

Dynamische Materialcharakterisierung von Composites mit 4a impetus

A. Dietrich, M. Fritz, B. Jilka, P. Reithofer (4a engineering GmbH)
B. Hofer, B. Fellner (MAGNA STEYR Fahrzeugtechnik AG & Co KG)



Workshop Kunststoffe, Filderstadt
24. September 2013

- 4a impetus
 - Einleitung – Hardware – Software
 - Schnittstellenstand in V3.1 FE-Solver
 - Beispiele Materialcharakterisierung / Metamodell Neuronale Netze
 - Beispiele Materialcharakterisierung / Reverse Engineering
 - Materialcharakterisierung
- Casestudy Organoblech
 - Vorentwicklungsprojekt „Organoblech“
 - Materialcharakterisierung
 - Materialmodelle für Composites in LS-DYNA
 - Reverse Engineering
 - Mikromechanik
 - Validierung Hutprofil
 - Multi-Layer-Aufbau
- Zusammenfassung & Ausblick

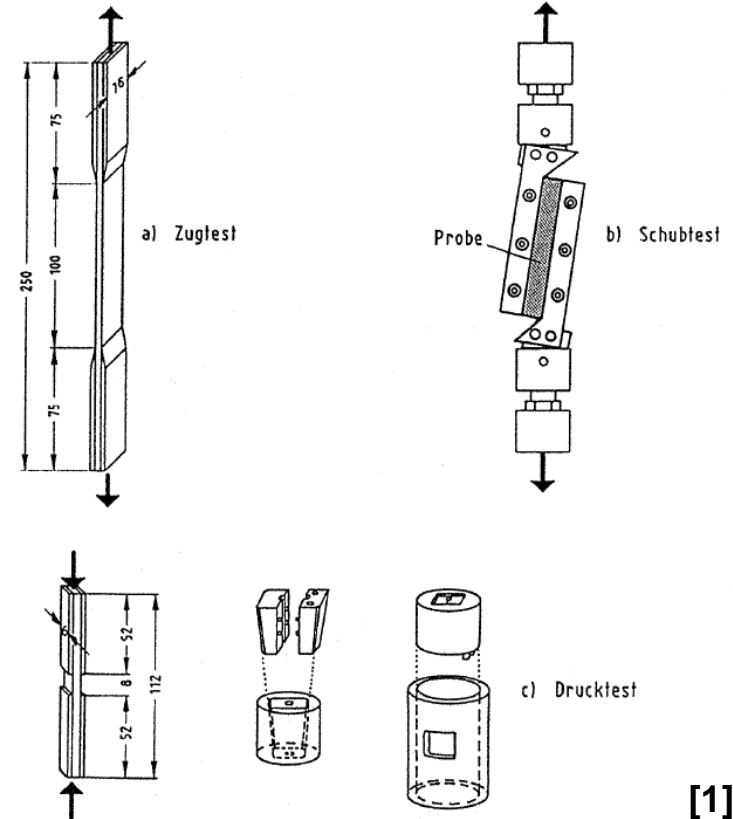
Versuch - zerstörende Prüfung

- Zugversuche längs und quer
- Zugversuch $\pm 45^\circ$
- Druckversuche längs und quer
- Schubversuche
- Kurzbiegeversuche (τ_{ILS})
- 4-Punkt-Biegeversuche
längs und quer
- statische und dynamische Versuche
(Abweichung von der Norm)

Offen bleibt ob:

- ➔ Qualität des Probenmaterials
- ➔ geeignet für die Materialartenbestimmung

(Bsp. Messung in 3. Richtung, Dehnungsgrenzen E-Modul, Schädigung)



[1]

Aufwand
Kosten
Zeit

Versuch - zerstörende Prüfung
unterschiedliche Richtungen
 $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$

Virtuelle Methoden
Homogenisierung

detailliert – Norm
Zug, Druck
Dehnungsmessung
(DMS oder optisch)
→ $E_{||}, E_{\perp}, \sigma_{(\epsilon)}$

Ingenieurmäßig
Biegung
 $E_{||}, E_{\perp}, F(w)$

$$\underline{\underline{\sigma}}^{-V} = (1-\varphi) \cdot \underline{\underline{\sigma}}^{-M} + \varphi \cdot \underline{\underline{\sigma}}^{-F}$$

$$\underline{\underline{\sigma}}^{-F} = \underline{\underline{B}}^{\sigma} \underline{\underline{\sigma}}^{-M}$$

Mikromechanik

Einheitszellen
FEM- Modell

Input

Kennwerte der
Komponenten (E, α, λ)

Matrix
Verstärkungsstoffe

Datenbank

Faser- und Partikel
Orientierung

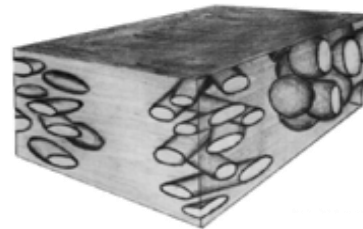
Datenbank

Faser- und Partikel
Gestalt

Datenbank



MicroMec V2.1



MeanField-Theory
3D-Lam-Theory
spezielle Funktionen



Output

3-D Verbundkennwerte

elastischer Tensor

thermischer
Ausdehnungstensor

Wärmeleitfähigkeitstensor

Schnittstelle zu
FE-Codes

Anwendung im Hause 4a

- partikelverstärkte Thermoplaste
- kurzglasfaserverstärkte Thermoplaste
- langglasfaserverstärkte Thermoplaste
- endlosfaserverstärkte Kunststoffe

GFK, CFK → UD, Gewebe

Abbildung

100% (Real)

Versuch - zerstörende Prüfung unterschiedliche Richtungen

Virtuelle Methoden Homogenisierung

detailliert – Norm
 Zug, Druck
 Dehnungsmessung
 (DMS oder optisch)
 → $E_{||}$, E_{\perp} , $\sigma_{(\epsilon)}$

Ingenieurmäßig
 Biegung
 $E_{||}$, E_{\perp} , $F(w)$

$$\underline{\sigma}^V = (1 - \varphi) \cdot \underline{\sigma}^M + \varphi \cdot \underline{\sigma}^F$$

$$\underline{\sigma}^F = \underline{B}^{\sigma} \underline{\sigma}^M$$

Mikromechanik

Einheitszellen FEM-Modell

gemeinsame Nutzung – Abbildungsgrad steigt

Micromechanik

Einfluss Faserorientierung

EP-Harz (3500 MPa)
E-Glasfaser
60 gew%
UD

E-Modul [MPa]

P: 6 €/kg **E₁: 32300 MPa**
ρ: 1.76 g/cm³ **E₂: 7700 MPa**
α₁: 8.6·10⁻⁶ 1/K **G₁₂: 2900 MPa**
α₂: 39.5·10⁻⁶ 1/K **ν₁₂: 0.29**

EP-Harz (3500 MPa)
E-Glasfaser
60 gew%
0/90

E-Modul [MPa]

P: 6 €/kg **E₁: 20200 MPa**
ρ: 1.76 g/cm³ **E₂: 20200 MPa**
α₁: 15.4·10⁻⁶ 1/K **G₁₂: 2900 MPa**
α₂: 15.4·10⁻⁶ 1/K **ν₁₂: 0.11**

EP-Harz (3500 MPa)
E-Glasfaser
60 gew%
-60/0/+60

E-Modul [MPa]

P: 6 €/kg **E₁: 15700 MPa**
ρ: 1.76 g/cm³ **E₂: 15700 MPa**
α₁: 15.4·10⁻⁶ 1/K **G₁₂: 6000 MPa**
α₂: 15.4·10⁻⁶ 1/K **ν₁₂: 0.31**

EP-Harz (3500 MPa)
E-Glasfaser
60 gew%
-54.7/+54.7

E-Modul [MPa]

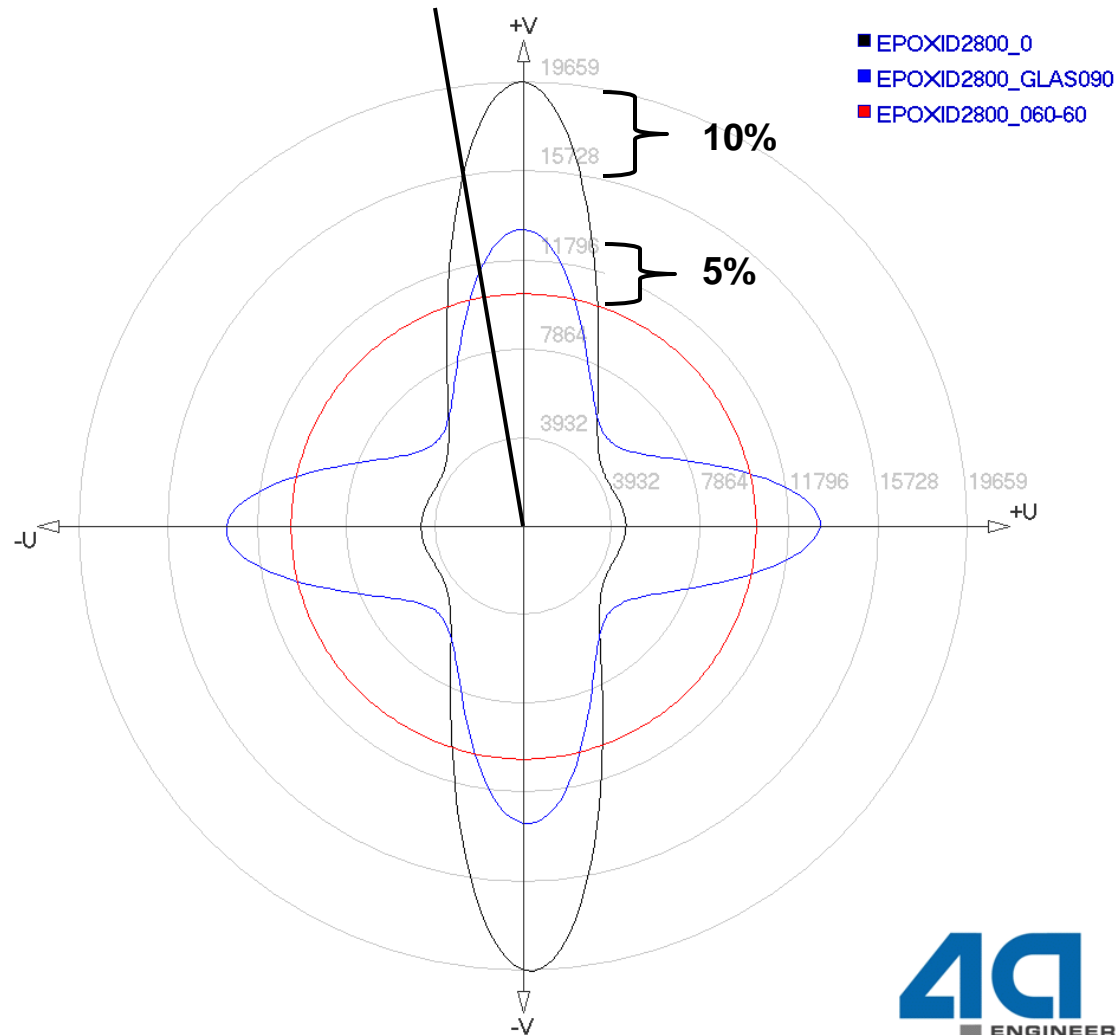
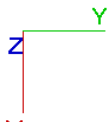
P: 6 €/kg **E₁: 7500 MPa**
ρ: 1.76 g/cm³ **E₂: 13600 MPa**
α₁: 26.4·10⁻⁶ 1/K **G₁₂: 8400 MPa**
α₂: 8·10⁻⁶ 1/K **ν₁₂: 0.40**

Epoxid mit 40% Glasfaser verstärkt unidirektional

0°/90°
-60°/0°/60°

Young's
Modul
[MPa]
25.3.2009

Viewpoint
0 0 1
axis 1: 0°
axis 2: 90°
axis 3: 0°



- untersuchtes Organoblech
 - thermoplastische Matrix (abhängig von Konditionierung)
 - ~ 50% Glasfaser verstärkt
 - Faserausrichtung in Form eines Gewebes
- Ziel → virtuelle Abbildung / Materialkarte
 - Kompromiss zwischen Rechengüte und Praxistauglichkeit
 - Abbildung Crashfronten
- Fragestellung
 - verfügbare Materialmodelle in LS-DYNA
 - Materialcharakterisierung auf Probenebene
 - Modellierungsphilosophie
- Validierung
 - Probenebene
 - Hutprofil als Bauteilabgleich (Biegung / Stauchung)

➤ Klassische Materialcharakterisierung

- Zugversuche längs und quer
- Zugversuch $\pm 45^\circ$
- Druckversuche längs und quer
- Schubversuche
- Kurzbiegeversuche (τ_{ILS})
- 4-Punkt-Biegeversuche längs und quer

- statische und dynamische Versuche
(Abweichung von der Norm)

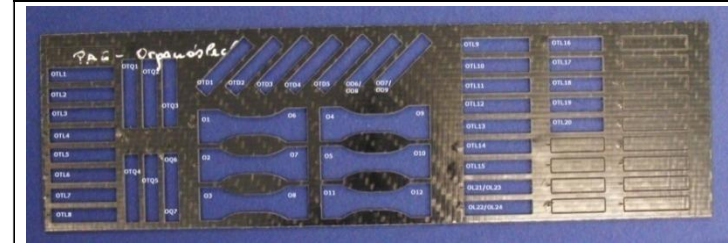
➤ gewählte Vorgehensweise

- statische 3-Punkt-Biegeversuche
längs, quer, diagonal
- dynamische 3-Punkt-Biegeversuche
mit 4a impetus in Faserrichtung
- abhängig von der Konditionierung

Biegeprüfung

Messergebnisse Organoblech statische Biegeprüfung

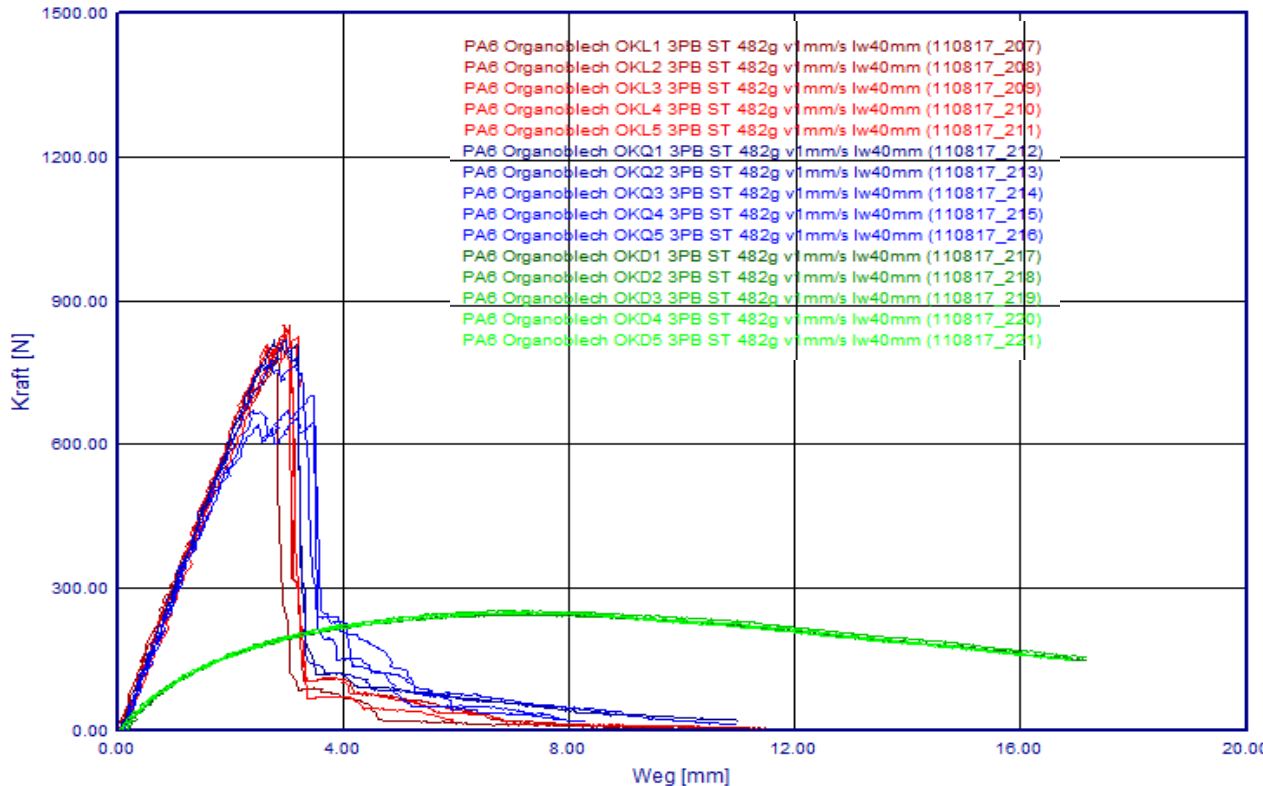
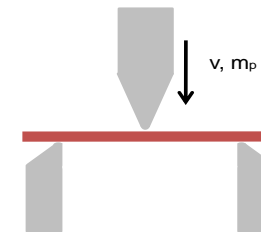
v_0 [m/s]	l_w [mm]	m_{Pendular} [g]	b [mm]	t [mm]	l [mm]
0.001	30		10	3	50



Längs

Quer

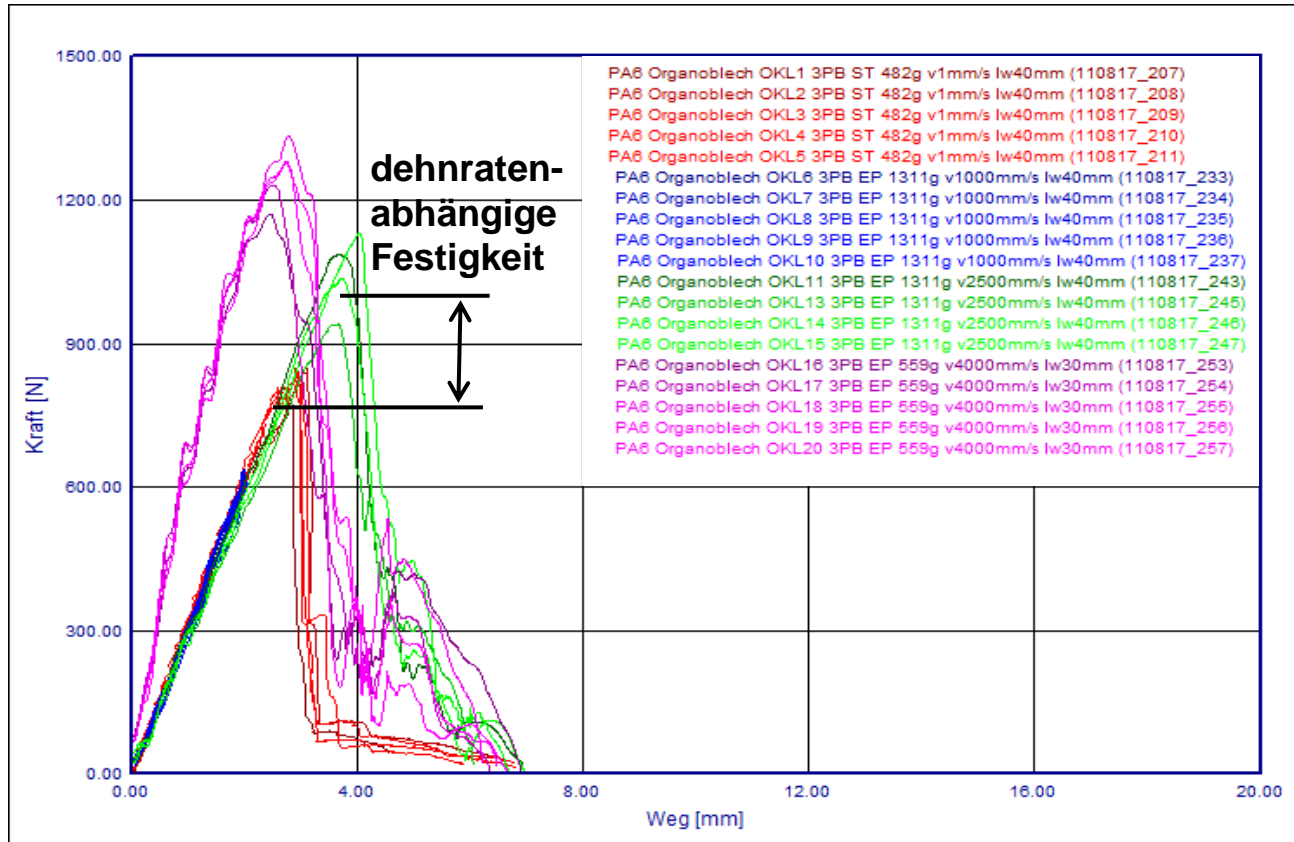
Diagonal



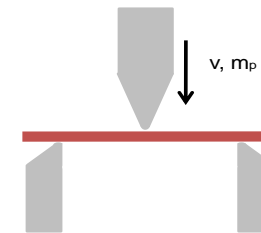
Kaum messbarer Unterschied im mechanischen Verhalten zwischen Längs- und Querproben, jedoch erwartungsgemäß in Diagonal-Richtung deutlich weiches Verhalten.

Biegeprüfung

Messergebnisse Organoblech dynamische Biegeprüfung



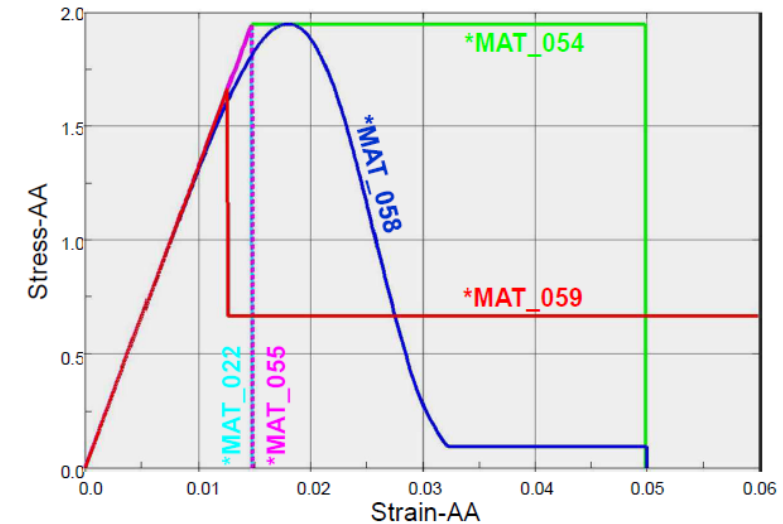
v_0 [m/s]	l_w [mm]	m_{Pendular} [g]	b [mm]	t [mm]	l [mm]
0.001	40		10	3	50
1	40	1311	10	3	50
2.5	40	1311	10	3	50
4	30	559	10	3	40



Aus den statischen und dynamischen Messungen ist im Vergleich kein Steifigkeitsunterschied zu erkennen. Das Bruchverhalten sowie der erreichte Belastungsweg zum Bruchzeitpunkt ist geschwindigkeitsabhängig.

Auszug aus LS-DYNA Manual

- *MAT_ORTHOTROPIC_ELASTIC (Type 2)
- *MAT_COMPOSITE_DAMAGE (Type 22)
- *MAT_ENHANCED_COMPOSITE_DAMAGE (Type 54/55)
- *MAT_LAMINATED_COMPOSITE_FABRIC (Type 58)
- *MAT_COMPOSITE_FAILURE (Type 59)
- *MAT_RATE_SENSITIVE_COMPOSITE_FABRIC (Type 158)
- ...



Dehnratenabhängigkeit kaum verfügbar

- *MAT_158 über eine Prony series
- Im Entwicklungsstadium (keine produktive LS-DYNA Version)
- *MAT_54 → Festigkeiten können abhängig von der Dehnrade angegeben werden

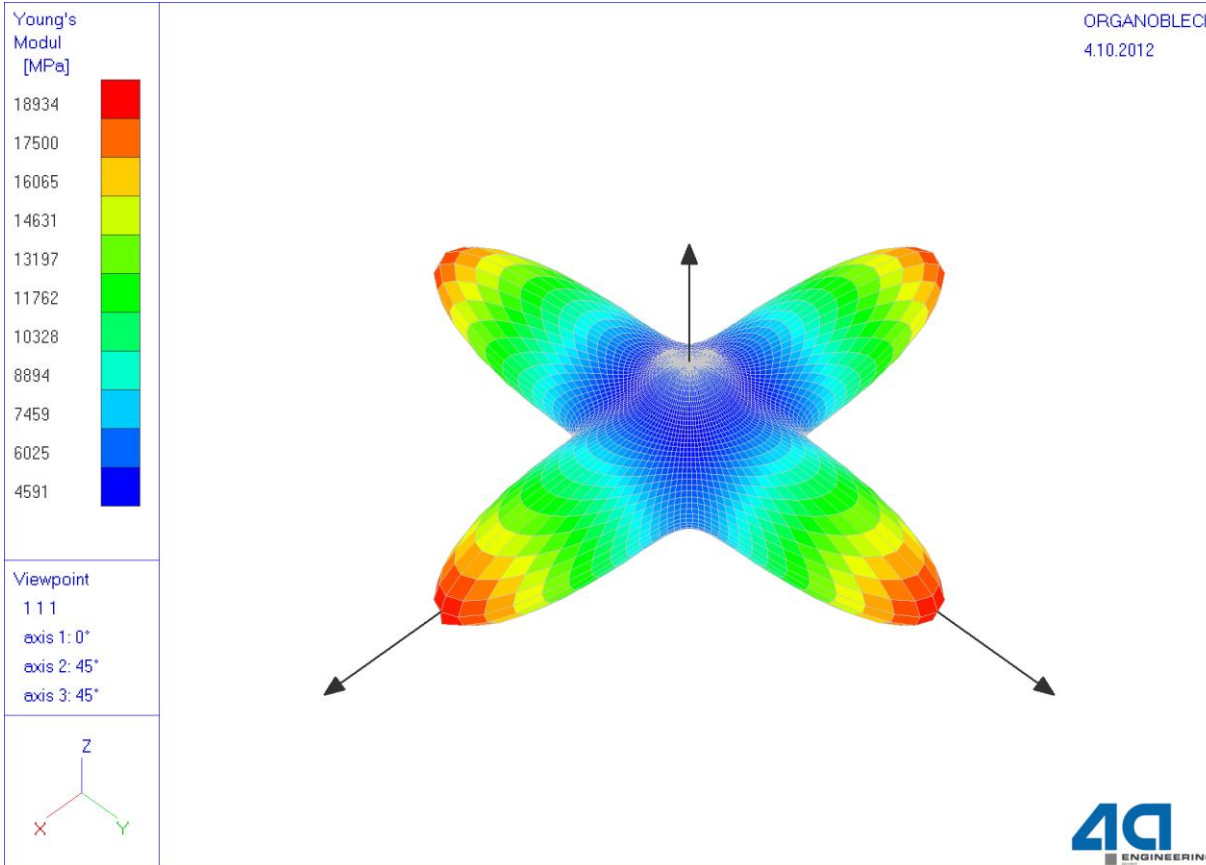
Materialkennwerte / Modellparameter

- Elastischer Steifigkeitstensor (9 Par.)
- Schubeinfluss
- Festigkeitskennw. in Hauptrichtung Zug/Druck (4 Par.)
- SLIM Faktoren – Resttragfähigkeit (5 Par.)
- Modell und Solverparameter
 - Versagensfläche
 - Softening
 - Max. eff. Versagensdehnung (layer remove)

	Beschreibung
RO	Dichte
EA	E-Modul in A-Richtung
EB	E-Modul in B-Richtung
EC	E-Modul in C-Richtung
GAB	Schubmodul A-B
GCA	Schubmodul C-A
GBC	Schubmodul B-C
PRBA	Querkontraktionszahl B-A
E11T	Dehnungswert bei maximaler Zugspannung in A-Richtung
E22T	Dehnungswert bei maximaler Zugspannung in B-Richtung
E11C	Dehnungswert bei maximaler Druckspannung in A-Richtung
E22C	Dehnungswert bei maximaler Druckspannung in B-Richtung
GMS	Verzerrung bei maximaler Schubspannung
XT	Maximale Zugspannung in A-Richtung
YT	Maximale Zugspannung in B-Richtung
XC	Maximale Druckspannung in A-Richtung
YC	Maximale Druckspannung in B-Richtung
SC	Maximale Schubspannung
ILSS	interlaminare Schubfestigkeit
ERODS	Bruchdehnung (Solverparameter)

→ Große Anzahl an Kennwerten/Parametern, die bestimmt werden müssen.





Young's Moduli

E_1	18934.1 MPa
E_2	18934.1 MPa
E_3	5721.06 MPa

Poisson's Ratios

ν_{12}	0.11851
ν_{13}	0.39553
ν_{23}	0.39553

Thermal Expansion

α_1	13.6809 E-6
α_2	13.6809 E-6
α_3	70.9394 E-6

Shear Moduli

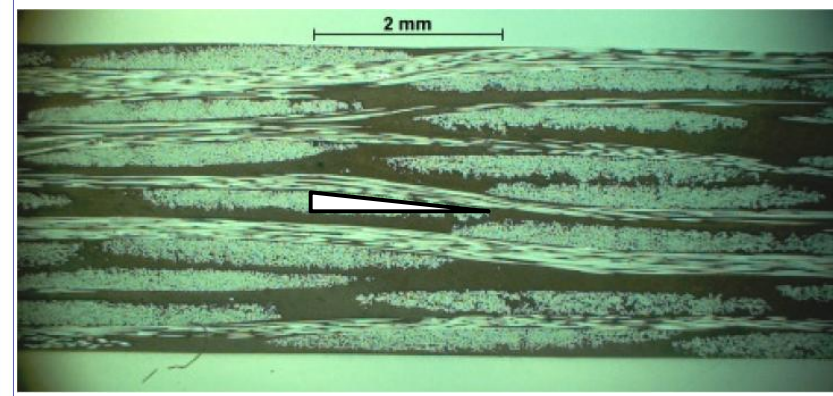
G_{12}	1824.58 MPa
G_{13}	1732.34 MPa
G_{23}	1732.34 MPa

Poisson's Ratios

ν_{21}	0.11851
ν_{31}	0.11951
ν_{32}	0.11951

Thermal Expansion

α_{12}	0 E-6
α_{13}	0 E-6
α_{23}	0 E-6

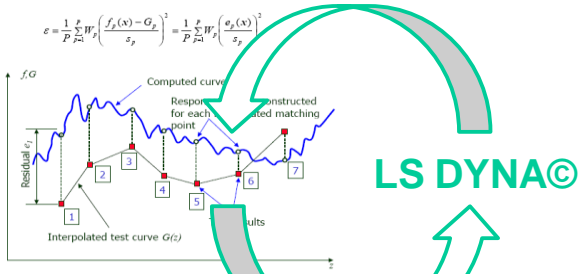
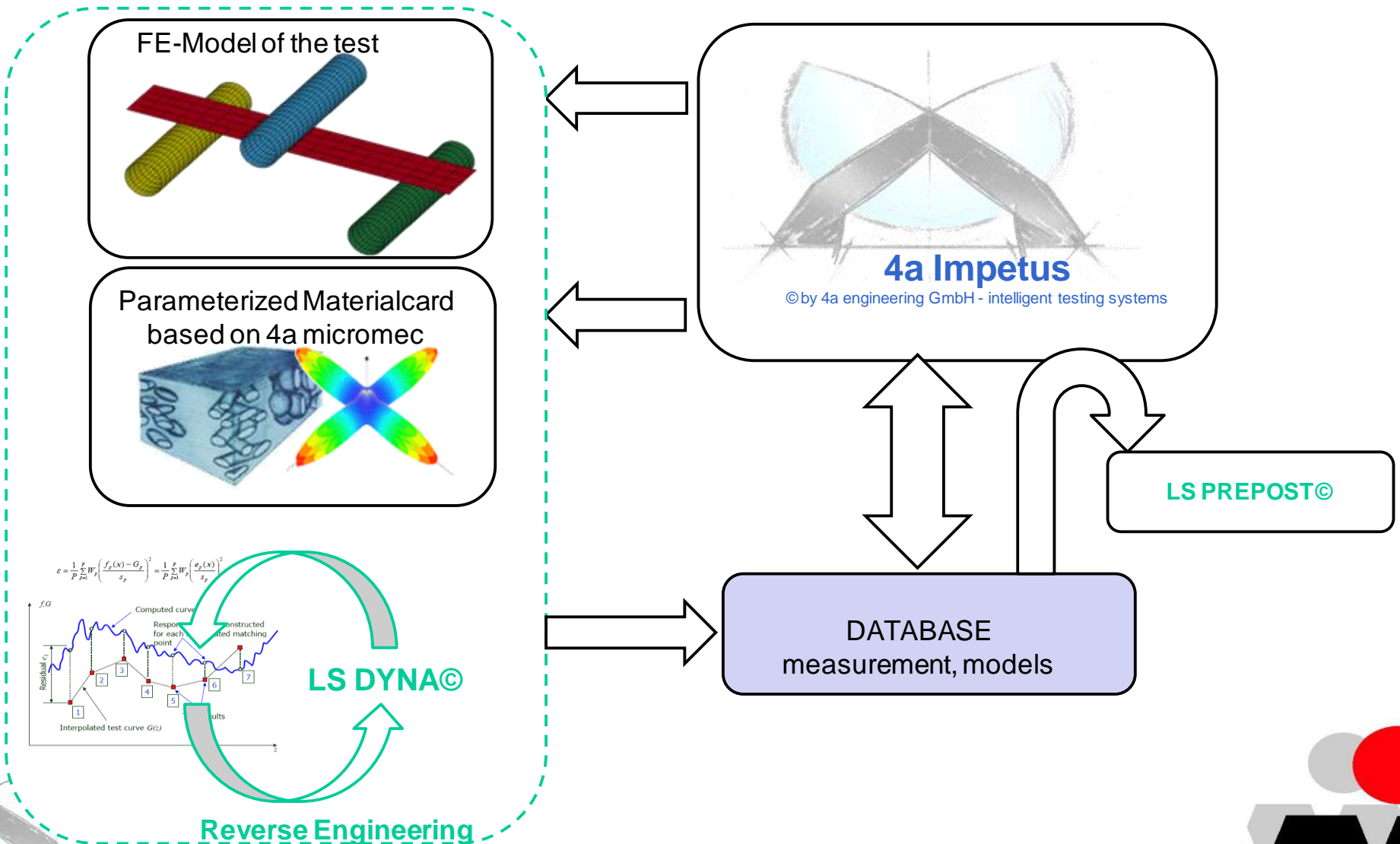


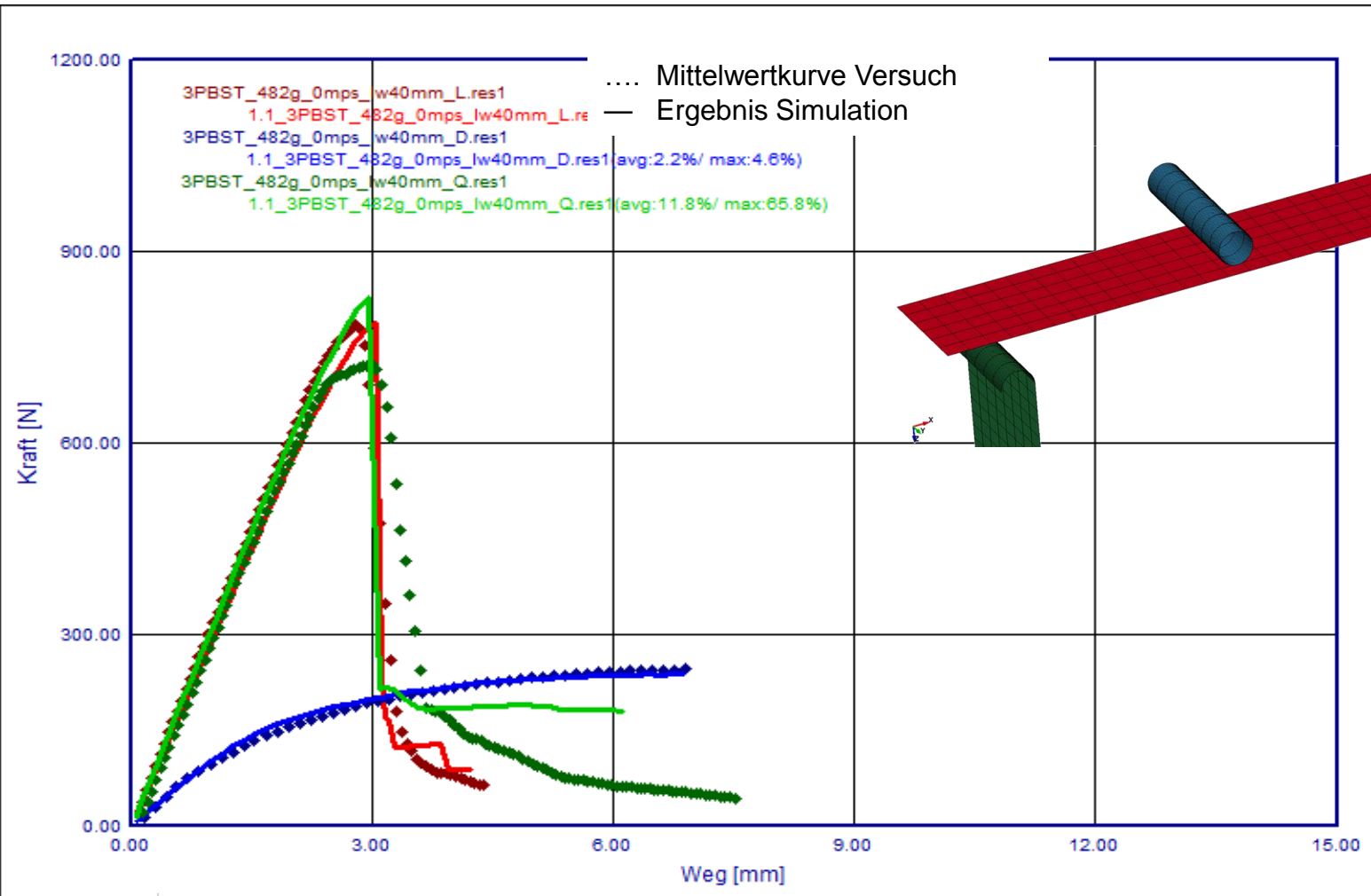
Gewebe wurde über Abminderung der Fasereigenschaften berücksichtigt, da die Fasern nicht ideal linear ausgerichtet sind.



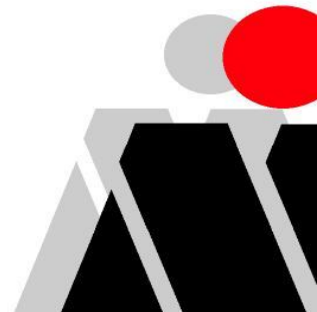
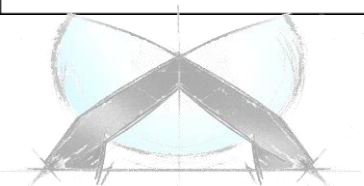
Reverse Engineering

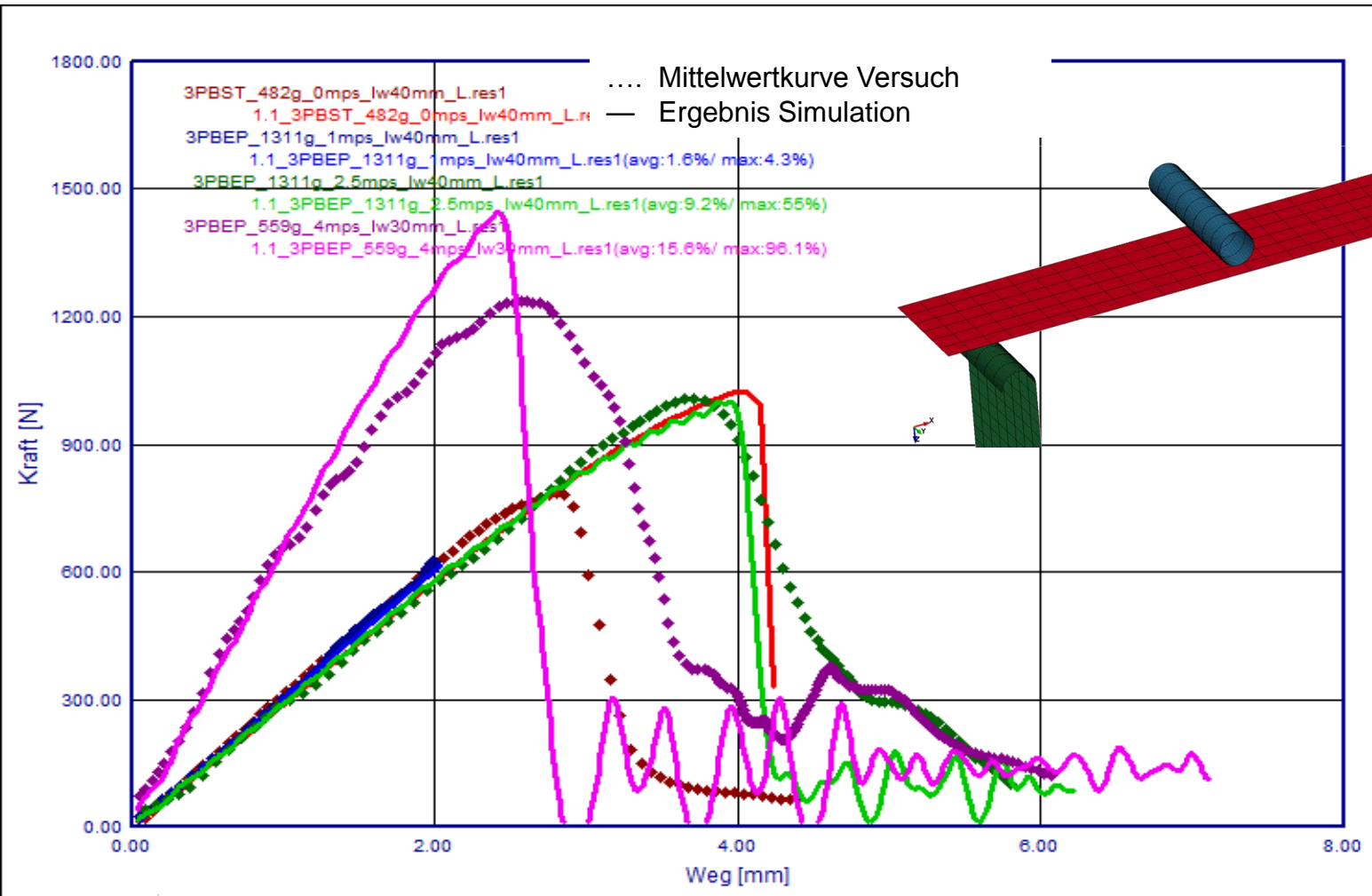
Ablaufdiagramm





Versagen auf die quasistatischen Messergebnisse angepasst

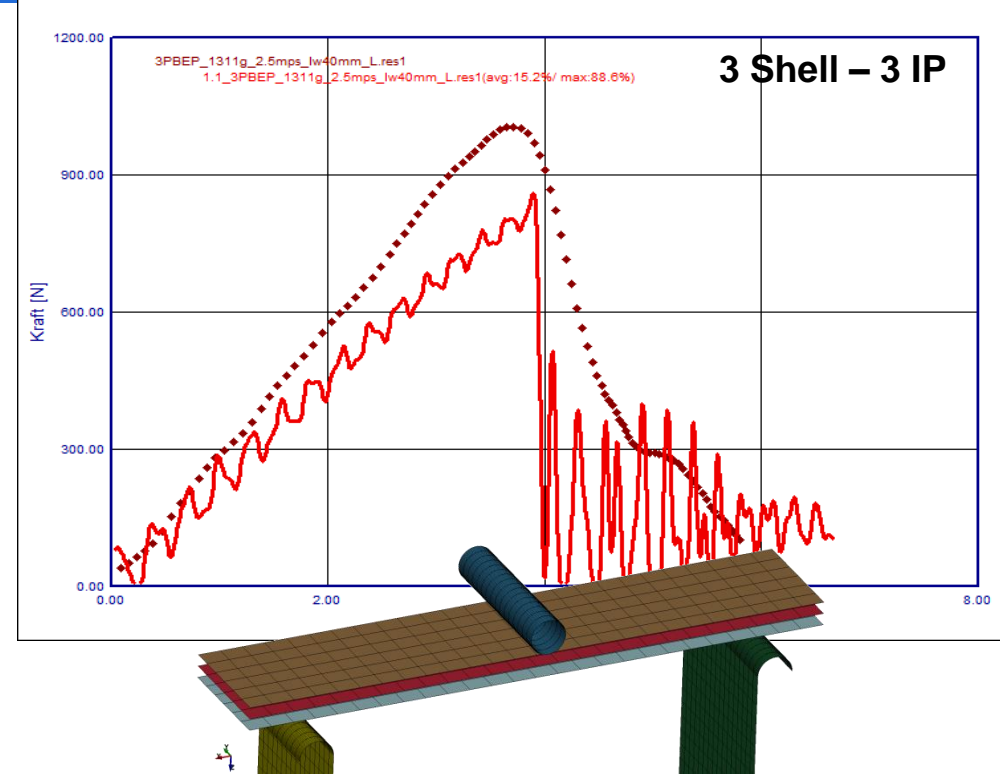
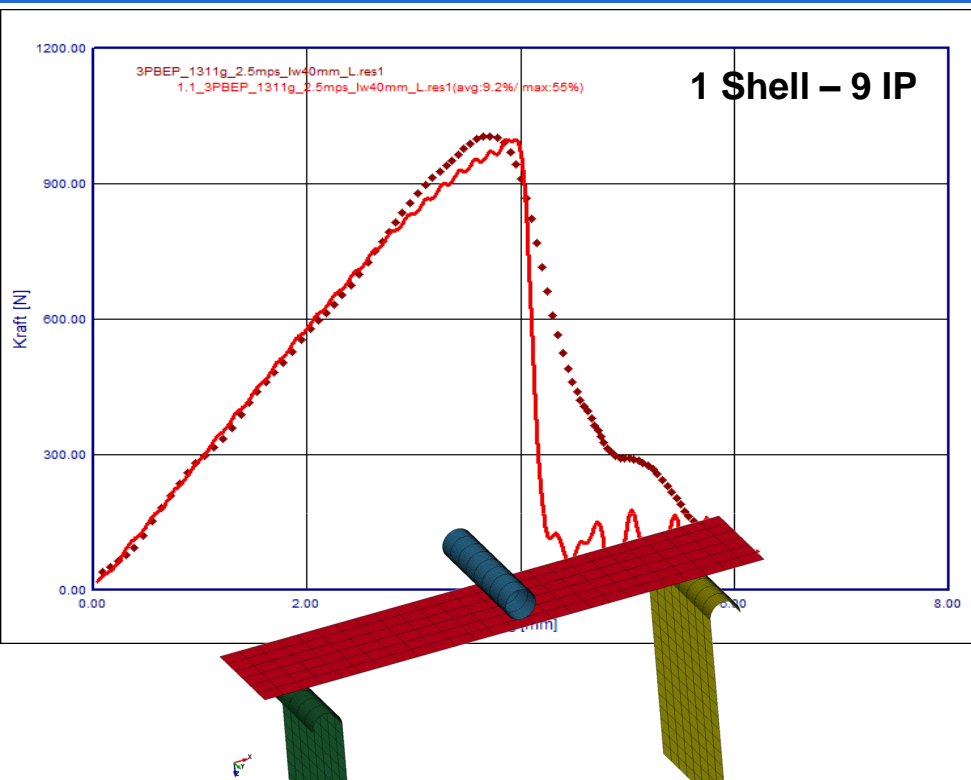




Versagen auf dynamischen Lastfall angepasst

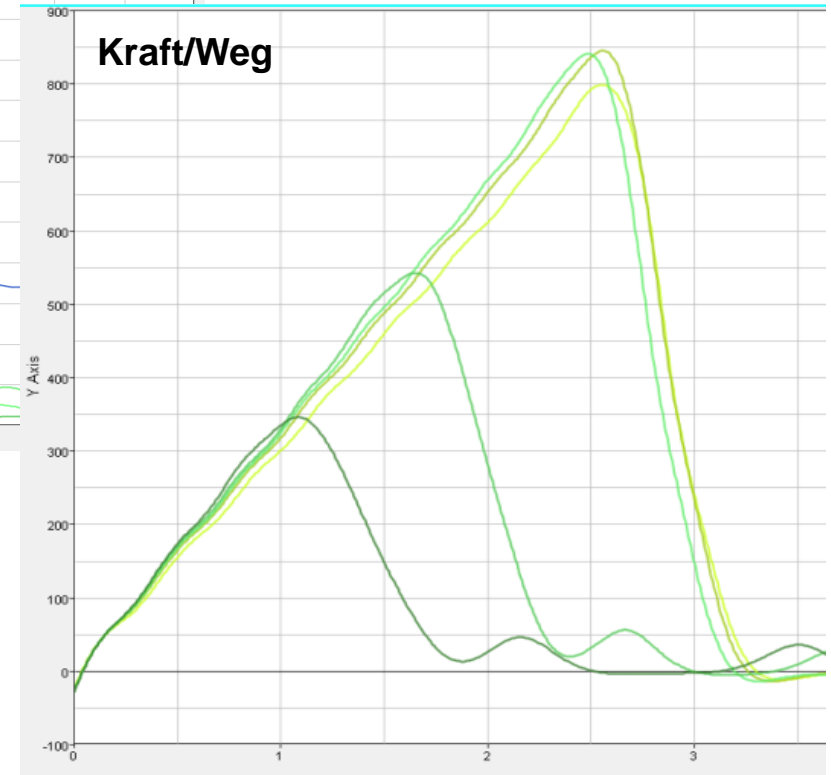
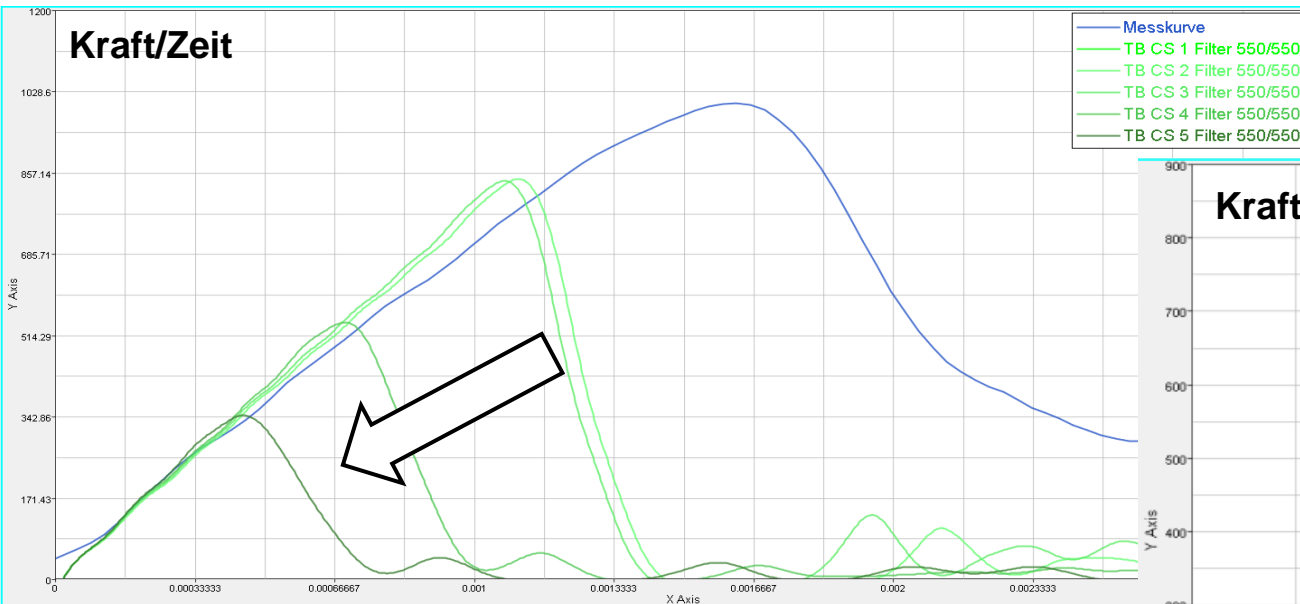
Validierung 3-Punkt-Biegung

Multi-Layer-Aufbau



- Ermittelte Materialkarte kann den Versuch bei einer Idealisierung *PART_COMPOSITE mit 9 Integrationspunkten gut abbilden.
- Ein Multi-Layer-Aufbau ohne Modifikation führt zu einer zu geringen Steifigkeit, der Bruchzeitpunkt stimmt recht gut mit den Messdaten überein.

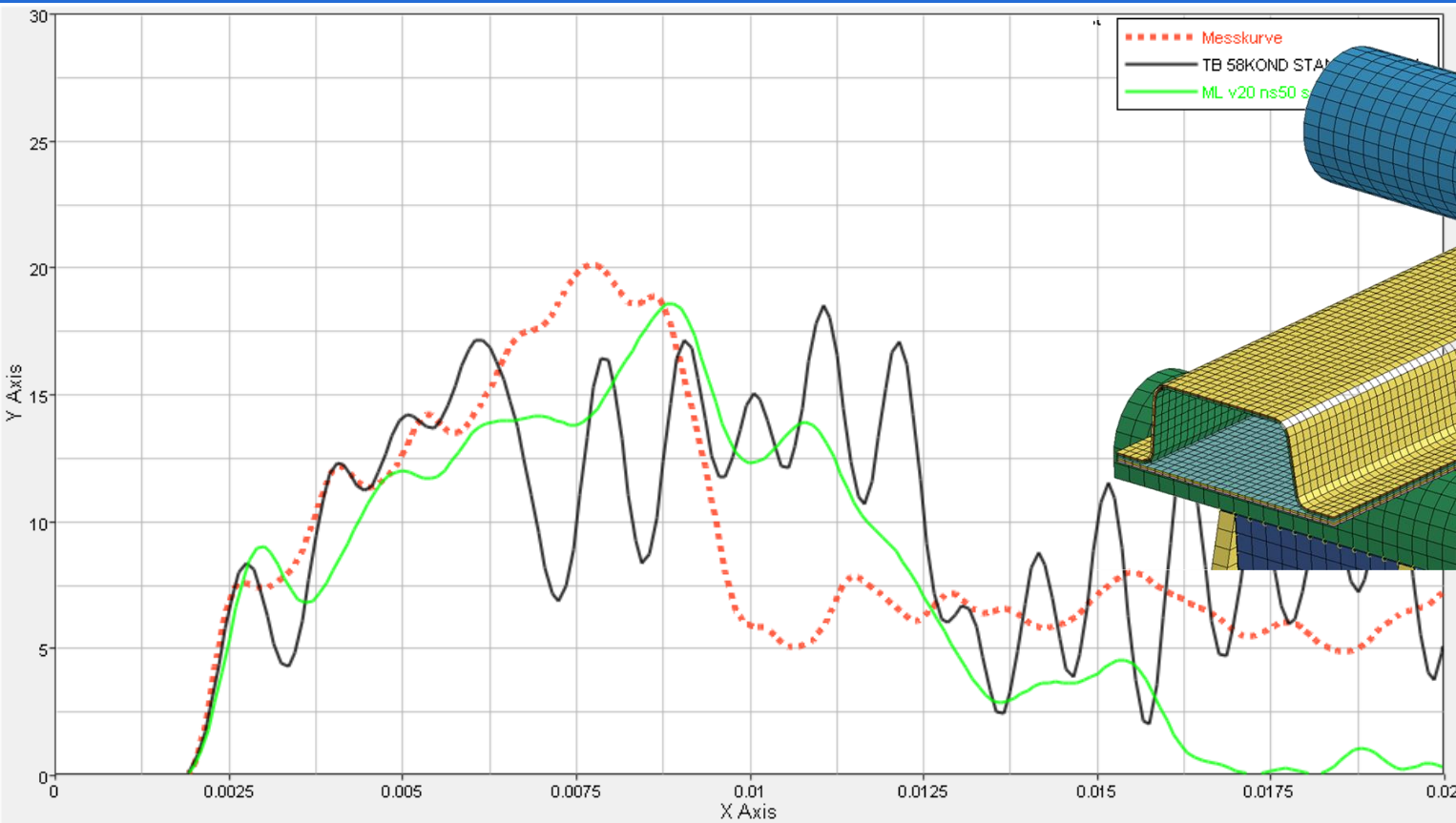




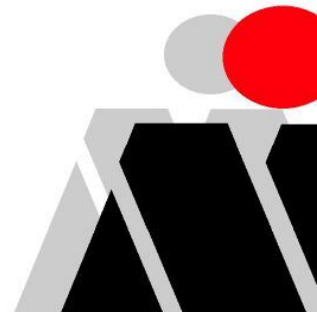
Wird die Kontaktsteifigkeit nach oben skaliert, können größere Schwingungen im Grundsignal beobachtet werden, was zu einem verfrühten Versagen führt.

→ Kompromiss muss gefunden werden





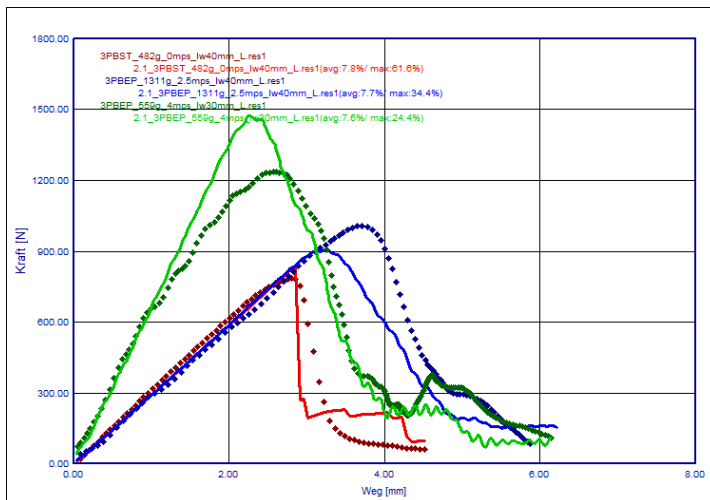
Der Multi-Layer-Aufbau beschreibt das gemessene Kraft/Weg-Verhalten in einer ähnlichen Güte wie das Single-Layer-Modell.



- Mit *MAT_LAMINATED_COMPOSITE_FABRIC können die wesentlichen Effekte abgebildet werden. Die Dehnratenabhängigkeit muss dabei vernachlässigt werden und die Materialkarte daher je nach Lastfall (statisch vs. dynamisch) erzeugt werden.
- In Kombination mit der Mikromechanik ist es möglich, mittels 4a impetus und Reverse Engineering eine geeignete Materialkarte zu erzeugen.

Ausblick:

- Anwendung der Materialkarten in ersten seriennahen Entwicklungen
- Erste Tests mit *MAT_54 und dehnratenabhängigen Festigkeiten



CALL FOR PAPERS

GmbH



Kunststoffe

auf dem Prüfstand

27.-28.2 Februar 2014

Testen und Simulieren

