4a micromec für die integrative Simulation faserverstärkter Kunststoffe

Bernhard Jilka, Peter Reithofer, Artur Fertschej

4a engineering GmbH, Traboch, Austria

Abstract

In the last years the demand on weight reduction in the automotive industry has led to a hype in requests for various composite applications. Due to the complexity of those usually highly anisotropic materials virtual product development is one of the key factors to understand the behaviour of parts and furthermore to ensure an efficient and robust product development. Fiber orientation, size and geometry have a significant influence on the part performance. Orthotropic properties increase with increasing fiber content while at the same time the dependency of the stress-strain curve on the strain rate decreases.

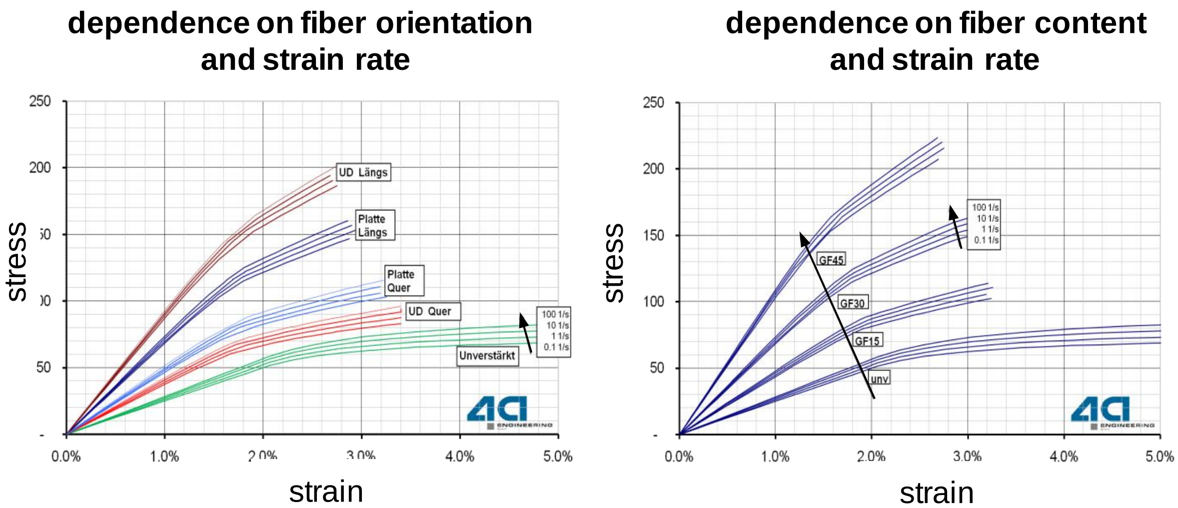


Fig. 1: typical material behaviour of SFRT depending on fiber content, fiber orientation and strain rate

Even if the current available material models in FE-Codes are not able to fulfil all requirements to describe the real material behaviour, these models can describe the main anisotropic influence of the fiber reinforcement. To determine the required model parameters normally a huge amount of specialised and expensive tests have to be conducted.

The usage of micro mechanic models support the parameter determination and it is possible to reduce the testing effort. **4a micromec** is a software based on the Mori-Tanaka mean field theory that allows us to simulate complete three-dimensional material properties for composites.

In the case of short and long fiber reinforced thermoplastics the anisotropic material properties depend on the manufacturing process. Due to the injection molding process and the geometry-dependent filling behavior of the resin the fibers are orientated. For an accurate simulation of structural parts this process chain has to be taken into account. Therefore the fiber orientation calculated in a the process simulation is used to determine the local anisotropic material properties and is mapped to a standard LS-DYNA material card.

$$a_{ij} = \begin{bmatrix} 0{,}66 & 0 & 0 \\ 0 & 0{,}32 & 0 \\ 0 & 0 & 0{,}02 \end{bmatrix} \qquad a_{ij} = \begin{bmatrix} 0{,}87 & 0 & 0 \\ 0 & 0{,}11 & 0 \\ 0 & 0 & 0{,}02 \end{bmatrix}$$

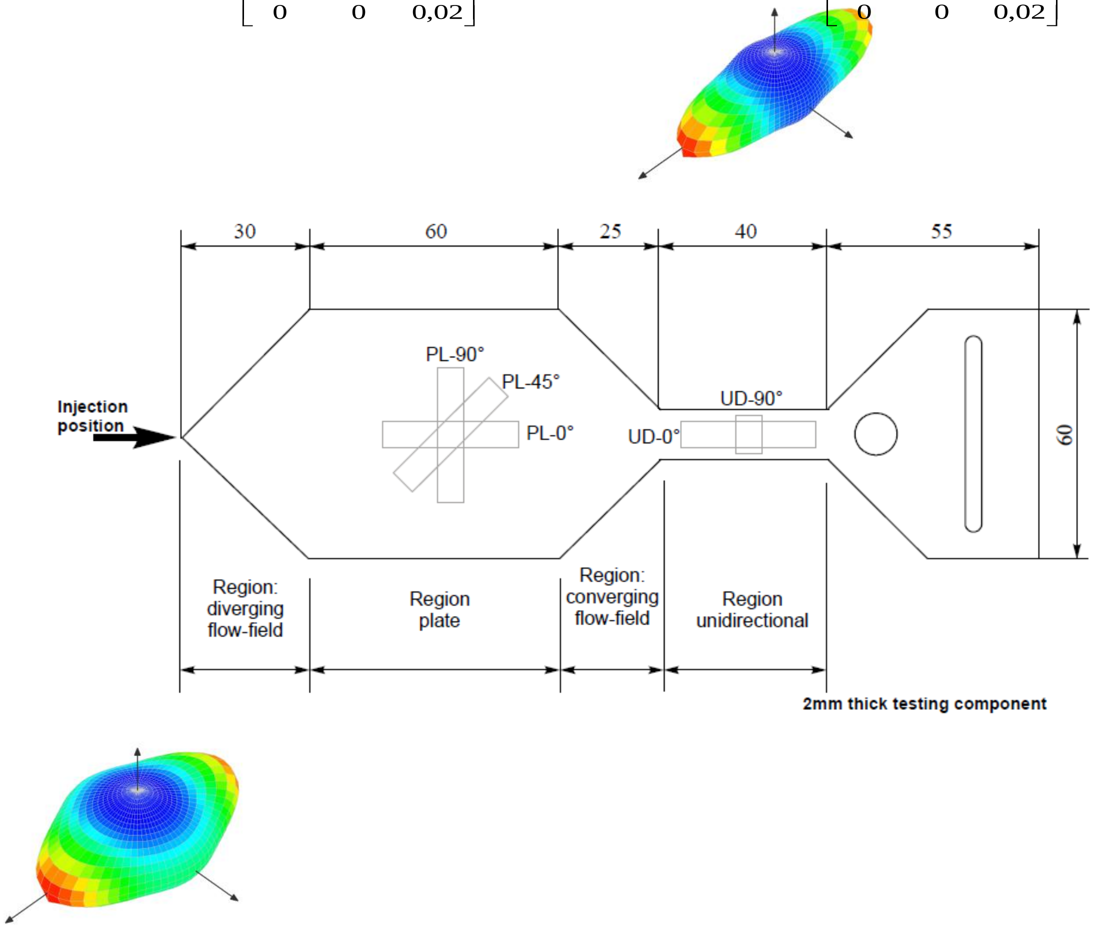


Fig. 2: experimental tool with different fiber orientation regions and their typical 3D anisotropic stiffness

As mentioned before the available LS-DYNA material models cannot describe the whole material behavior. Therefore a user defined material model based on the 4a micromec software routines, which can describe the orthotropic elastic orthotropic visco-plastic material behavior, was used in the structural simulation.

Finally we show in some case studies the use of the comprehensive simulation process and compare different material models to each other.

Keywords:

4a micromec, fiber orientation, short fiber reinforced polymers, user material, mapping

4a micromec für die integrative Simulation faserverstärkter Kunststoffe

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

11. LS-DYNA FORUM 2012

9. - 10. OKTOBER 2012, ULM

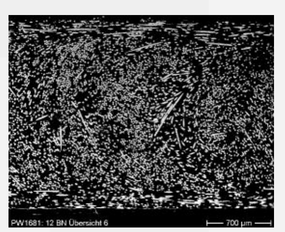
Werkstoffverhalten

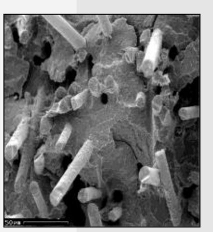
Einleitung

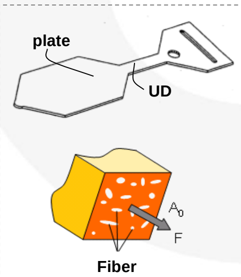
Wesentliche Einflussgrößen sind Fasergehalt und -form. Mit steigendem Fasergehalt steigt der Einfluss der Orthotropie und sinkt der anteilige matrixbedingte Einfluss der Dehnrate.

Werkstoffverhalten ist

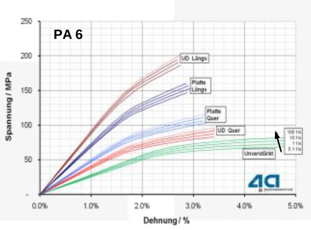
- orthotrop
- viskoelastisch
- viskoplastisch



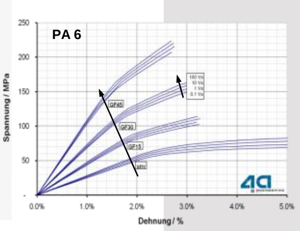




Einfluss der Faserorientierung



Einfluss des Fasergehaltes

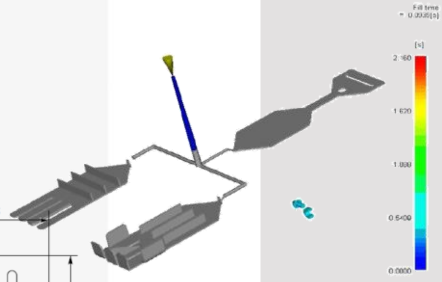


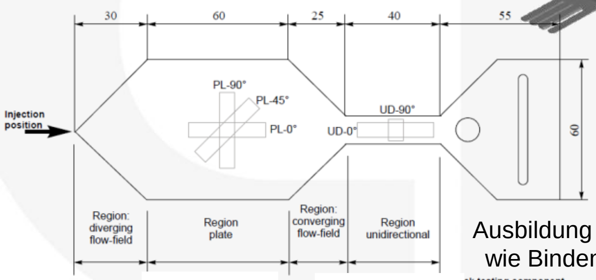
Prozesssimulation
Forschungsform

Spritzgusssimulationen bieten die Möglichkeit den Herstellprozess hinsichtlich

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

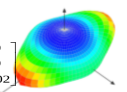
zu untersuchen.

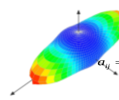




Ausbildung unterschiedlicher Anisotropien wie Bindenähte oder Faserorientierung.

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



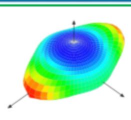


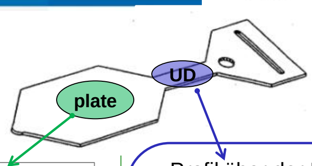
$$a_{ij} = \begin{bmatrix} 0{,}87 & 0 & 0 \\ 0 & 0{,}11 & 0 \\ 0 & 0 & 0{,}02 \end{bmatrix}$$

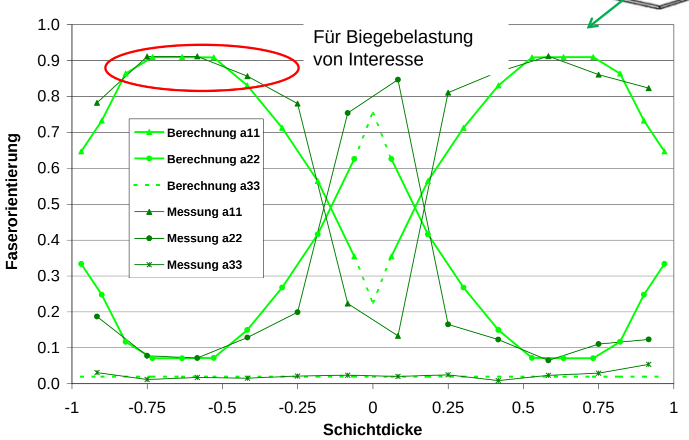
Prozesssimulation
Faserorientierung in typischen Bereichen

Mittlere FO in Tensorform

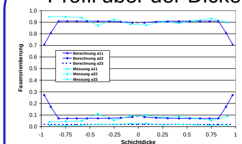
$$a_{ij} = \begin{bmatrix} 0{,}66 & 0 & 0 \\ 0 & 0{,}32 & 0 \\ 0 & 0 & 0{,}02 \end{bmatrix}$$





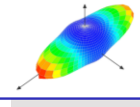


Profil über der Dicke



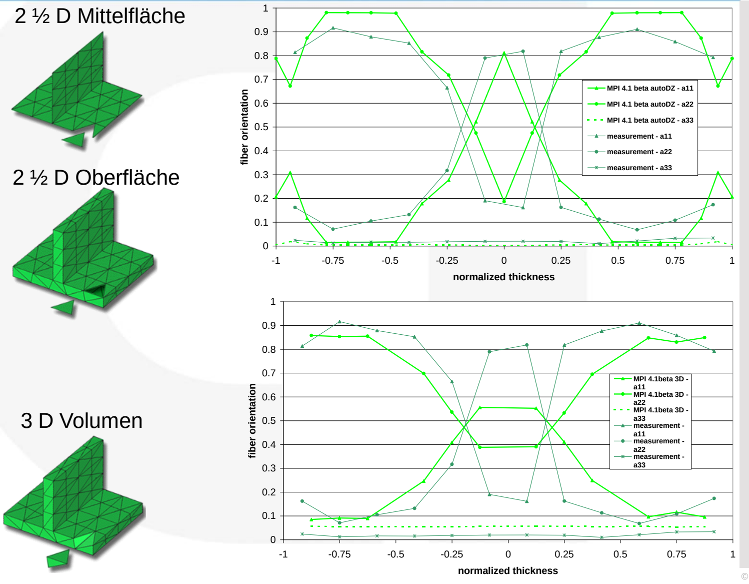
Mittlere FO in Tensorform

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



Prozesssimulation

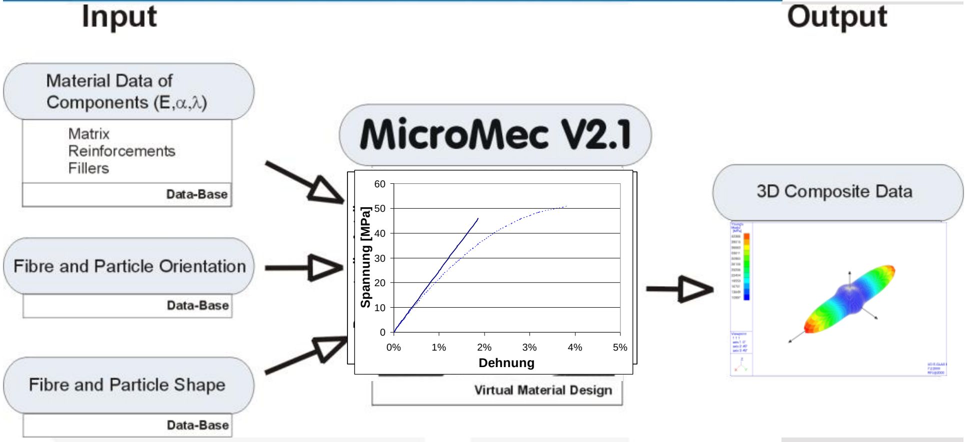
Modellierung - Faserorientierung



Dual Domain MPI 4.1 beta 2003

3D MPI 4.1 beta 2003

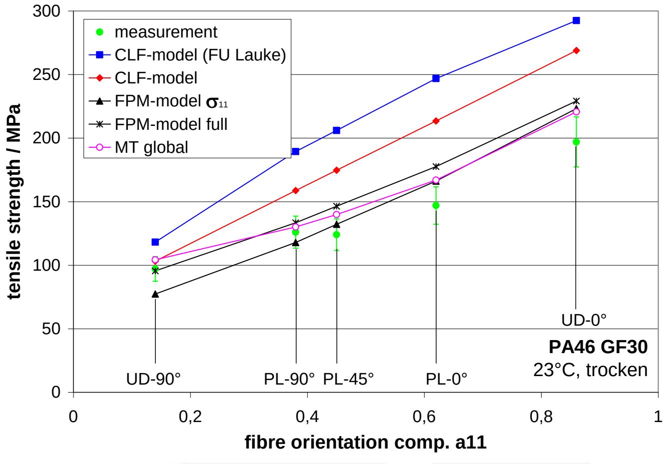
Materialmodell / Mikromechanik



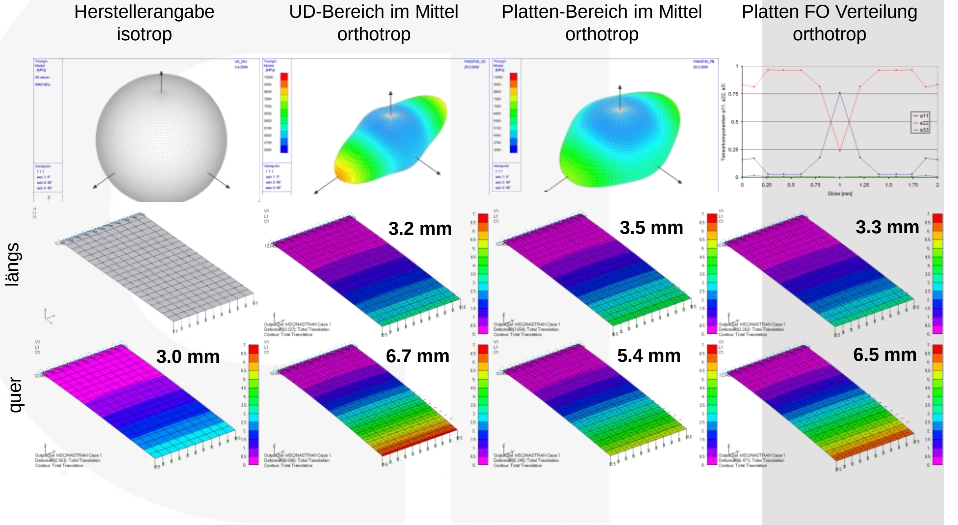
- Anwendung von SFRT, LFRT, CFK, GFK, ….
- Standalone Lösung verfügbar (3D thermoelastischen Eigenschaften)
- User Material (orthotrop elastisch viskoplastisch mit Versagen)

Materialmodell / Mikromechanik
Versagensmodelle

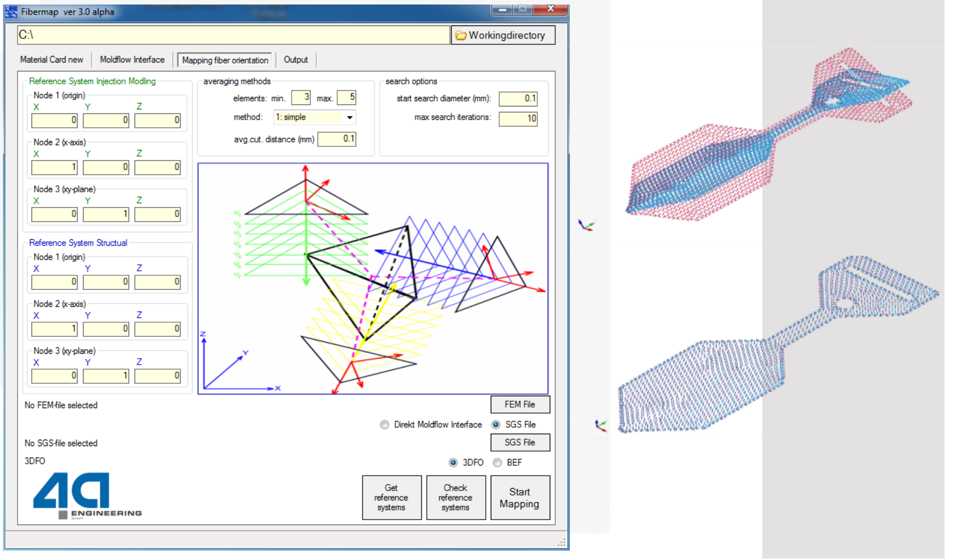
Untersuchungen verschiedener Versagensmodelle (Paper PPS18)



Materialmodell / Mikromechanik
Vergleich Biegesteifigkeit einer Platte

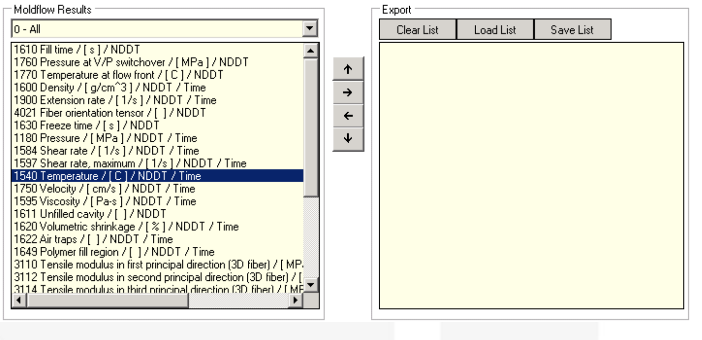


Integrative Simulation – 4a Fibermap
Mapping



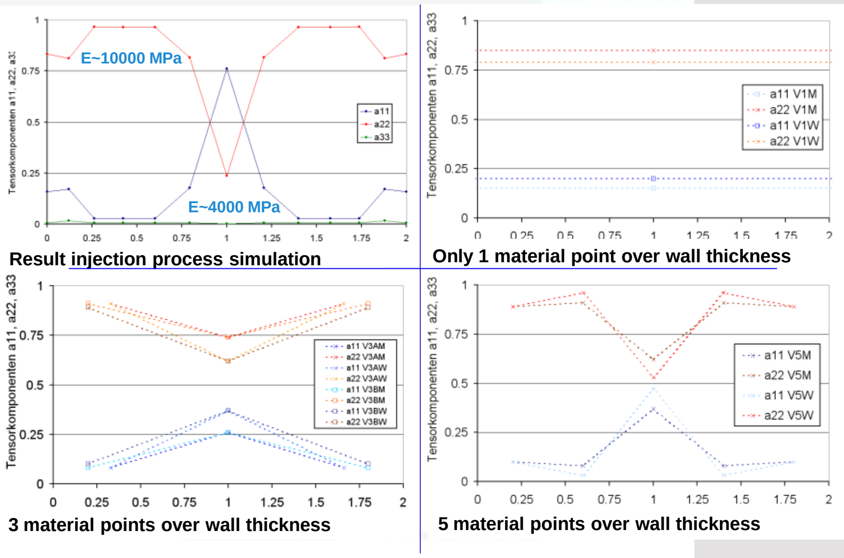
Integrative Simulation – 4a Fibermap
Mapping

- Schnittstellen zu Moldflow und Moldex



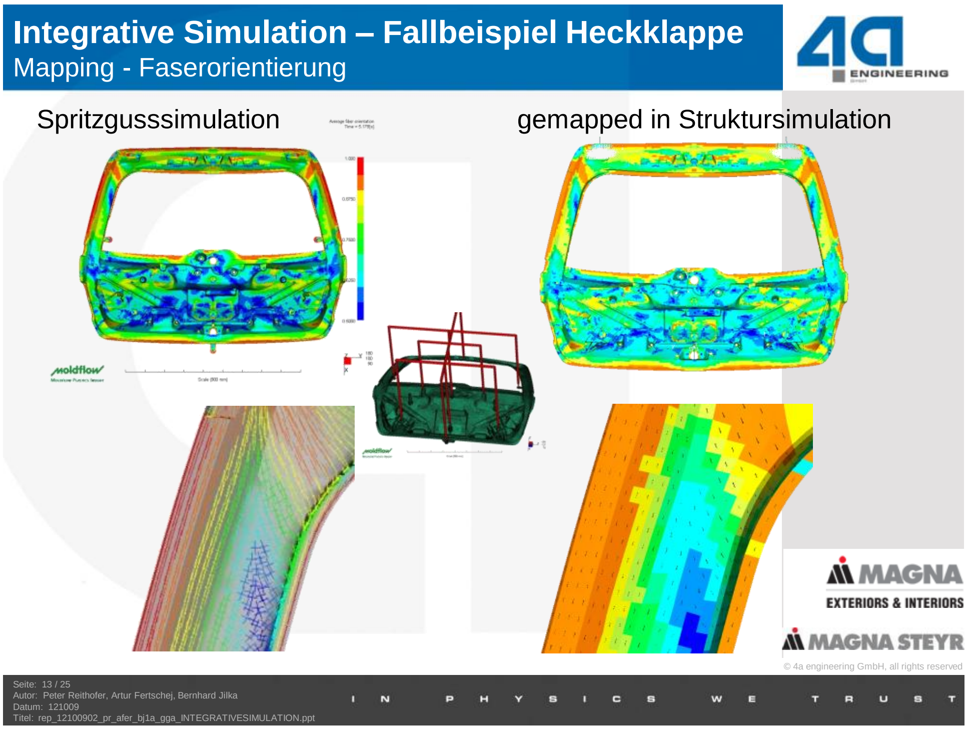
- Ausgabe individuell einstellbar
  - Faserorientierung → Usermaterial
  - Inputdecks z.B. Nastran, LSDYNA

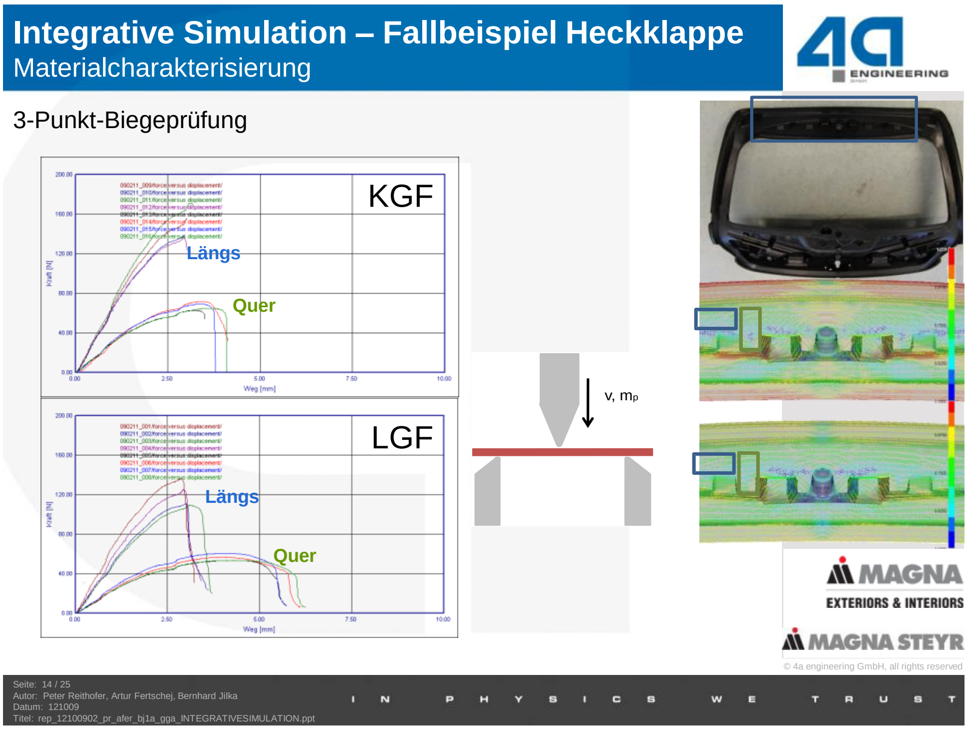
Integrative Simulation
Mapping



Simulation
Vorgehensweisen Struktursimulation

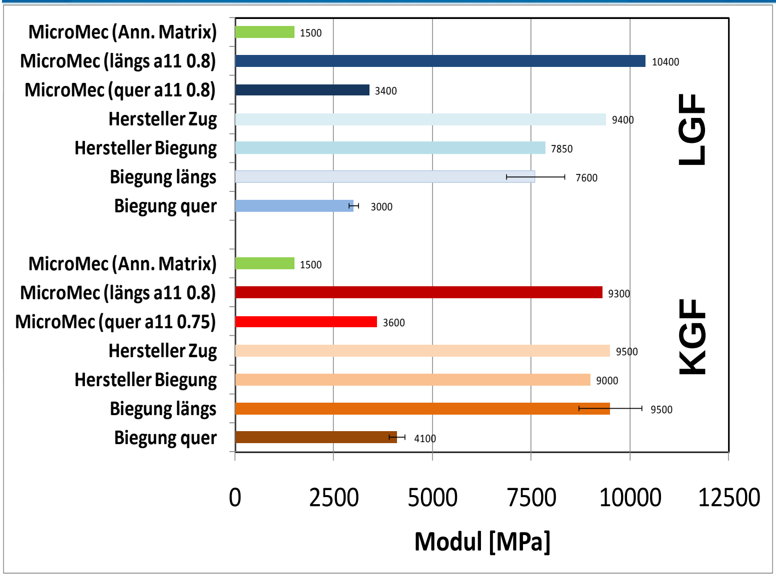
- **Ohne integrative Simulation**
  - isotrop elastisches Materialverhalten
  - Herstellerdaten (Extremwert)
  - Messdaten (Extremwerte, Mittelung)
- **Integrative Simulation - Schnittstellenthematik**
  - orthotrop elastisches Materialverhalten
  - Materialverhalten aus Prozesssimulation (Moldflow, Moldex, ….) einfache Mischungsansätze
  - Schnittstellen zu Nastran, Ansys, Abaqus, LS-DYNA
  - Kaum Fitting zu Messdaten möglich
  - Steifigkeitsabbildung möglich, Versagenskriterien fehlen.
- **Komplexe integrative Simulation - USERMATERIAL**
  - Benutzerdefiniertes Material integriert in Solvern wie Abaqus, LS-DYNA, Ansys, Pam-Crash
  - Faserorientierung aus der Prozesssimulation Basis für die Mikromechanik
  - Versagenskriterien möglich
  - Rechenzeit / Aufwand steigt


Integrative Simulation – Fallbeispiel Heckklappe
Mapping - Faserorientierung
4a ENGINEERING
Spritzgusssimulation
gemapped in Struktursimulation
moldflow
MAGNA
EXTERIORS & INTERIORS
MAGNA STEYR
© 4a engineering GmbH, all rights reserved
Seite: 13 / 25
Autor: Peter Reithofer, Artur Fertschej, Bernhard Jilka
Datum: 121009
Titel: rep_12100902_pr_afer_bj1a_gga_INTEGRATIVESIMULATION.ppt
I N P H Y S I C S W E T R U S T


Integrative Simulation – Fallbeispiel Heckklappe
Materialcharakterisierung
4a ENGINEERING
3-Punkt-Biegeprüfung
KGF
Längs
Quer
LGF
Längs
Quer
Kraft [N]
Weg [mm]
v, mp
MAGNA
EXTERIORS & INTERIORS
MAGNA STEYR
© 4a engineering GmbH, all rights reserved
Seite: 14 / 25
Autor: Peter Reithofer, Artur Fertschej, Bernhard Jilka
Datum: 121009
Titel: rep_12100902_pr_afer_bj1a_gga_INTEGRATIVESIMULATION.ppt
I N P H Y S I C S W E T R U S T

Integrative Simulation – Fallbeispiel Heckklappe

Vergleich Messung, Herstellerdaten, Mikromechanik

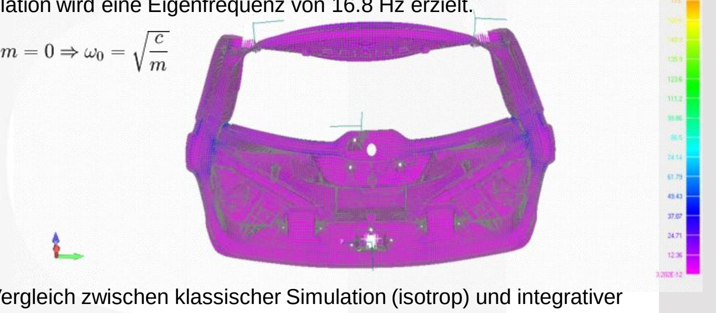


Integrative Simulation – Fallbeispiel Heckklappe

Struktursimulation Eigenfrequenz-Analyse

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

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

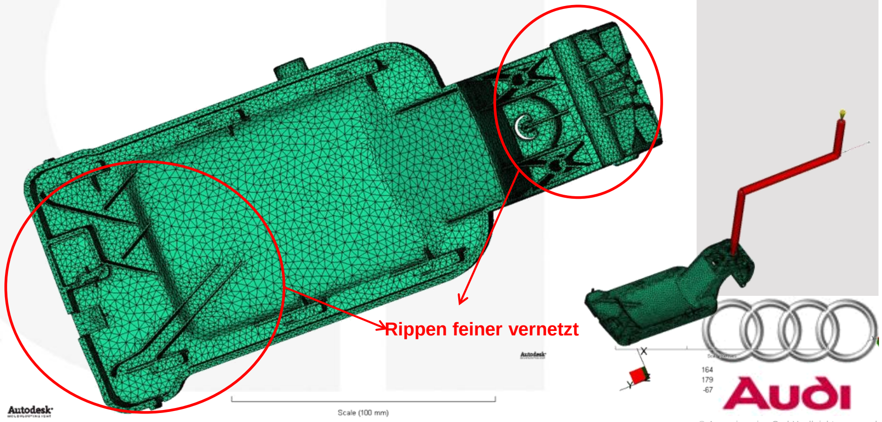


- Ein Vergleich zwischen klassischer Simulation (isotrop) und integrativer Simulation zeigt bei Steifigkeitsbetrachtung das mögliche Fehlerpotential für dieses Bauteil bei Vernachlässigung der Anisotropie.

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 Tankklappe
Modellaufbau

- Fusion Modell: 60.160 Elemente (12 Layer)
- 3D- Modell: 940.187 Elemente
- Mesh Density: 0.7 – 2 mm (abhängig vom Geometriebereich)
- Der Anguss wurde mit Beam- Elementen realisiert und als Heißkanal ausmodelliert.



Integrative Simulation – Fallbeispiel Tankklappe
Spritzgusssimulation

- Die beiden Simulationen weisen nur geringe Abweichungen voneinander auf, daher wurden nur die Daten der Fusion Simulation verwendet.

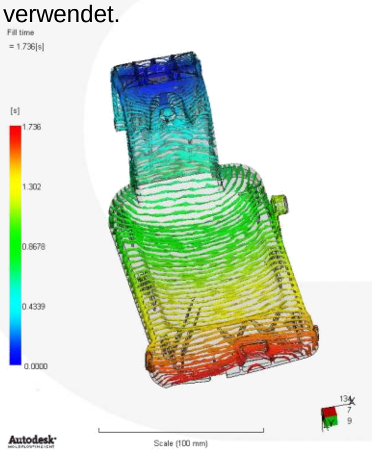


Abb.: Füllzeit 3D-Mesh

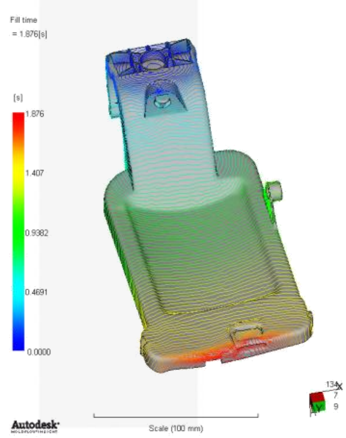
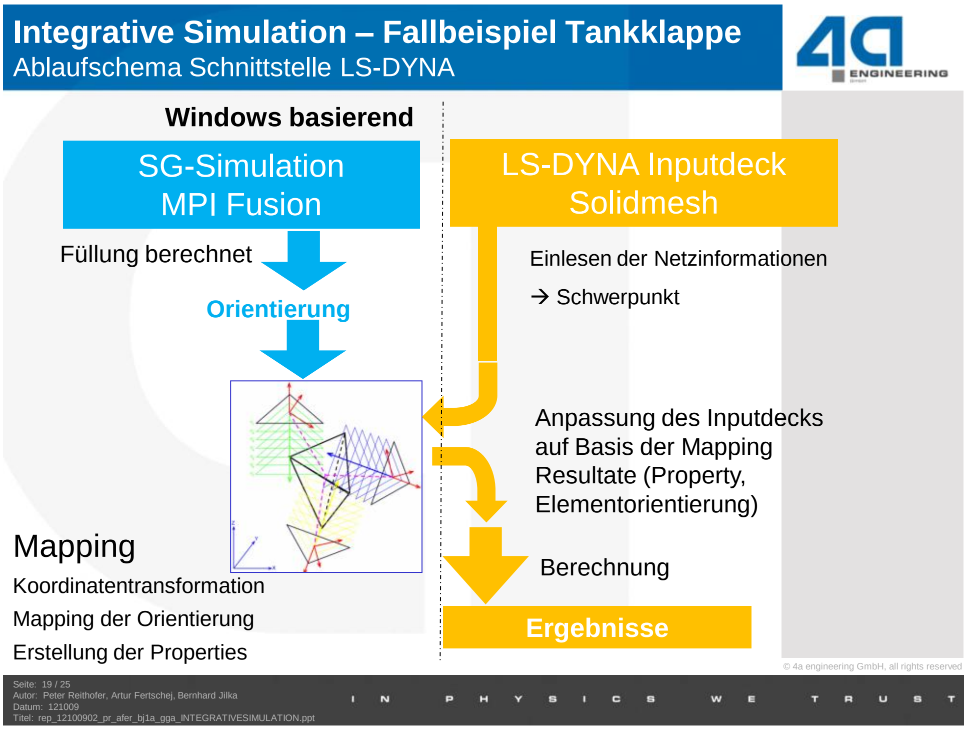
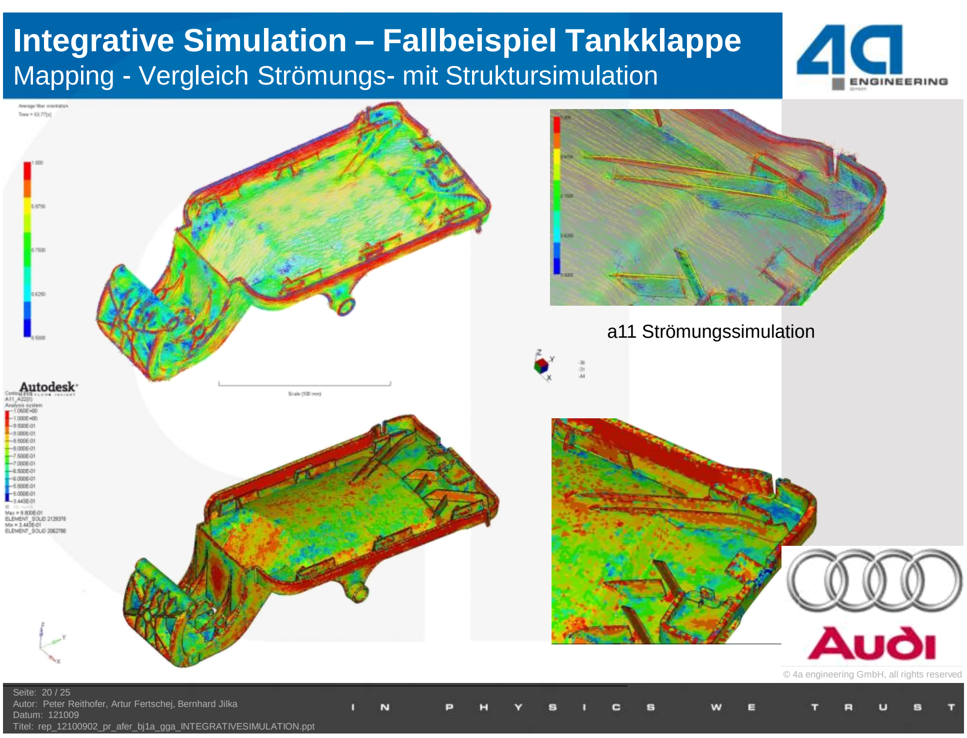


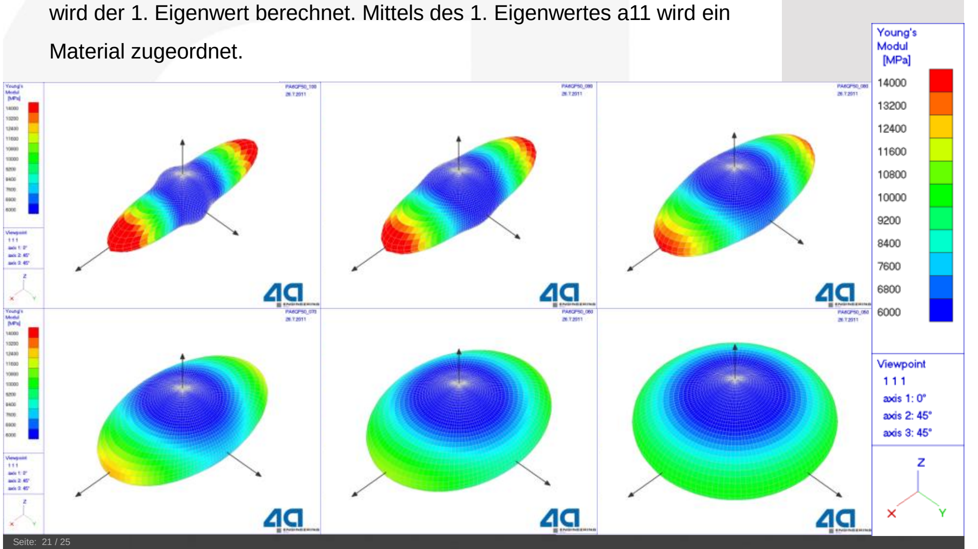
Abb.: Füllzeit Fusion


Integrative Simulation – Fallbeispiel Tankklappe
Ablaufschema Schnittstelle LS-DYNA
4a ENGINEERING
Windows basierend
SG-Simulation
MPI Fusion
LS-DYNA Inputdeck
Solidmesh
Füllung berechnet
Orientierung
Einlesen der Netzinformationen
→ Schwerpunkt
Anpassung des Inputdecks auf Basis der Mapping Resultate (Property, Elementorientierung)
Mapping
Koordinatentransformation
Mapping der Orientierung
Erstellung der Properties
Berechnung
Ergebnisse
© 4a engineering GmbH, all rights reserved
Seite: 19 / 25
Autor: Peter Reithofer, Artur Fertschej, Bernhard Jilka
Datum: 121009
Titel: rep_12100902_pr_afer_bj1a_gga_INTEGRATIVESIMULATION.ppt
IN PHYSICS WE TRUST


Integrative Simulation – Fallbeispiel Tankklappe
Mapping - Vergleich Strömungs- mit Struktursimulation
4a ENGINEERING
Autodesk
a11 Strömungssimulation
Audi
© 4a engineering GmbH, all rights reserved
Seite: 20 / 25
Autor: Peter Reithofer, Artur Fertschej, Bernhard Jilka
Datum: 121009
Titel: rep_12100902_pr_afer_bj1a_gga_INTEGRATIVESIMULATION.ppt
IN PHYSICS WE TRUST

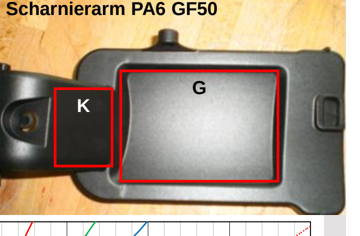
Integrative Simulation – Fallbeispiel Tankklappe
orthotropes gemapptes Material

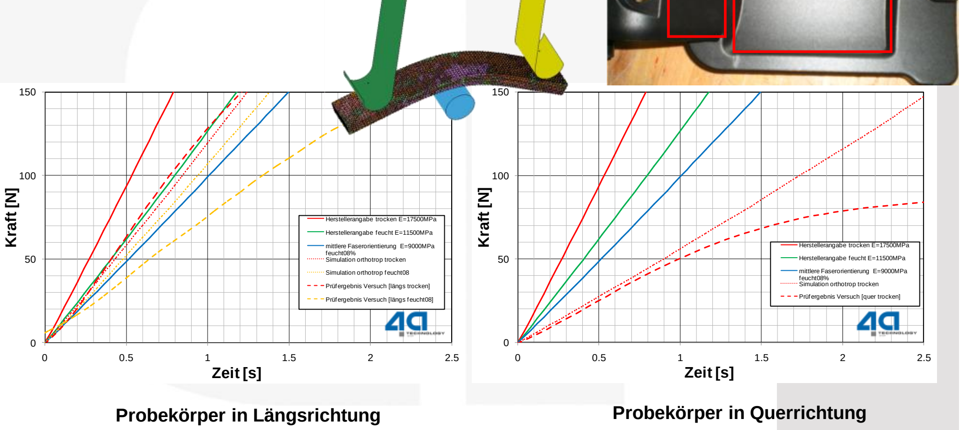
- Mittlere Faserorientierung wird analog gemappt. Neben dem 1. Eigenvektor wird der 1. Eigenwert berechnet. Mittels des 1. Eigenwertes a11 wird ein Material zugeordnet.



Integrative Simulation – Fallbeispiel Tankklappe
Validierung 3-Punkt-Biegung (Herstellerangaben vs. Integrativ)

- Statische Biegeprüfungen an Bauteilproben
- Validierung der Biegeproben
  - Simulation isotrop
  - Simulation mit Mapping der Faserorientierung





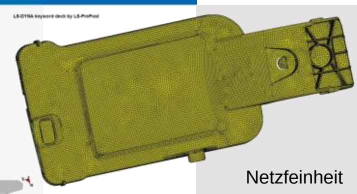
Probekörper in Längsrichtung

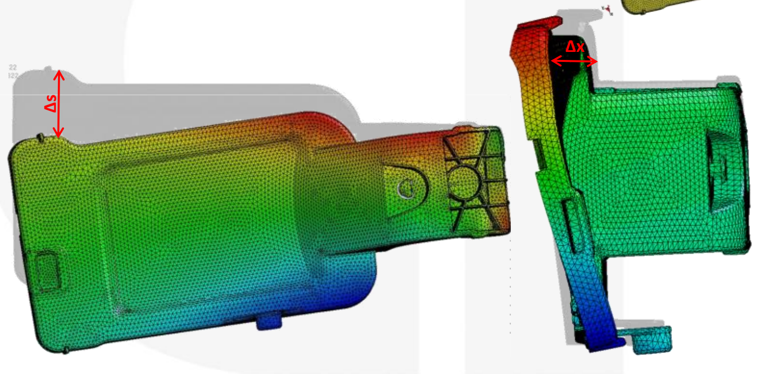
Probekörper in Querrichtung

Integrative Simulation – Fallbeispiel Tankklappe

Idealisierung, Lastfälle

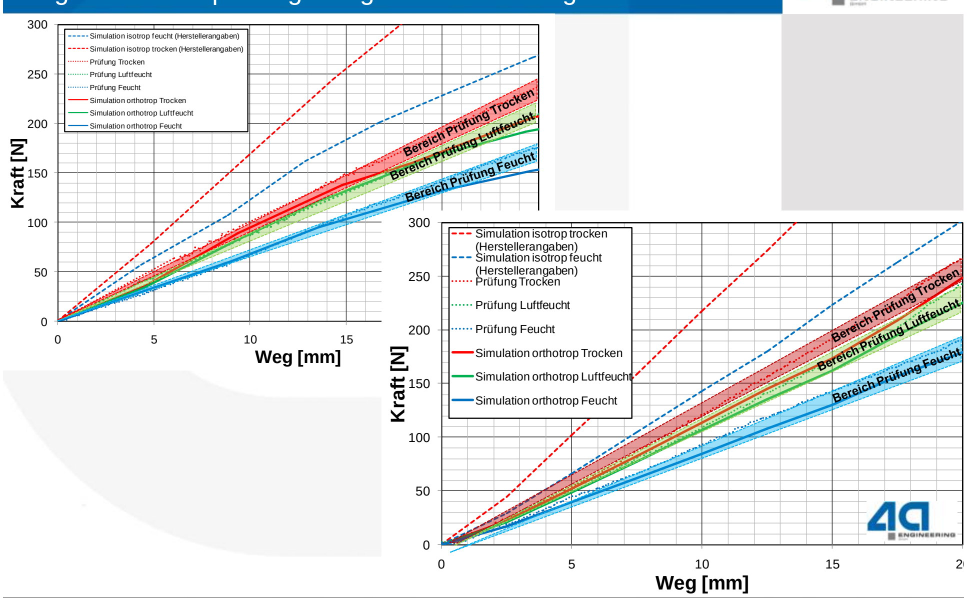
Version : ls971d R5.1.1	
Revision: 65543	
Elementanzahl: 206.142	





Integrative Simulation – Fallbeispiel Tankklappe

Vergleich Bauteilprüfung – Ergebnisse aus Biegesimulation



Zusammenfassung & Ausblick

- **Ohne integrative Simulation**
  - Bauteilauslegung nur mit fundierter Erfahrung möglich
  - Spritzgusssimulation hilfreich, um Qualität der Berechnung beurteilen zu können
  - Materialdaten - Extreme sollten überprüft werden
- **Integrative Simulation**
  - Spritzgusssimulationsprogramme bilden die Faserorientierung in der Regel gut ab, Weiterentwicklungen der Softwarehersteller (LFRT) werden hier weiter 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.