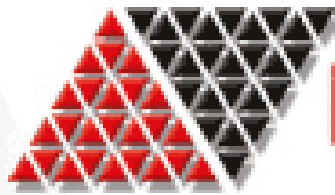
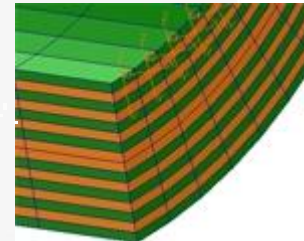


Möglichkeiten und Grenzen der integrativen Simulation von kurz- und langglasfaserverstärkten Kunststoffen

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



NAFEMS



4a engineering GmbH
Industriepark 1
A-8772 Traboch
reithofer@4a.co.at
++43 (0) 664 80106 601

**Simulation von Composites –
Eine geschlossene Prozesskette?
28. - 29. Oktober 2014, Leipzig**

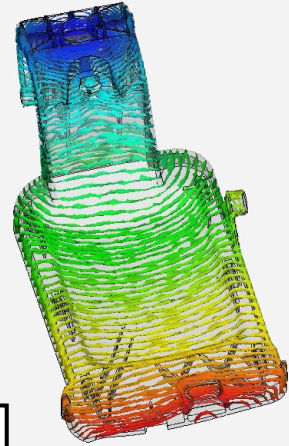
- Einleitung – Integrative Simulation
- Prozesssimulation – Faserorientierung
- Fallbeispiel Sohlenhalter – Verzug
- 4a fibermap – Mapping
- Fallbeispiel Heckklappe - Steifigkeit / Eigenfrequenz
- Fallbeispiel Tankklappe - Steifigkeit / Festigkeit
- Fallbeispiel Crash – Nutini Box - Dynamisches Werkstoffverhalten

[2012Gramling]

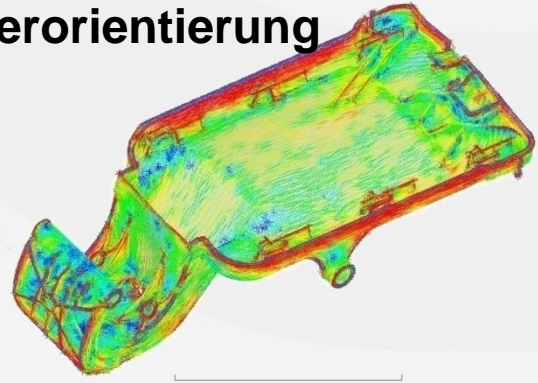
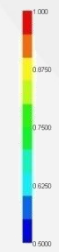
Prozesssimulation

Füllung

Fill time
= 1.736[s]



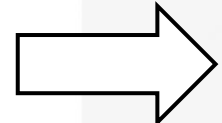
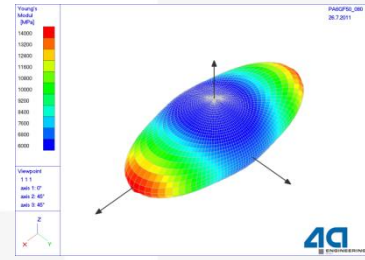
Faserorientierung



Autodesk

Scale (100 mm)

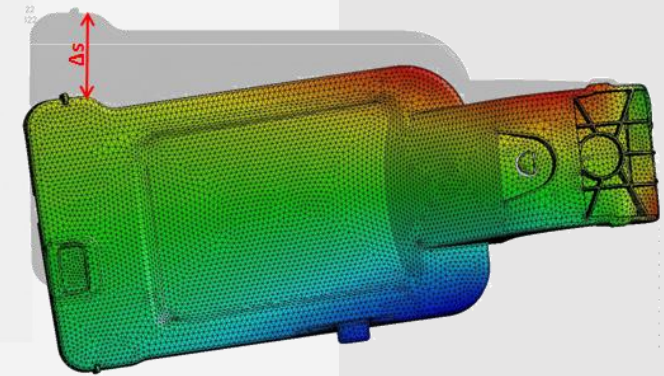
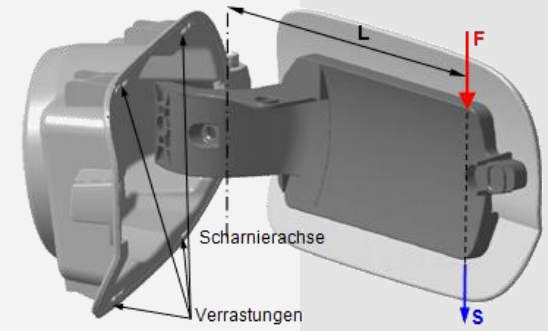
Mapping



Übertragung der
lokalen
Anisotropien

Struktursimulation

Biegung



Prozesssimulation

Idealisierung

- 2 ½ D Mittelfläche
- 2 ½ D Oberfläche
- 3D Volumen

Strömung

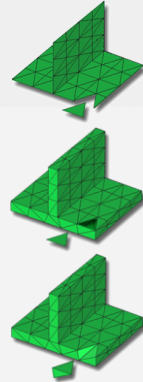
- Viskosität
- pVT

Faser

- Faserlänge
- Faserdurchmesser

Faserorientierungsmodell

- Closure Approximations $OT^2 \rightarrow OT^4$
- Faserinteraktion (RSC, Ci, ARD, ..)
- Faserbruch



Mapping

Mittelungsverfahren

- Unterschiedliche Idealisierung
- Anzahl der Stützstellen

Transformationen

- Koordinatensysteme
- Ergebnisse (Vektor, Tensor)

Schnittstellen

- Unterschiedlichste Softwarelösungen sowohl **prozess-** als auch **strukturseitig**

....

Struktursimulation

Idealisierung

- Shell
- Solid
- Netzfeinheit, Integrationspunkte

Anwendung

- Verzug
- Bauteil (Steifigkeit, Festigkeit)
- Crash (Energie, Versagen)

Materialmodell

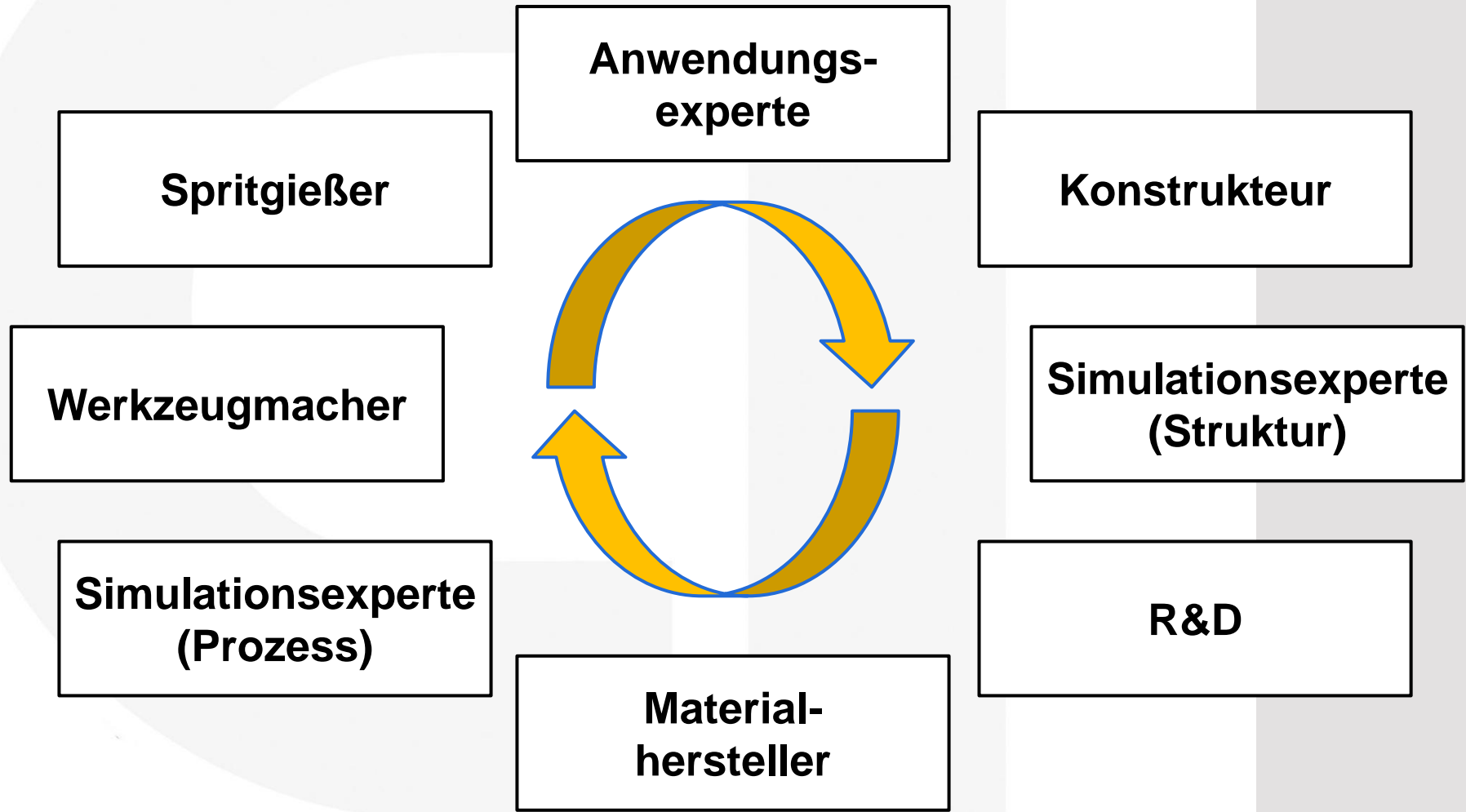
- SOLVER, USERMATERIALS
- Geschwindigkeit, Feuchte, Temp.

Orientierung

- Global
- Elementweise

Vielzahl an Vorgehensweisen & Einstellmöglichkeiten

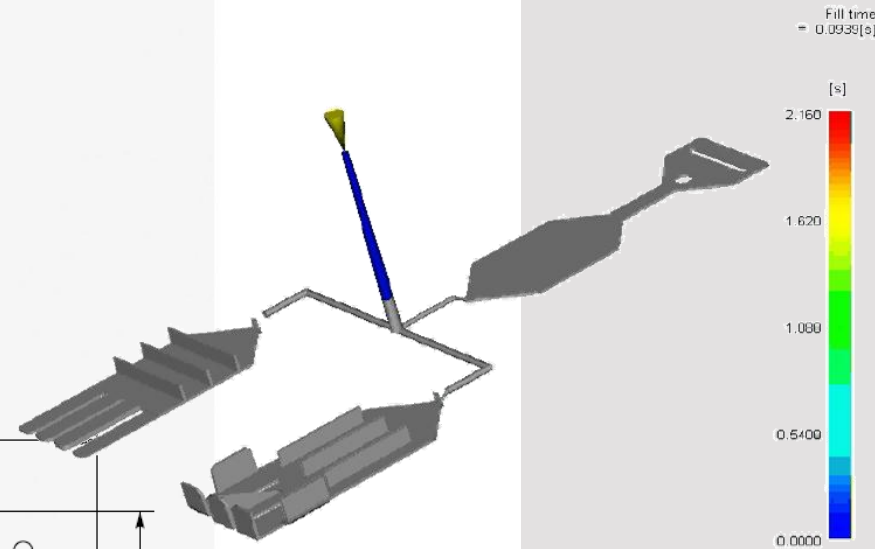
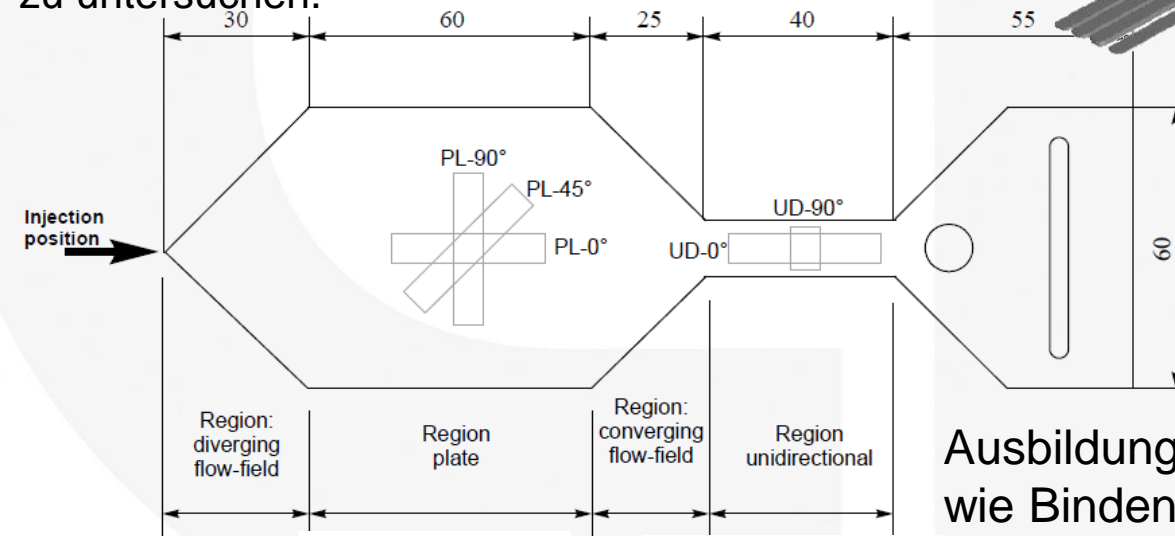
Validierung der gesamten Prozesskette erforderlich



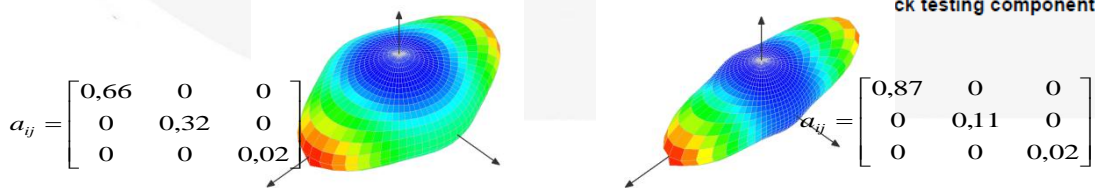
Spritzgusssimulationen bieten die Möglichkeit den Herstellprozess hinsichtlich

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

zu untersuchen.



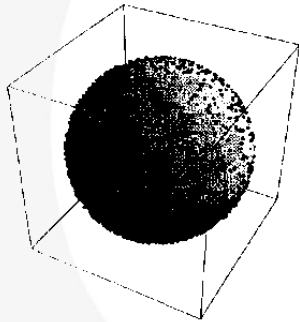
Ausbildung unterschiedlicher Anisotropien wie Bindenähte oder Faserorientierung.



- Wahrscheinlichkeit eine Faser im Raum anzutreffen
typische Beschreibungsformen

Dichteanhäufung

$$a_{ij} = \int \psi(p) p_i p_j dp$$



Tensor Global

$$a_{XX} + a_{YY} + a_{ZZ} = 1$$

$$\vec{x} \times \vec{y} = \vec{z}$$

$$a_{ij} = \begin{bmatrix} a_{XX} & a_{XY} & a_{XZ} \\ & a_{YY} & a_{YZ} \\ \text{symm.} & & a_{ZZ} \end{bmatrix}$$

Eigenwerte/-vektoren

$$a_I + a_{II} + a_{III} = 1$$

$$\vec{v}_I \times \vec{v}_{II} = \vec{v}_{III}$$

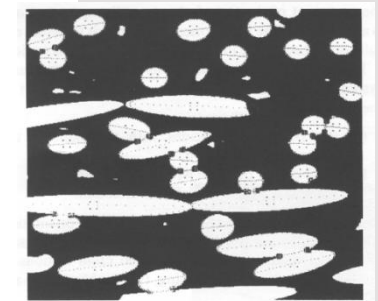
$$a_{ij} = \begin{bmatrix} a_I & 0 & 0 \\ & a_{II} & 0 \\ \text{symm.} & & a_{III} \end{bmatrix}$$

- Messung der Faserorientierung

- Schlibfbilder (mehrere 1000 Fasern pro Messung)

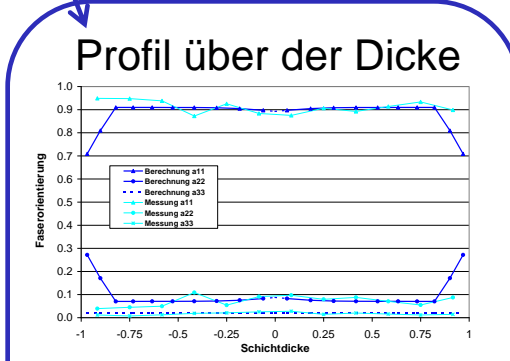
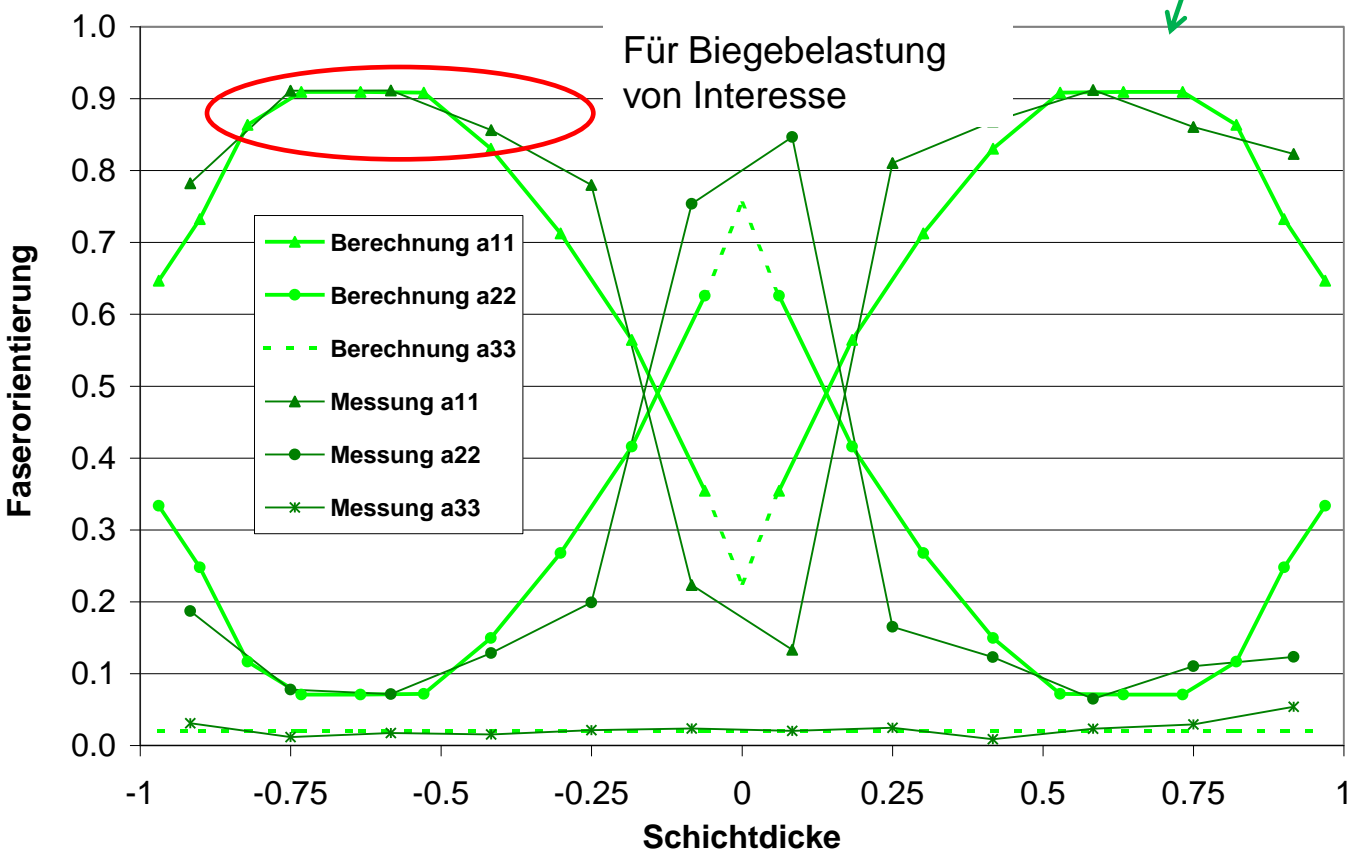
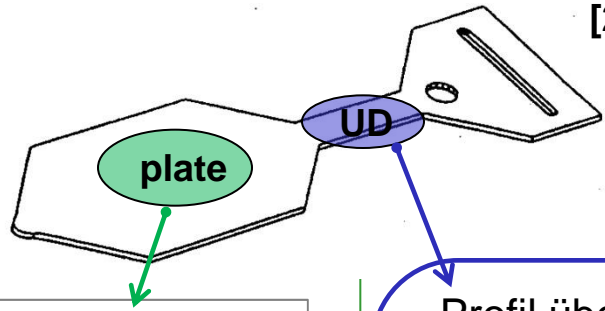
- REM

- μ -CT



[2004Reithofer]

Mittlere FO in Tensorform

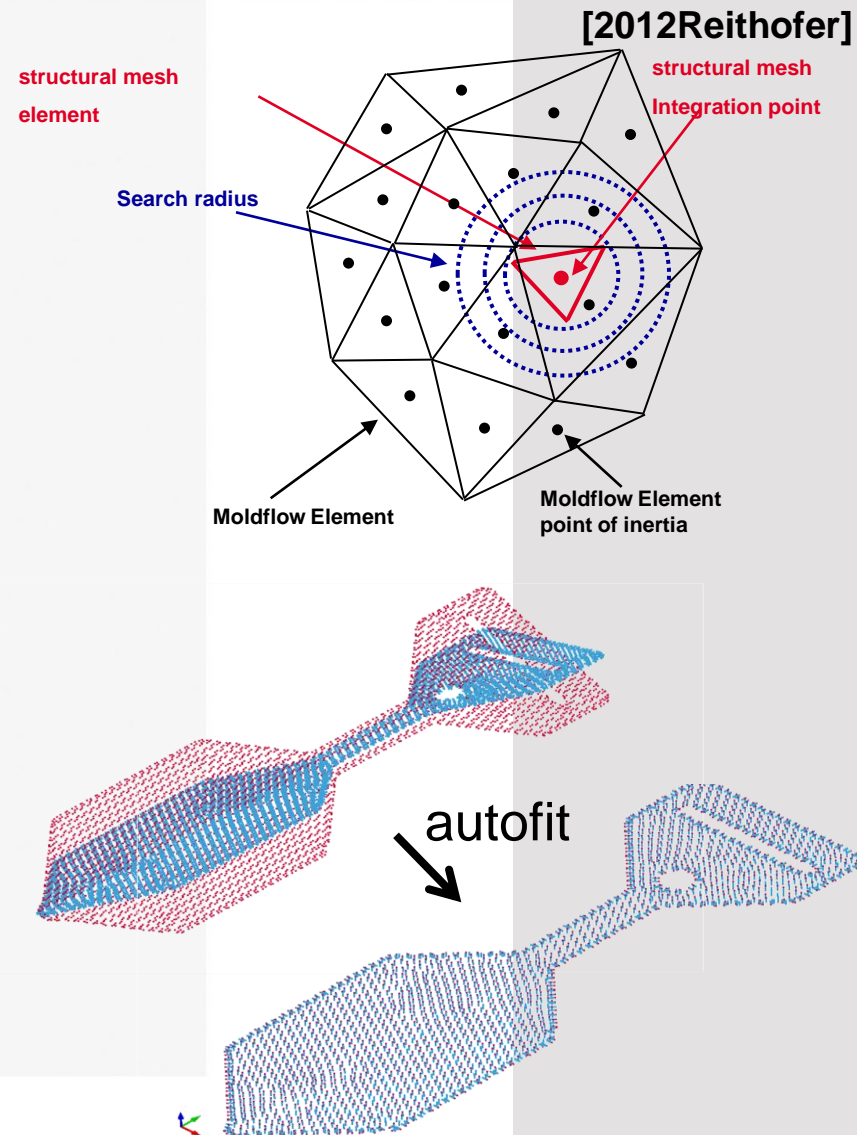
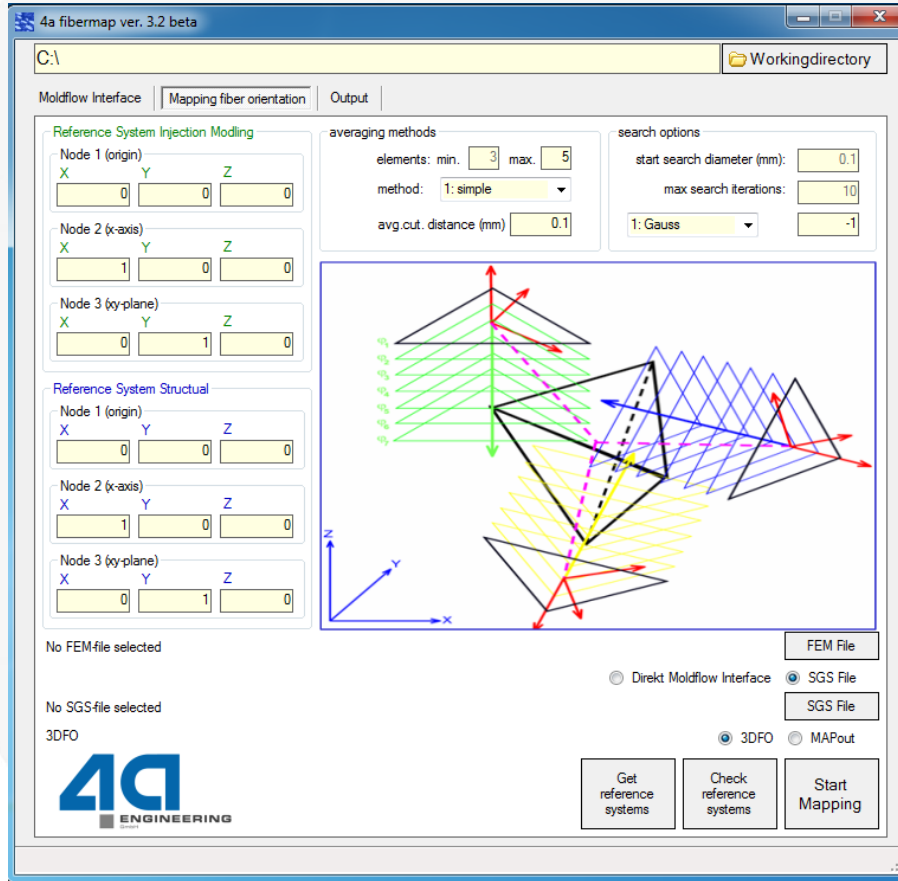
$$a_{ij} = \begin{bmatrix} 0,66 & 0 & 0 \\ 0 & 0,32 & 0 \\ 0 & 0 & 0,02 \end{bmatrix}$$


Mittlere FO in Tensorform

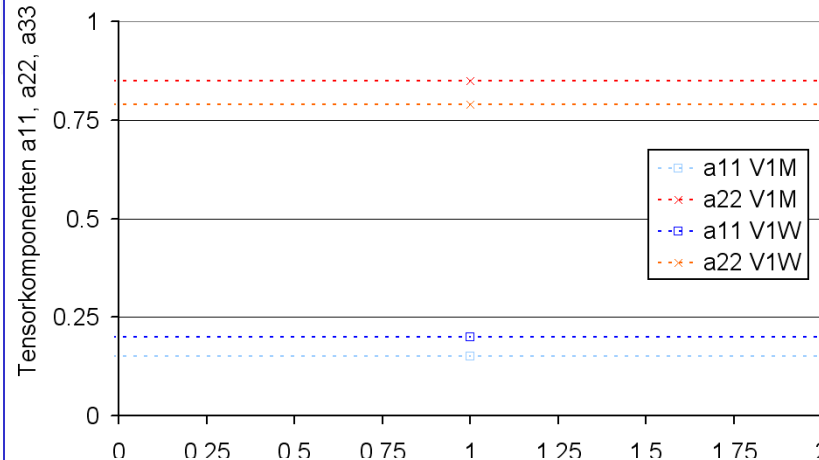
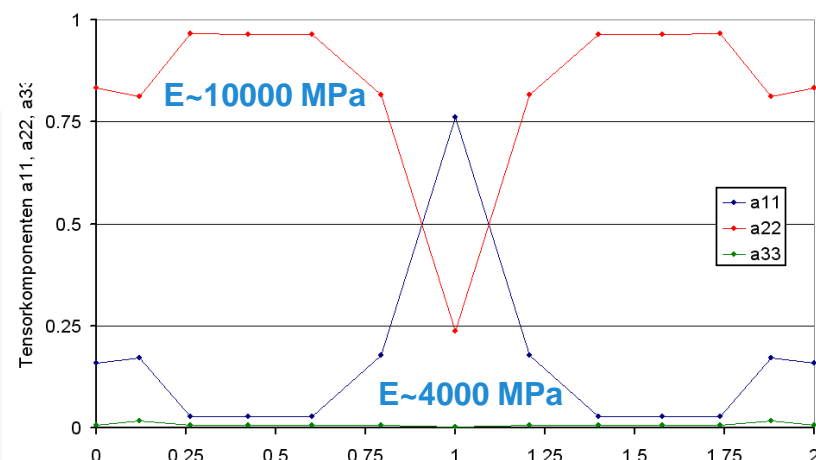
$$a_{ij} = \begin{bmatrix} 0,87 & 0 & 0 \\ 0 & 0,11 & 0 \\ 0 & 0 & 0,02 \end{bmatrix}$$

Integrative Simulation – 4a fibermap

Mapping

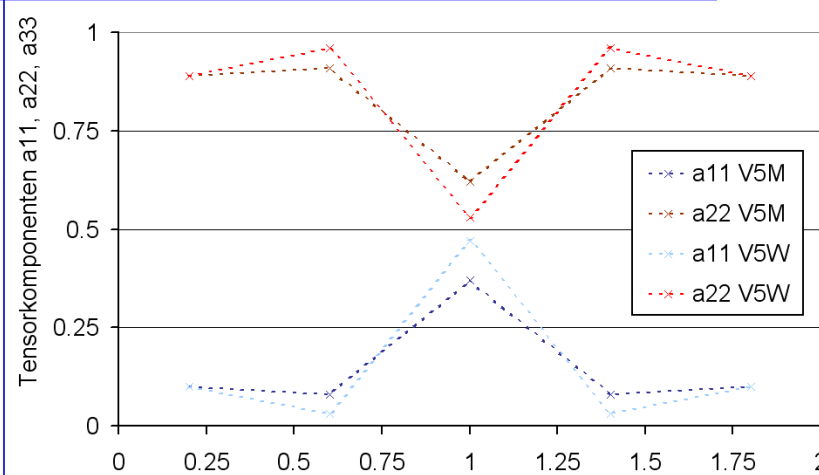
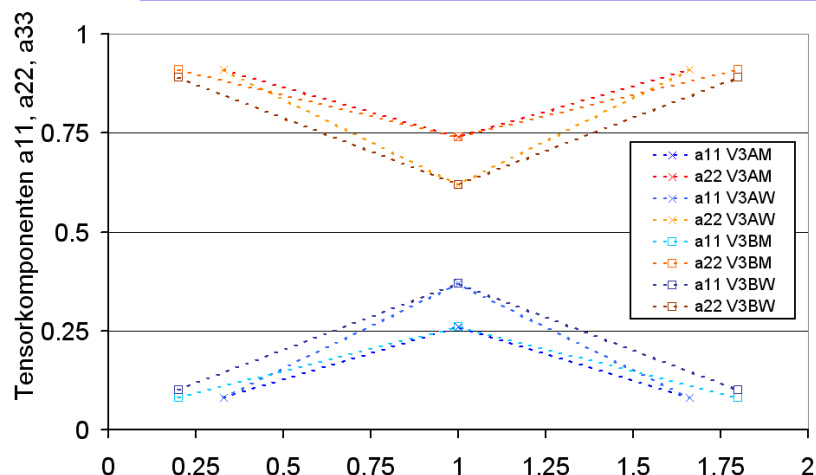


[2012Reithofer]



Result injection process simulation

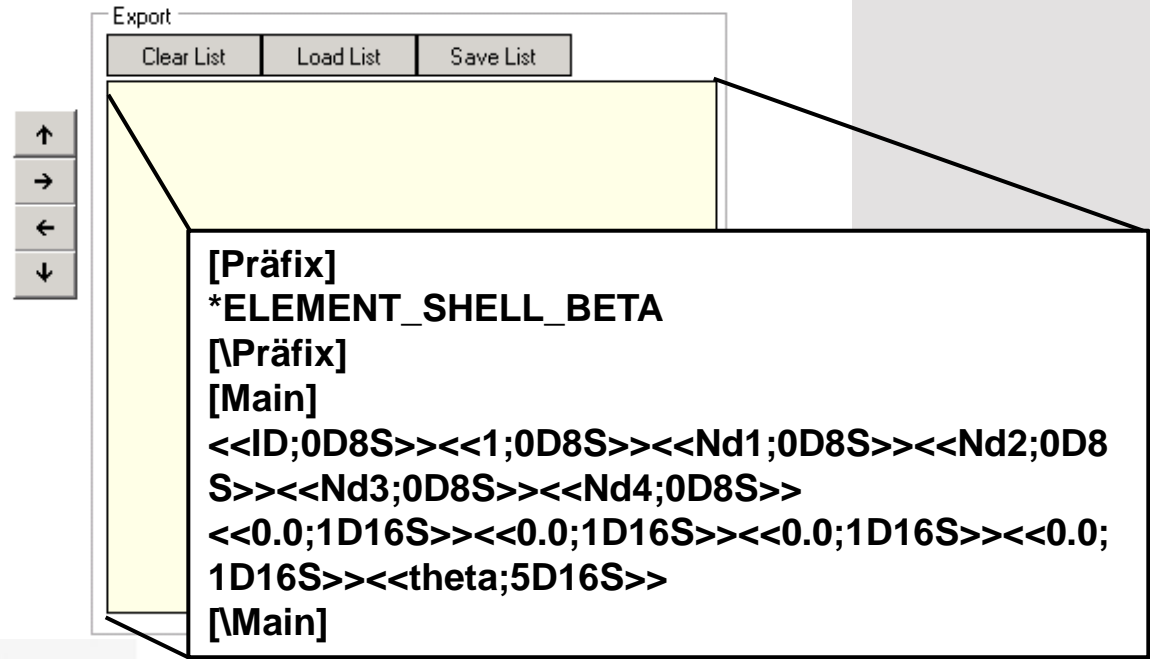
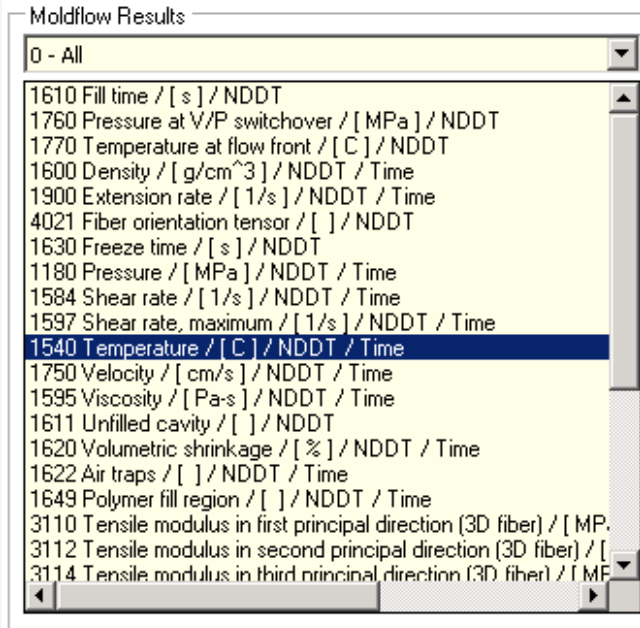
Only 1 material point over wall thickness



3 material points over wall thickness

5 material points over wall thickness

➤ Schnittstellen zu Moldflow und Moldex



➤ Ausgabe individuell einstellbar

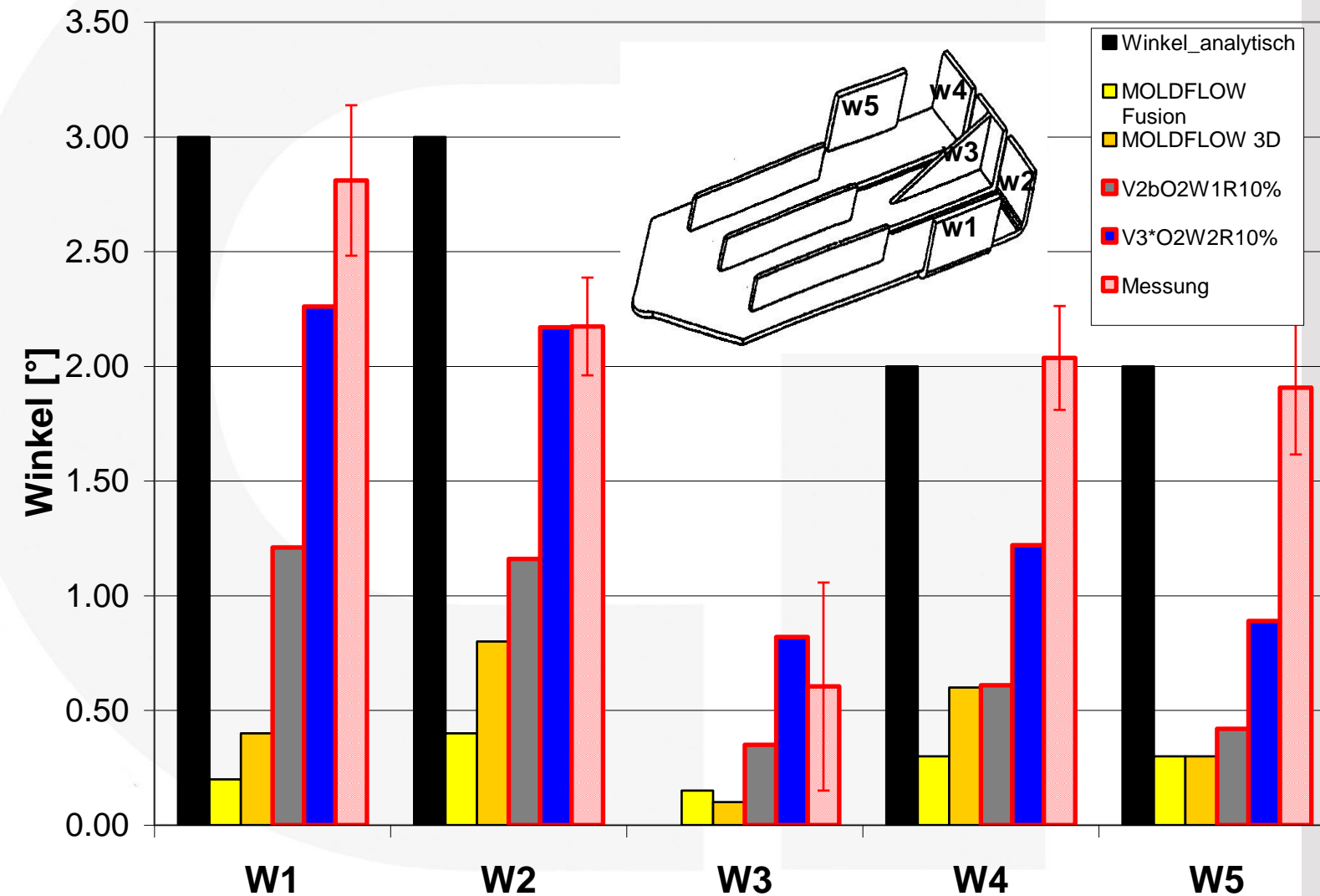
➤ Faserorientierung → Usermaterial

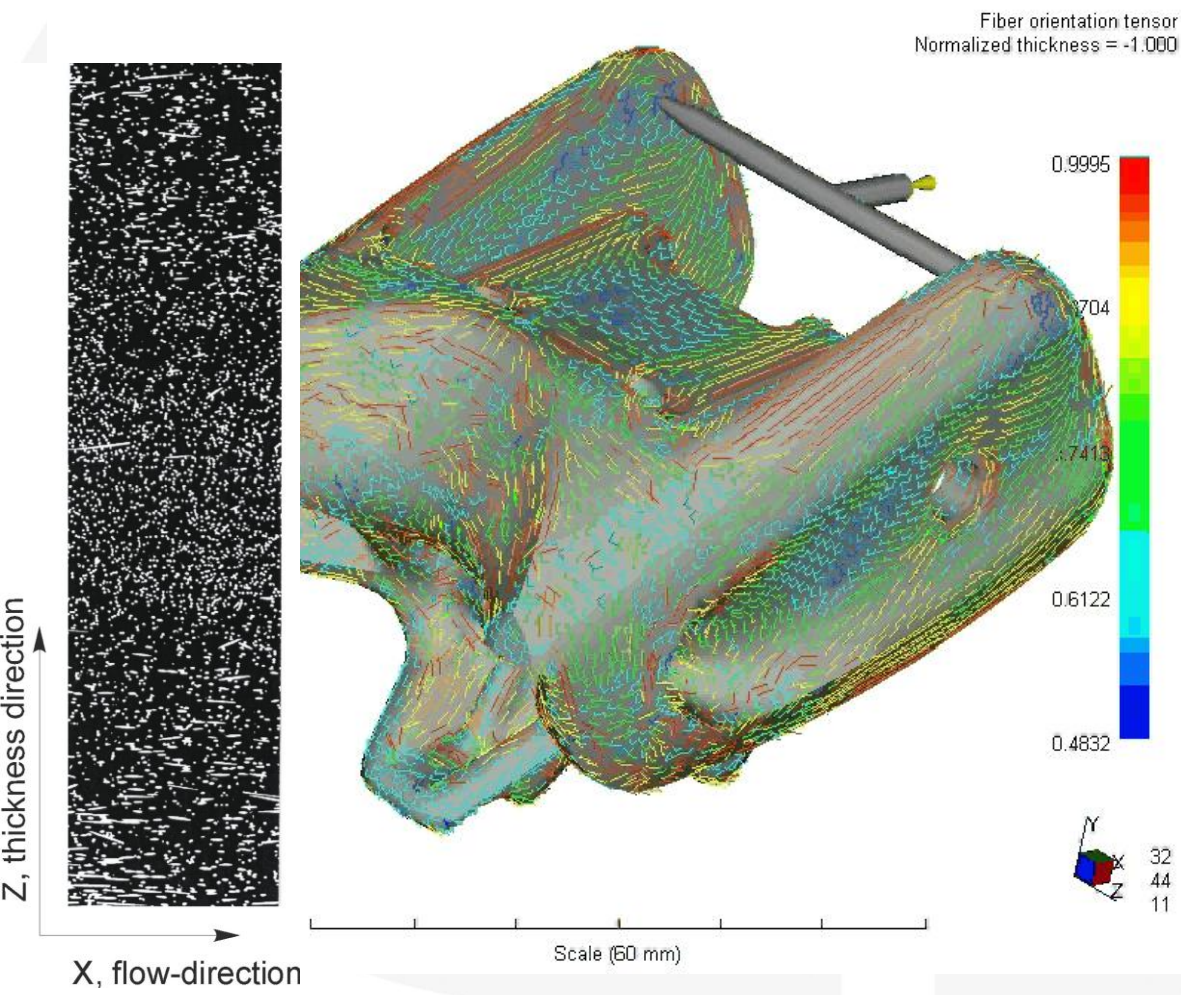
➤ Inputdecks z.B. Nastran, LSDYNA, Abaqus,

Fallbeispiel Winkelverzug

Forschungsform

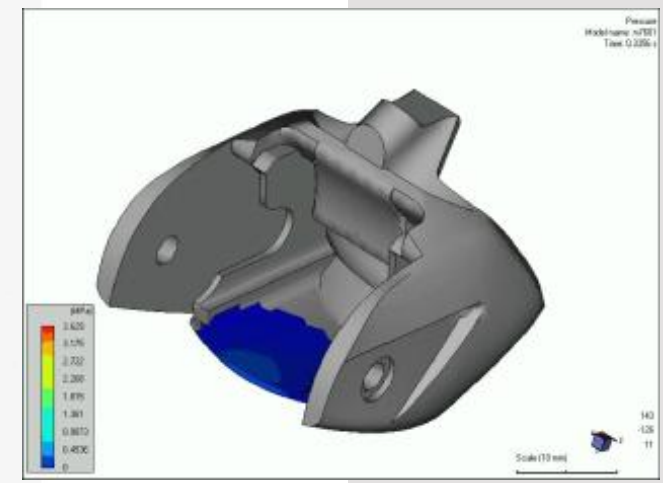
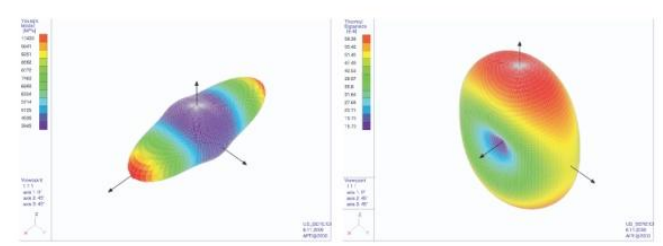
[2004Reithofer]

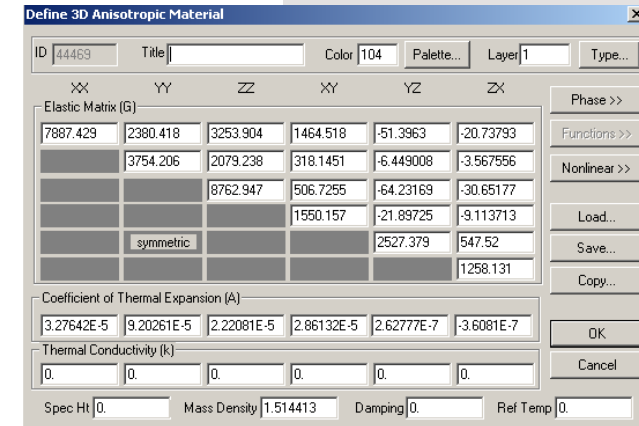
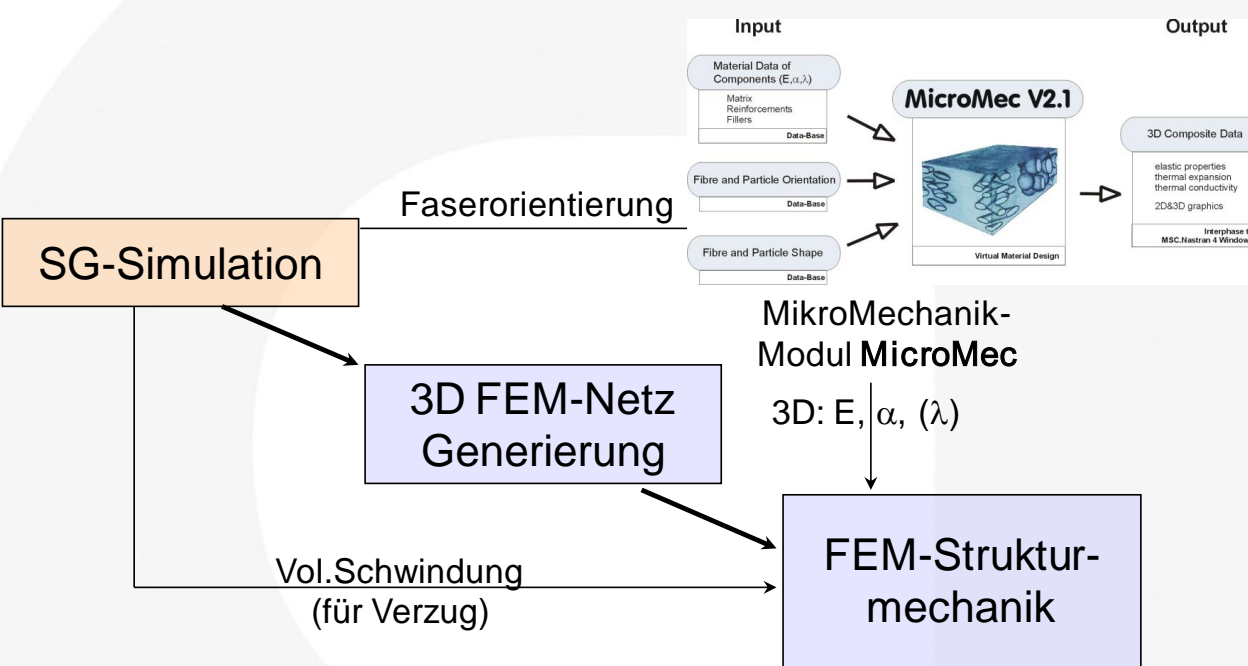




Materialeigenschaften

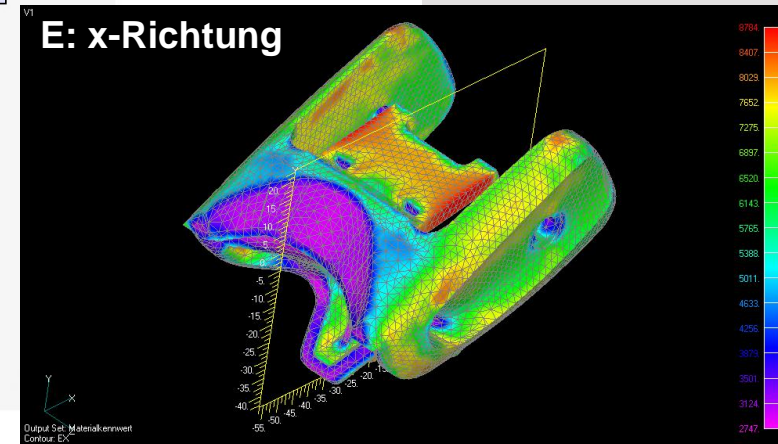
(faserverstärkt → richtungsabhängig)





Für jedes 3D-Element:

- globale Faserorientierung
- anisotropes Material
- Property

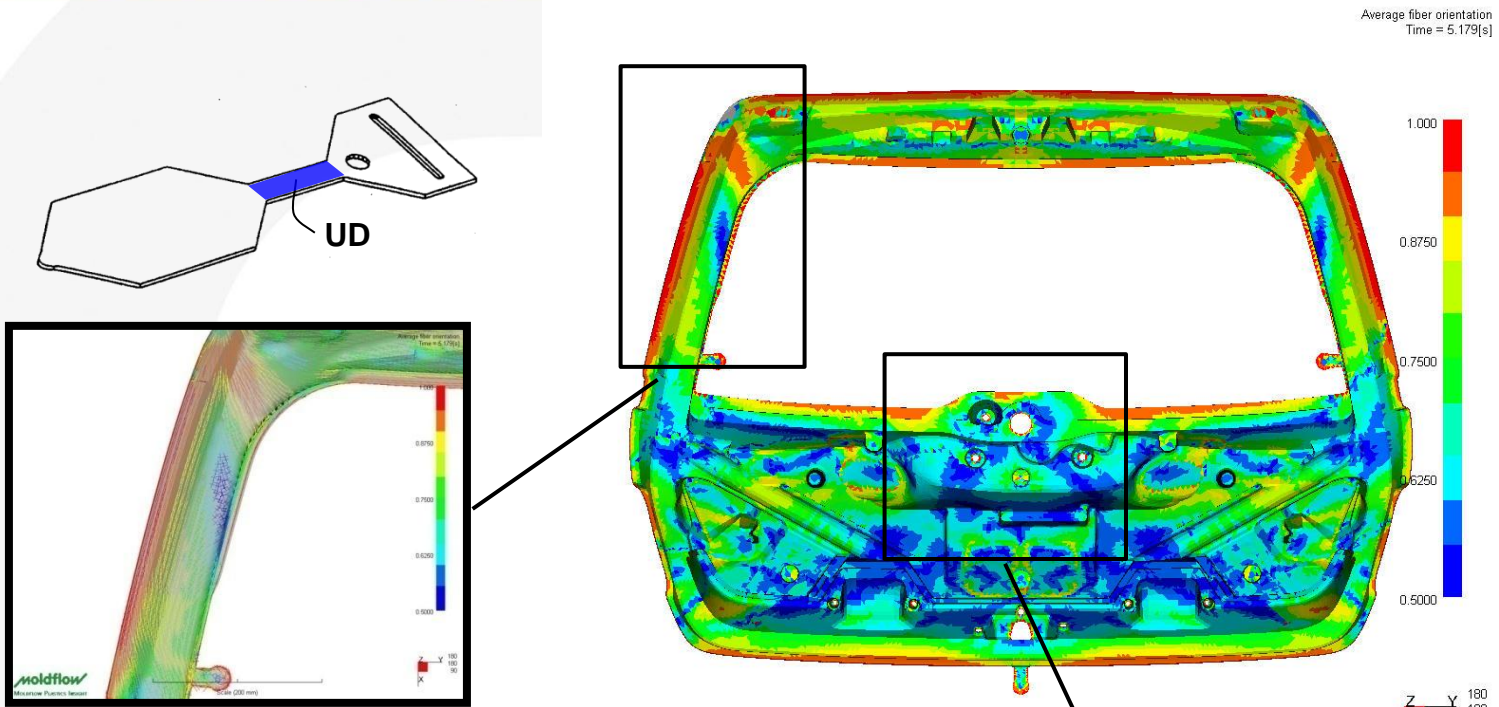


- Verzug besser abgebildet
- Mapping der globalen Faserorientierung
- pro Element – Property & anisotropes Material (E, α)
- Geeignet für
 - Einfache Materialmodelle
 - Bauteile
- Probleme Solver, Pre- & Postprocessor bei großer Anzahl an Elementen

Fallbeispiel Heckklappe

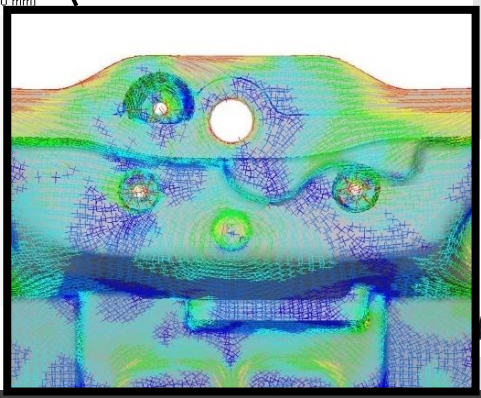
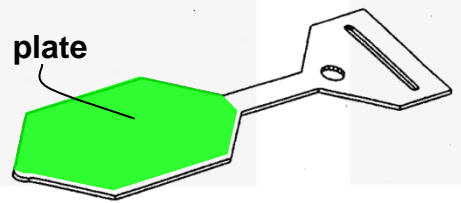
Steifigkeit / Eigenfrequenz

[2011Reithofer]



moldflow
MOLDFLOW PLASTICS INSIGHT

Analogie zu
Platten-Bereich



MAGNA
EXTERIORS & INTERIORS

MAGNA STEYR

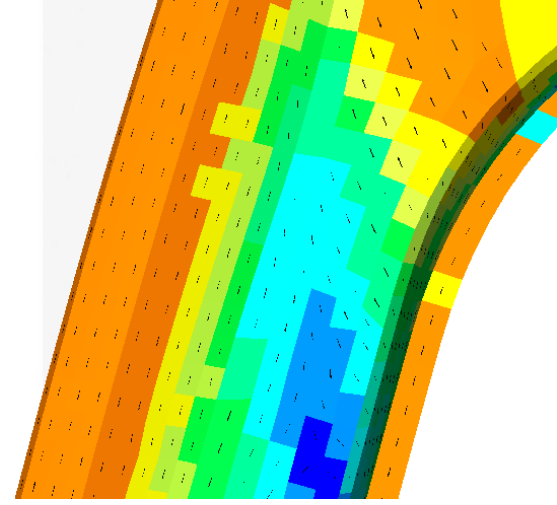
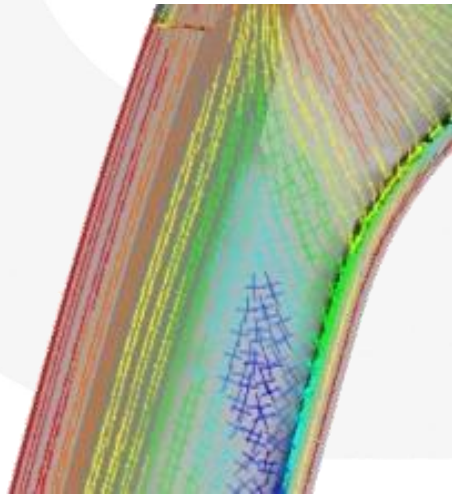
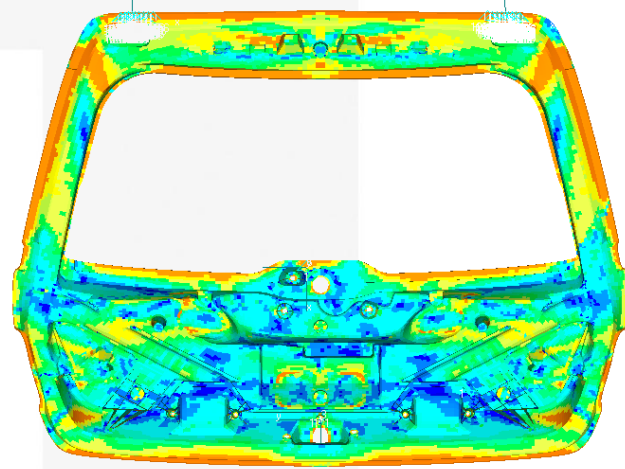
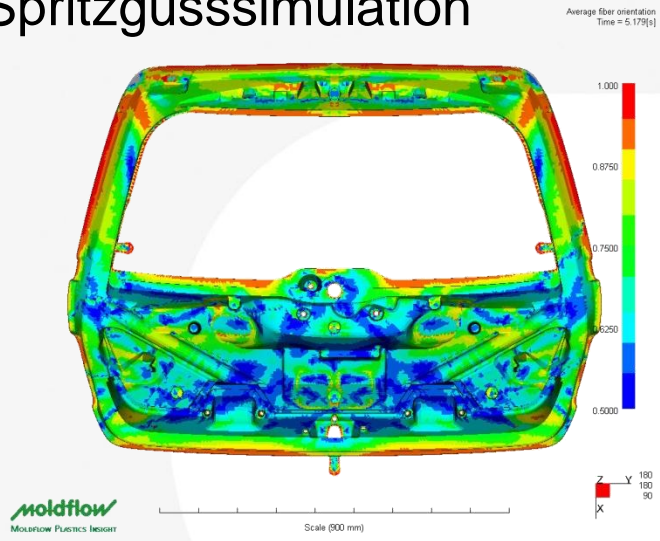
Fallbeispiel Heckklappe

Mapping Faserorientierung

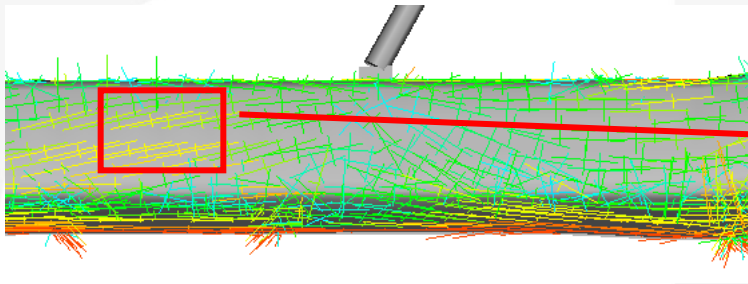
Spritzgussimulation

gemappt in Struktursimulation

[2011Reithofer]



- Die mittlere Faserorientierung wird auf das Struktursimulationsnetz übertragen (Mapping).



$$a_{ij} = \begin{bmatrix} a_{XX} & a_{XY} & a_{XZ} \\ & a_{YY} & a_{YZ} \\ \text{symm} & & a_{ZZ} \end{bmatrix}$$

[2011Reithofer]

- Aus der globalen FO wird der erste Eigenvektor bestimmt. Mit dem Eigenvektor wird der Richtungswinkel Theta für jedes Element bestimmt.

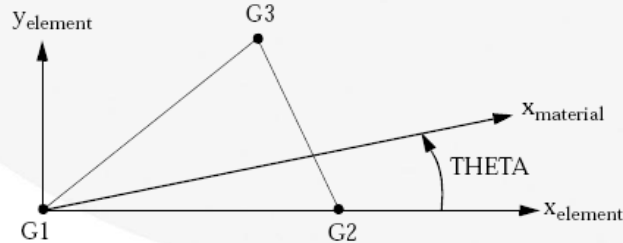


Figure 8-64 CTRIA3 Element Geometry and Coordinate Systems

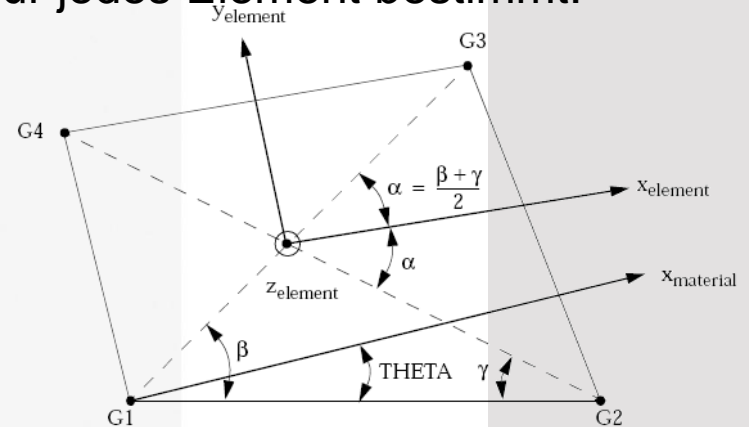


Figure 8-45 CQUAD4 Element Geometry and Coordinate Systems

Fallbeispiel Heckklappe

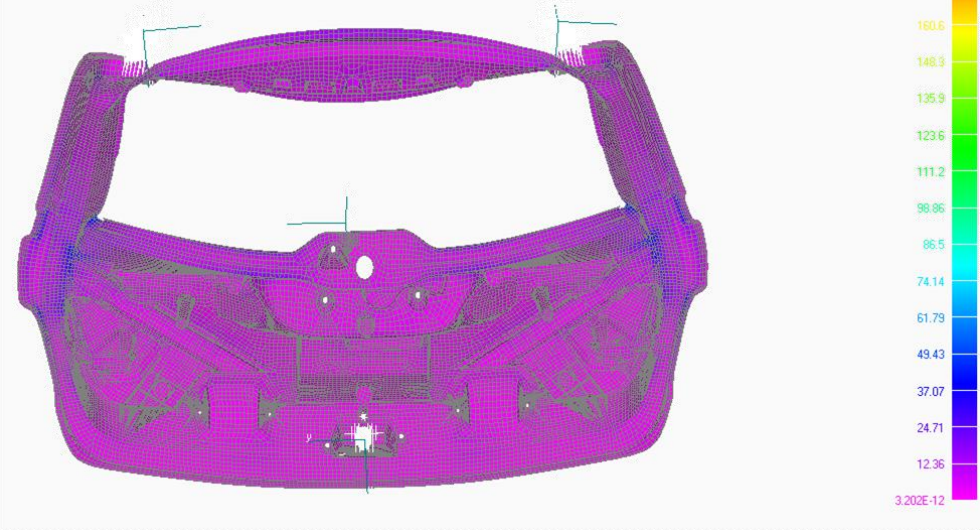
Validierung Bauteilversuch

[2011Reithofer]

Die Messung ergab eine 2. Eigenfrequenz von $16,7 \pm 0,4$ Hz.
Unter Berücksichtigung der Faserorientierung
wird eine Eigenfrequenz von 16,8 Hz erzielt.



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



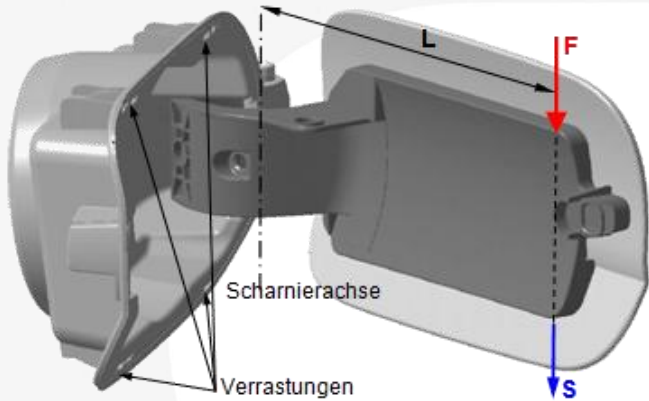
Messung der Eigenfrequenz mit
Hilfe eine Exzenters

- Einfache Vorgehensweise
Mapping mittlere Faserorientierung oder Randschicht
Unterscheidung Biegung vs. Zug nicht möglich
- Es findet sich kein „isotroper Vergleichsmodul“
d.h. selbst die Steifigkeit (globales Verhalten) ist stark
von der Faserorientierung beeinflusst

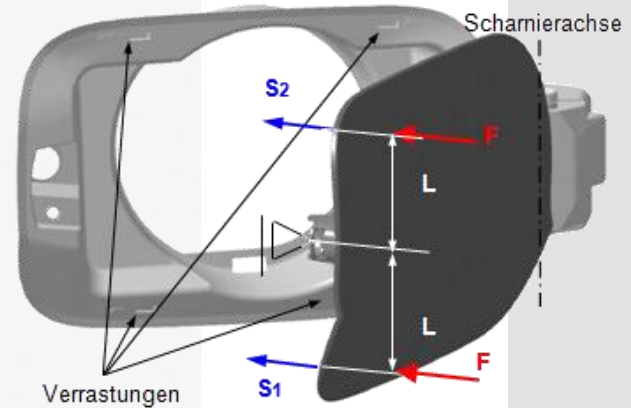
Eigenfreq.	ISO3000	ISO6000	ISO6800	ISO9000	KGF_RAND	KGF_AVG
1	52%	105%	118%	157%	95%	100%
2	47%	94%	106%	141%	87%	100%
3	50%	99%	112%	149%	96%	100%
4	47%	94%	106%	141%	92%	100%

- Aufbau mit PCOMP ermöglicht den Einsatz auch in
großen Baugruppen (Übersichtlichkeit)

Biegesteifigkeit

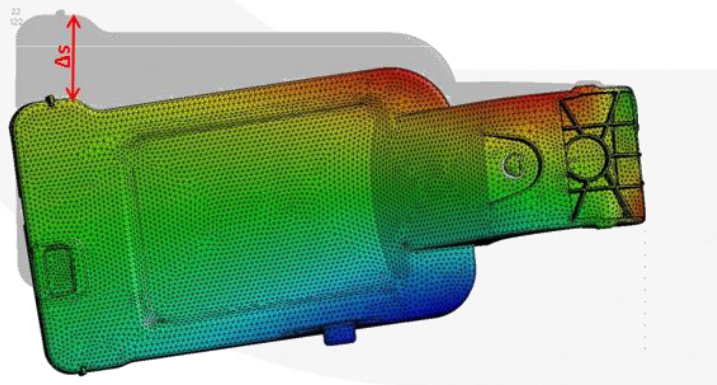


Torsionssteifigkeit

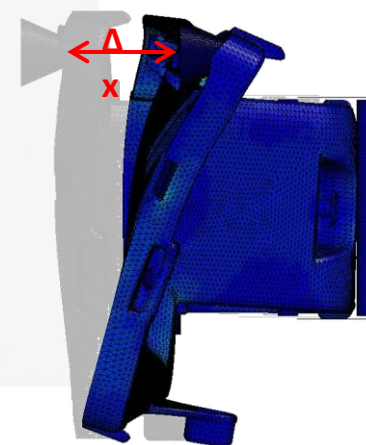


[2012Gramling]

Vergleichslastfall



Vergleichslastfall



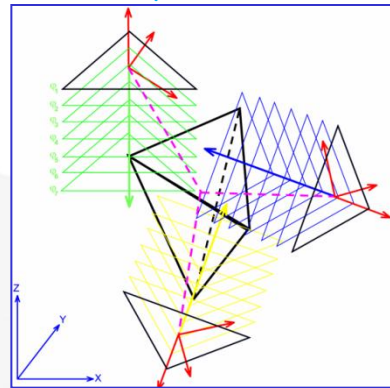
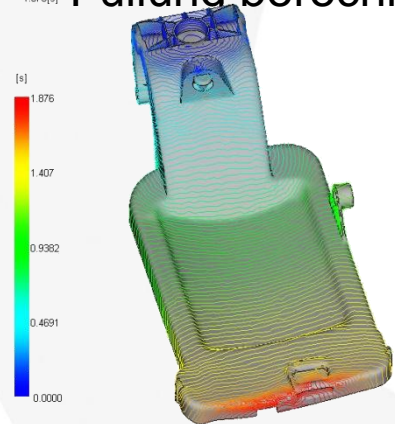
Windows basierend

SGS-Simulation
MPI Fusion

LS DYNA Inputdeck
Solidmesh

Fill time
= 1.676[s]

Orientation



Einlesen der Netzinformationen
→ Schwerpunkt

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

Berechnung

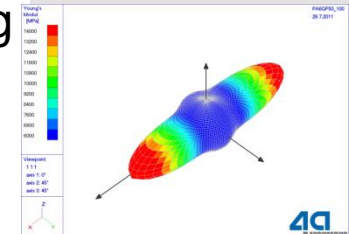
Ergebnisse

Mapping

Koordinatentransformation

Mapping der Orientierung

Erstellung der Properties

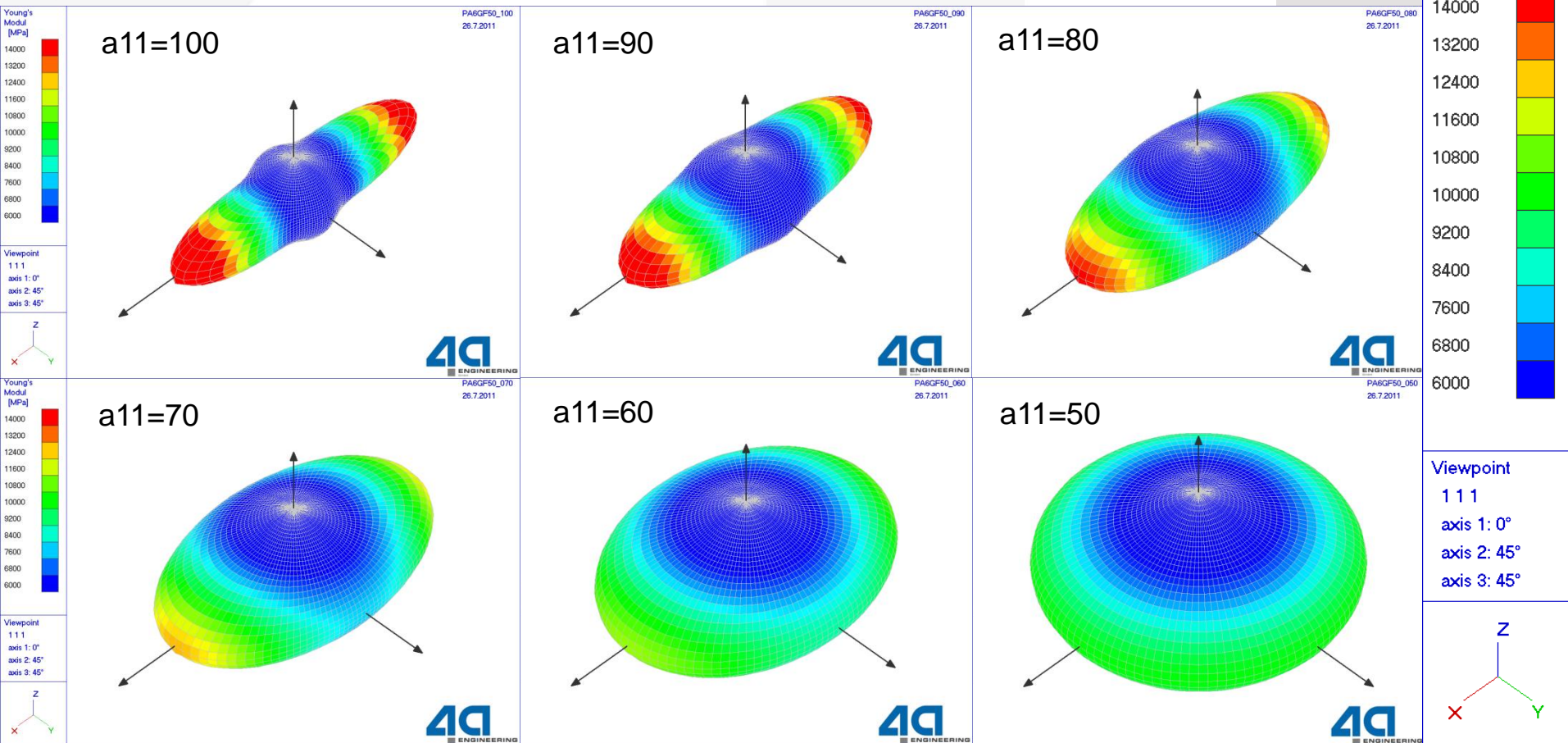


Fallbeispiel Tankklappe

orthotropes gemapptes Material

[2012Gramling]

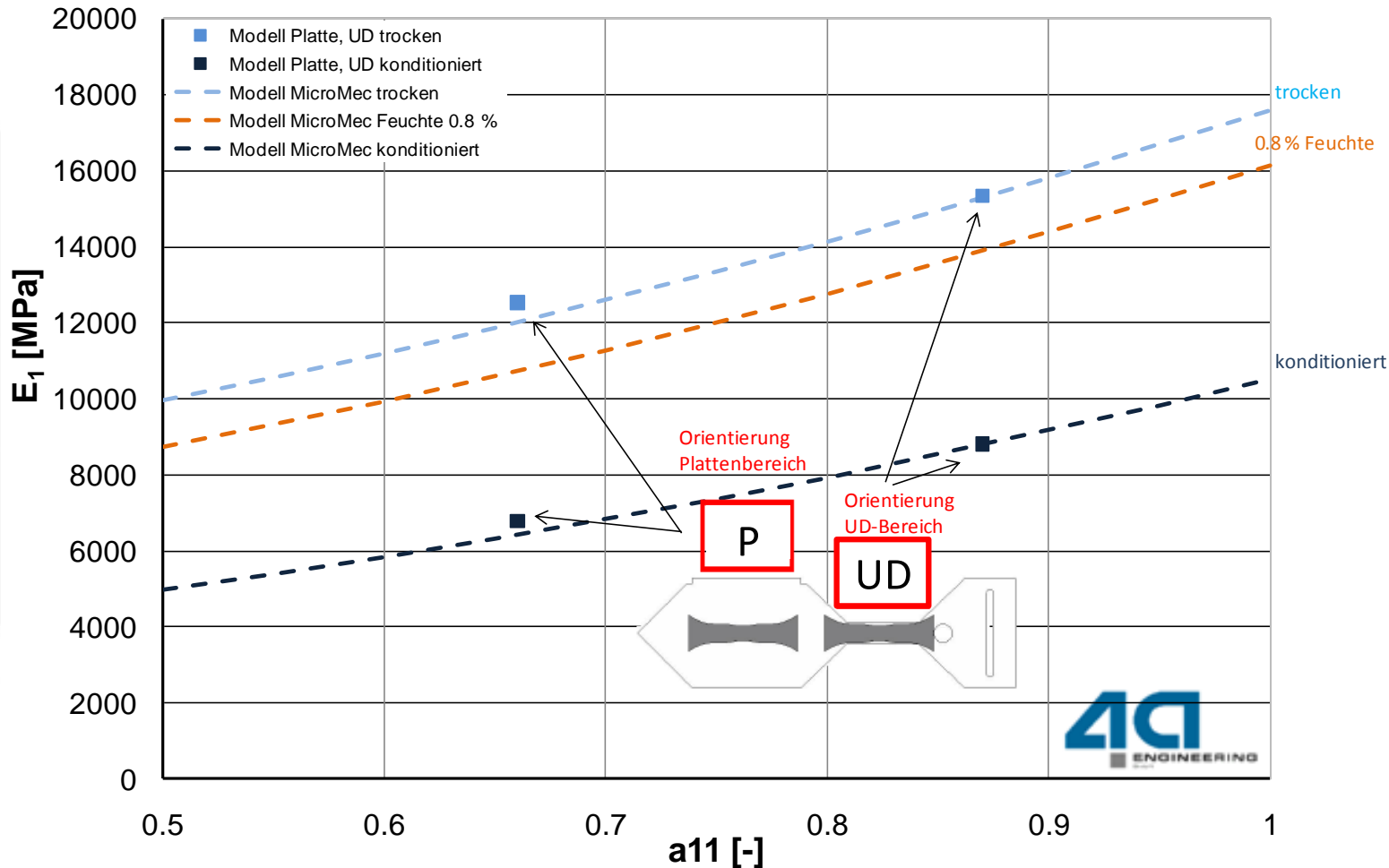
- Mittlere Faserorientierung wird analog gemappt. Neben dem 1. Eigenvektor wird der 1. Eigenwert berechnet. Mittels des 1. Eigenwertes a_{11} wird ein Material zugeordnet.



Fallbeispiel Tankklappe

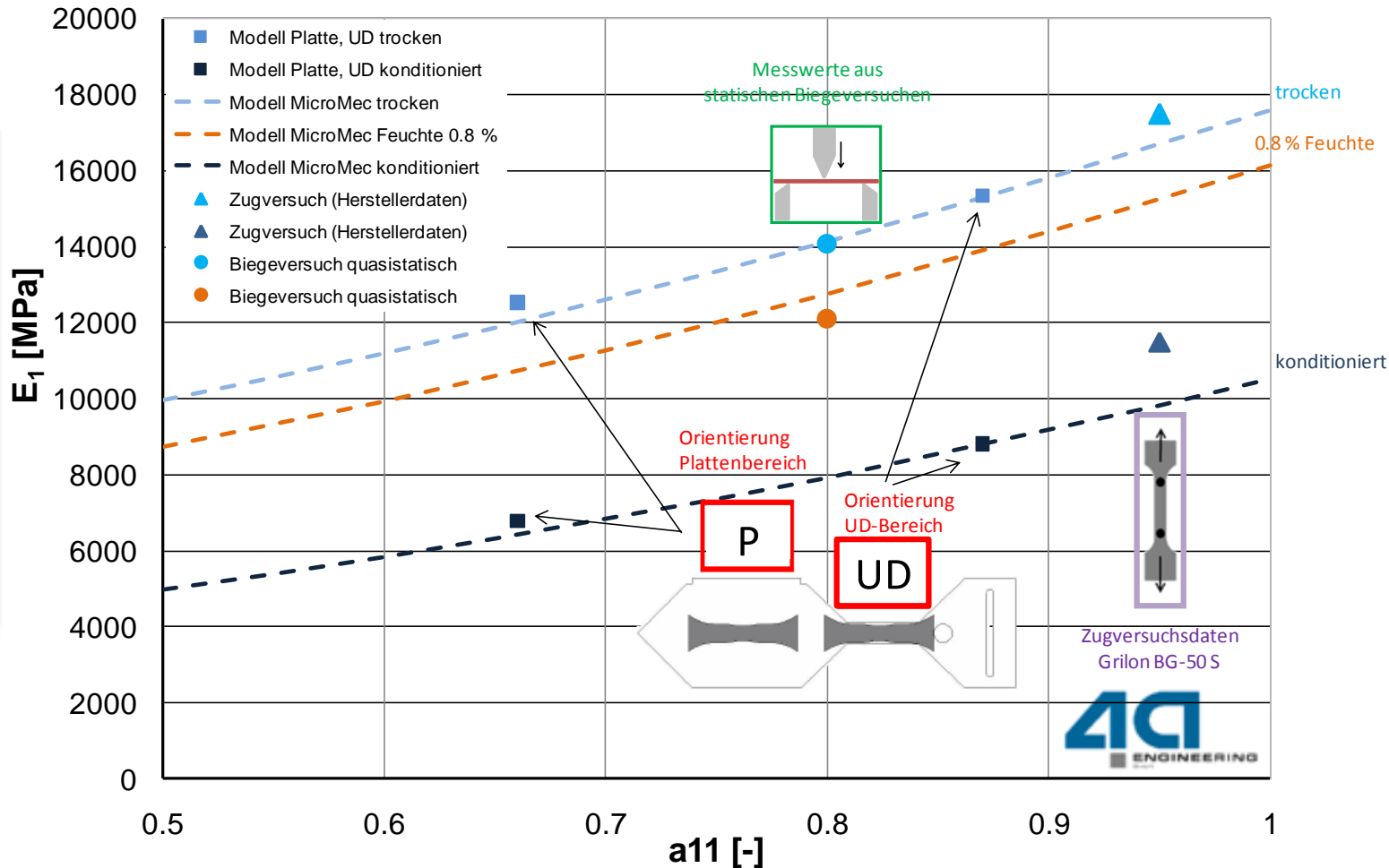
Überprüfung Orientierungs- und Feuchteinfluss

[2012Gramling]



Fallbeispiel Tankklappe

Überprüfung Orientierungs- und Feuchteinfluss



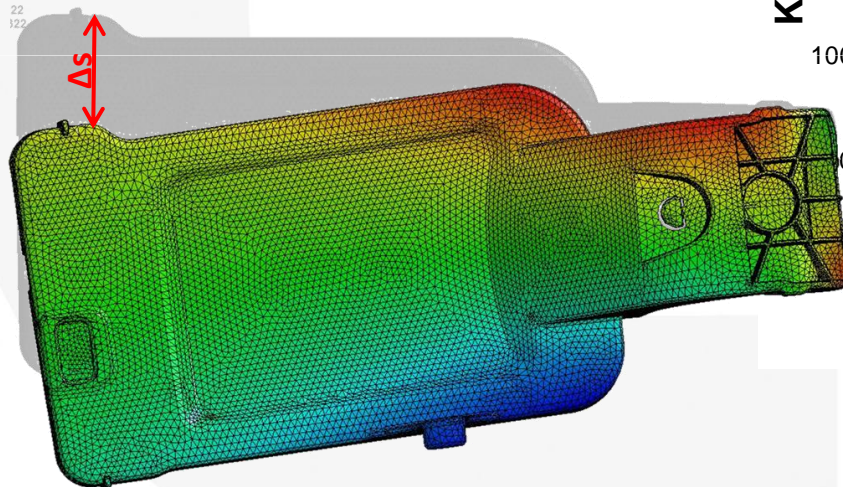
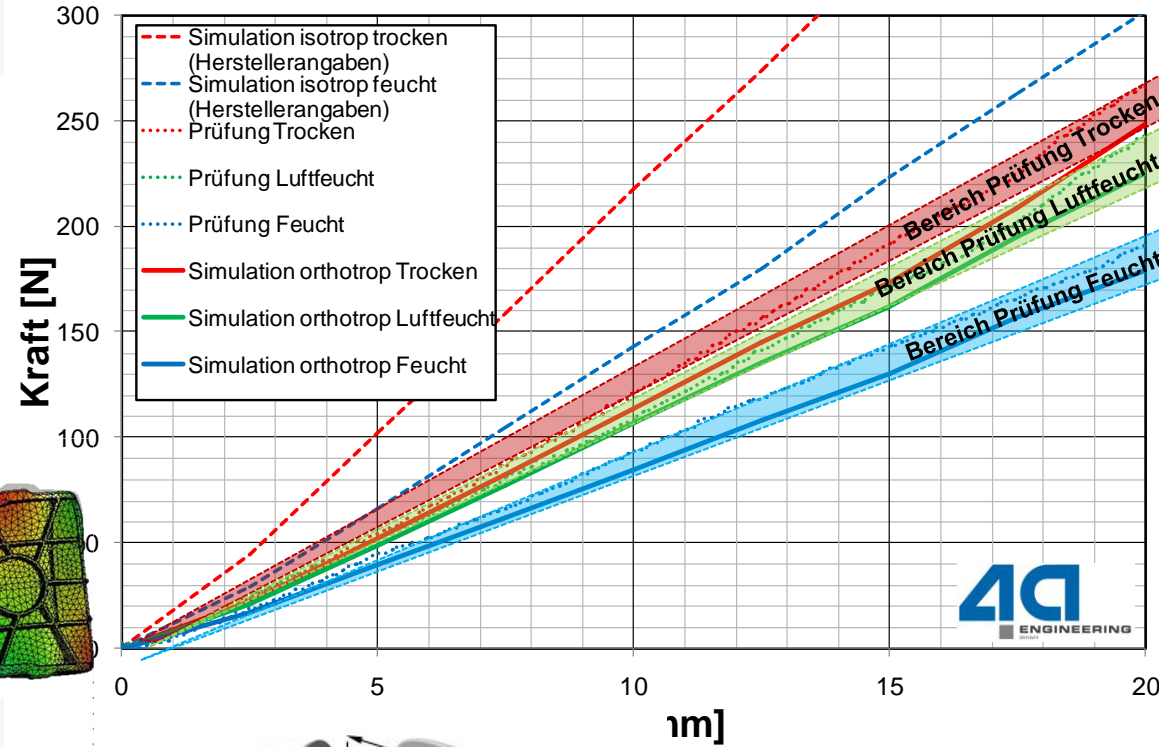
Fallbeispiel Tankklappe

Vergleich Bauteilprüfung – Ergebnisse aus Biegesimulation

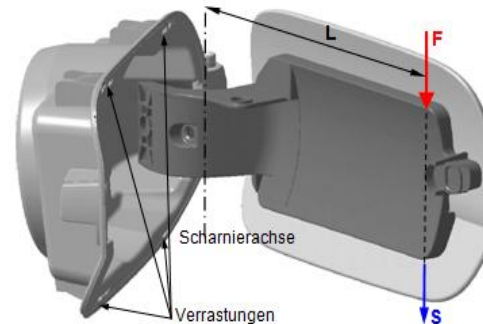
Version : Is971d R5.1.1

Revision: 65543

Elementanzahl: 206.142



Lastfall Biegung



- Materialabhängigkeit (Temperatur + Feuchte)
- Mapping
 - Eigenvektoren → Koordinatensystem
 - Eigenwerte → 10 Materialkarten für typische FO Bereiche
 - Einfache Materialmodelle
- Geeignet für große Simulationsmodelle
- Bauteilebene + Baugruppen

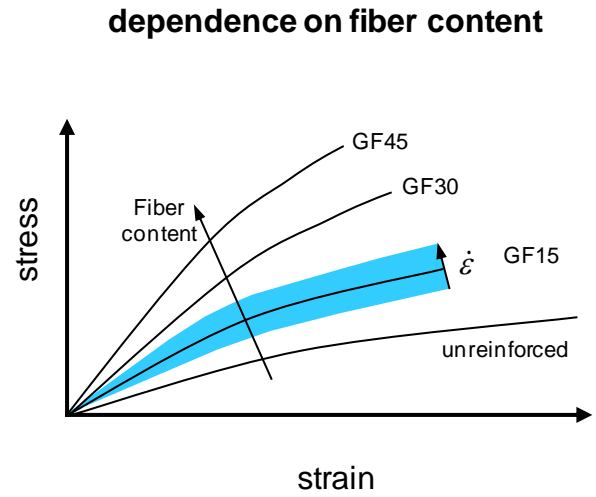
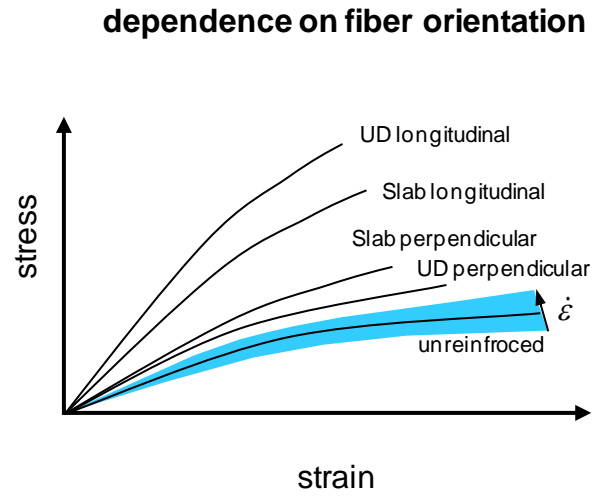
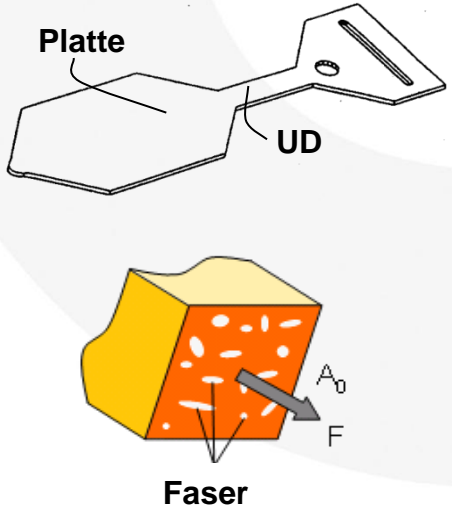
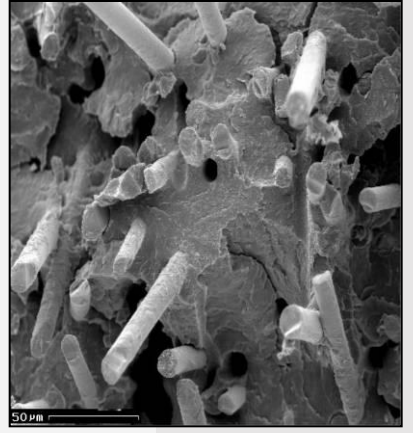
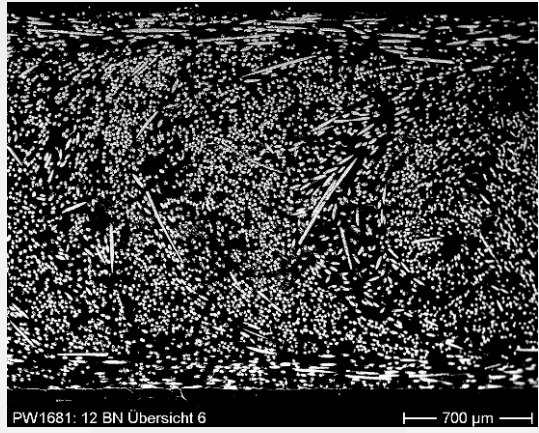
Fallbeispiel Crash – Nutini Box

Dynamisches Werkstoffverhalten

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

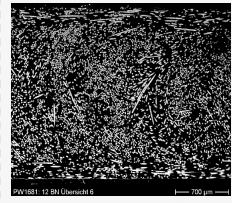


Fallbeispiel Crash – Nutini Box

Simulationskette für LS-DYNA

[2014Jilka]

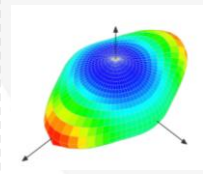
Injection molding (Moldflow, Moldex, ...)



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

fiber orientation

micromechanic modeling (4a micromec, ...)

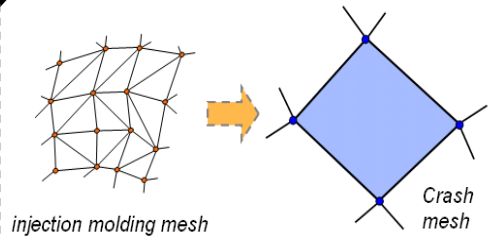


$$c = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & c_{14} & c_{15} & c_{16} \\ & c_{22} & c_{23} & c_{24} & c_{25} & c_{26} \\ & & c_{33} & c_{34} & c_{35} & c_{36} \\ & & & c_{44} & c_{45} & c_{46} \\ & & & & c_{55} & c_{56} \\ & & & & & c_{66} \end{bmatrix}$$

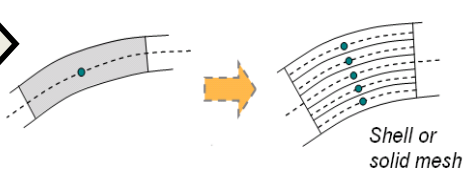
anisotropy

Mapping (4a fibermap, ...)

In plane mapping



Mapping in thickness direction



Crash Simulation (LS-DYNA)

orientations

- *ELEMENT_SHELL_BETA
- *ELEMENT_SHELL_COMPOSITE
- *INITIAL_STRESS_SHELL(SOLID)
- *ELEMENT_SOLID_ORTHO

standard material models

- *MAT_(ANISO)TROPIC_ELASTIC
- *MAT_ANISOTROPIC_ELASTIC_PLASTIC



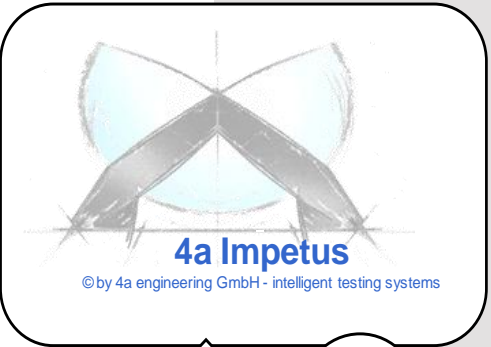
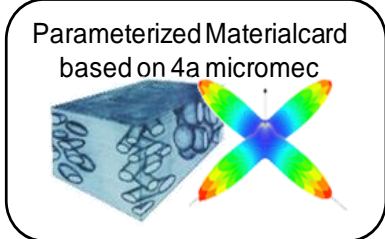
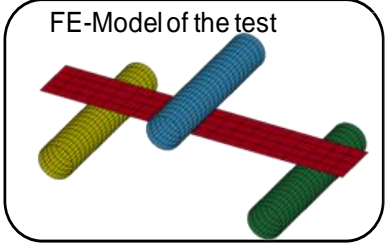
Fallbeispiel Crash – Nutini Box

Materialkartenerstellung – 4a impetus



Element orientation e.g.
*ELEMENT_SHELL_BETA

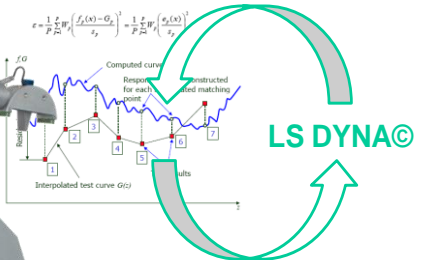
Material angle



LS PREPOST

DATABASE
measurement, models

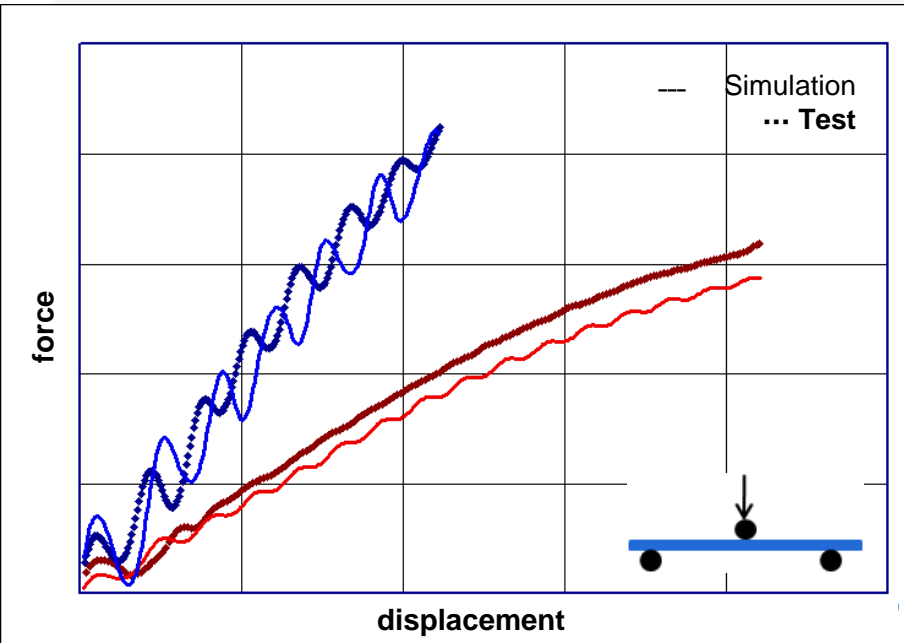
ORIENTATION
e.g. 0°, 45°, 90°



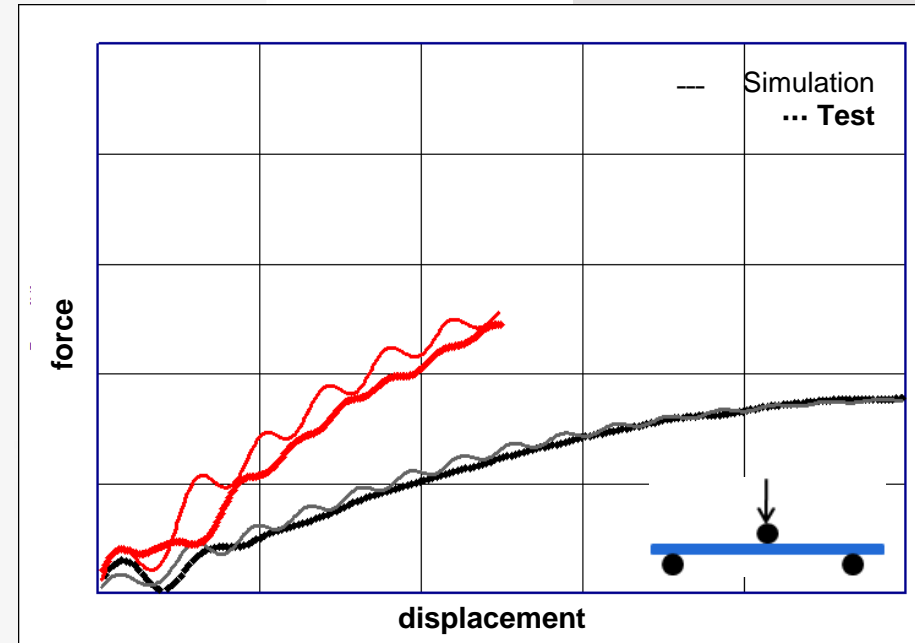
Reverse Engineering



longitudinal



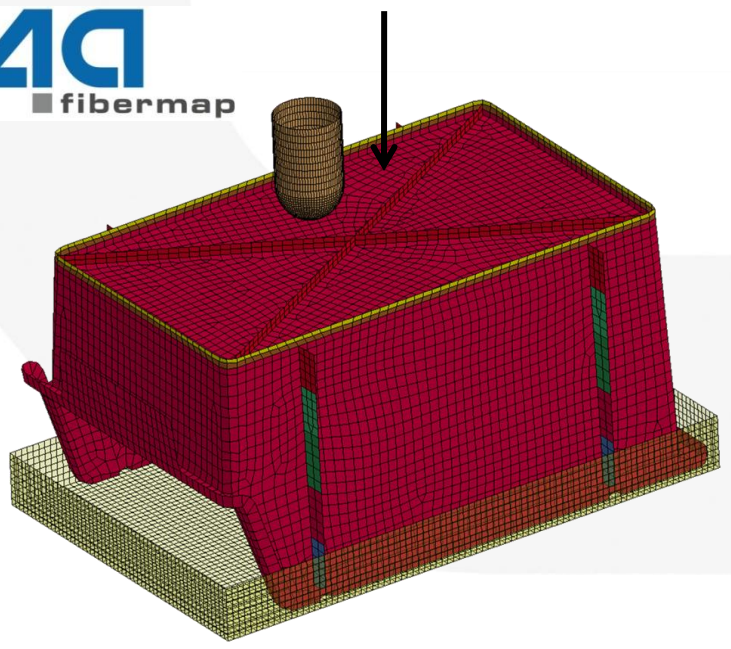
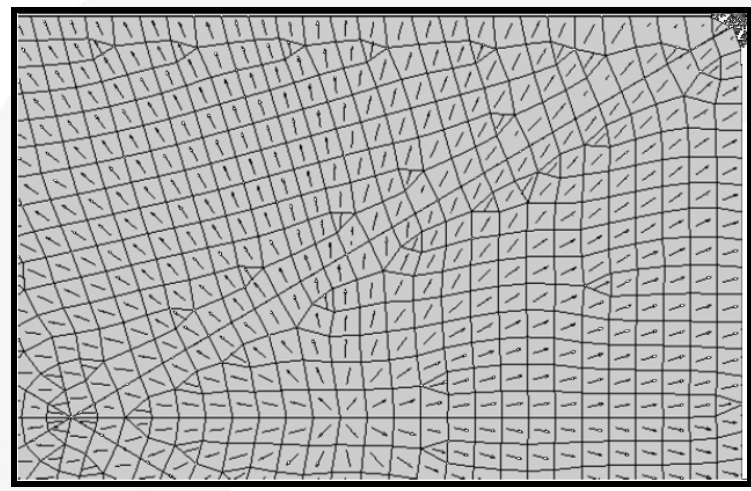
perpendicular [2014Jilka]



- Anpassung MAT_157 in LSDYNA
orthotrop elastisch + orthotrop viskoplastisches Materialmodell (Hill Plastizität)
- Versagen auf Basis von Hill Vergleichsdehnung
- Materialeigenschaften können am Integrationspunkt definiert werden.

Fallbeispiel Crash – Nutini Box

Materialkartenerstellung – 4a impetus



[2014Jennrich]



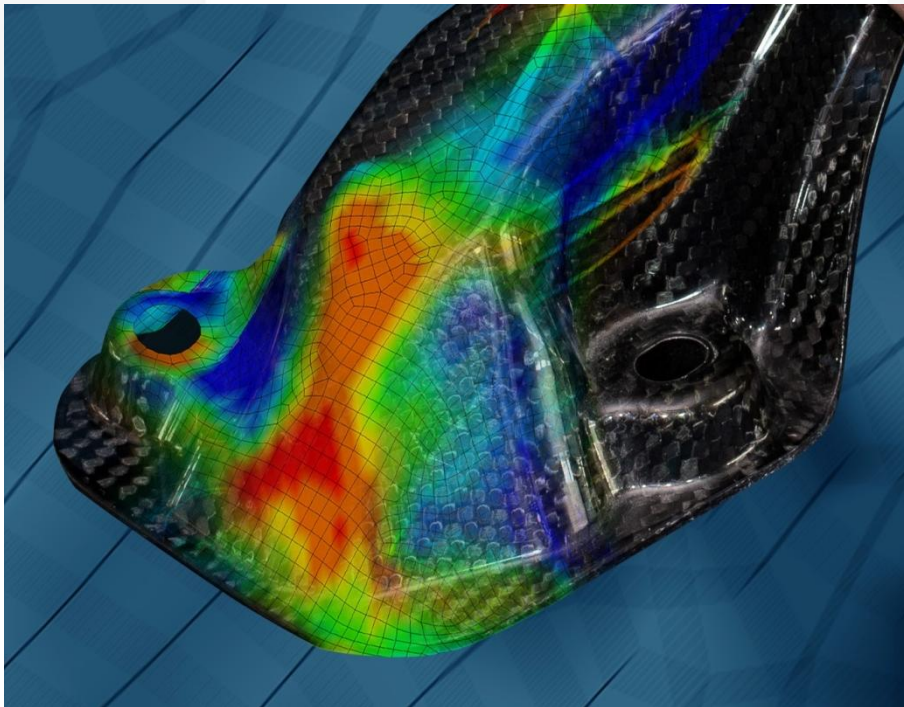
- Anhand von einigen Fallbeispielen wurde die Integrative Simulation, der Ablauf und Einflussgrößen auf Sie sowie die Möglichkeiten und Grenzen erläutert.
- Mit 4a impetus, 4a micromec und 4a fibermap sowie das entsprechende Know-How dazu ist eine Komplettlösung für die Integrative Simulation im Haus vorhanden, um Bauteile möglichst realitätsnah bestmöglich mit der Simulation abzubilden.

Veranstaltungshinweis

Der **4a TECHNOLOGIETAG** findet vom **5.- 6. März 2015** in Schladming zum insgesamt 12. Mal statt.

Das Thema heuer lautet „**Leichtbau und Composites**“.

Nähere Informationen sind demnächst auf der Homepage <http://technologietag.4a.co.at/> verfügbar.



Vielen Dank für die Aufmerksamkeit



- [2004Reithofer]** P. Reithofer P.; R. Hafellner (4a engineering GmbH) – *Kurzfaserverstärkte Kunststoffbauteile - Einfluss der spritzgussprozessbedingten Faserorientierung auf die Strukturmechanik*, VIRTUAL PRODUCT DEVELOPMENT CONFERENCE & MSC.Software User Meeting 2004, München, Deutschland
- [2008Reithofer]** P. Reithofer, M. Fritz, T. Wimmer (4a engineering GmbH) – *Kurzfaserverstärkte Kunststoffbauteile - Einfluss der prozessbedingten Faserorientierung auf die Strukturmechanik*, 7. LS-DYNA Anwenderforum, Bamberg 2008 ([Link](#))
- [2011Reithofer]** P. Reithofer, T. Wimmer (4a engineering GmbH) – *Integrative Simulation - Berücksichtigung der prozessbedingten Anisotropie*, 8. 4a Technologietag - 2011 ([Link](#))
- [2012Gramling]** M. Gramling (Audi AG), P. Reithofer (4a engineering GmbH) – *Integrative Simulation von kurzfaserverstärkten Thermoplasten am Beispiel einer Tankklappe*, 9. 4a Technologietag - 2012 ([Link](#))
- [2012Reithofer]** P. Reithofer, B. Jilka, A. Fertschej (4a engineering GmbH) – *4a micromec für die integrative Simulation faserverstärkter Kunststoffe*, 11. LS-DYNA Anwenderforum, Ulm 2012 ([Link](#))

[2014Haufe]

A. Haufe (DYNAmore GmbH) – *Zum aktuellen Stand der Simulation von Kunststoffen mit LS-DYNA*, 11. 4a Technologietag - 2014 ([Link](#))

[2014Jennrich]

R. Jennrich, M. Roth, Prof. S. Kolling (Technische Hochschule Mittelhessen)
C. Liebold (DYNAmore GmbH), G. Weber (Celanese GmbH) –
Experimentelle und numerische Untersuchung eines kurzglasfaserverstärkten Kunststoffes, 13. LS-DYNA Forum 2014, Bamberg ([Link](#))

[2014Jilka]

P. Reithofer, B. Jilka (4a engineering GmbH), S. Hartmann, T. Erhart, A. Haufe (DYNAmore GmbH) – *Short and long fiber reinforced thermoplastics material models in LS-DYNA*, 13. LS-DYNA Forum 2014, Bamberg ([Link](#))