Reverse Engineering für anisotrope Materialien – neues Feature in 4a impetus

P. Reithofer
4a engineering GmbH, Traboch, Austria

Ein Teil der Ergebnisse wurde für den FAT-Arbeitskreis „Entwicklung einer Methode zur Crashsimulation von Langfaserverstärkten Thermoplast (LFT) Bauteilen auf Basis der Faserorientierung aus der Formfüllsimulation“ **erarbeitet**.

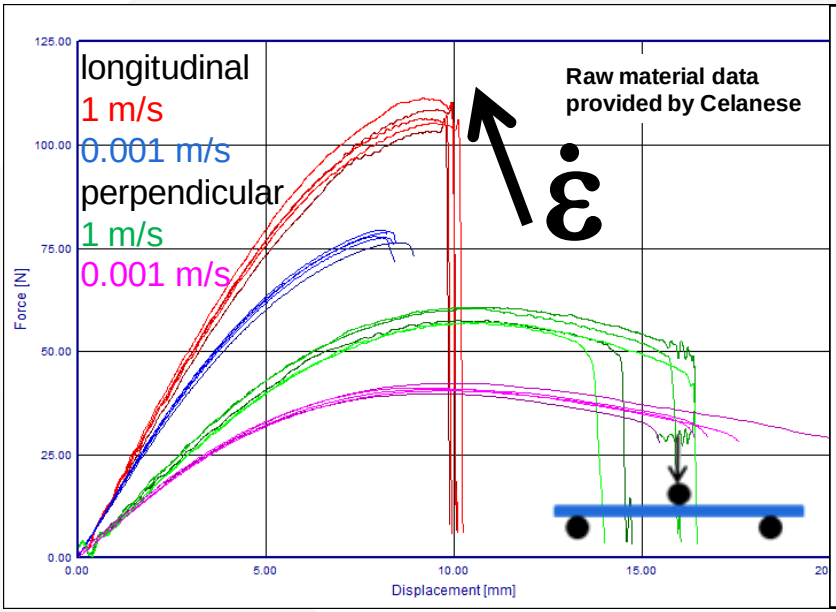
© 4a engineering GmbH, all rights reserved

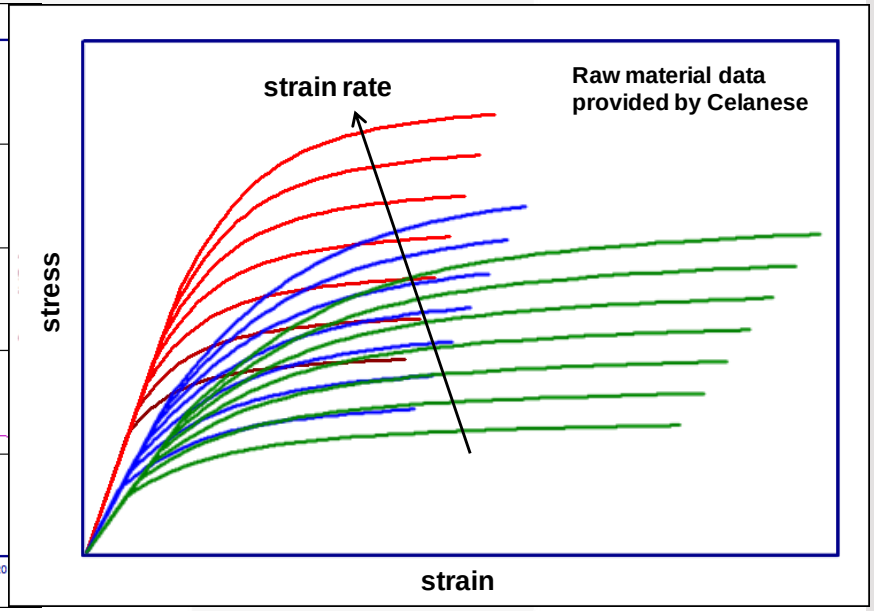
Inhalt

- Einleitung - Zielsetzung
- Probenentnahme – Prüfprogramm
- Erkenntnisse Messergebnisse
- Anpassung MAT157
- Validierung unterschiedliche Materialkarten
  - 4a impetus Messungen
  - Airbaggehäuse
- Zusammenfassung – offene Punkte – ToDo‘s
- Vorschau 4a impetus 3.4

© 4a engineering GmbH, all rights reserved

Einleitung - Zielsetzung





PP GF40

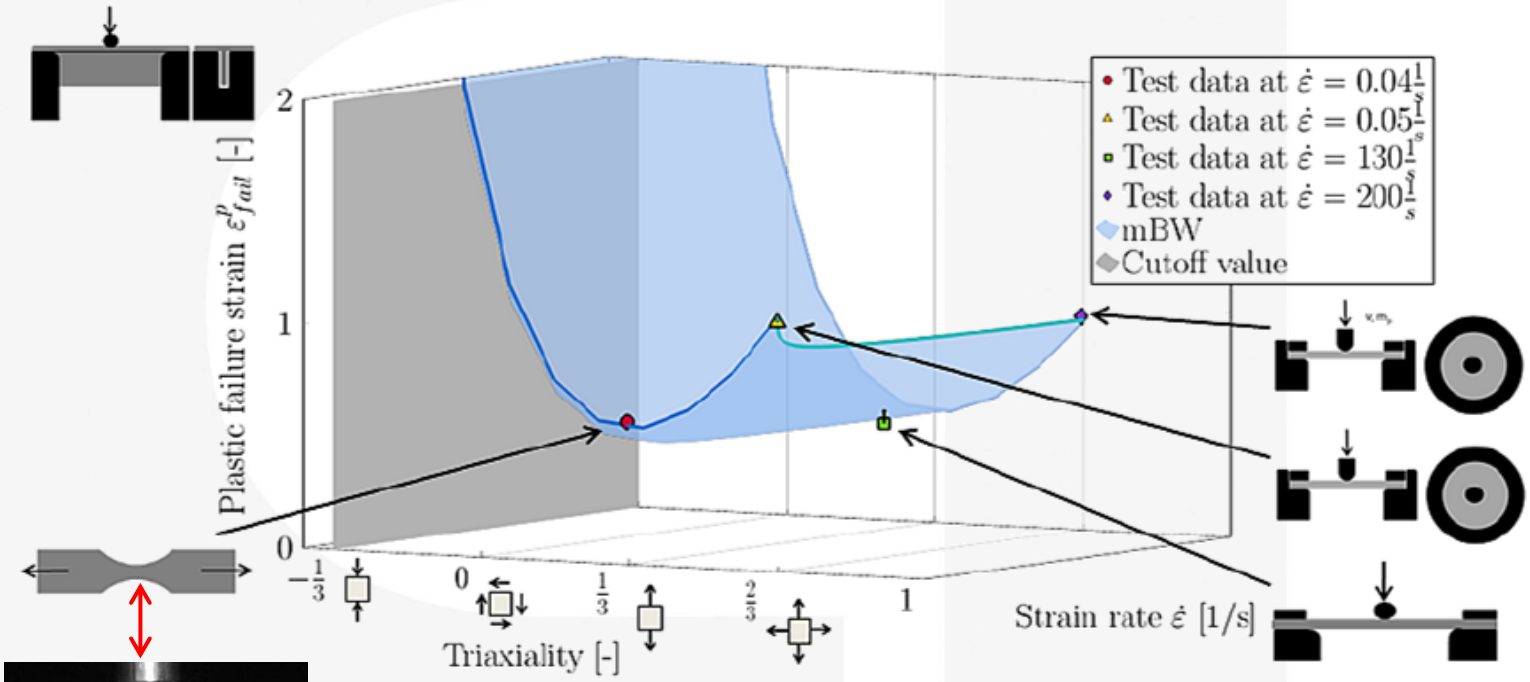
longitudinal
diagonal
perpendicular

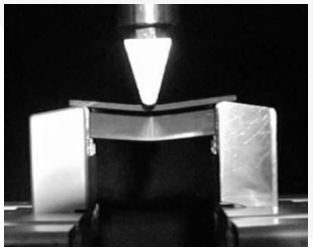
- Typische Vorgehensweisen:
  - Messungen für Längs- und Querrichtung
    → Materialkarte MAT24 für längs, quer und mittel
  - Komplexes Materialmodell (externe Routine)
- Seitens des Arbeitskreises der Wunsch
  - Vergleich mit anisotroper Materialkarte (**Shells**)
  - Verfügbar in LSDYNA (**kein Usermaterial, keine externe Routine**)

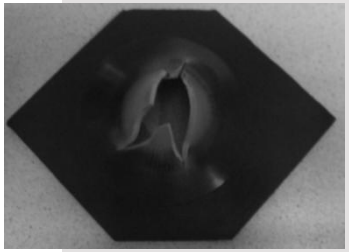
© 4a engineering GmbH, all rights reserved

Einleitung - Zielsetzung

Versagen von Kunststoffen







Quelle: H. Staack, D. Seibert, H. Baier - Application oriented failure modeling and characterization for polymers in automotive pedestrian protection, COMPLAS 2015, Barcelona

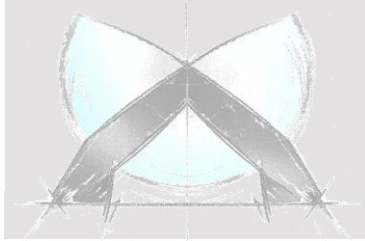
© 4a engineering GmbH, all rights reserved

Probenentnahme – Prüfprogramm

- Platten von IWM bereitgestellt
- Proben gefräst
- 105 Messungen aus unterschiedlichsten Bereichen

Prüf-methode	Prüfgeschwindigkeit [m/s]		Lw [mm]	Anmerkungen
3 Punkt Biegung	statisch	0.0001	40	Längs, Quer
3 Punkt Biegung	statisch	0.001	40	Längs, Quer, Diagonal
Durchstoß	statisch	0.001	40	Platte
3 Punkt Biegung	4aimpetus	1	40	Längs, Quer
3 Punkt Biegung	4aimpetus	2	40	Längs, Quer, Diagonal
3 Punkt Biegung	4aimpetus	4	30	Längs, Quer
Gespannte Biegung	4aimpetus	4	40	Quer
Durchstoß	4aimpetus	3	40	Platte

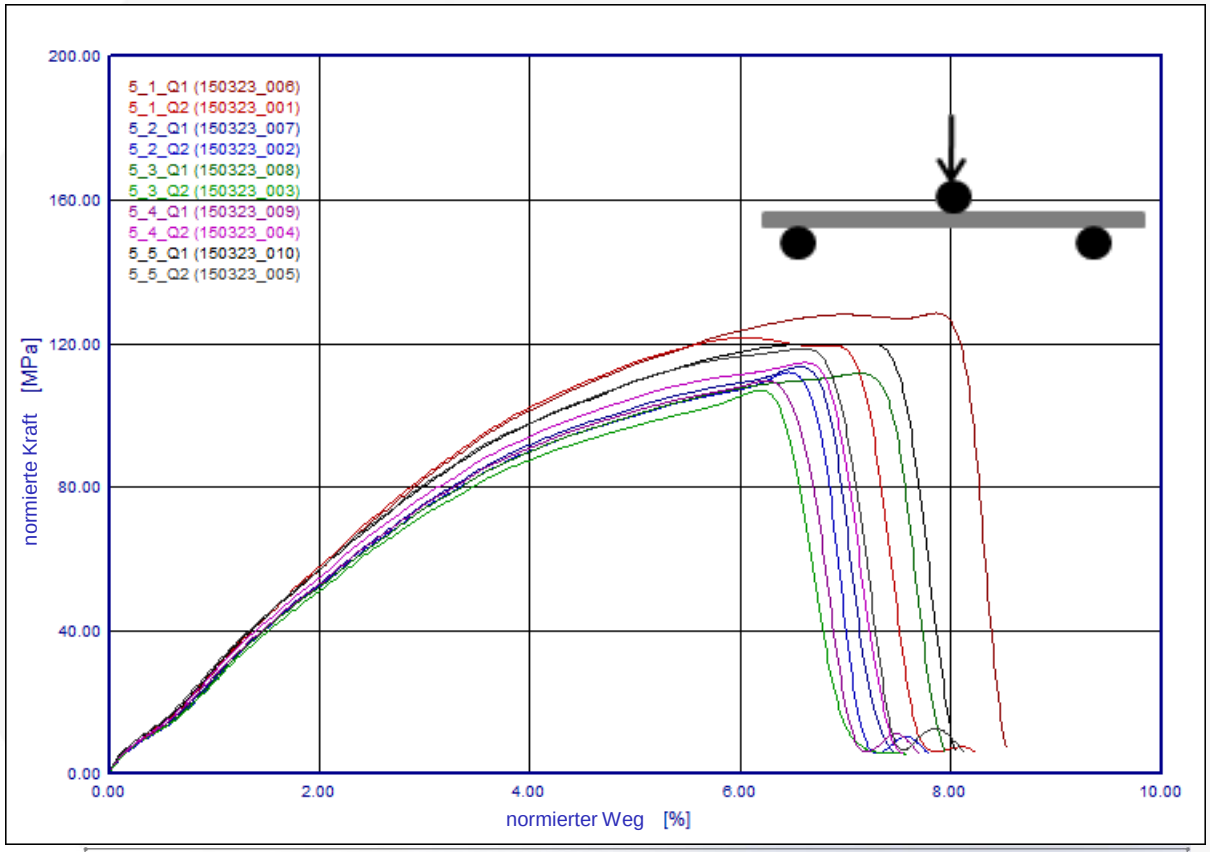
MATERIAL-KARTE

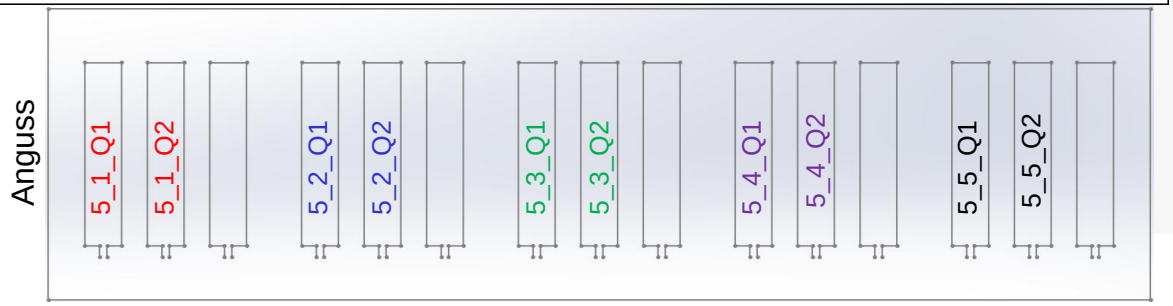


© 4a engineering GmbH, all rights reserved

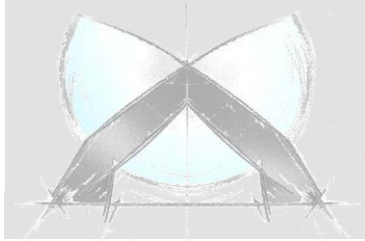
Erkenntnisse Messergebnisse

Biegung quer 2m/s





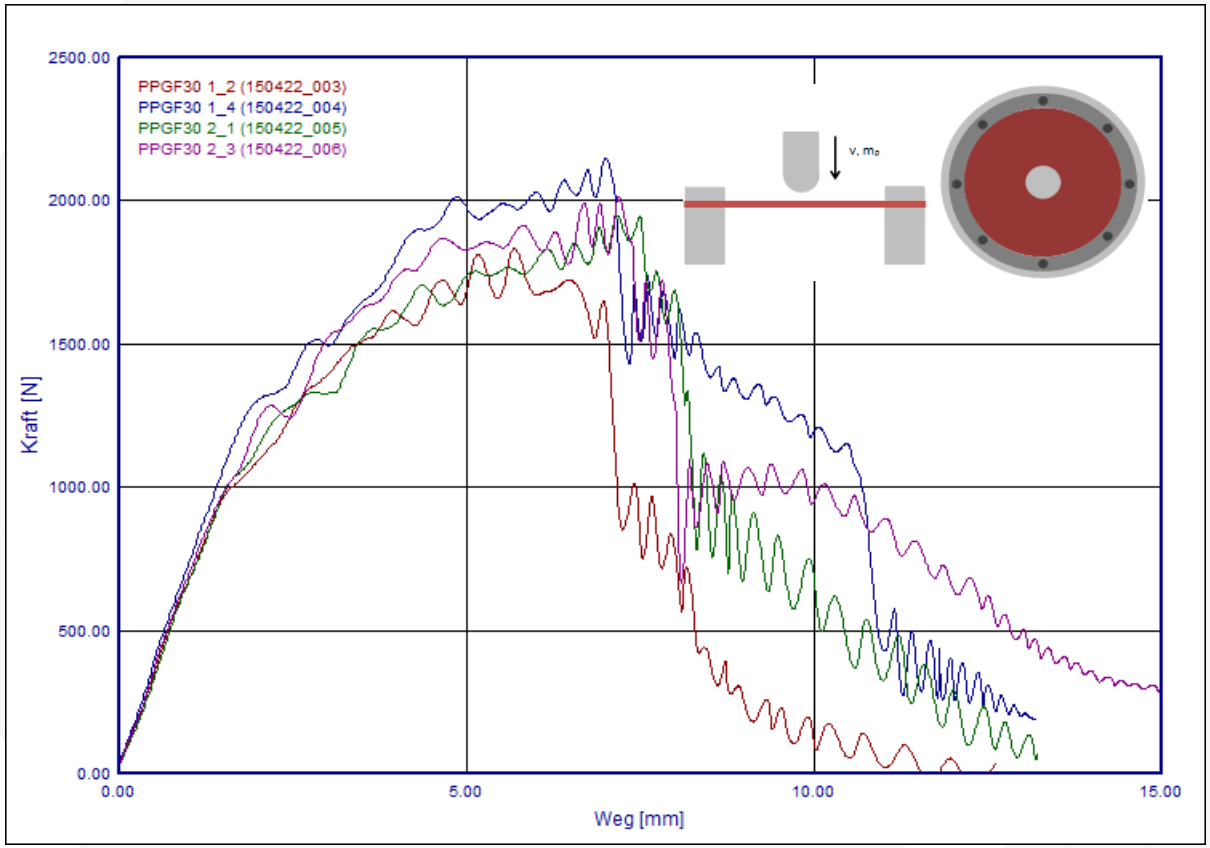
MATERIAL-KARTE

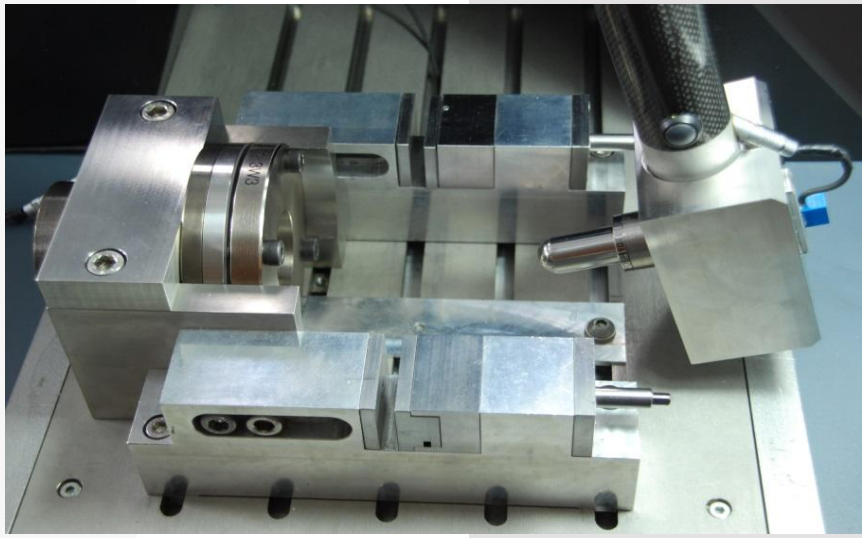


© 4a engineering GmbH, all rights reserved

Erkenntnisse Messergebnisse

Durchstoß 3m/s





dynamischer Durchstoß mit 4a impetus:

- Pendelkopfmasse: 4277 g
- Prüfgeschwindigkeit: 3 m/s
- Auflagerdurchmesser: 40 mm
- Stösseldurchmesser: 20 mm

Bruchfläche - deutliche Mittelschicht mit vermeintlichen Lufteinschlüssen zu erkennen.

© 4a engineering GmbH, all rights reserved

Mögliche Materialkarten in LSDYNA

No.	Elastic	Plastic	Damage	Strain rate	Failure
24	Isotropic	J2 Plasticity	None	Plasticity	*MAT_ADD_EROSION
2	Orthotropic / Anisotropic	None	None	None	*MAT_ADD_EROSION
22	Orthotropic	None	None	None	Orientation dependent
54	Orthotropic	None	Elastic Orthotropic	Strength	Orientation dependent
58	Orthotropic	None	Elastic Orthotropic	Strength, Stiffness	Orientation dependent
103	Isotropic	Hill	None	Plasticity	*MAT_ADD_EROSION
108	Orthotropic	Hill	None	None	*MAT_ADD_EROSION
157	**Anisotropic**	**Hill**	**None**	**Plasticity**	***MAT_ADD_EROSION**
158	Orthotropic	None	Elastic Orthotropic	Viscoelasticity	Orientation dependent

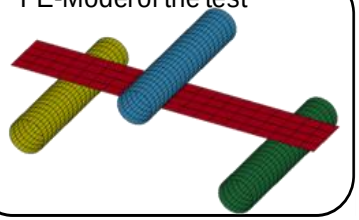
© 4a engineering GmbH, all rights reserved

Materialkarte Vorgehensweise

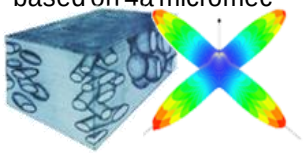
Element orientation e.g.
***ELEMENT_SHELL_BETA**

Material angle

FE-Model of the test



Parameterized Materialcard based on 4a micromec



LS DYNA©

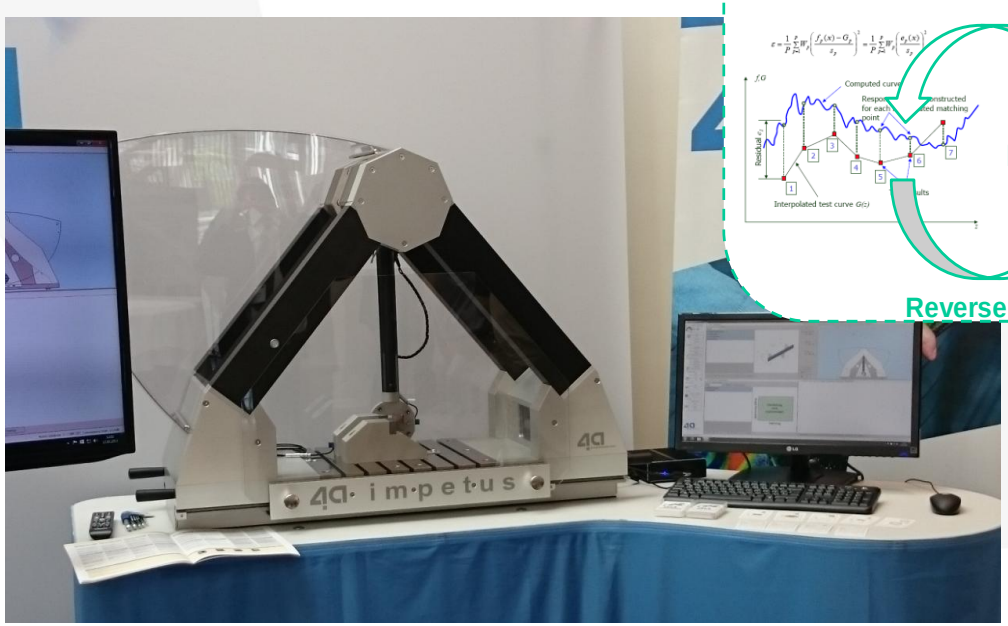
Reverse Engineering

4a Impetus
© by 4a engineering GmbH - intelligent testing systems

LS PREPOST©

DATABASE
measurement, models

ORIENTATION
e.g. 0°, 45°, 90°



© 4a engineering GmbH, all rights reserved

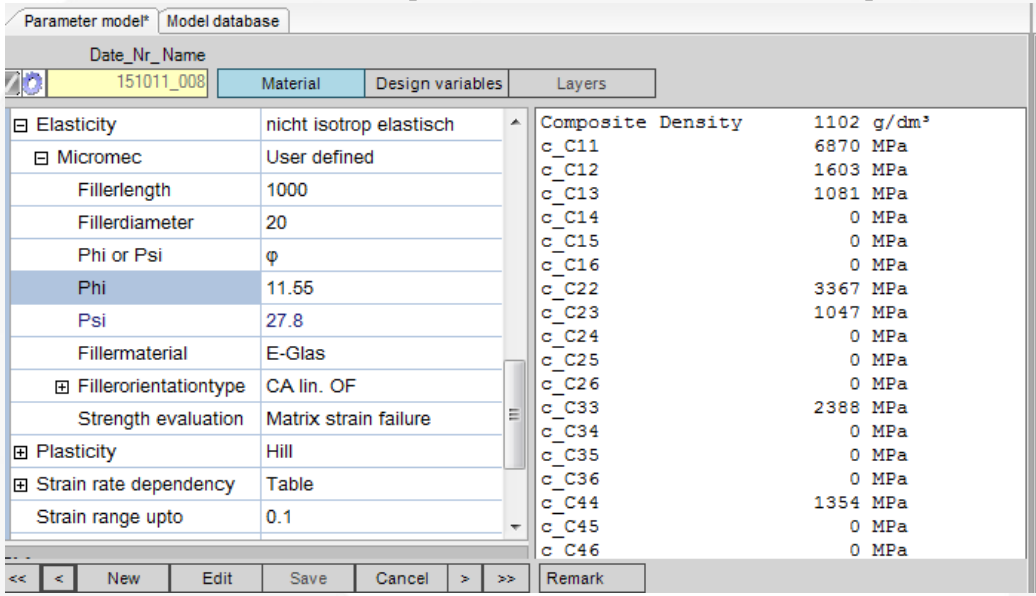
Materialkarte Vorgehensweise

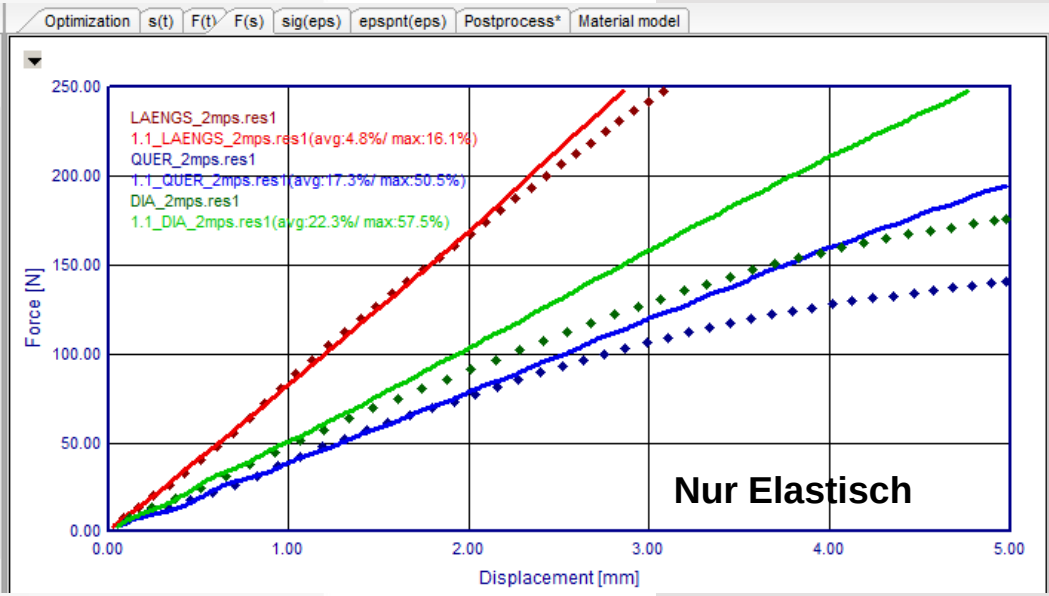
- **Anpassung**
  - LSDYNA DEV102100 single precision smp
  - Shell 2mm, TYP 16, 5 IP
    (Alternativ Shell 2mm, TYP 16, Composite mit 7 Layer)
  - MAT157 + MAT_ADD_EROSION
    - **Über Mikromechanik → Elastizität + Plastizität**
      - Matrix: ρ=900 g/dm³, E=1500 MPa
      - Faser: Glas, l=1000µm, d=20µm
      - Fasergehalt ← gemessene Dichte
      - Faserorientierung: Ann. a_{11}=0.75, a_{22}=0.23, a_{33}=0.02
    - **über Reverse Engineering**
      - Hardening: Bilinear
      - Dehnrate: Johnson Cook
      - Versagen: DIEM

© 4a engineering GmbH, all rights reserved

Materialkarte Vorgehensweise

Aktuelle 3.4 alpha Version 4a impetus





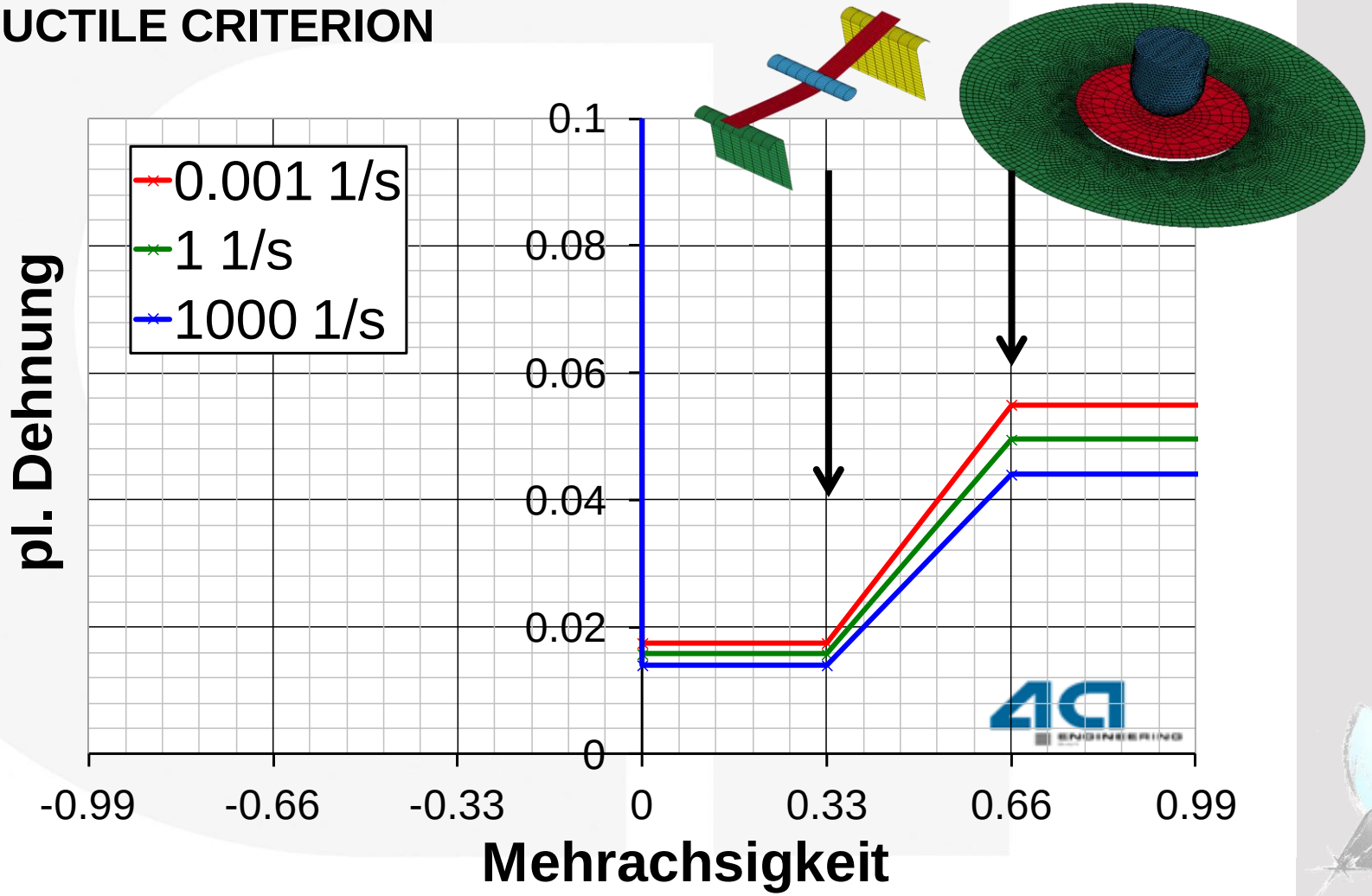
- **Anpassung der Fließkurve in Längsrichtung:**
  - Matrix Fließspannung 15 MPa → σ_y ~ 60 MPa **(Mikromechanik)**
  - Tangentenmodul → E_T ~ 2000 MPa
  - Dehnrate Johnson Cook → v_p ~ 10 **(Mischungsformel)**

© 4a engineering GmbH, all rights reserved

Materialkarte Vorgehensweise

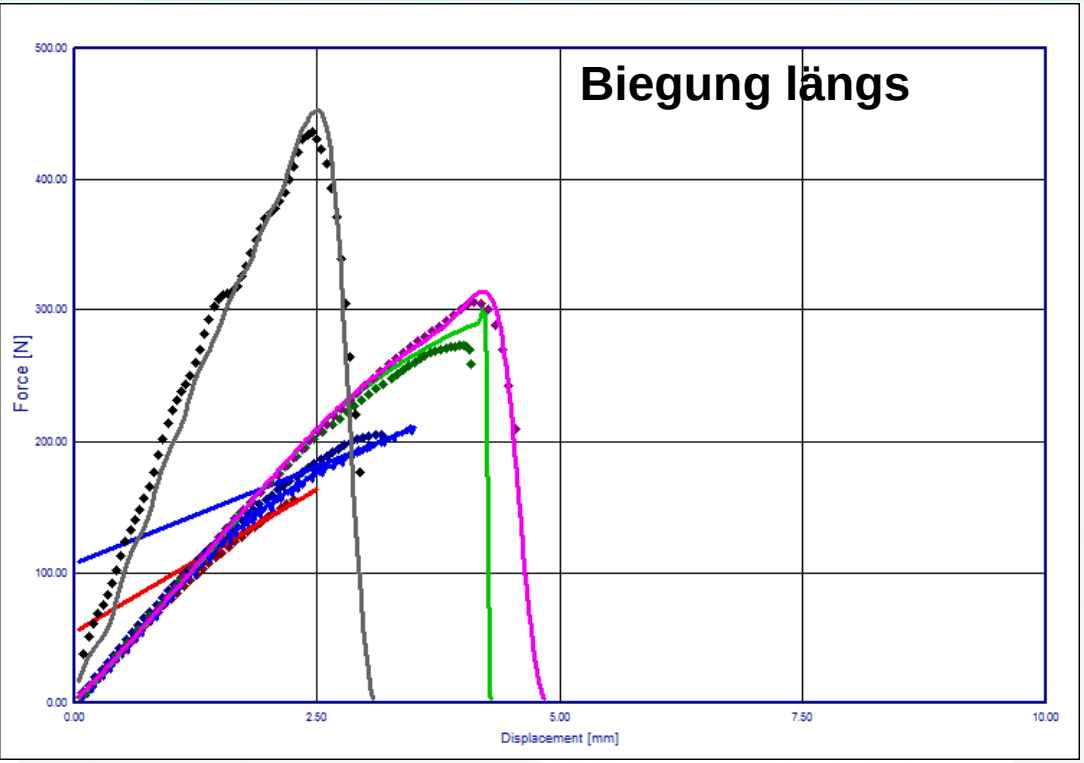
Versagen über MAT_ADD_EROSION mit DIEM

DUCTILE CRITERION



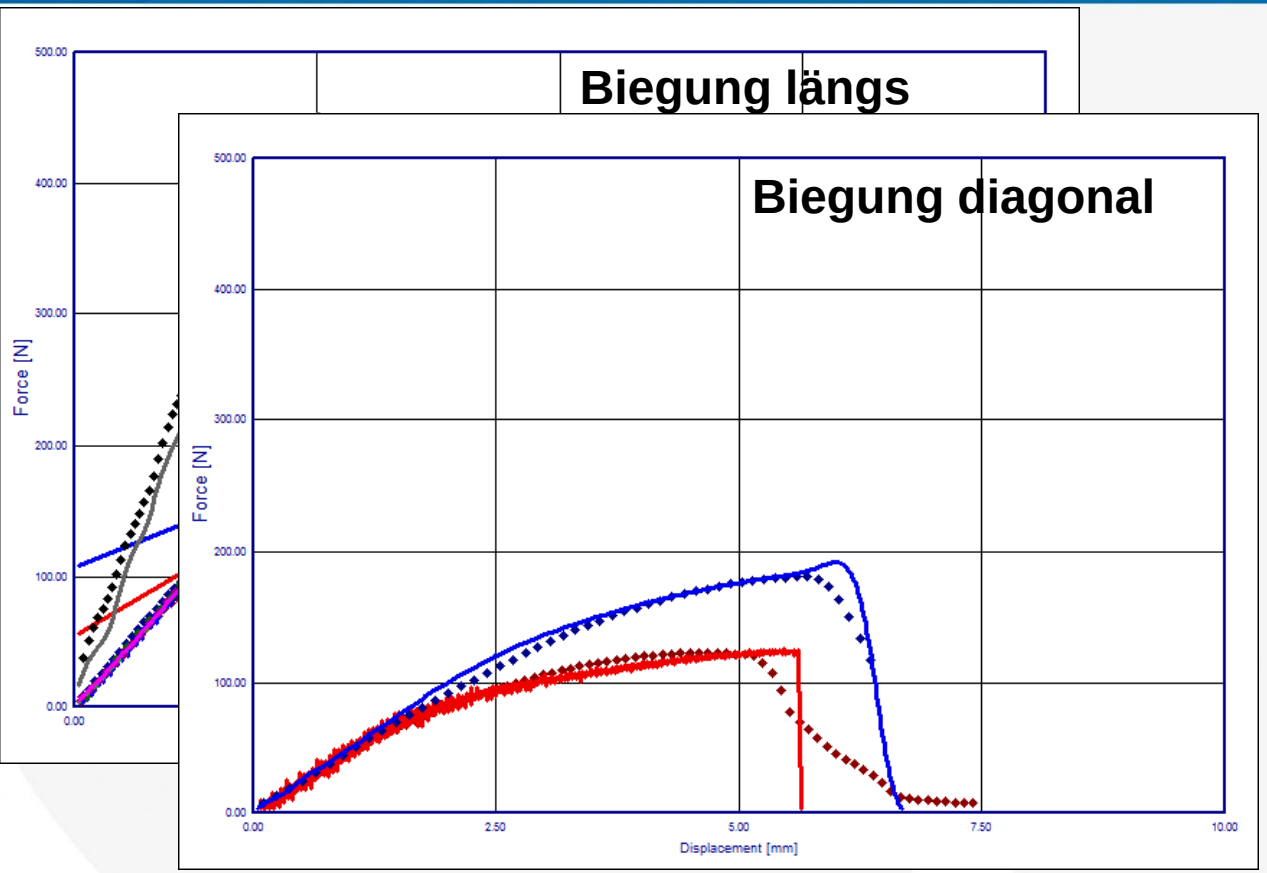
© 4a engineering GmbH, all rights reserved

Materialkarte Vorgehensweise



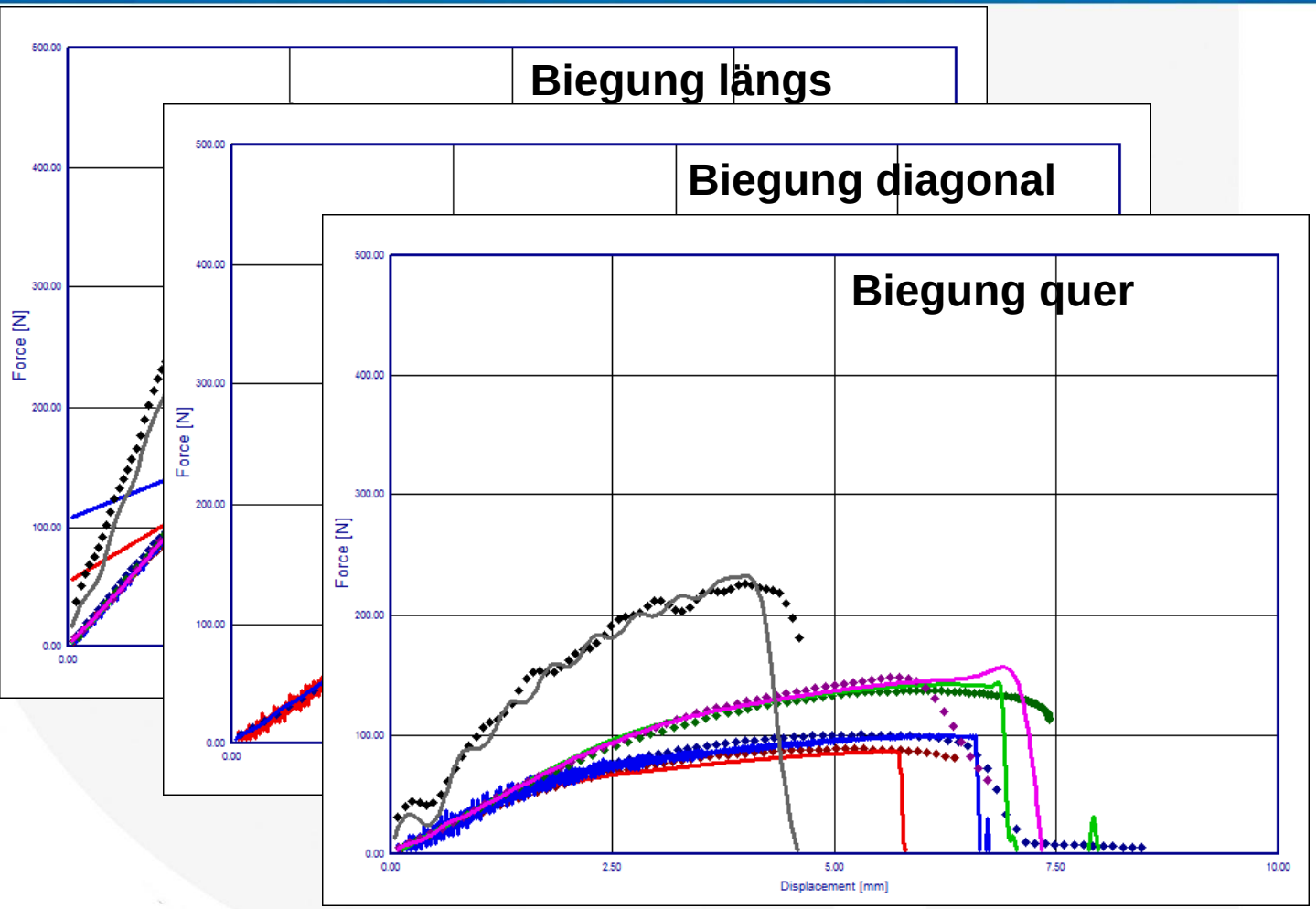
© 4a engineering GmbH, all rights reserved

Materialkarte Vorgehensweise



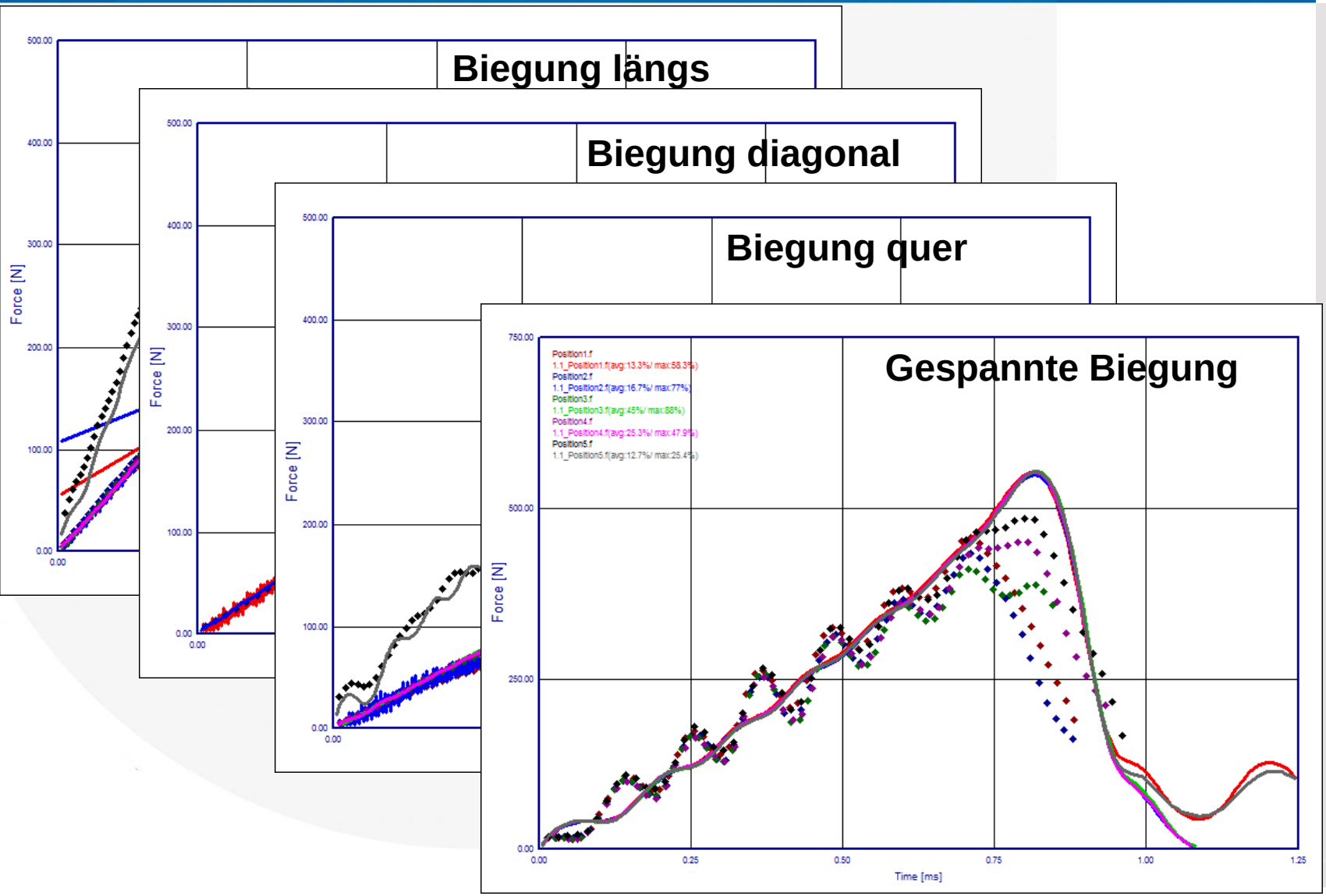
© 4a engineering GmbH, all rights reserved

Materialkarte Vorgehensweise



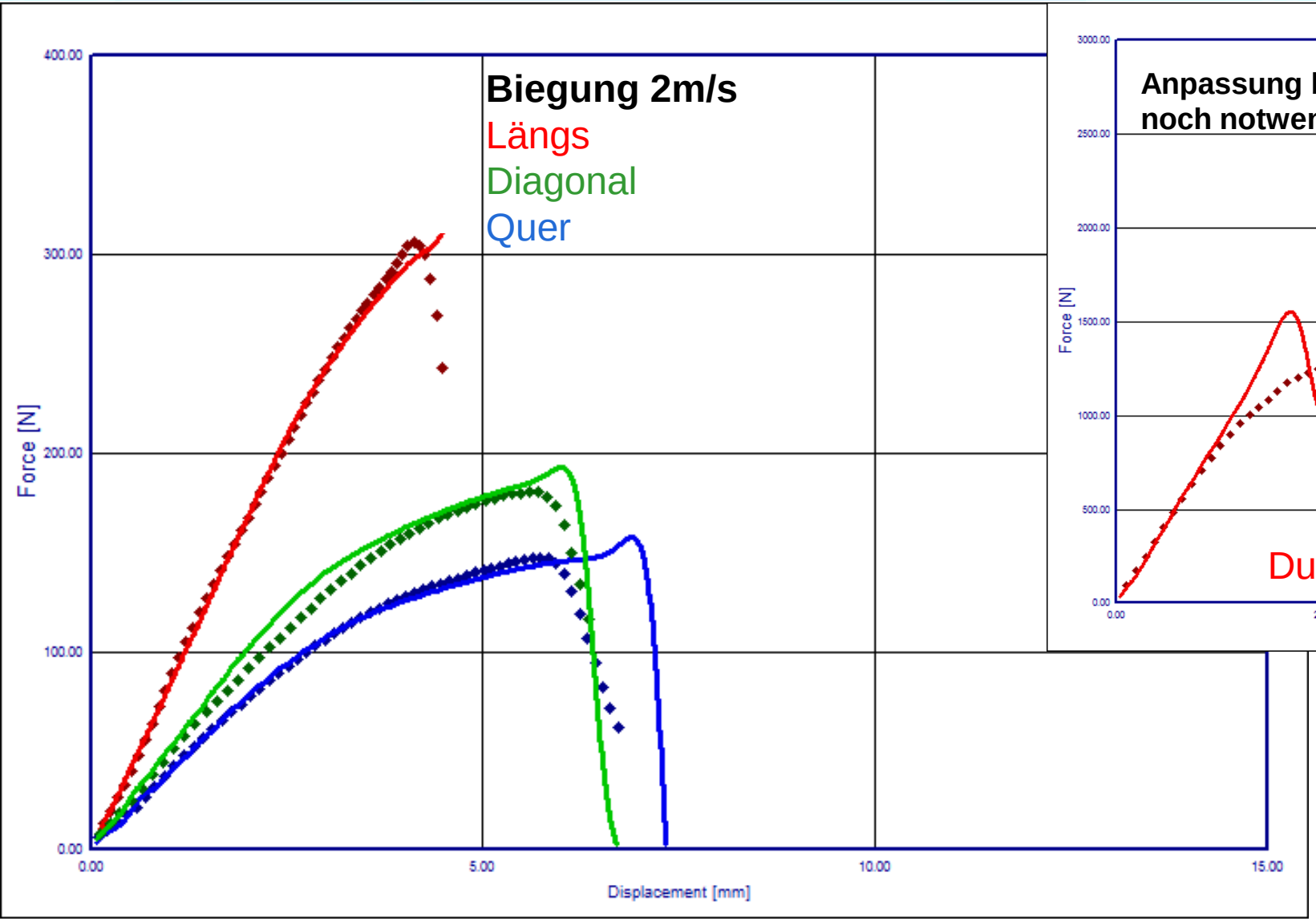
© 4a engineering GmbH, all rights reserved

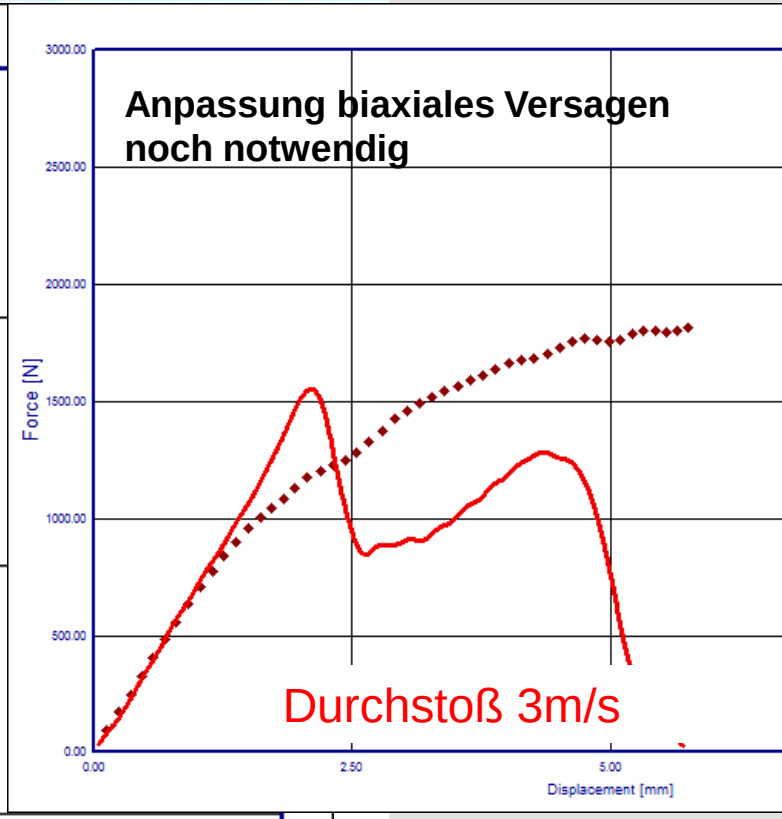
Materialkarte Vorgehensweise

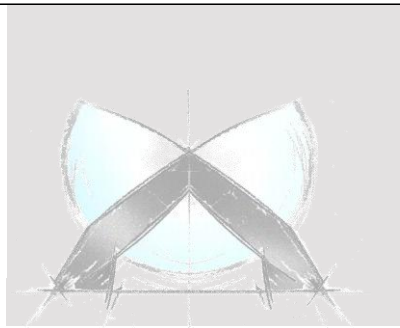


© 4a engineering GmbH, all rights reserved

Materialkarte Vorgehensweise

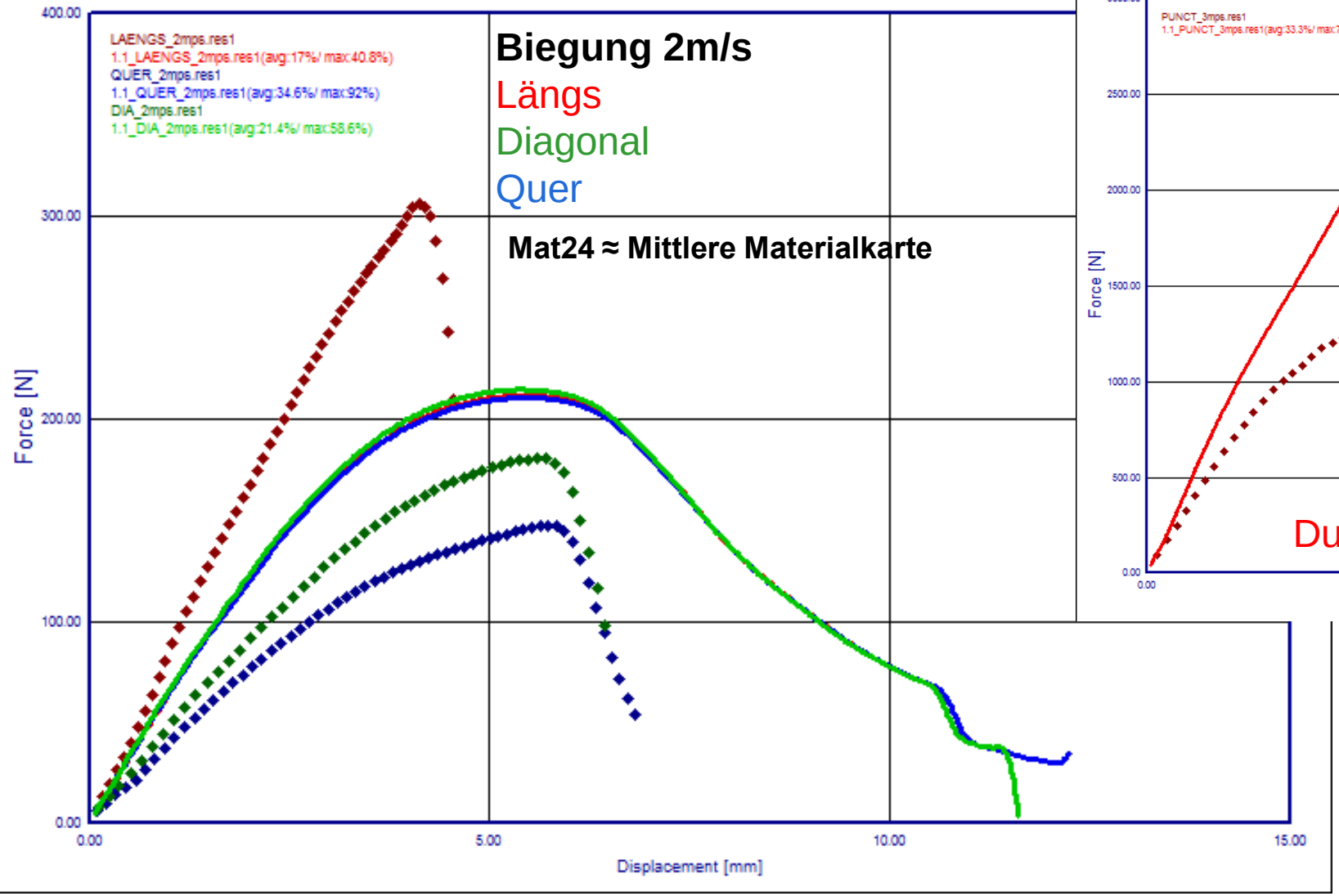


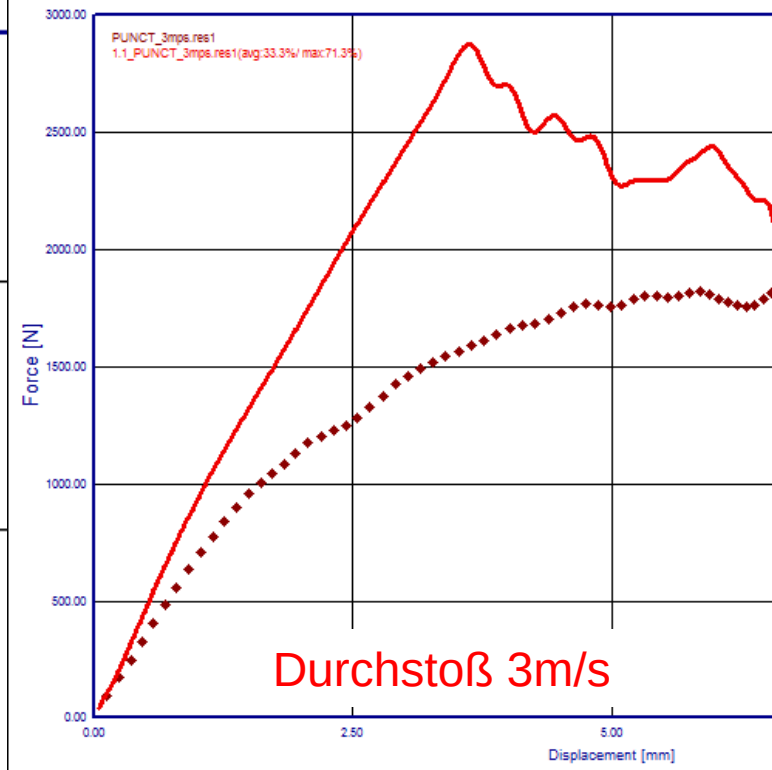




© 4a engineering GmbH, all rights reserved

Vergleich isotrope Materialkarte MAT24 IWM





Quelle: FAT Arbeitskreis: Entwicklung einer Methode zur Crashsimulation von Langfaserverstärkten Thermoplast (LFT) Bauteilen auf Basis der Faserorientierung aus der Formfüllsimulation

© 4a engineering GmbH, all rights reserved

Mapping Vorgehensweise

- **4a fibermap**

  Mapping von ***Moldflow*** und ***Moldex***

  auf ***Nastran***, ***LSDYNA***, ***Abaqus***, ***PamCrash***
- Da **keine kommerziellen SGS FO Ergebnisse** vorlagen
  → Schnittstelle zu ***INITIAL_STRESS_SHELL** programmiert

- Mapping auf BASIS der CoRheos Ergebnisse
  - **INPUT:** **INITIAL_STRESS_SHELL* – SHELL 7 Layer und 4 IP
  - **OUTPUT:**
    - **V1:***ELEMENT_SHELL_BETA* **(OUTER LAYER)**
    - **V2:** **ELEMENT_SHELL_COMPOSITE* mit **1** Material
    - **V3:** **ELEMENT_SHELL_COMPOSITE* mit **6** Materialien
    - **Ausblick:** **ELEMENT_SOLID*

© 4a engineering GmbH, all rights reserved

Mapping Vorgehensweise

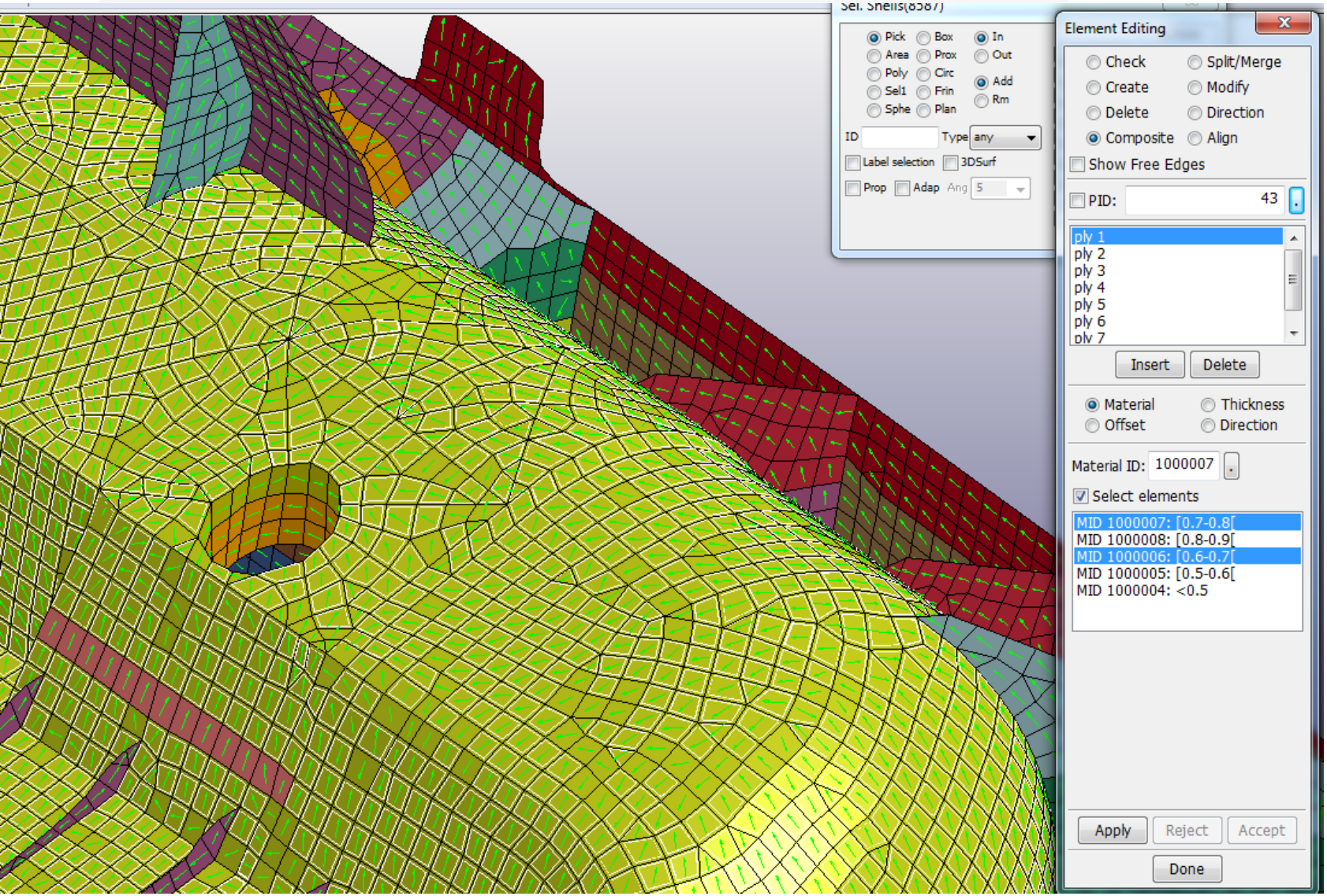
V3: *ELEMENT_SHELL_COMPOSITE mit 6 Materialien

```
$Written by Fibermap ver3.4 alpha
*ELEMENT_SHELL_COMPOSITE
    1482      43  265855  265858  265860  265854
   1000007 0.3571429 -152.6666            1000007 0.3571429 -152.6666
   1000007 0.3571429 -152.6666            1000007 0.3571429 -152.1703
   1000008 0.3571429 -170.4271            1000007 0.3571429 -159.9333
   1000007 0.3571429 -159.9333
*ELEMENT_SHELL_COMPOSITE
    1483      43  265854  265860  265822  265823
   1000007 0.3571429  9.270965            1000008 0.3571429 -166.1159
   1000008 0.3571429 -168.9839            1000008 0.3571429 -166.2887
   1000008 0.3571429 -166.2887            1000008 0.3571429 -166.2887
   1000008 0.3571429 -166.2887
```

```
*MAT_ANISOTROPIC_ELASTIC_PLASTIC_TITLE
<0.5
...
*MAT_ANISOTROPIC_ELASTIC_PLASTIC_TITLE
[0.5-0.6[
...
*MAT_ANISOTROPIC_ELASTIC_PLASTIC_TITLE
[0.6-0.7[
...
*MAT_ANISOTROPIC_ELASTIC_PLASTIC_TITLE
[0.7-0.8[
...
```

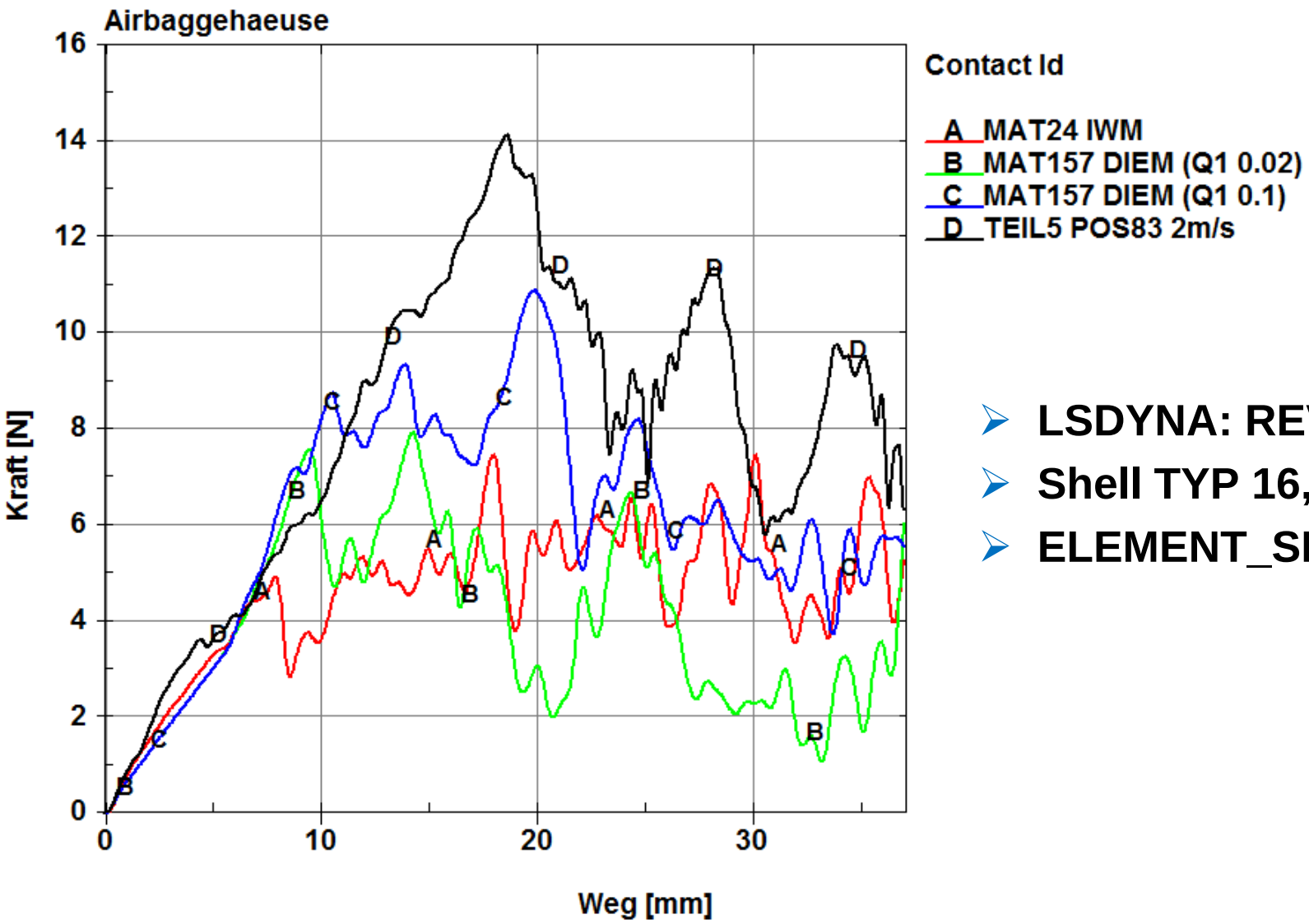
© 4a engineering GmbH, all rights reserved

Mapping – ELEMENT_SHELL_COMPOSITE



© 4a engineering GmbH, all rights reserved

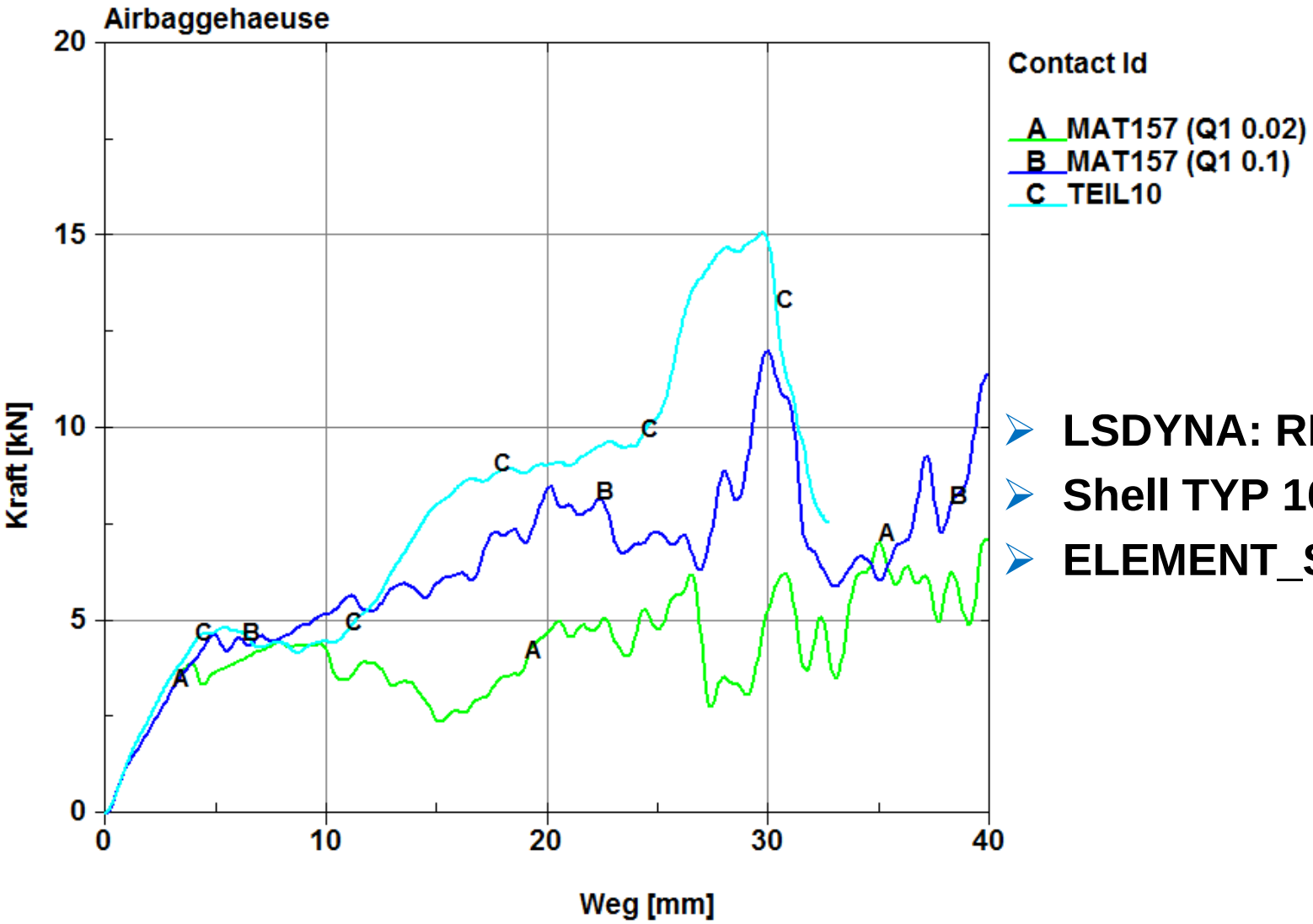
Validierung Airbaggehäuse POS 83



- LSDYNA: REV712
- Shell TYP 16, 5 IP
- ELEMENT_SHELL_BETA

© 4a engineering GmbH, all rights reserved

Validierung Airbaggehäuse POS 63



- LSDYNA: REV712
- Shell TYP 16, 5 IP
- ELEMENT_SHELL_BETA

© 4a engineering GmbH, all rights reserved

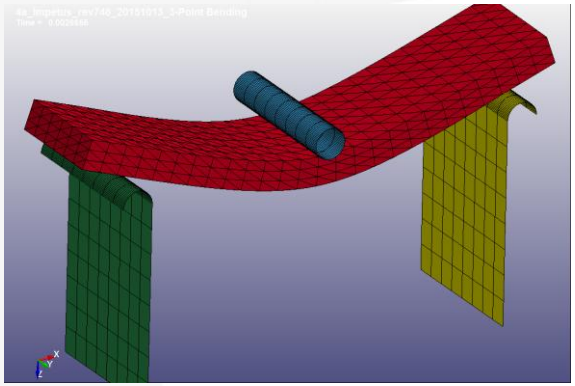
Zusammenfassung

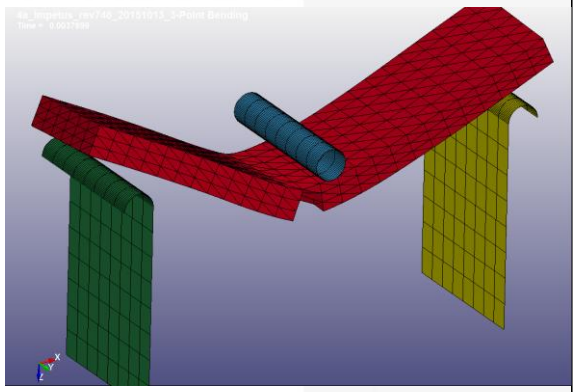
- **Anpassung MAT157**
  - der anisotropen Elastizität und Viskoplastizität
  - auf Basis von **4a impetus** Messungen
  - mit Hilfe der **Mikromechanik**
- **Anpassung MAT_ADD_EROSION**
  - DIEM für Shells über Reverse Engineering mit 4a impetus
- **DAMAGE EVOLUTION**
  - Von der Mehrachsigkeit abhängig
  - → Probleme mit LSDYNA VERSION
  - **? Shells überhaupt geeignete Idealisierung**
- **Bauteilvalidierung**
  - Mapping auf unterschiedlichste Weisen durchgeführt
  - gleich **„gut oder schlecht“** wie IWM Modelle für Shells
  - Anpassung **Damage Evolution** auf **Lastfall**
  - **? Shells ? Contact**

© 4a engineering GmbH, all rights reserved

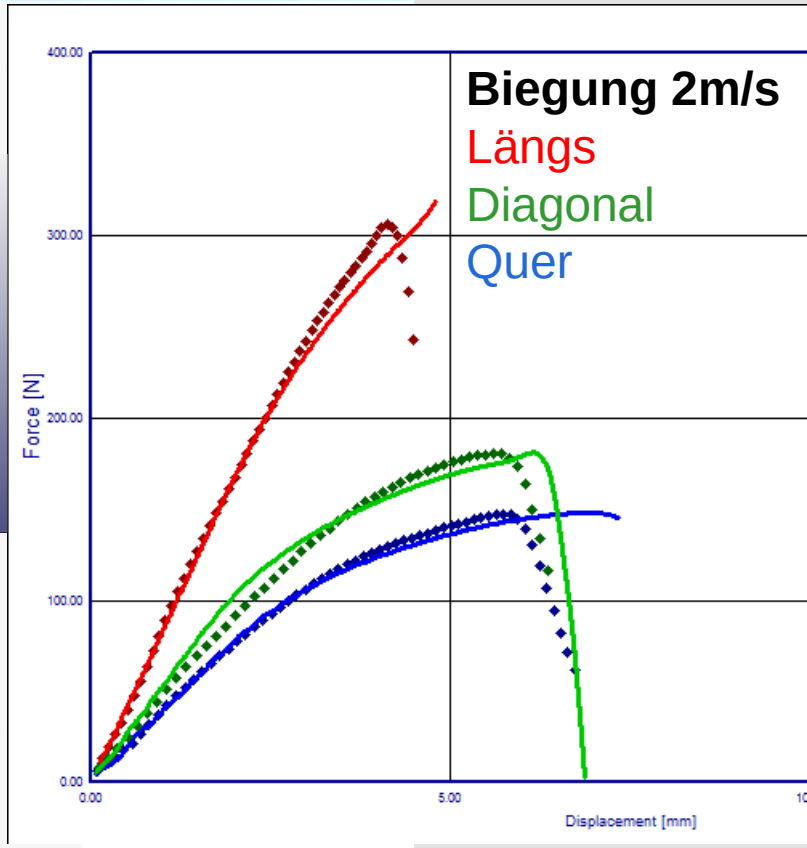
offene Punkte – ToDo‘s

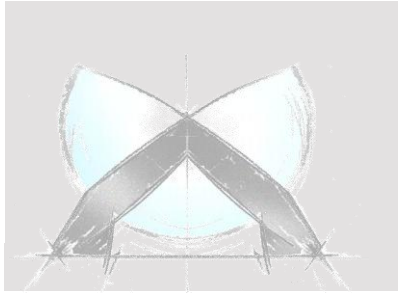
- **Validierung Probenebene**
  - MAT157 mit Tetraeder TYP 16





  - IWM USERMATERIAL auf 4a impetus
  - MAT157 an IWM Messergebnissen
- **Validierung Bauteilebene**
  - **Contact**
  - Mapping von Moldflow/Moldex
  - Mapping auf Solid
  - Simulation Solid Tetraeder TYP 16 mit 2 Elemente über der Dicke





© 4a engineering GmbH, all rights reserved

Vorschau 4a impetus 3.4

- Viele LS-DYNA Materialmodelle wie z.B. *MAT22, *MAT54, *MAT58, *MAT157, *MAT261, *MAT262, … benötigen anisotrope elastisch bzw. plastische Kenngrößen /Parameter.
- Für die User-Unterstützung und damit einfachere Bestimmung/Berechnung der anisotropen Parameter wurde 4a micromec in 4a impetus implementiert. Somit steht ein **mikromechanisches Modell (Mean-Field-Theory nach Mori-Tanaka)** zur Verfügung, dass über die Auswahl von Matrixmaterial, Füllstoff, Gestalt, Orientierung und Gehalt die Verbundeigenschaften berechnet.

Material behaviour	
Material source	Implemented
Elasticity	Not isotropic elastic
Plasticity	Yes
Failure/Damage	None
Material card	*MAT_ANISOTROPIC_ELASTIC_PLASTIC (*MAT_157)
Materialcardcase	7551_MAT157
Damage/Failurecase	none
Density	1134
Plasticity	Hill
Function (Hardening, Elastic curve form)	
Strain rate dependency	Table
Micromec	Short fiber reinforced plastics
Matrix	
Density of the matrix	910
E-Modulus	1500
Poisson's ratio	0.3
Yield strength	15
Strength at Break	17
Failure strain	0.02
Fiber	
Fillerlength	200
Fillerdiameter	10
Phi or Psi	φ
Phi	15.6
Psi	35
Fillermaterial	E-Glas
Orientation	
Fillerorientationtype	CA lin. OF
Fillerorientationvalue 1	0.7
Fillerorientationvalue 2	0.28
Strength	
Fracture	None
Postfracture	None

© 4a engineering GmbH, all rights reserved

Vorschau 4a impetus 3.4

- Zusätzlich wurde in der neuen Version eine Vielzahl an **Schädigungs- und Versagensmodelle** für die verschiedensten Materialkarten implementiert.

Material behaviour	
Material source	Implemented
Elasticity	Linear isotropic elastic
Plasticity	Yes
Failure/Damage	Damage
Material card	*MAT_PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY (*MAT_024)
Materialcardcase	Plasticity Table Rate log. Table
Damage/Failurecase	Add Erosion DIEM
Density	none
Plasticity	plastic strain
Function (Hardening, Elastic curve form)	Add Erosion
Curve 1	Add Erosion DIEM
Strain range upto	Add Erosion GISSMO
Sampling points	5
Bias factor	1
Strain rate dependency	Table
Strain rate dependency	Johnson Cook
Fracture	Damage
Ductile Damage Settings	4a
Shear Damage Settings	None
FLC Damage Settings	None
Strainrate Settings	None
Postfracture	None

© 4a engineering GmbH, all rights reserved