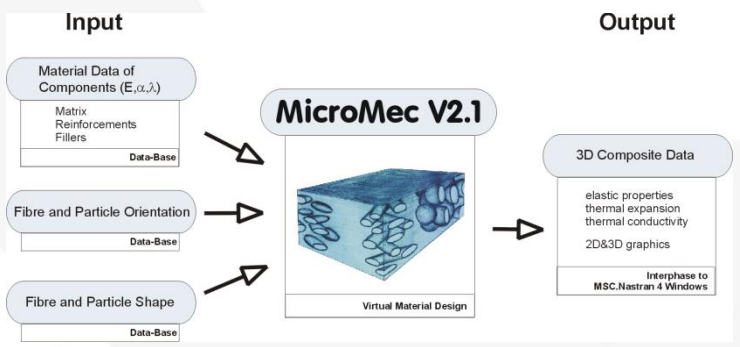
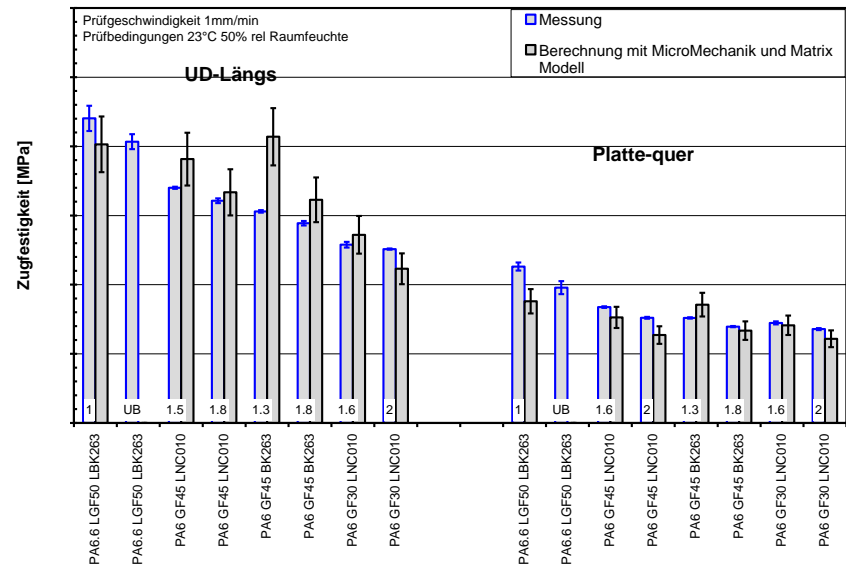
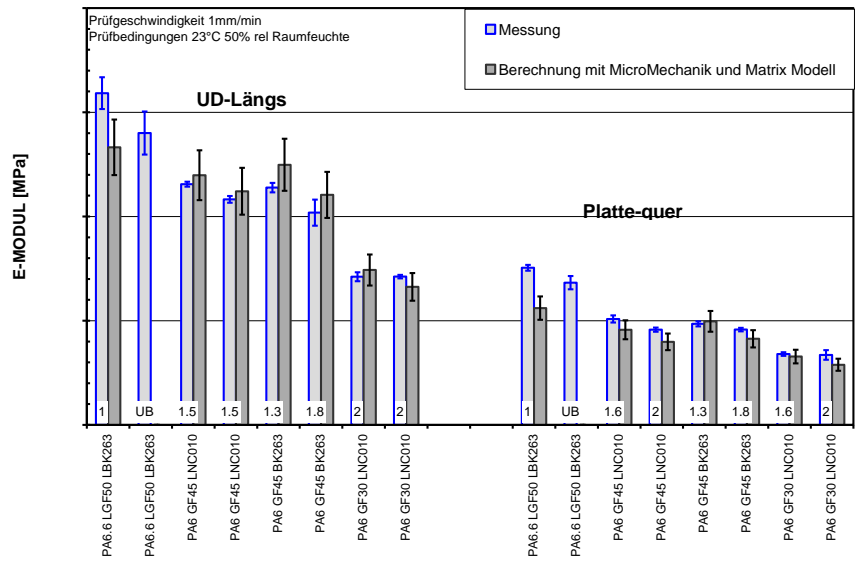
- Anwendung von SFRT, LFRT, CFK, GFK, ....
- Stand-Alone-Lösung verfügbar (3D thermoelastische Eigenschaften)
- User Material (orthotrop elastisch viskoplastisch mit Versagen)

© 4a engineering GmbH, all rights reserved



# Materialmodell / Mikromechanik

## Materialeigenschaften verstärktes Material



Define 3D Anisotropic Material

ID: 44469 Title: Color: 104 Palette: Layer: 1 Type: ...

XX	YY	ZZ	XY	YZ	ZX
7887.429	2380.418	3253.904	1464.518	-51.3963	-20.73793
	3754.206	2079.238	318.1451	-6.449008	-3.567556
		8762.947	506.7255	-64.23169	-30.65177
			1550.157	-21.89725	-9.113713
				2527.379	547.52
					1258.131

Elastic Matrix (G)

Coefficient of Thermal Expansion (A)

3.27642E-5	9.20261E-5	2.22081E-5	2.86132E-5	2.62777E-7	-3.6081E-7
------------	------------	------------	------------	------------	------------

Thermal Conductivity (k)

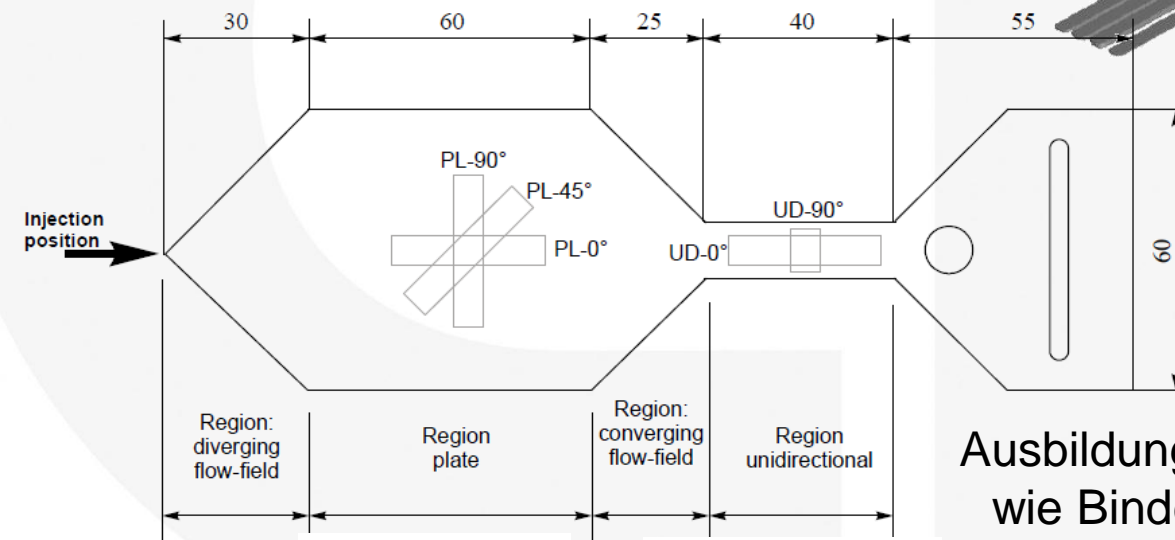
0	0	0	0	0	0
---	---	---	---	---	---

Spec Ht: 0 Mass Density: 1.514413 Damping: 0 Ref Temp: 0

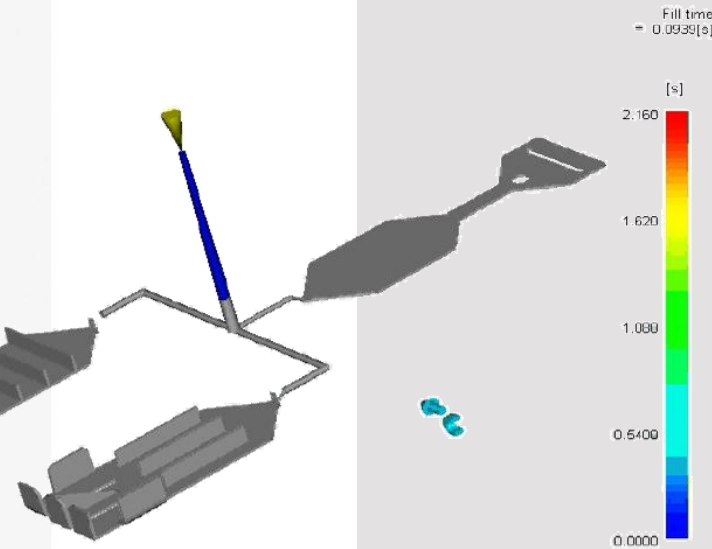
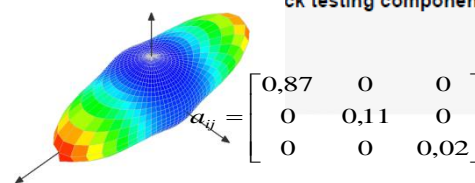
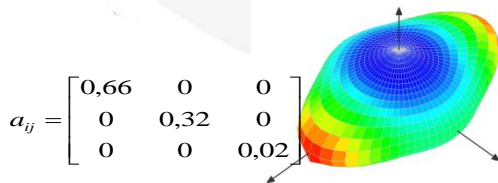
Spritzgusssimulationen bieten die Möglichkeit den Herstellprozess hinsichtlich

- Füll-, Druck- und Temperaturverhalten
- Schwindung und Verzug
- Kühlung
- Anisotropie (Bindenähte und Faserorientierung)

zu untersuchen.



Ausbildung unterschiedlicher Anisotropien wie Bindenähte oder Faserorientierung



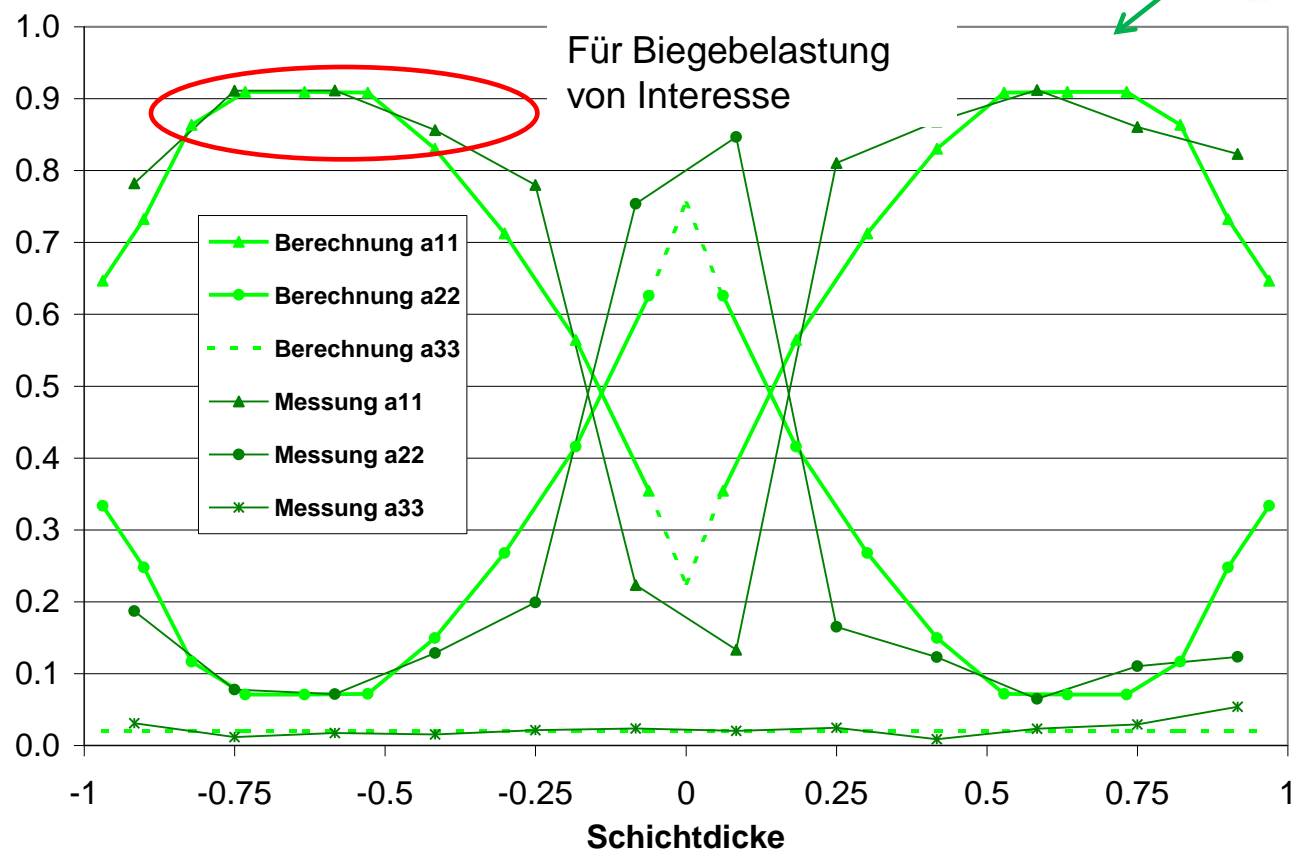
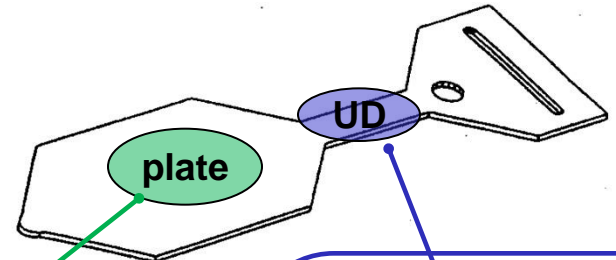
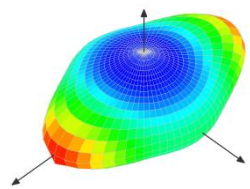
# Prozesssimulation

## Faserorientierung in typischen Bereichen



Mittlere FO in Tensorform

$$a_{ij} = \begin{bmatrix} 0,66 & 0 & 0 \\ 0 & 0,32 & 0 \\ 0 & 0 & 0,02 \end{bmatrix}$$



Profil über der Dicke

Mittlere FO in Tensorform

$$a_{ij} = \begin{bmatrix} 0,87 & 0 & 0 \\ 0 & 0,11 & 0 \\ 0 & 0 & 0,02 \end{bmatrix}$$



# Integrative Simulation – 4a fibermap

## Mapping

Fibermap ver 3.0 alpha

C:\ Workingdirectory

Material Card new | Moldflow Interface | Mapping fiber orientation | Output

Reference System Injection Modling

Node 1 (origin)  
X: 0 Y: 0 Z: 0

Node 2 (x-axis)  
X: 1 Y: 0 Z: 0

Node 3 (xy-plane)  
X: 0 Y: 1 Z: 0

Reference System Structural

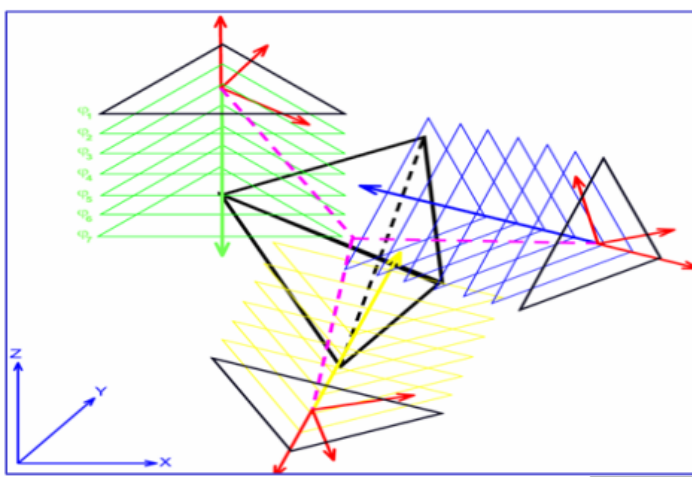
Node 1 (origin)  
X: 0 Y: 0 Z: 0

Node 2 (x-axis)  
X: 1 Y: 0 Z: 0

Node 3 (xy-plane)  
X: 0 Y: 1 Z: 0

averaging methods  
elements: min: 3 max: 5  
method: 1: simple  
avg.cut. distance (mm): 0.1

search options  
start search diameter (mm): 0.1  
max search iterations: 10



No FEM-file selected FEM File

No SGS-file selected

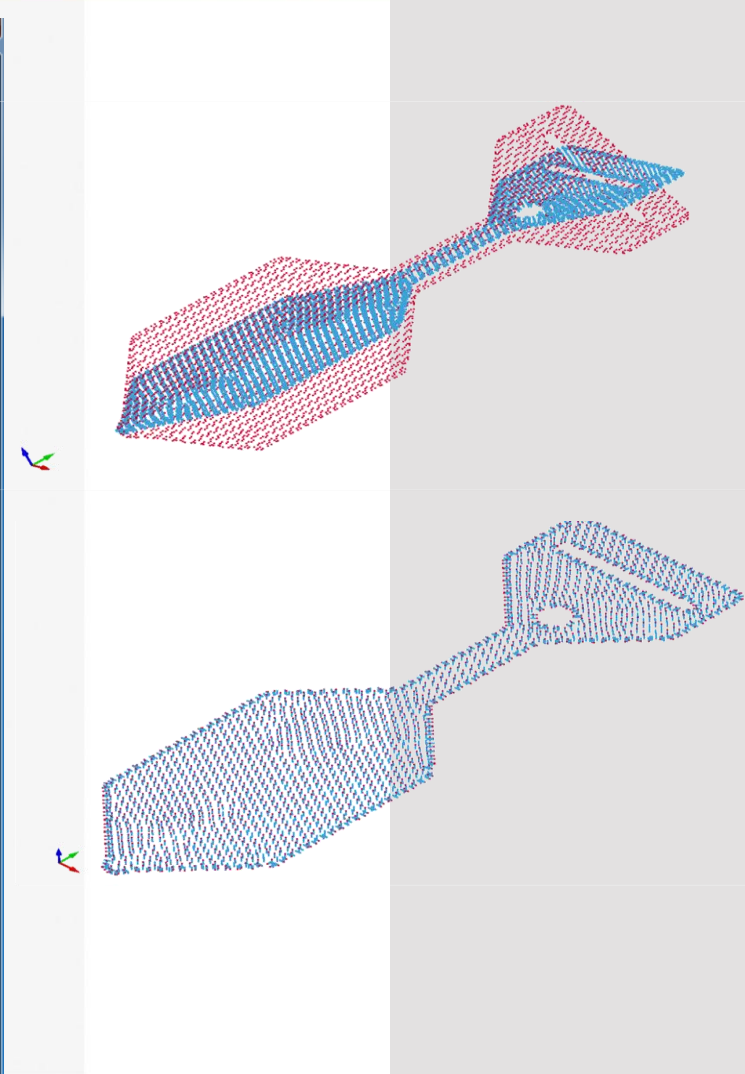

3DFO

Direkt Moldflow Interface  SGS File

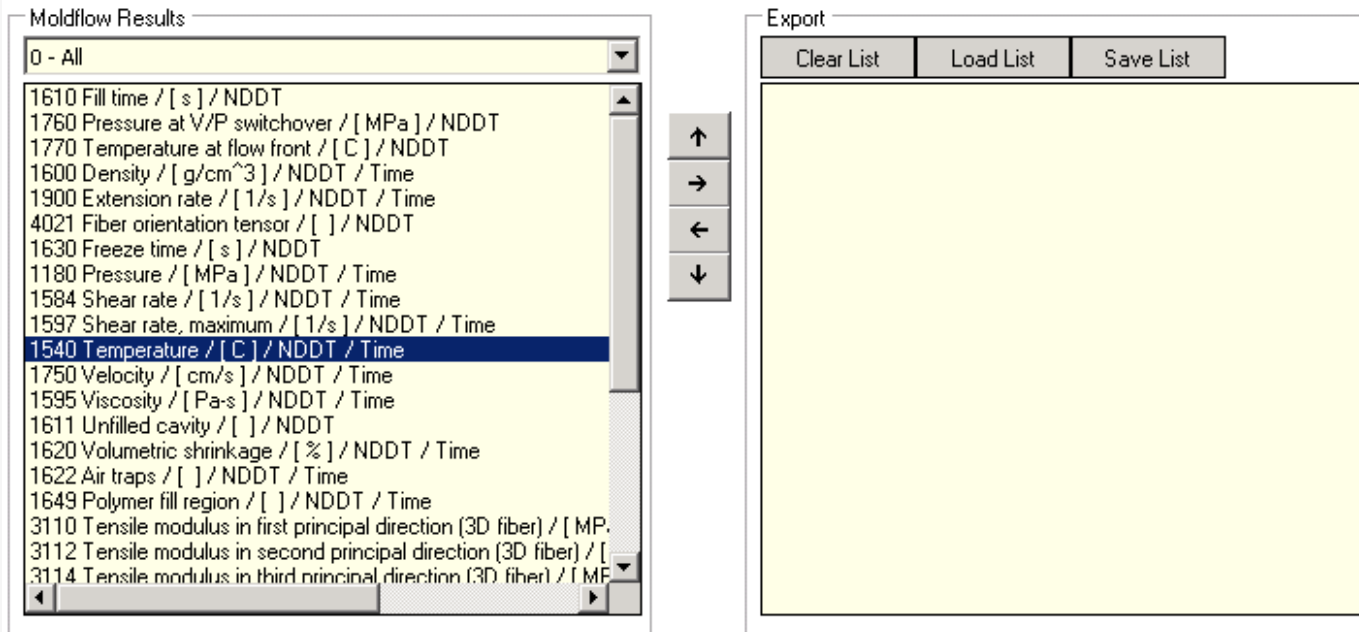
SGS File

3DFO  BEF

Get reference systems | Check reference systems | Start Mapping

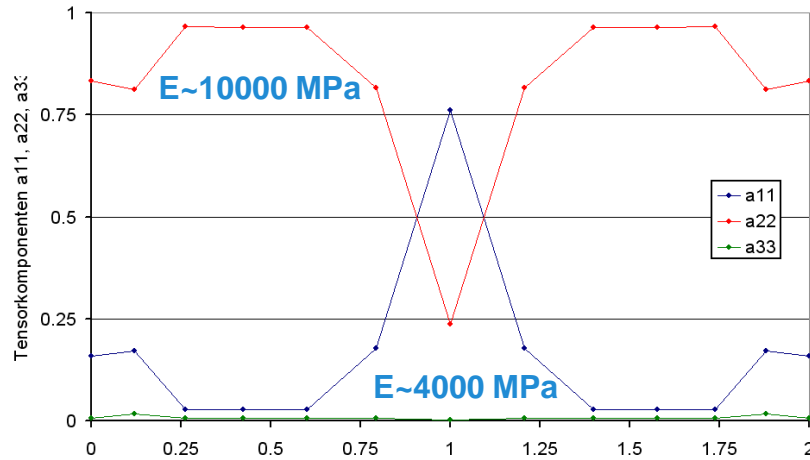


### ➤ Schnittstellen zu Moldflow und Moldex

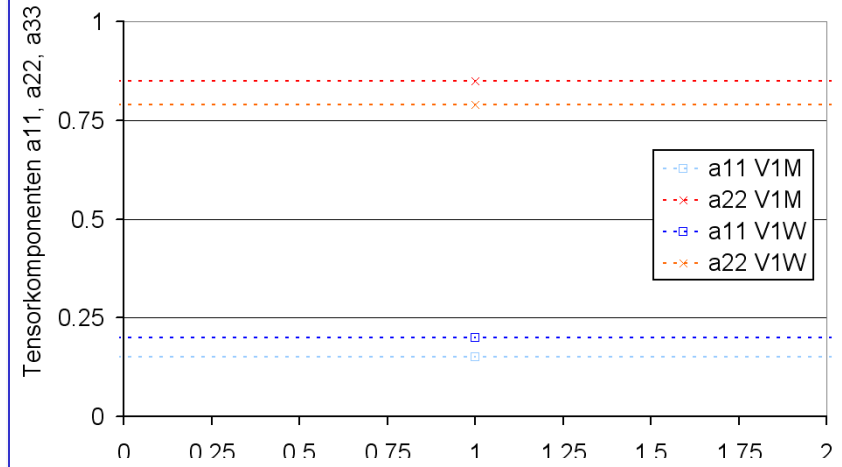


### ➤ Ausgabe individuell einstellbar

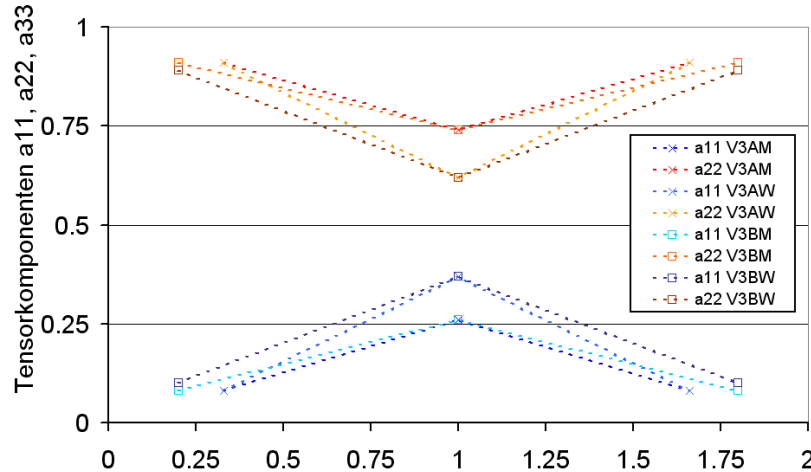
- Faserorientierung → Usermaterial
- Inputdecks z.B. Nastran, LSDYNA



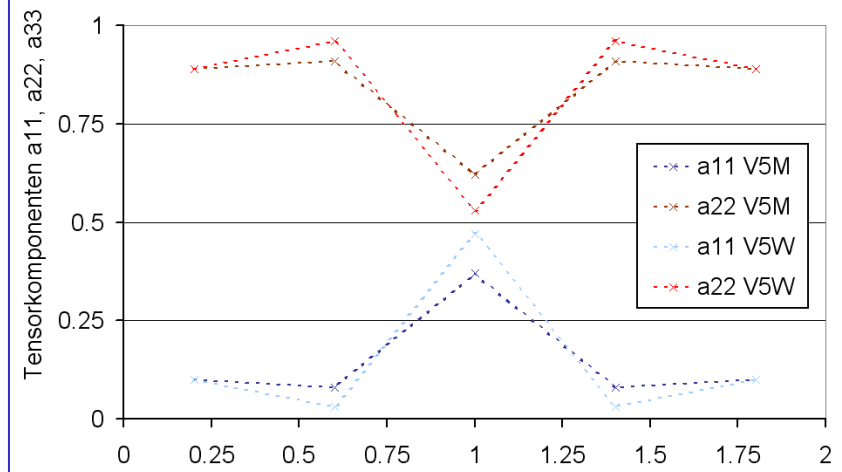
**Result injection process simulation**



**Only 1 material point over wall thickness**



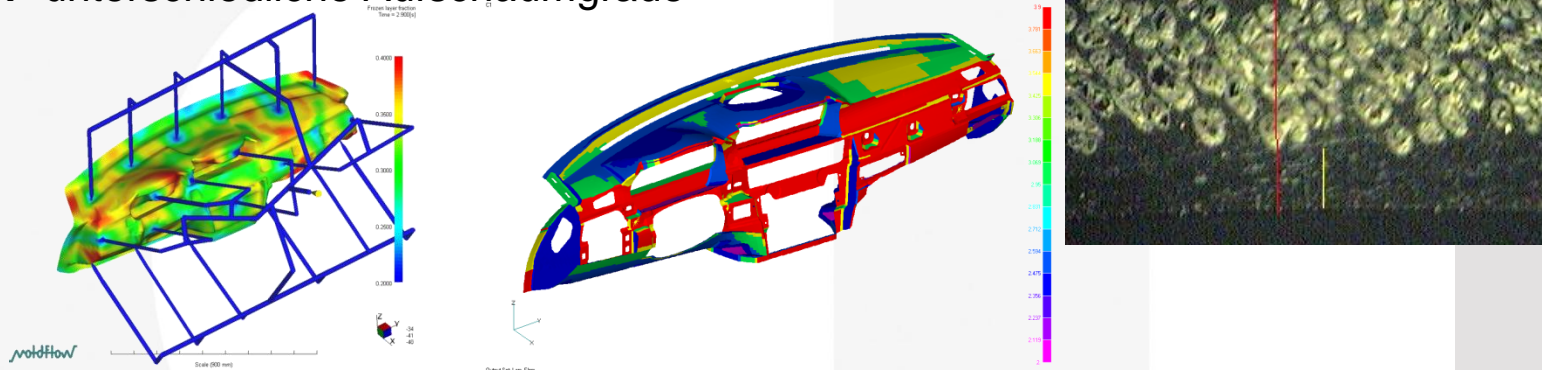
**3 material points over wall thickness**



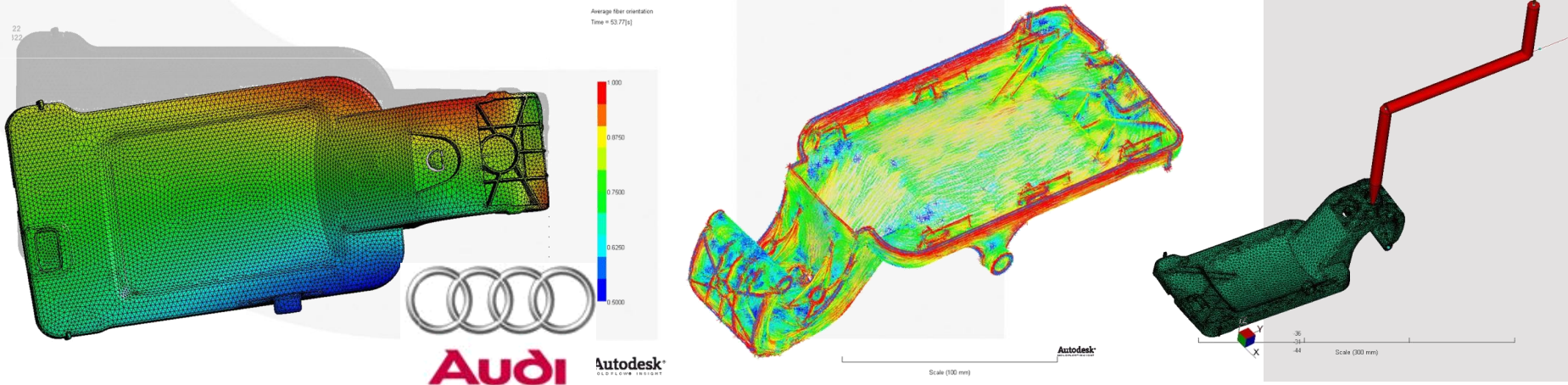
**5 material points over wall thickness**

- **Ohne integrative Simulation**
  - isotrop elastisches Materialverhalten
  - Herstellerdaten (Extremwert)
  - Messdaten (Extremwerte, Mittelung)
- **Integrative Simulation - Schnittstellenthematik**
  - orthotrop elastisches Materialverhalten
  - Materialverhalten aus Prozesssimulation (Moldflow, Moldex, ....)  
einfache Mischungsansätze
  - Schnittstellen zu [Nastran](#), Ansys, Abaqus, [LS-DYNA](#)
- **Komplexe integrative Simulation - USERMATERIAL**
  - Benutzerdefiniertes Material integriert in Solvern wie Abaqus, [LS-DYNA](#), Ansys, Pam-Crash
  - Faserorientierung aus der Prozesssimulation  
Basis für die Mikromechanik

- **I-Tafel (KGF + Integralschaum)**
  - Anisotropie aufgrund Faserorientierung
  - unterschiedliche Randschichtdicken
  - unterschiedliche Aufschäumgrade



- **Tankklappe (KGF) → Anisotropie aufgrund Faserorientierung**



# Integrative Simulation

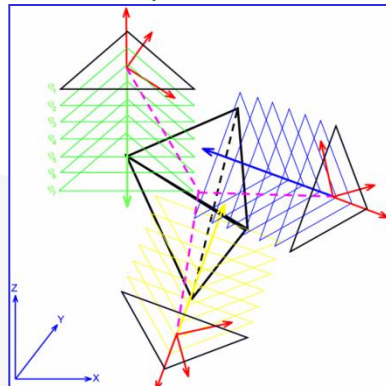
## Ablaufschema Schnittstelle Nastran

Windows basierend

SGS-Simulation  
MPI Fusion

Füllung berechnet

Orientierung



Mapping

Koordinatentransformation

Mapping der Orientierung

Erstellung der Properties

Nastran Inputdeck  
Mittelfläche

Das **Mittelflächenmodell** beinhaltet  
**GRID, CTRIA3, CQUAD4, PSHELL**  
→ wird eingelesen  
der Rest wird ignoriert.

Anpassung des Nastranfiles auf  
Basis der Mapping Resultate

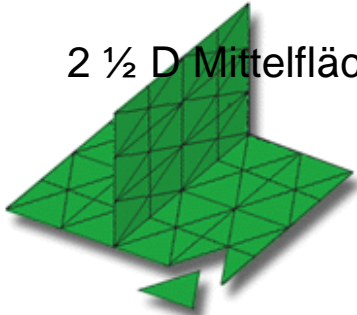
**(PCOMPS)**

Berechnung

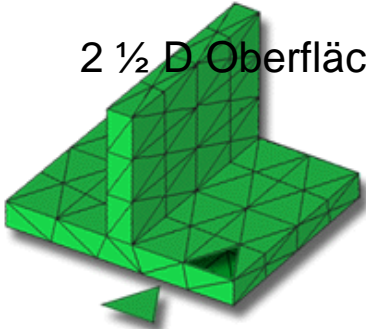
Ergebnisse

### SG-Simulation:

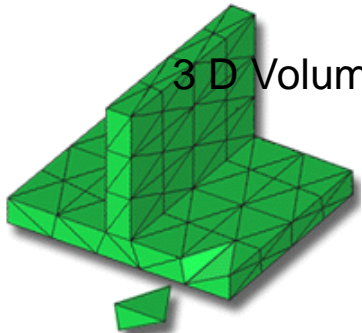
2 ½ D Mittelfläche



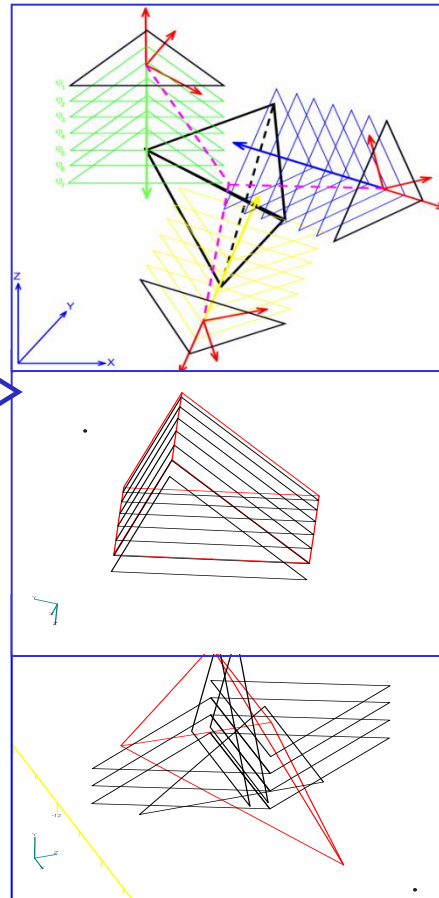
2 ½ D Oberfläche



3 D Volumen

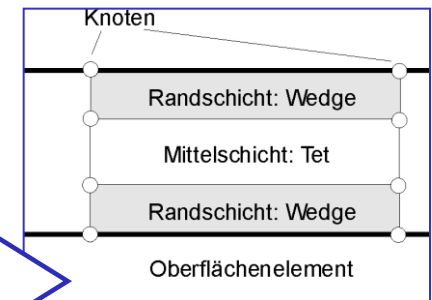


### 4a virtual fibermapping

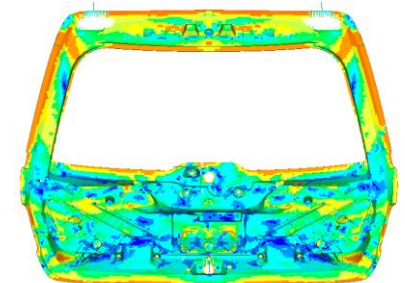


### Struktursimulation

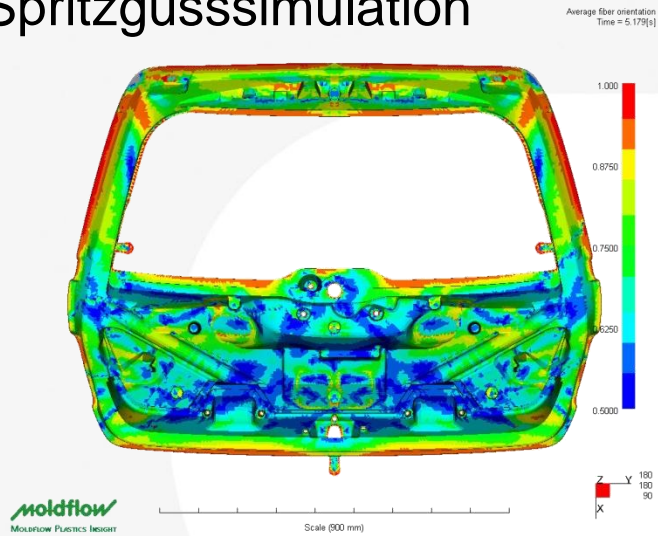
Modellierung muss  
FO Verteilung repro-  
duzieren können



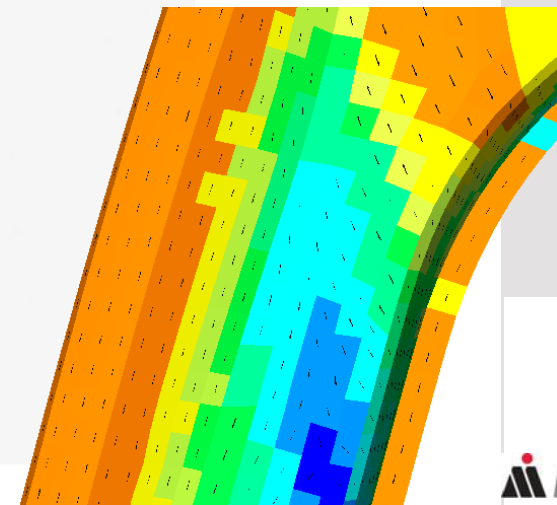
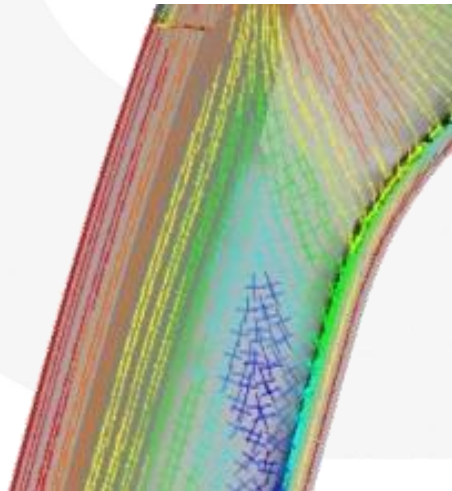
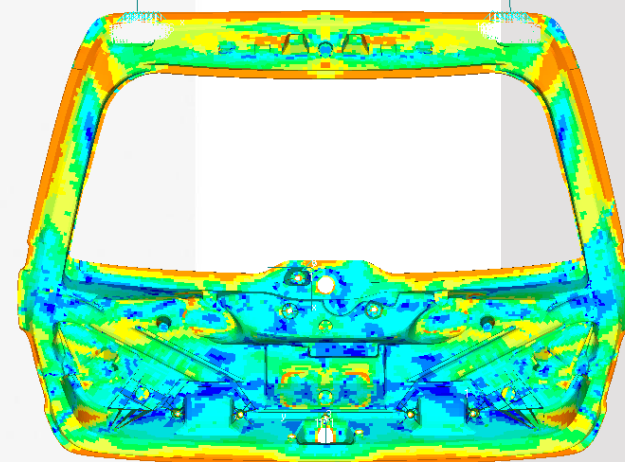
Beispiele für übertragene Faserorientierung:



### Spritzgussimulation



### gemappt in Struktursimulation

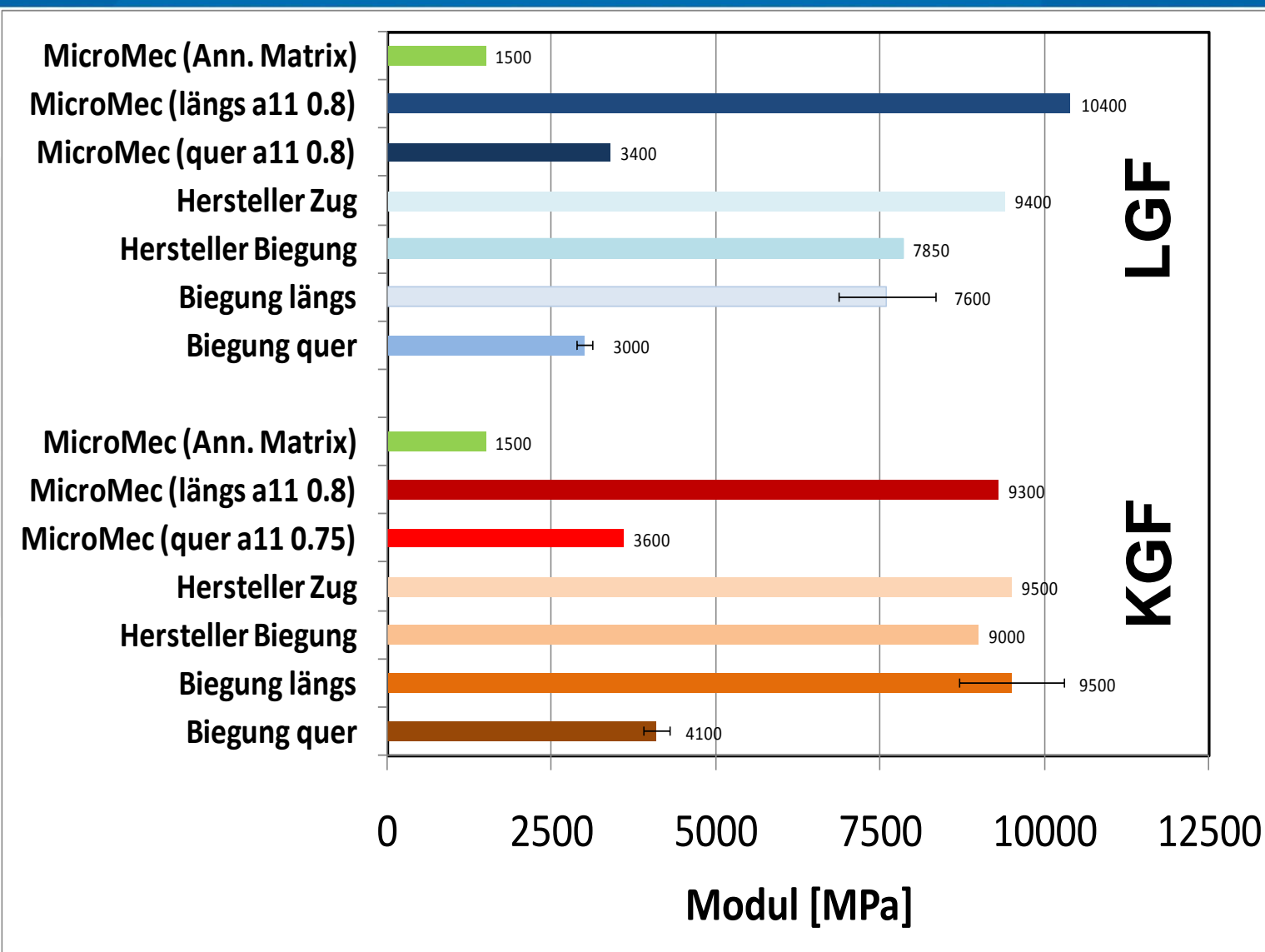


© 4a engineering GmbH, all rights reserved



# Integrative Simulation – Fallbeispiel Heckklappe

## Vergleich Messung, Herstellerdaten, Mikromechanik



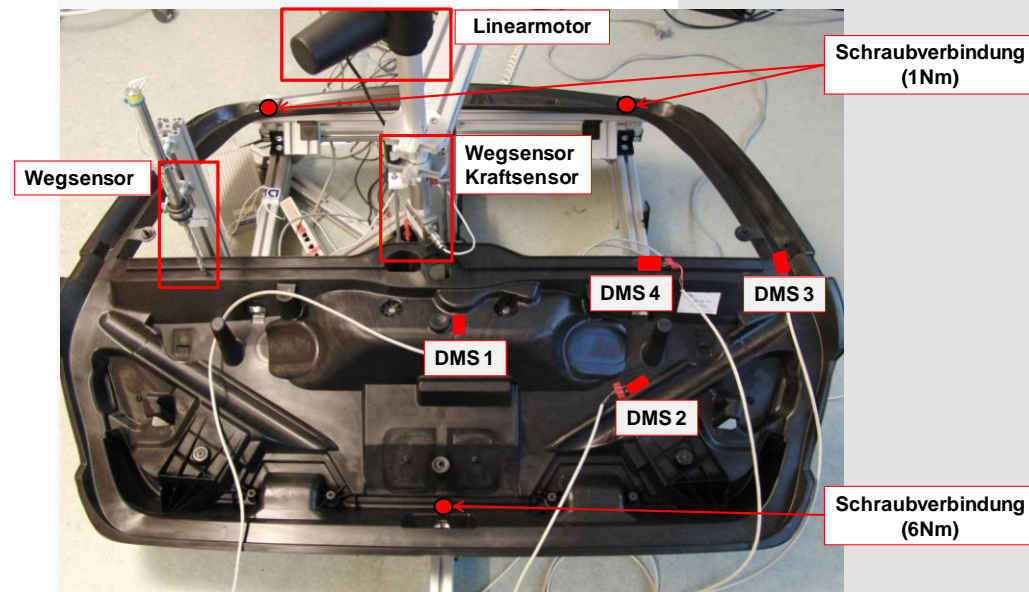
### Eigenfrequenz

Messung der Eigenfrequenz mit Hilfe eines Exzentrers



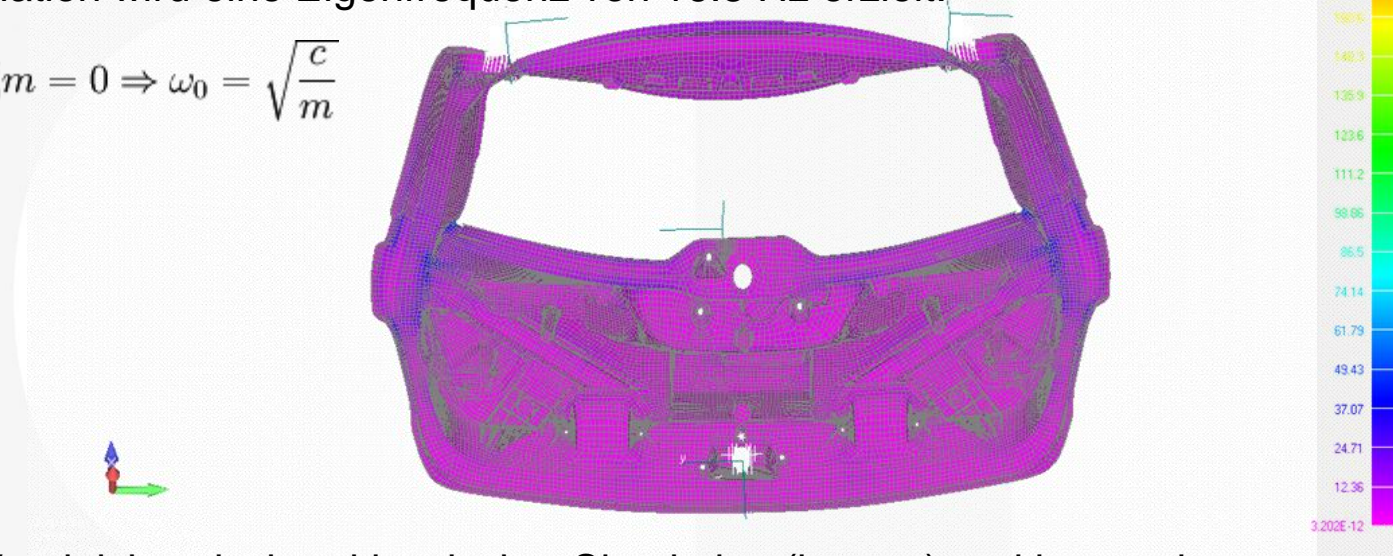
### Bauteilsteifigkeit

Überprüfung der Bauteilsteifigkeit für die Lastfälle Biegung und Torsion



- Die Messung ergab eine 2. Eigenfrequenz von  $16.7 \pm 0.4$  Hz. Unter Berücksichtigung der Faserorientierung mit Hilfe der integrativen Simulation wird eine Eigenfrequenz von 16.8 Hz erzielt.

$$c - \omega_0^2 m = 0 \Rightarrow \omega_0 = \sqrt{\frac{c}{m}}$$

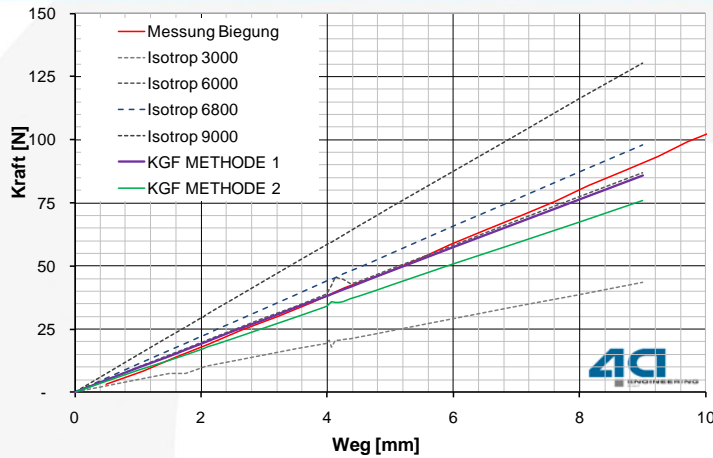


- Ein Vergleich zwischen klassischer Simulation (isotrop) und integrativer Simulation zeigt bei Steifigkeitsbetrachtung das mögliche Fehlerpotential für dieses Bauteil bei Vernachlässigung der Anisotropie.

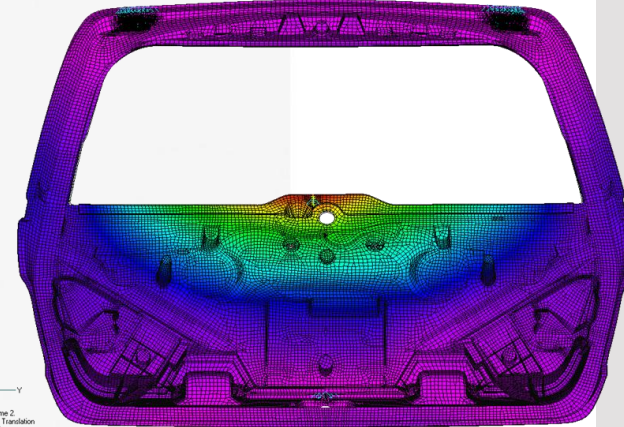
Eigenfreq.	ISO3000	ISO6000	ISO6800	ISO9000	KGF RAND	KGF_AVG
1	52%	105%	118%	157%	95%	100%
2	47%	94%	106%	141%	87%	100%
3	50%	99%	112%	149%	96%	100%
4	47%	94%	106%	141%	92%	100%

# Integrative Simulation – Fallbeispiel Heckklappe

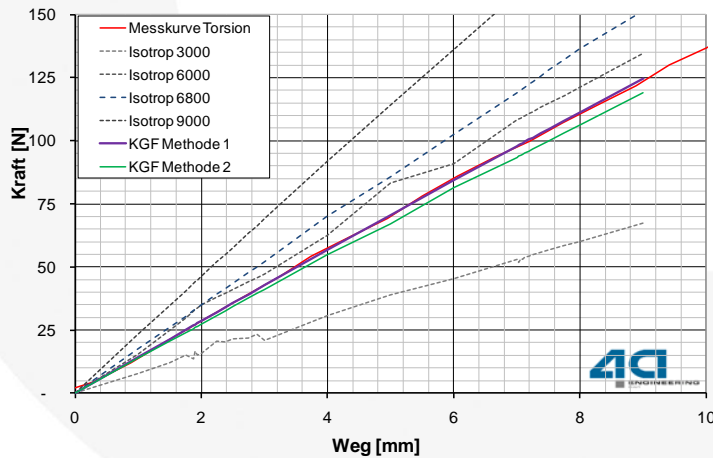
## Struktursimulation Bauteilsteifigkeit



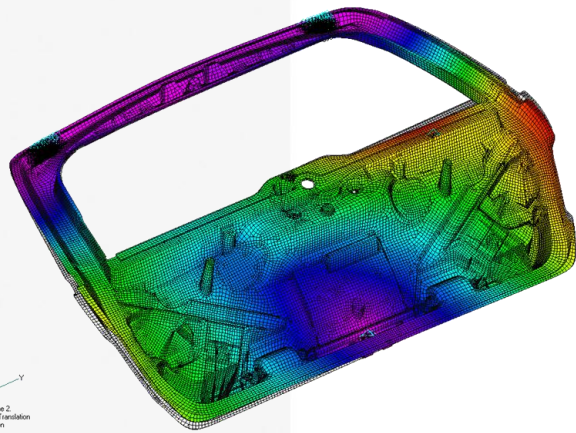
Output Set: Case 55 Time 2  
Deformed: [38.01] Total Translation  
Contour: Total Translation



Biegung



Output Set: Case 41 Time 2  
Deformed: [37.89] Total Translation  
Contour: Total Translation



Torsion

- Für beide Lastfälle kann die Methode der Integrativen Simulation die Bauteilsteifigkeit sehr gut abbilden.
- Ohne nähere Kenntnis zu anisotropem Materialverhalten kann eine isotrope Beurteilung extrem fehlerbehaftet sein.

# Integrative Simulation – Fallbeispiel Tankklappe

## Idealisierung

### Moldflow

Dual Domain: 60160 Elemente

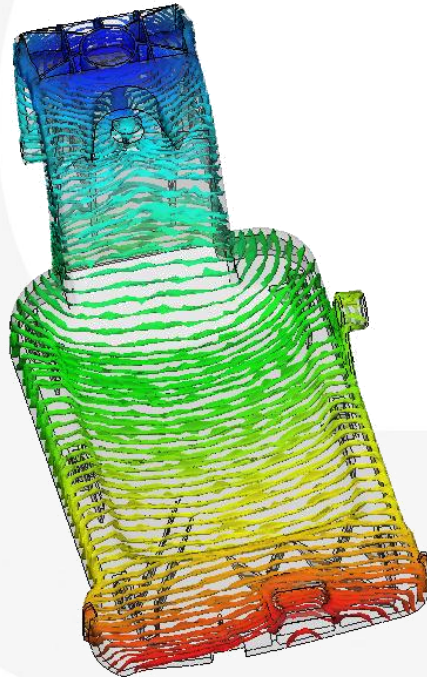
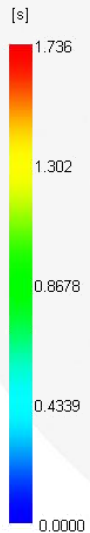
Solid: 940.187 Elemente

### LS DYNA

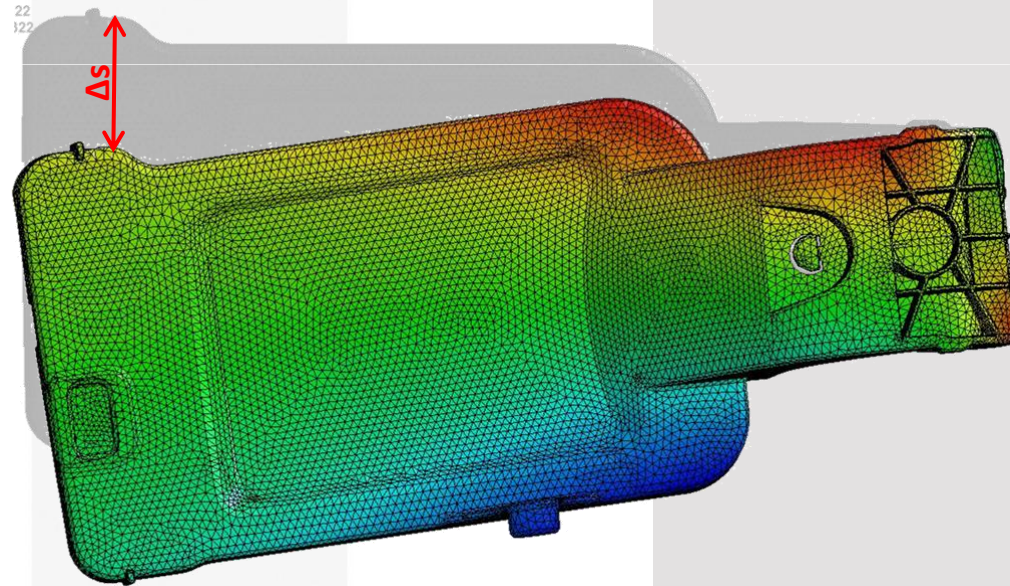
TET 10

Elementanzahl: 206.142

Fill time  
= 1.736[s]



Scale (100 mm)



Lastfall Biegung



**Audi**

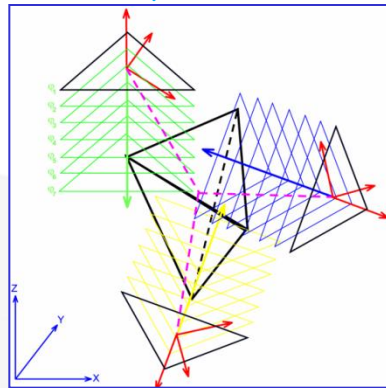
© 4a engineering GmbH, all rights reserved

### Windows basierend

SG-Simulation  
MPI Fusion

Füllung berechnet

Orientierung



Mapping

Koordinatentransformation

Mapping der Orientierung

Erstellung der Properties

LS-DYNA Inputdeck  
Solidmesh

Einlesen der Netzinformationen  
→ Schwerpunkt

Anpassung des Inputdecks  
auf Basis der Mapping  
Resultate (**Property,**  
**Elementorientierung**)

Berechnung

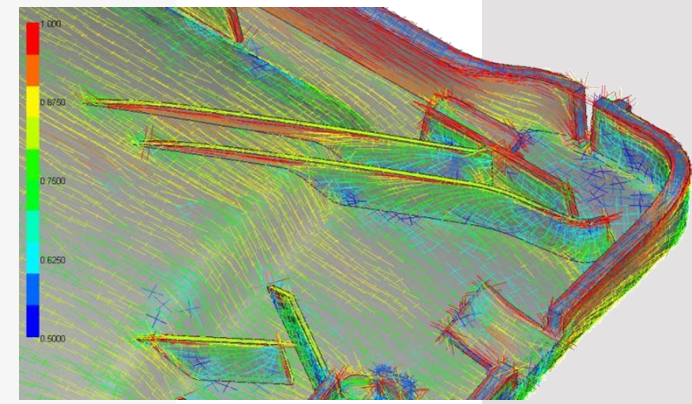
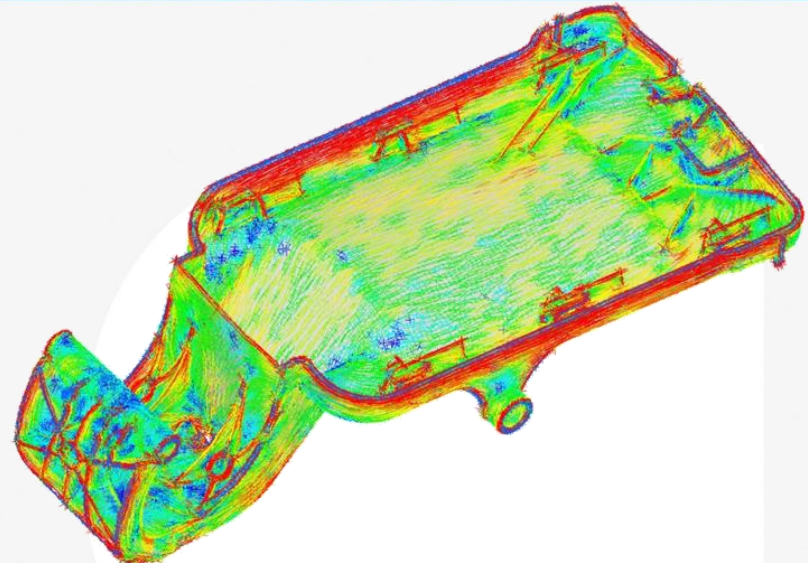
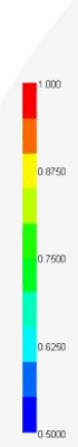
Ergebnisse



# Integrative Simulation – Fallbeispiel Tankklappe

## Mapping - Vergleich Strömungs- mit Struktursimulation

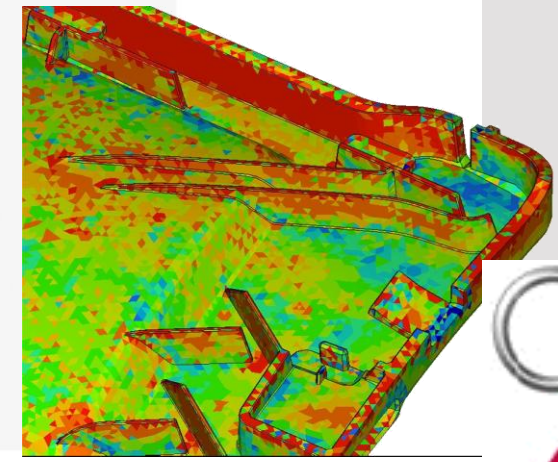
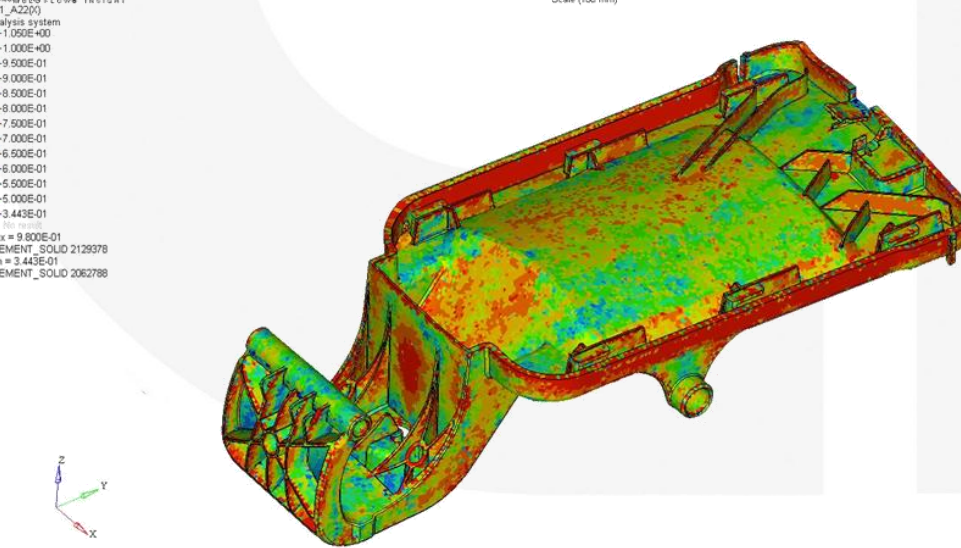
Average fiber orientation  
Time = 53.77[s]



a11 Strömungssimulation

Autodesk

Contour Plot  
A11\_A22(°)  
Analysis system  
-1.050E+00  
-1.000E+00  
-9.500E-01  
-9.000E-01  
-8.500E-01  
-8.000E-01  
-7.500E-01  
-7.000E-01  
-6.500E-01  
-6.000E-01  
-5.500E-01  
-5.000E-01  
-3.443E-01  
300 result  
Max = 9.800E-01  
ELEMENT\_SOLID 2129378  
Min = 3.443E-01  
ELEMENT\_SOLID 2062788

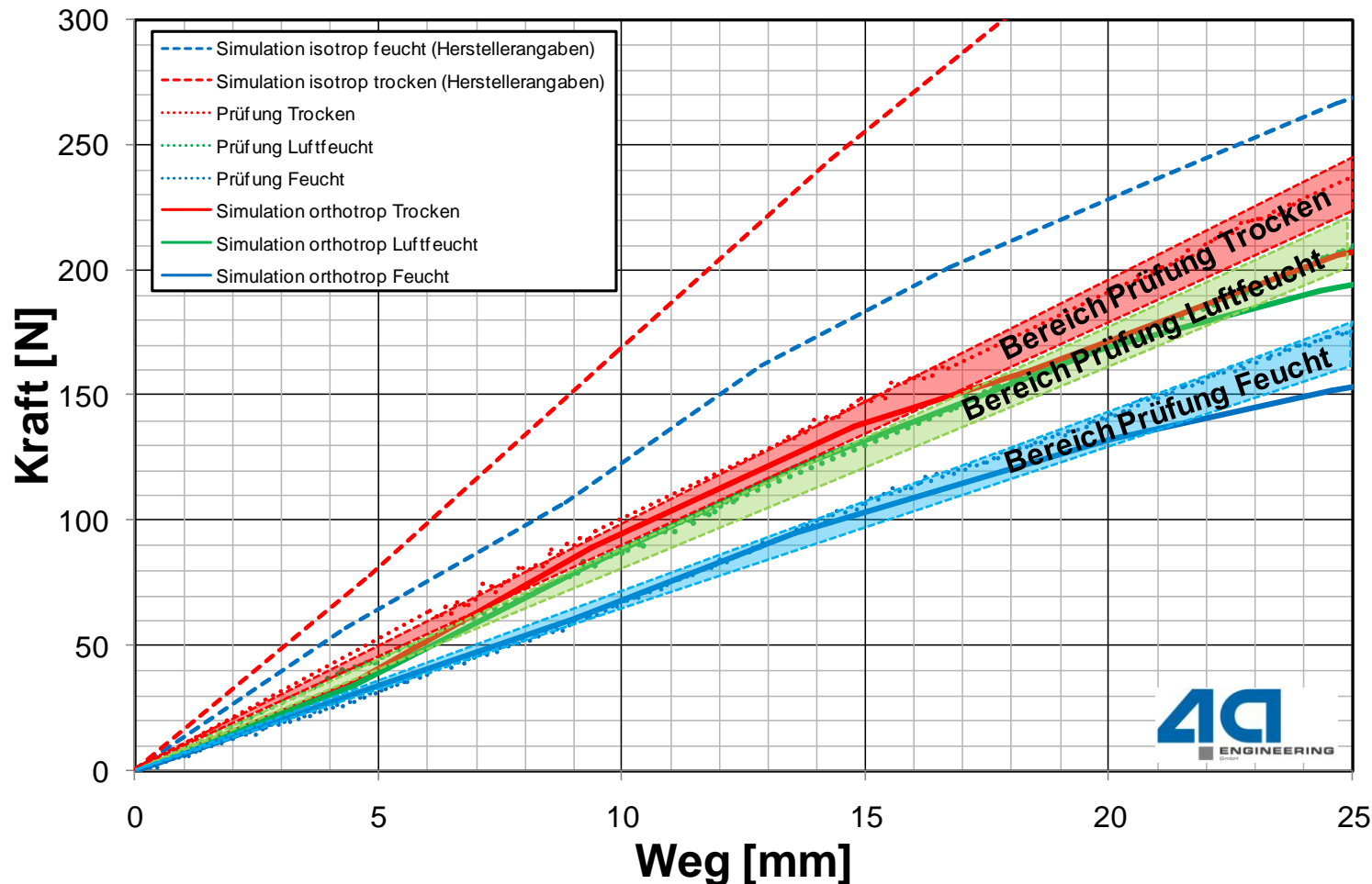


© 4a engineering GmbH, all rights reserved



# Integrative Simulation – Fallbeispiel Tankklappe

## Vergleich Bauteilprüfung – Ergebnisse aus Biegesimulation



**Audi**

- **Ohne integrative Simulation**
  - isotrop elastisches Materialverhalten
  - Herstellerdaten (Extremwert)
  - Messdaten (Extremwerte, Mittelung)
- **Integrative Simulation - Schnittstellenthematik**
  - orthotrop elastisches Materialverhalten
  - Materialverhalten aus Prozesssimulation (Moldflow, Moldex, ....)  
einfache Mischungsansätze
  - Schnittstellen zu [Nastran](#), Ansys, Abaqus, [LS-DYNA](#)
- **Komplexe integrative Simulation - USERMATERIAL**
  - Benutzerdefiniertes Material integriert in Solvern wie Abaqus, [LS-DYNA](#), Ansys, Pam-Crash
  - Faserorientierung aus der Prozesssimulation  
Basis für die Mikromechanik

### LS-DYNA Material-Modelle:

- *\*MAT\_ORTHOTROPIC\_ELASTIC (2)*  
orthotrop, elastisch, kein Versagen
- *\*MAT\_PIECEWISE\_LINEAR\_PLASTICITY (24)*  
isotrop, elastisch – viskoplastisch
- *\*MAT\_NONLINEAR\_ORTHOTROPIC (40)*  
orthotrop, nichtlinear
- *\*MAT\_ORTHOTROPIC\_VISCOELASTIC (86)*  
orthotrop, viskoelastisch
- *\*MAT\_ANISOTROPIC\_VISCOPLASTIC (103)*  
isotrop elastisch, anisotrop viskoplastisch
- *\*MAT\_ORTHO\_ELASTIC\_PLASTIC (108)*  
orthotrop, elastisch – plastisch
- *\*MAT\_ANISOTROPIC\_ELASTIC\_PLASTIC (157)*  
anisotrop, elastisch – viskoplastisch

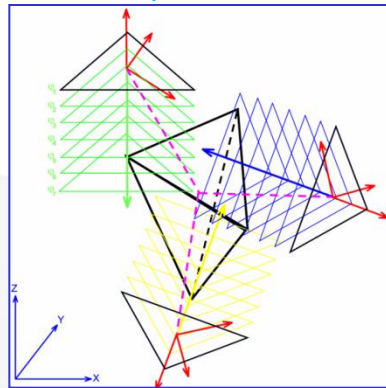
- Vorteile
  - Komplexes Materialverhalten kann abgebildet werden
    - elastisch viskoplastisch
    - Anisotropie auf Basis der Faserorientierung
    - Versagenshypothesen
      - **Matrixversagen**
      - **Faserbruch**
  - Bessere Abbildung der Realität
  - Gesicherte Abbildung der Realität
- Nachteile
  - Höherer Aufwand in der Kalibrierung der Materialmodelle
    - Faserlänge, Faserorientierung, Matrixeigenschaften
  - Höherer Modellierungsaufwand und längere Rechenzeiten

### Windows basierend

SG-Simulation  
MPI Fusion

Füllung berechnet

**Orientierung**



Mapping

Koordinatentransformation

**Mapping der Orientierung**

LS-DYNA Inputdeck  
Solidmesh

LS DYNA mit USERMATERIAL  
starten

→ Schwerpunkte

Anpassung des Inputdecks  
auf Basis der Mapping

Resultate (**Integrationspunkt**)

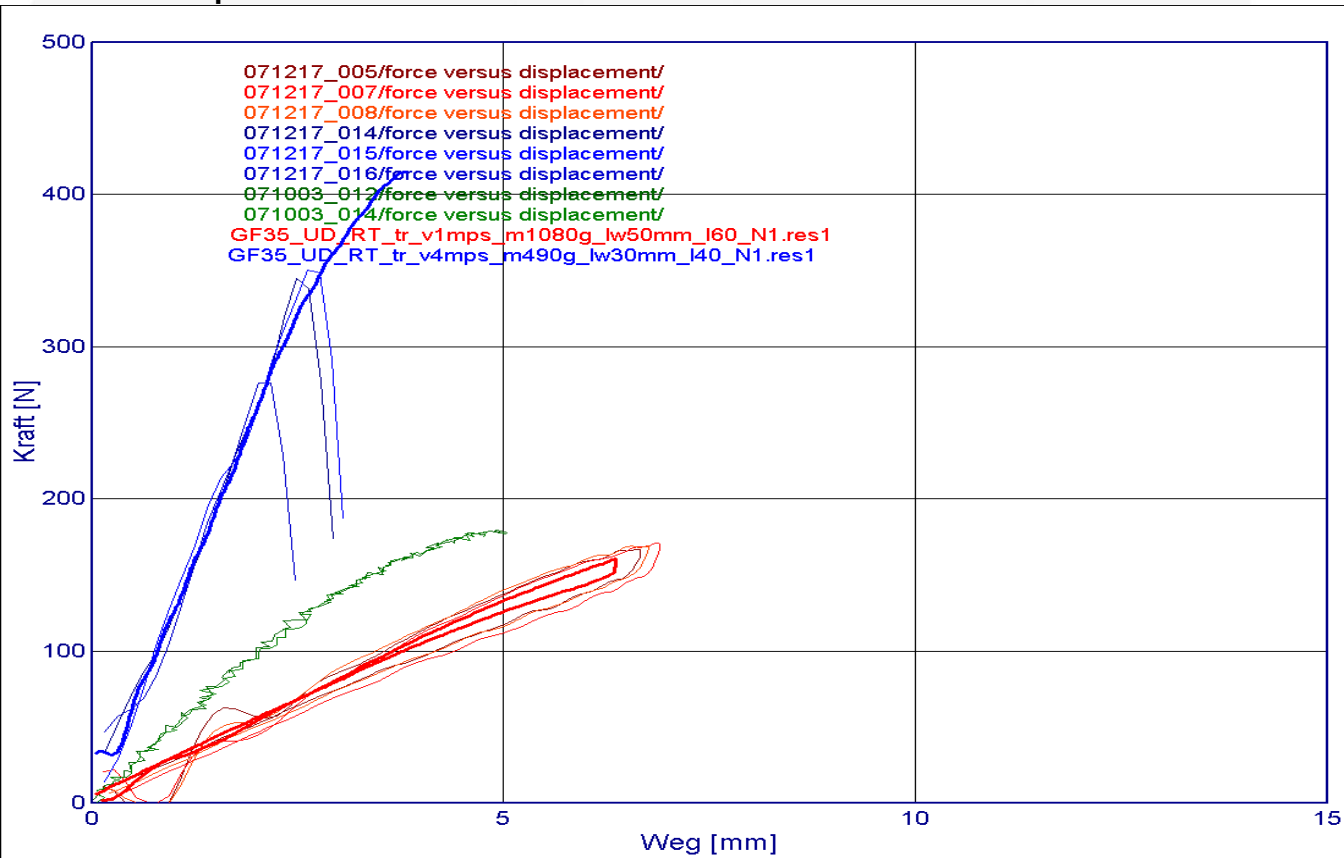
LS DYNA mit USERMATERIAL  
starten

**Ergebnisse**

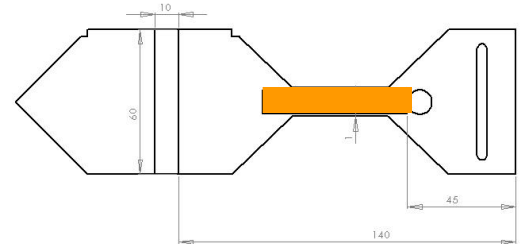
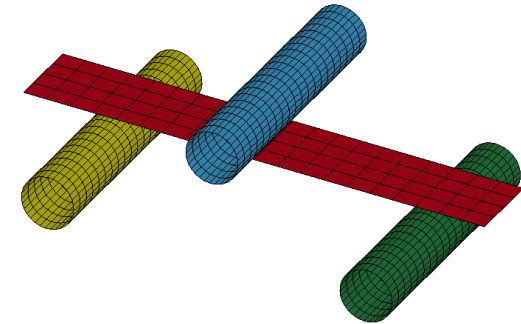
# dynamisches Materialverhalten

## Biegeversuche validiert mit USERMATERIAL

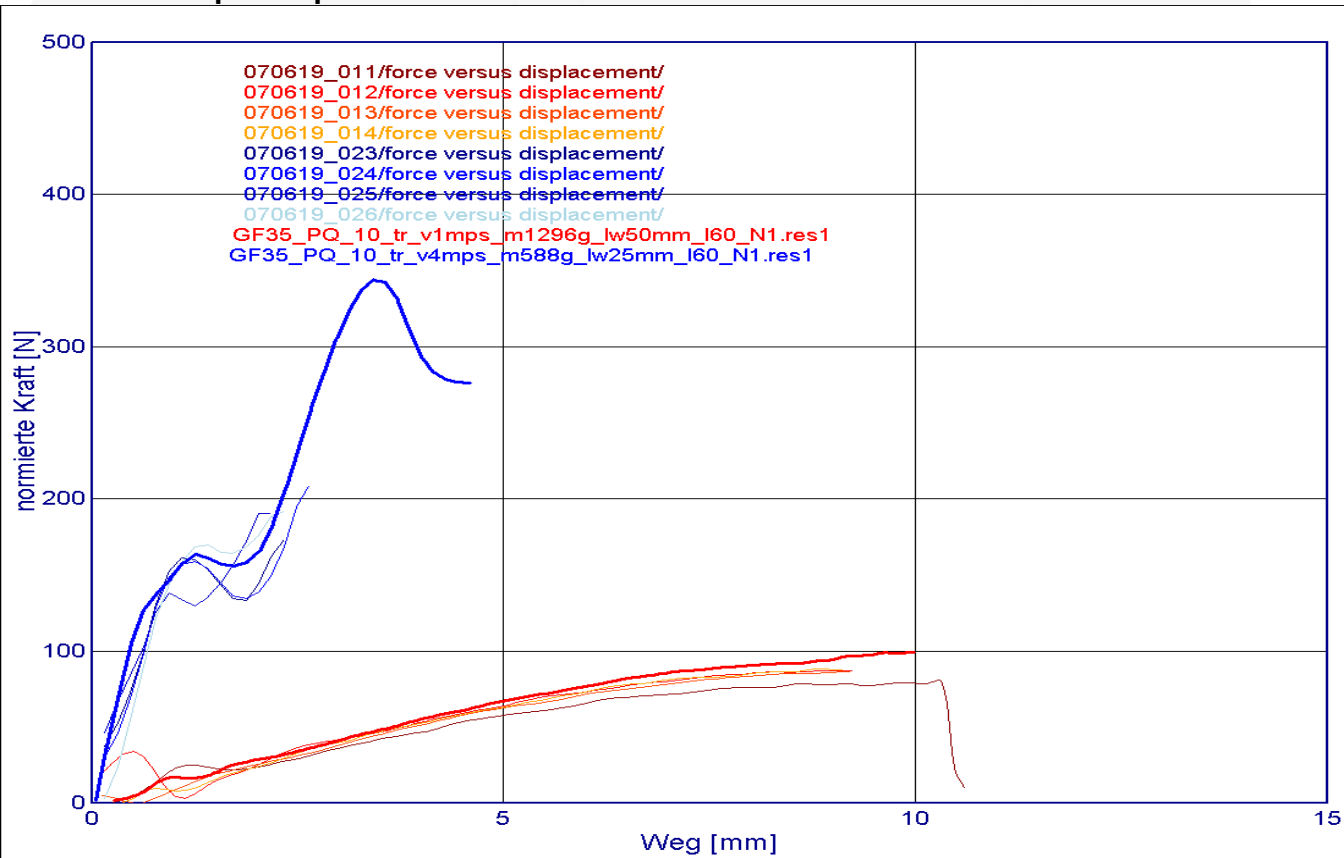
Validierung mittels 3-Punkt-Biegeversuch  
Probekörper aus sehr hoch orientiertem Bereich



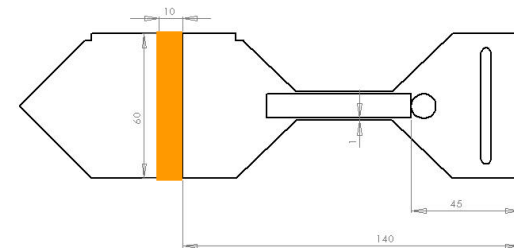
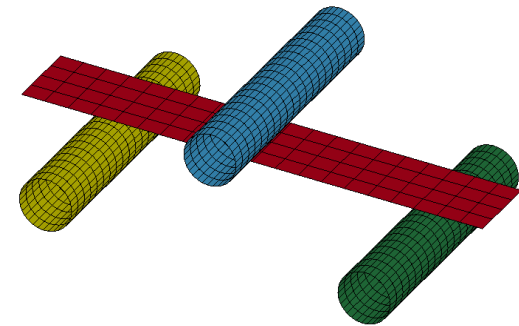
Kraft-Weg Kurven bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten



### Validierung mittels 3-Punkt-Biegeversuch Probekörper quer zum Bereich Platte



Kraft-Weg Kurven bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten



## ➤ Ohne integrative Simulation

- Bauteilauslegung nur mit fundierter Erfahrung möglich
- Spritzgussimulation hilfreich, um Qualität der Berechnung beurteilen zu können
- Materialdaten - Extreme sollten überprüft werden

## ➤ Integrative Simulation

- Spritzguss simulationsprogramme bilden die Faserorientierung in der Regel gut ab, Weiterentwicklungen der Softwarehersteller (LFRT) werden hier die Vorhersagegüte erhöhen.
- Die Vorhersagegüte im Bereich der Simulation kann mit Hilfe der integrativen Simulation deutlich gesteigert werden.
- Materialcharakterisierungen werden benötigt, um die Modelle sinnvoll zu schärfen.



.. in physics we trust