

Kurzfaserverstärkte Kunststoffbauteile Einfluss der prozessbedingten Faserorientierung auf die Strukturmechanik

P. Reithofer , M. Fritz, T.Wimmer (4a engineering GmbH, Traboch, A)

Abstract:

In the field of automotive applications the use of short fiber reinforced polymers is very common. Due to the injection molding process and the filling behavior of the geometry the fibers are orientated. On a simple mind model various material laws of LS DYNA are used, to determine their usefulness for the description of different fiber orientations.

For an accurate simulation of structural parts the production process has to be considered thoroughly. An interaction between injection molding process simulation and structural analysis is required to build up the comprehensive simulation process. For that reason special in-house developed software routines ("*fibermapping*") are used to transfer the fiber information between different meshes.

Finally the influence of the fiber orientation on material properties can be taken into account by micro mechanic models (Mori-Tanaka mean field theory). In a concrete case study the use of the comprehensive simulation process is shown and compared with standard simulation processes working without consideration of fiber orientation.

Keywords:

4a virtual fibermap, 4a micromec, fiber orientation, short fiber reinforced polymers,



7. LS-DYNA FORUM 2008

30. SEPTEMBER - 1. OKTOBER 2008, BAMBERG

Kurzfaserverstärkte Kunststoffbauteile Einfluss der prozessbedingten Faserorientierung auf die Strukturmechanik

P. Reithofer, M. Fritz, T. Wimmer (4a engineering GmbH)



© 4a engineering GmbH, all rights reserved

Seite: 1/18
Autor: Peter Reithofer, Martin Fritz
Datum: 080916
Titel: rep_08091603_pr_mf_heb_dynaforum081ber.ppt

I N P H Y S I C S W E T R U S T

Inhalt



- **kurzfaserverstärkte Thermoplaste**
 - Überblick
 - Spritzgussimulation
 - Messung der Faserorientierung
 - Faserorientierung in typischen Bereichen
 - Werkstoffverhalten
 - Enelementtest unterschiedliche Materialgesetze
- **Berücksichtigung der Faserorientierung**
 - Interaktion unterschiedlicher Simulationsprogramme
 - Idealisierung, Mapping
 - Generelles Analyse-Schema
 - CASE STUDY
- **Zusammenfassung**



© 4a engineering GmbH, all rights reserved

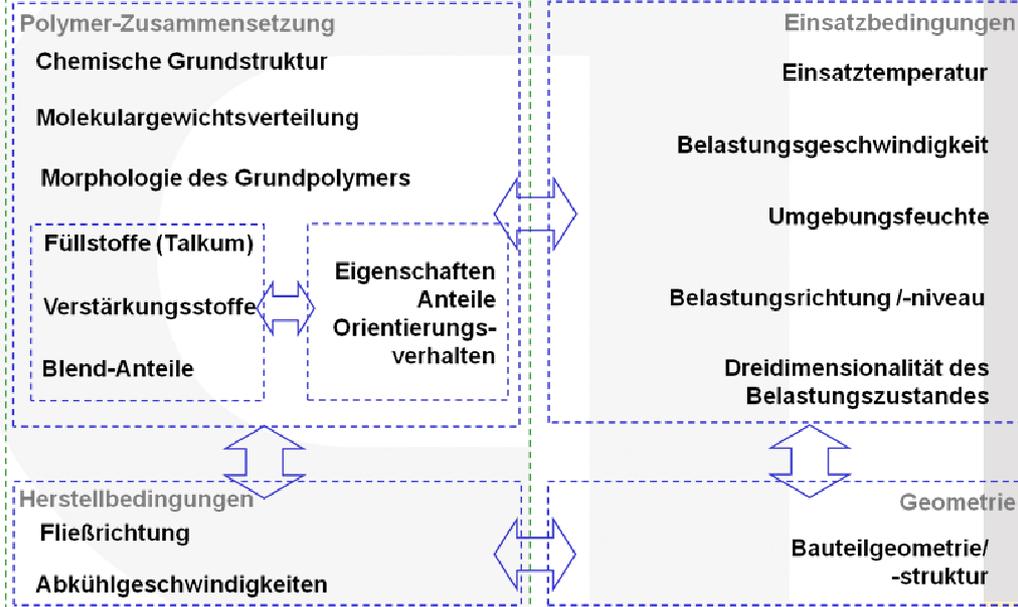
Seite: 2/18
Autor: Peter Reithofer, Martin Fritz
Datum: 080916
Titel: rep_08091603_pr_mf_heb_dynaforum081ber.ppt

I N P H Y S I C S W E T R U S T

kurzfaserverstärkte Thermoplaste Überblick



Material



© 4q engineering GmbH, all rights reserved

Seite: 3/18
 Autor: Peter Reithofer, Martin Fritze
 Datum: 08/09/16
 Titel: rep_08091603_pr_mf_heb_dynaforum081ber.ppt

I N P H Y S I C S W E T R U S T

kurzfaserverstärkte Thermoplaste Überblick



Einsatzgebiet (Automotive, Consumer Products, ...)

Typische Thermoplaste (PA, PP, PEEK, ...)

Fasergehalt (10-50%)

Typische Fasern (Glas, Kohle, ...)

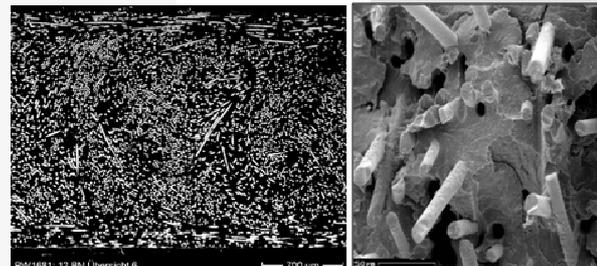
PA 6 unverstärkt

$E=1300-3500 \text{ MPa}$ (feucht – trocken)
 $\sigma=50-90 \text{ MPa}$

PA 6 50% glasfaserverstärkt

nach Matls.com
 $E=9500-17500 \text{ MPa}$ (feucht – trocken)
 $\sigma=120-240 \text{ MPa}$

nach Honeywell.com
 $E=8900-16500 \text{ MPa}$ (feucht – trocken)
 $\sigma=145-210 \text{ MPa}$



mit Messdaten und Mikromechanik (Orientierungsabhängig)

$E_{\text{Matrix}}=2450 \text{ MPa}$ $E_{\text{Faser}}=70000 \text{ MPa}$
 $\sigma_{\text{Matrix}}=80 \text{ MPa}$ $\sigma_{\text{Faser}}=3000 \text{ MPa}$

$E_{\text{verbund}} \sim 3000-15000 \text{ MPa}$
 $\sigma_{\text{verbund}} \sim 90-220 \text{ MPa}$



© 4q engineering GmbH, all rights reserved

Seite: 4/18
 Autor: Peter Reithofer, Martin Fritze
 Datum: 08/09/16
 Titel: rep_08091603_pr_mf_heb_dynaforum081ber.ppt

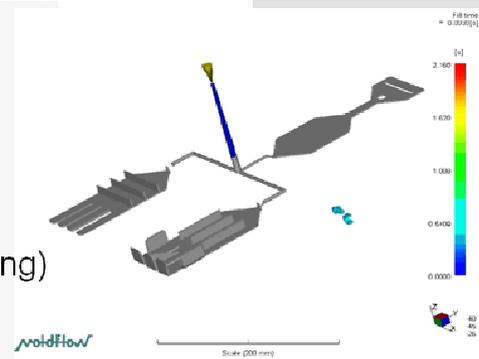
I N P H Y S I C S W E T R U S T

kurzfaserverstärkte Thermoplaste Spritzgussimulation



Spritzgussimulationen bieten die Möglichkeit den Herstellprozess hinsichtlich

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



Mit Hilfe einer eigens dafür entwickelten Forschungsform können spezielle Effekte wie

- Schwindung und Verzug aufgrund unterschiedlicher Rippenanordnungen
 - Schwindung aufgrund des wirkenden Nachdrucks
 - und insbesondere die Ausbildung unterschiedlicher Anisotropien wie Bindenähte oder Faserorientierung.
- untersucht werden.



© 4q engineering GmbH, all rights reserved

Seite: 6/18
 Autor: Peter Reithofer, Martin Fritz
 Datum: 080916
 Titel: rep_08091603_pr_mf_heb_dynaforum081ber.ppt

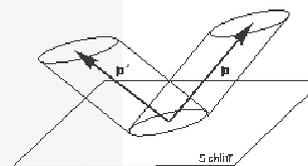
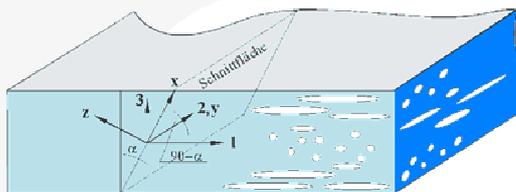
I N P H Y S I C S W E T R U S T

kurzfaserverstärkte Thermoplaste Messung der Faserorientierung



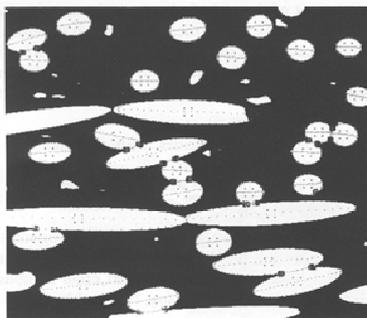
➤ Schliffprobe

Orientierungswinkel werden aus den Schnittellipsen bestimmt



➤ Bildanalyse-system

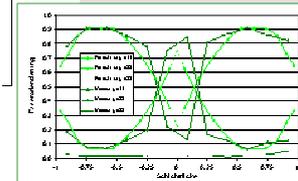
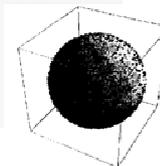
mehrere 1000 Fasern pro Messung



Faserorientierung als Ergebnis

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

$$a_{ij} = \begin{bmatrix} a_{xx} & a_{xy} & a_{xz} \\ & a_{yy} & a_{yz} \\ \text{symm.} & & a_{zz} \end{bmatrix}$$



© 4q engineering GmbH, all rights reserved

Seite: 6/18
 Autor: Peter Reithofer, Martin Fritz
 Datum: 080916
 Titel: rep_08091603_pr_mf_heb_dynaforum081ber.ppt

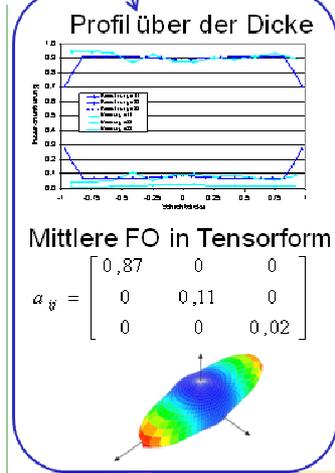
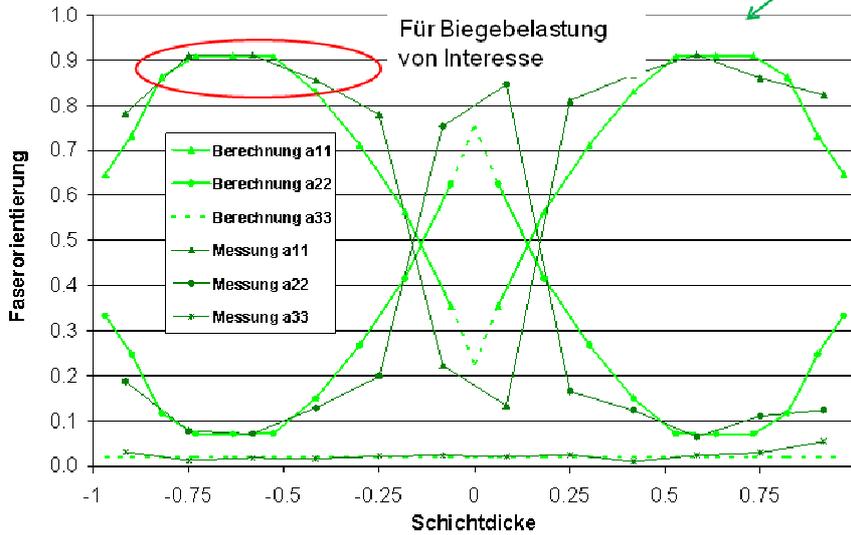
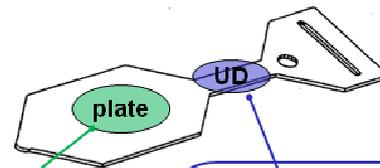
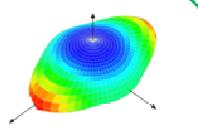
I N P H Y S I C S W E T R U S T

kurzfaserverstärkte Thermoplaste Faserorientierung in typischen Bereichen



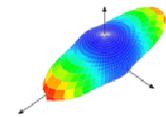
Mittlere FO in Tensorform

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



Mittlere FO in Tensorform

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

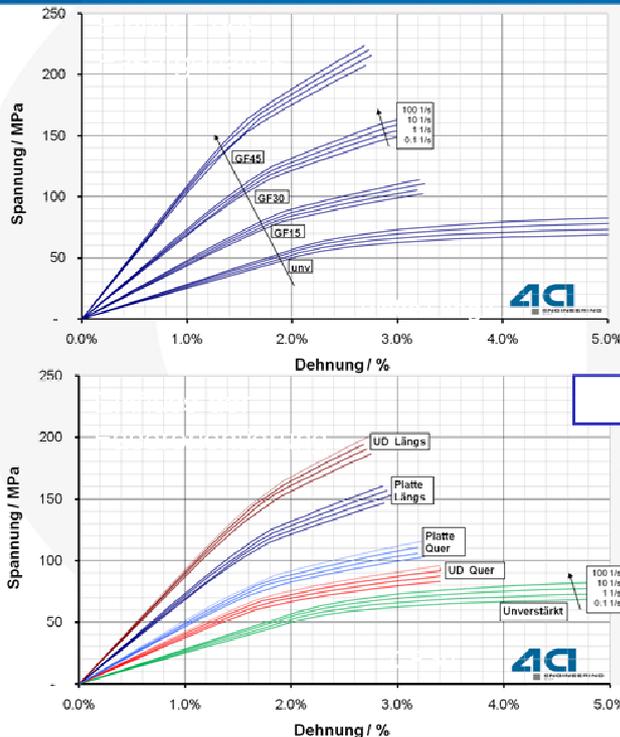


© 4d engineering GmbH, all rights reserved

Seite: 7 / 18
 Autor: Peter Reithofer, Martin Fritz
 Datum: 08/09/16
 Titel: rep_08091603_pr_mf_heb_dynaforum081ber.ppt

I N P H Y S I C S W E T R U S T

kurzfaserverstärkte Thermoplaste Werkstoffverhalten



Werkstoffverhalten ist

- orthotrop
- viskoelastisch
- viskoplastisch

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

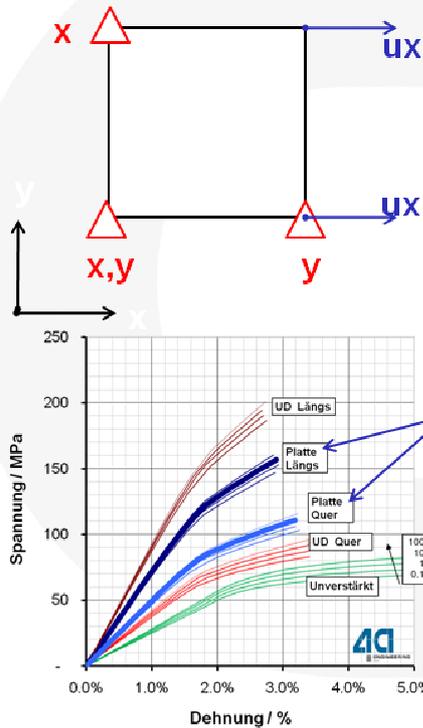


© 4d engineering GmbH, all rights reserved

Seite: 8 / 18
 Autor: Peter Reithofer, Martin Fritz
 Datum: 08/09/16
 Titel: rep_08091603_pr_mf_heb_dynaforum081ber.ppt

I N P H Y S I C S W E T R U S T

kurzfaserverstärkte Thermoplaste Einelementtests unterschiedliche Materialgesetze



Für den für Kunststoffbauteilen typischen Plattenbereich werden unterschiedliche Materialgesetze an einem Einelement Test hinsichtlich ihres Materialabbildungsvermögen untersucht.

LS-Dyna Material Laws

- **MAT_ORTHOTROPIC_ELASTIC (2)*
orthotrop, elastisch, kein Versagen
- **MAT_PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY (24)*
isotrop, elastisch-viskoplastisch
- **MAT_NONLINEAR_ORTHOTROPIC*
orthotrop, nichtlinear
- **MAT_ORTHOTROPIC_VISCOELASTIC*
orthotrop, viskoelastisch
- **MAT_ANISTROPIC_VISCOPLASTIC*
isotrop elastisch, anistrop viskoplastisch
- **MAT_ORTHO_ELASTIC_PLASTIC (108)*
orthotrop, elastisch – plastisch
-

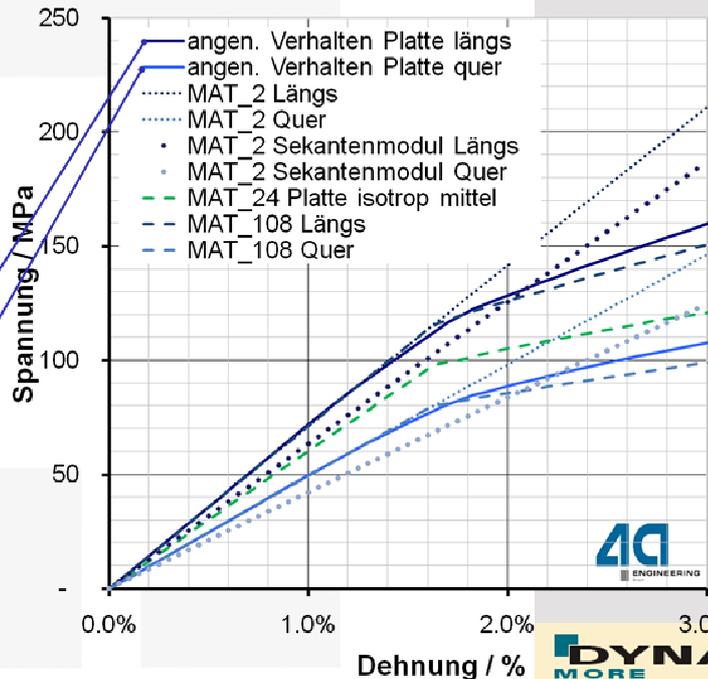
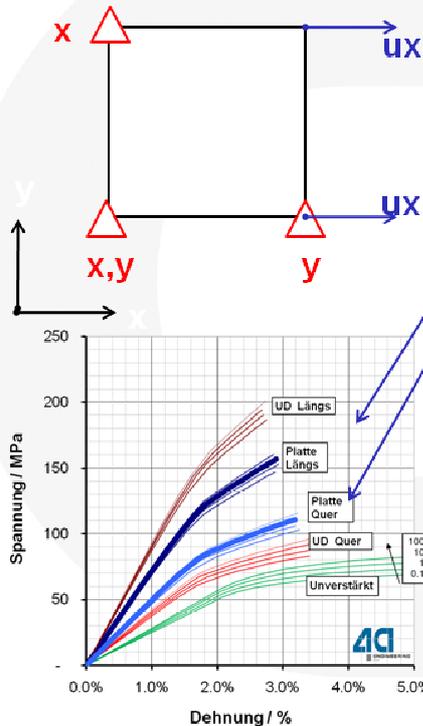


© 4q engineering GmbH, all rights reserved

Seite: 9 / 16
Autor: Peter Reithofer, Martin Fritz
Datum: 08/09/16
Titel: rep_08091603_pr_mf_heb_dynaforum081ber.ppt

I N P H Y S I C S W E T R U S T

kurzfaserverstärkte Thermoplaste Einelementtests unterschiedliche Materialgesetze

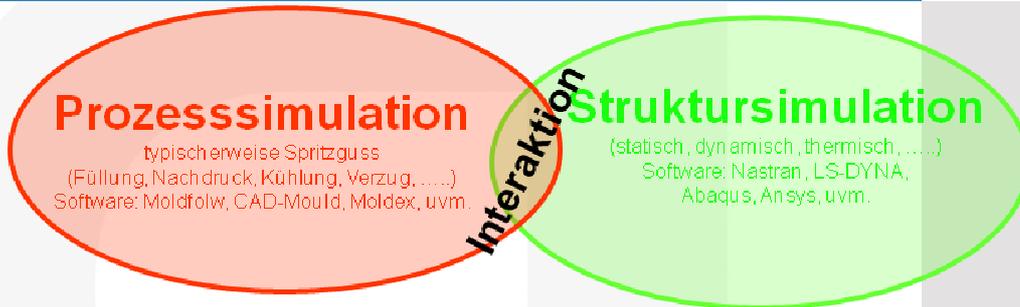


© 4q engineering GmbH, all rights reserved

Seite: 10 / 16
Autor: Peter Reithofer, Martin Fritz
Datum: 08/09/16
Titel: rep_08091603_pr_mf_heb_dynaforum081ber.ppt

I N P H Y S I C S W E T R U S T

Berücksichtigung der Faserorientierung Interaktion unterschiedlicher Simulationsprogramme



Aufgrund der Forderung der vollständigen virtuellen Abbildung

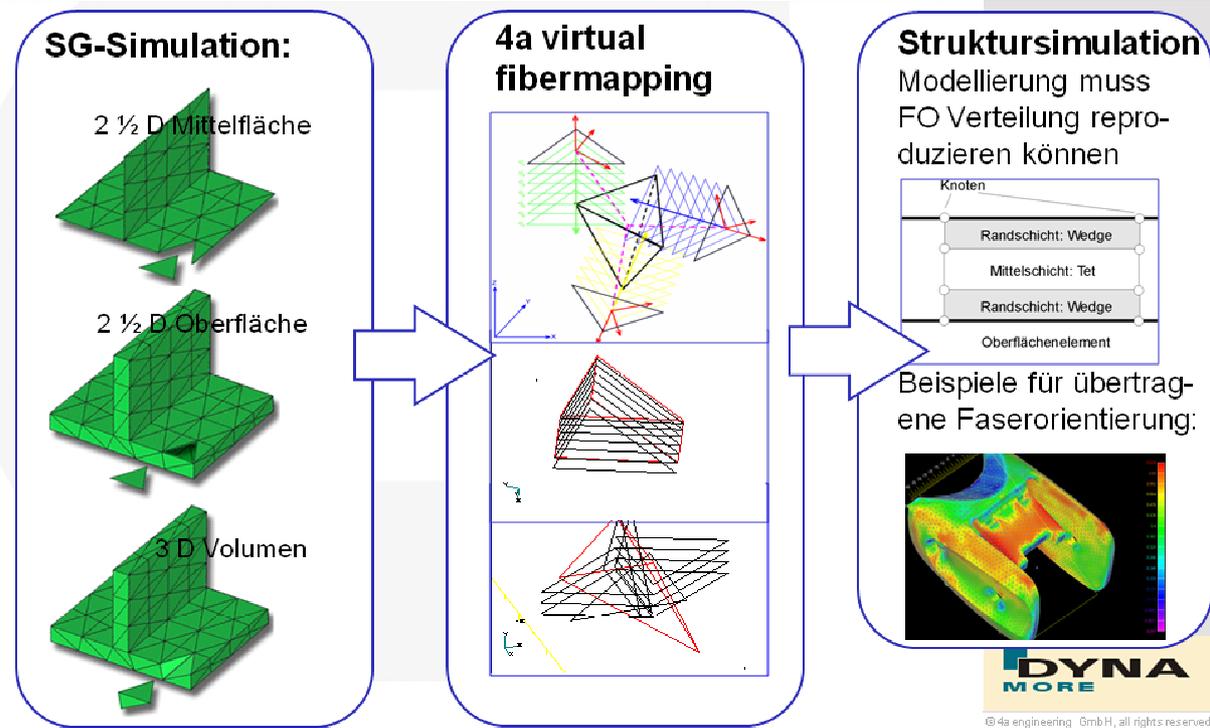
→ Trend zur Interaktion von Prozess- und Struktursimulation um

- **Werkstoffspezifisches Verhalten**
Prozessbedingte Anisotropien (Faserorientierung, Bindenähte, Aufschäumungsgrade ...) abzubilden
- **Belastungsspezifisches Verhalten**
Belastungsgeschichte aufgrund des Füllvorgangs auf Einlegeteile abzubilden oder Sonderverfahren wie das Hinterspritzen von Textilien überhaupt zu simulieren



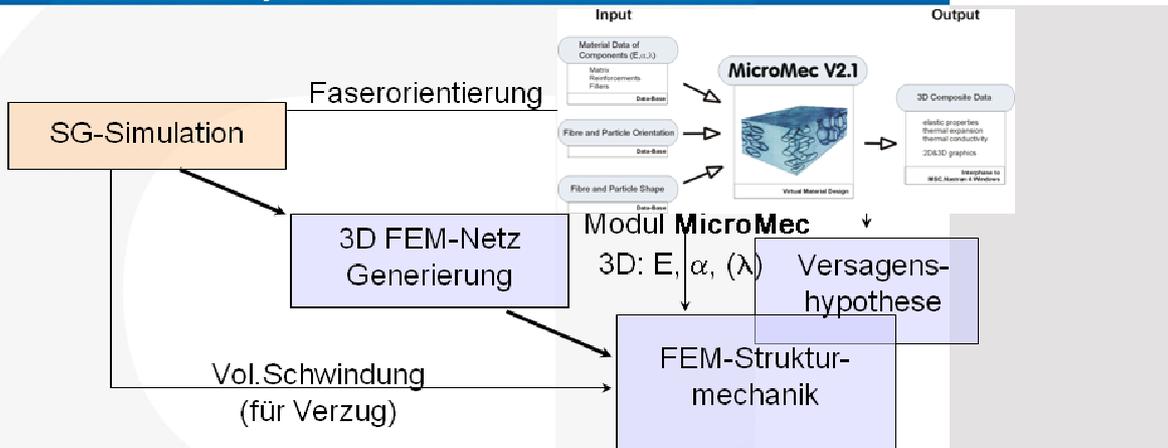
© 4a engineering GmbH, all rights reserved

Berücksichtigung der Faserorientierung Idealisierung, Mapping

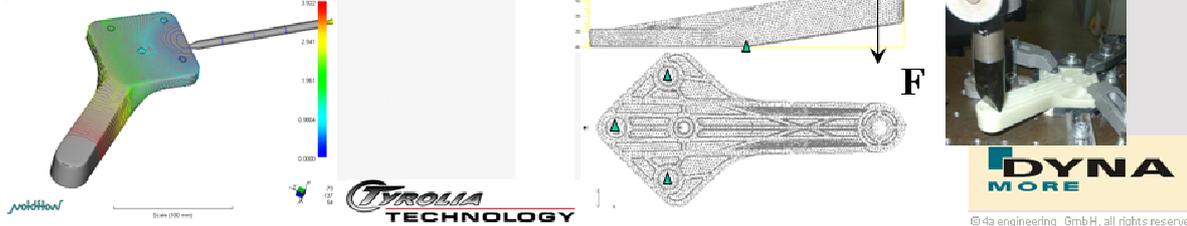


© 4a engineering GmbH, all rights reserved

Berücksichtigung der Faserorientierung Generelles Analyse-Schema



CASE STUDY – BENE AUSLEGER



Seite: 13 / 16
 Autor: Peter Reithofer, Martin Fritze
 Datum: 08/09/16
 Titel: rep_08091603_pr_mf_heb_dynaforum081ber.ppt

I N P H Y S I C S W E T R U S T

Berücksichtigung der Faserorientierung Case Study – BENE Ausleger



Die isotrope Berechnung gibt ein symmetrisches Spannungsbild wieder. Aufgrund des seitlichen Anspritzens des Bauteils liegt keine symmetrische Faserverteilung vor, was sich sowohl im Bruchbild als auch in der Simulation mit Berücksichtigung der Faserorientierung gleichermaßen zeigt.



Berechnung mit isotropen Material

Bruchbild

Berechnung unter Berücksichtigung der Faserorientierung



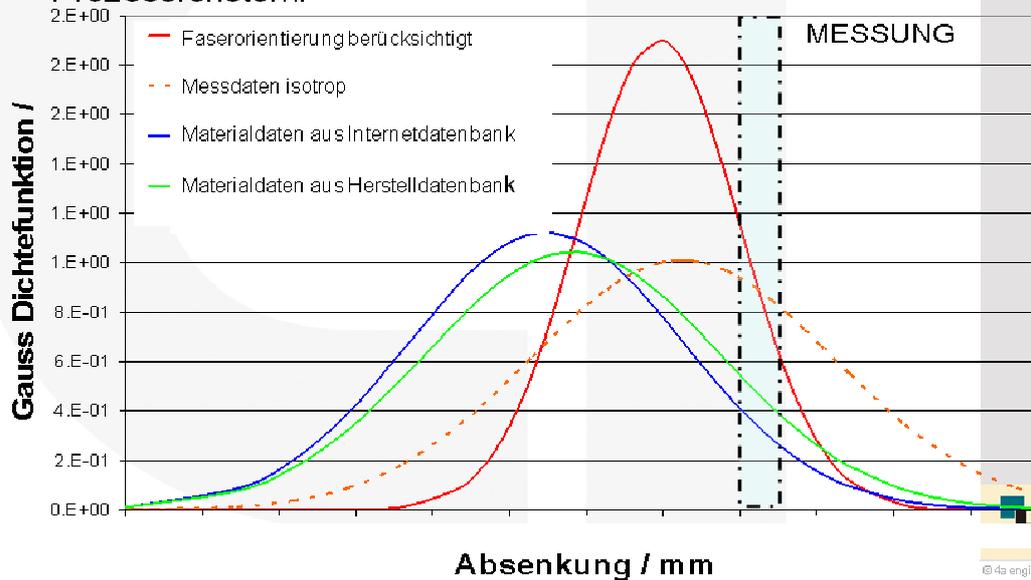
Seite: 14 / 16
 Autor: Peter Reithofer, Martin Fritze
 Datum: 08/09/16
 Titel: rep_08091603_pr_mf_heb_dynaforum081ber.ppt

I N P H Y S I C S W E T R U S T

Berücksichtigung der Faserorientierung Case Study – BENE Ausleger



Die Berücksichtigung der Faserorientierung reduziert die werkstoffliche Unschärfe und ermöglicht die Entwicklung von Bauteilen in gesicherten Prozessfenstern.



© 4q engineering GmbH, all rights reserved

Seite: 16 / 16
Autor: Peter Reithofer, Martin Fritze
Datum: 08/09/16
Titel: rep_08091603_pr_mf_heb_dynaforum081ber.ppt

I N P H Y S I C S W E T R U S T

Zusammenfassung



- Die prozessbedingten Faserorientierung hat auf das mechanische Verhalten von kurzfaserverstärkten Kunststoffbauteilen großen Einfluss.
- Je nach Idealisierung in Strömungs- und Struktursimulation gestaltet sich die Übernahme der Faserorientierung mehr oder weniger schwierig.
- Mittels eines mikromechanischen Modells kann das mechanische Verhalten aufgrund der Orientierung gut berechnet werden.
- Aufgrund geeigneter Materialcharakterisierung (Wissen über Verhalten in längs und quer, ...) ist ein für das Werkstoffverhalten sinnvolles Materialgesetz in der Simulation notwendig, um dadurch eine gesicherte Beurteilung kritischer Bereiche und der Produktperformance zu ermöglichen.



© 4q engineering GmbH, all rights reserved

Seite: 16 / 16
Autor: Peter Reithofer, Martin Fritze
Datum: 08/09/16
Titel: rep_08091603_pr_mf_heb_dynaforum081ber.ppt

I N P H Y S I C S W E T R U S T

