Audi
Vorsprung durch Technik

Pragmatische Vorgehensweise bei der Materialkartenerstellung von Glassfaserverstärkte Kunststoffmaterialien

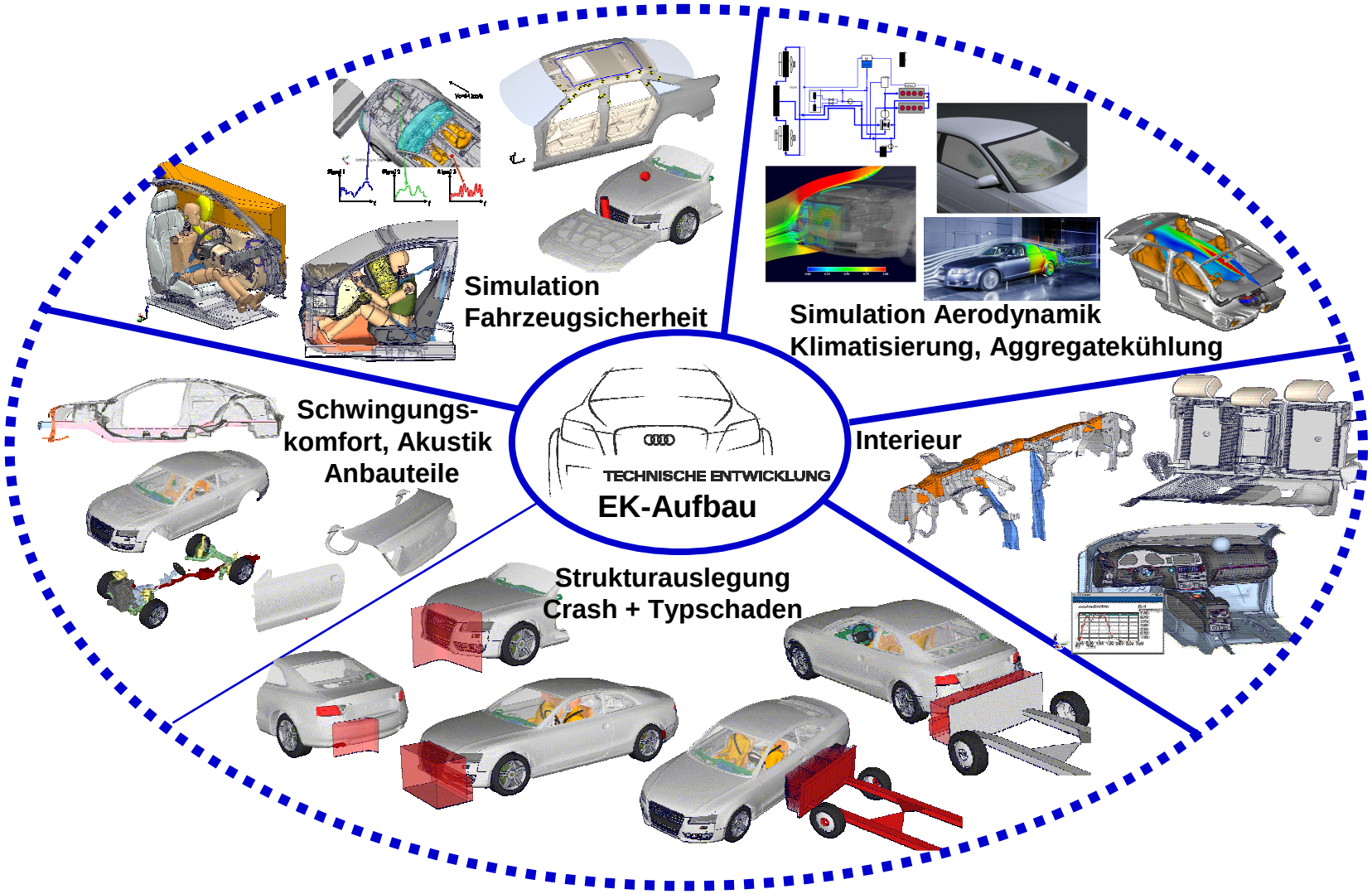
Richard Luijkx, 2011.03.04

Inhalt

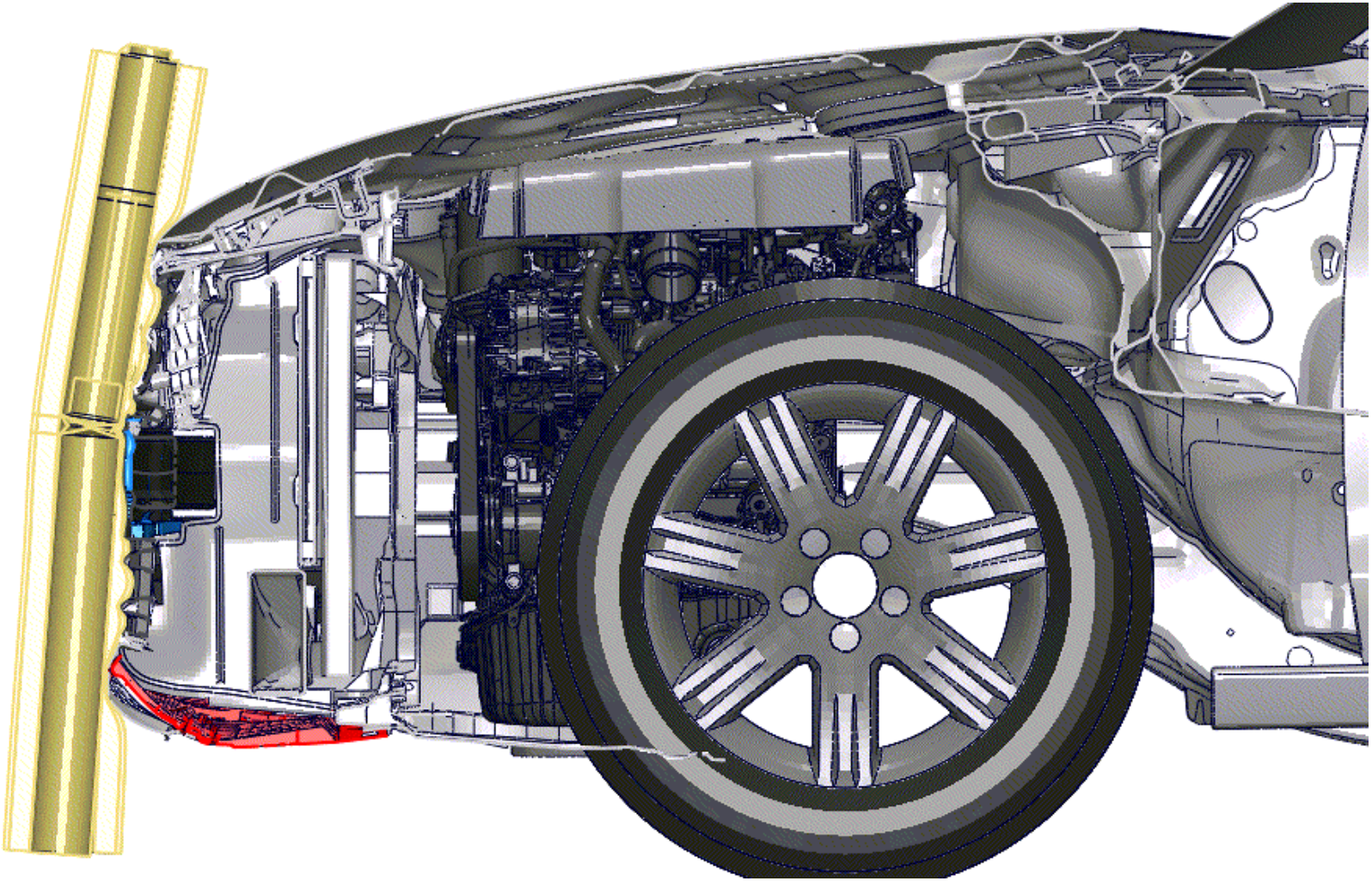
- Warum brauchen wir eine Pragmatische Vorgehensweise für verstärke Kunststoffe
  - Materialvielfalt
  - Lastfallvielfalt
  - Entwicklungsprozess
- Was heißt pragmatisch im Bezug auf verstärkte Kunststoffe
  - Strategien zur Berücksichtigung von Glassfasern
- Wie schaut der pragmatische Ansatz in der Praxis aus
  - Charakterisierung

Funktionsauslegung bei Audi

Lastfälle im Projekt

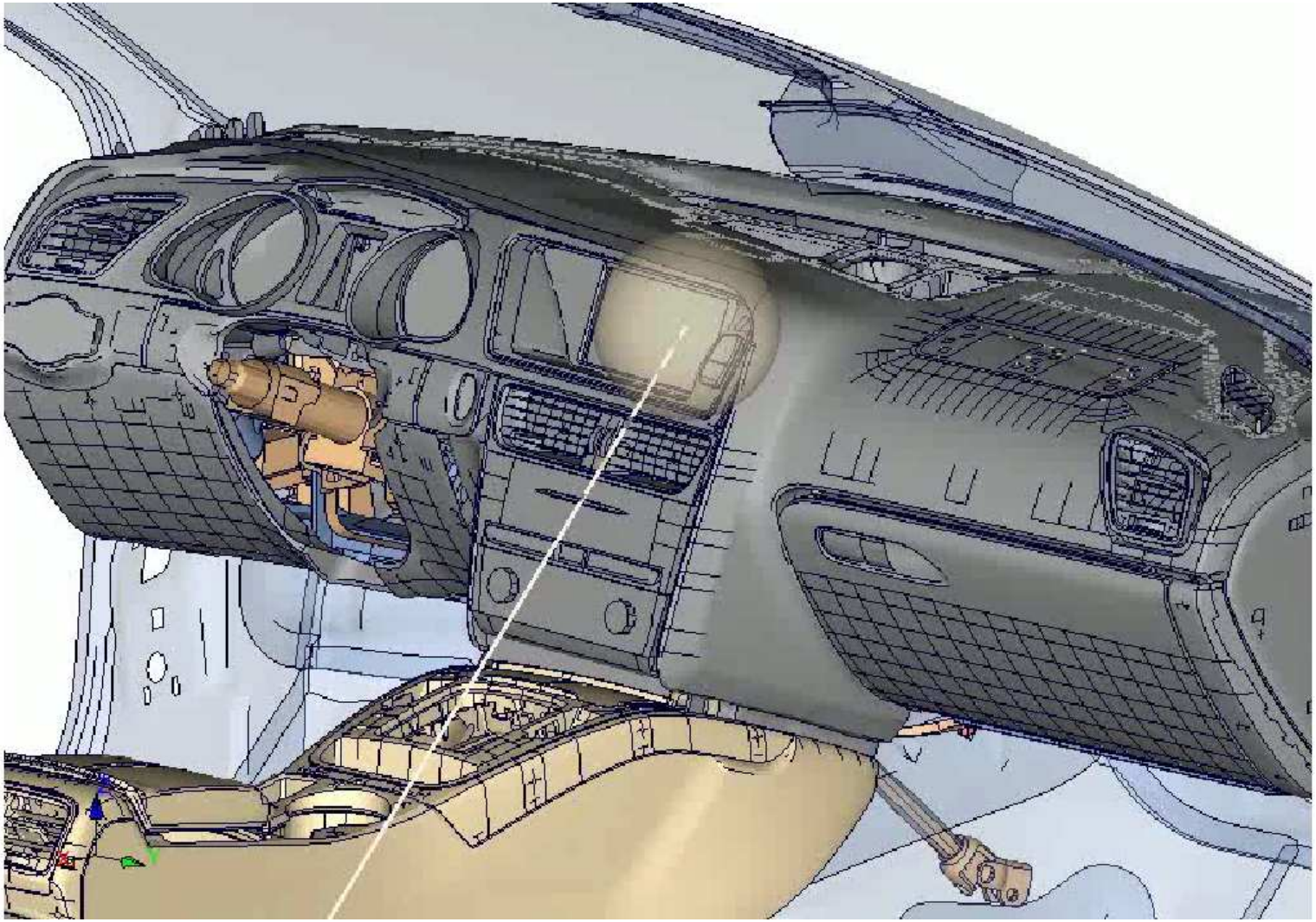


Funktionsauslegung bei Audi
FGS Bein



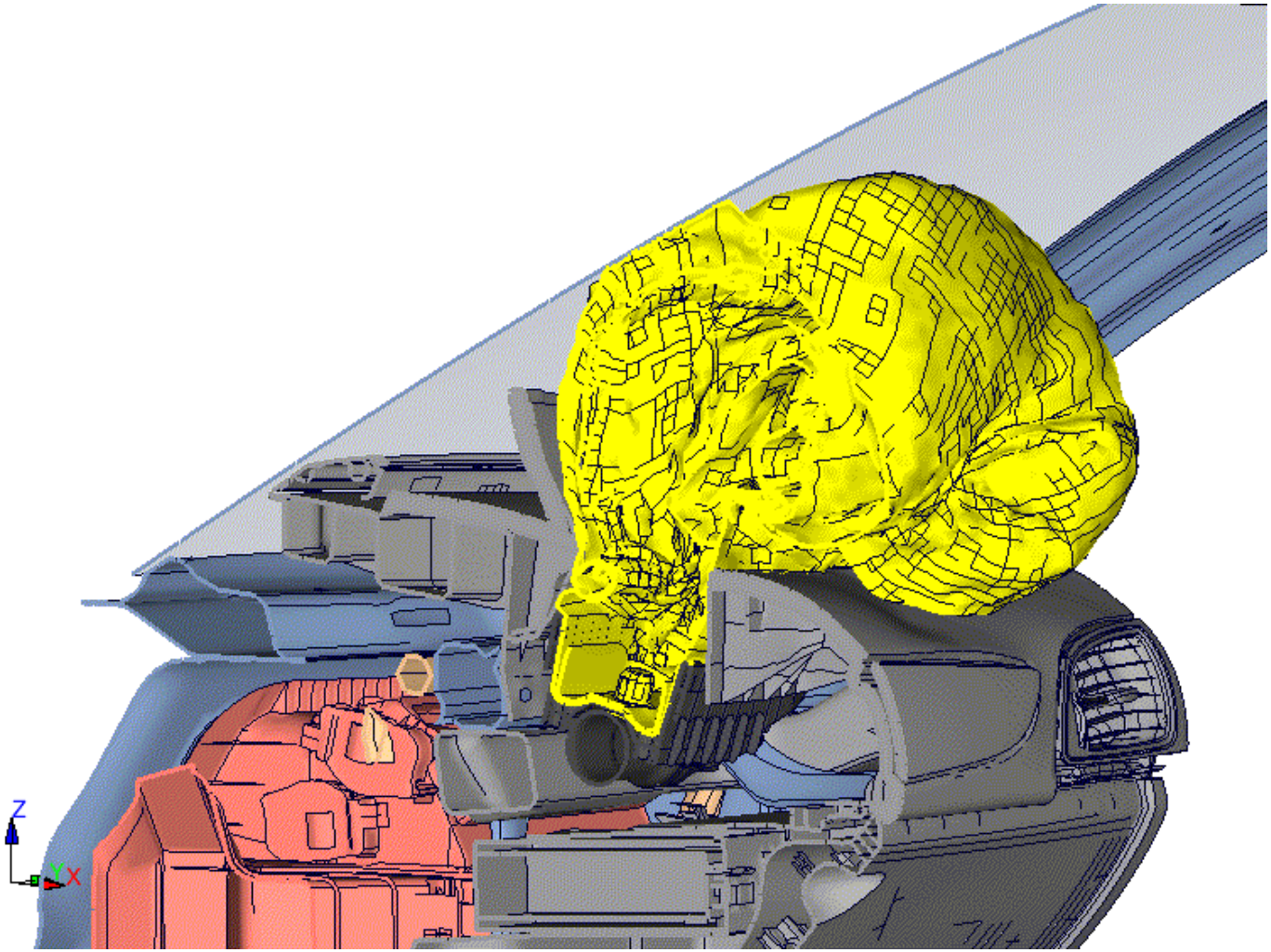
Funktionsauslegung bei Audi

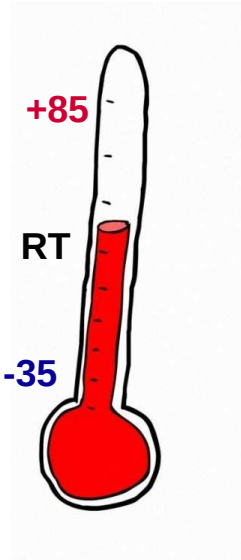
Cockpit Kopfaufprall



Funktionsauslegung bei Audi

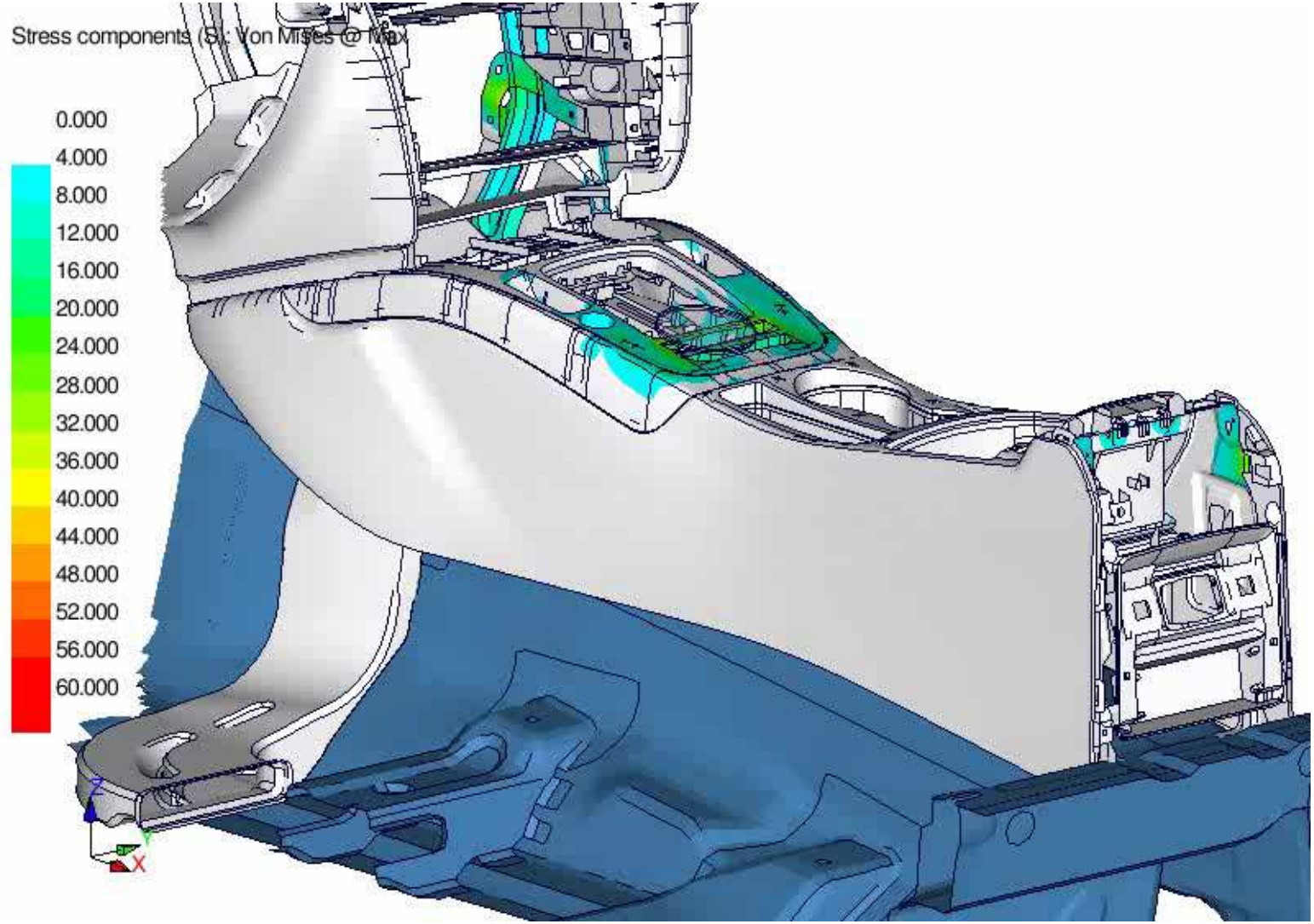
Simulation Interieur: Airbagschuss





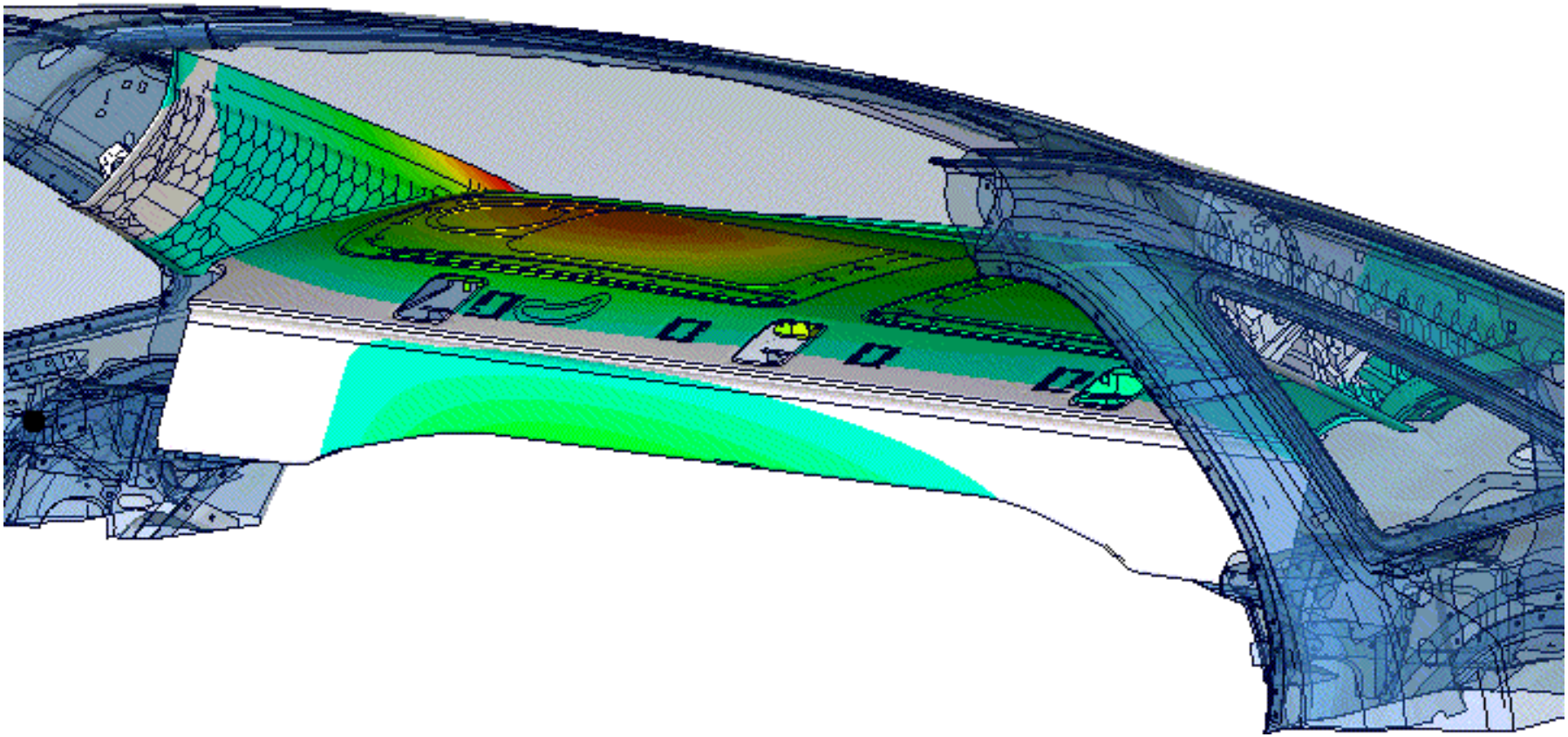
Funktionsauslegung bei Audi

Simulation Interieur: Steifigkeit, Festigkeit und Missbrauch



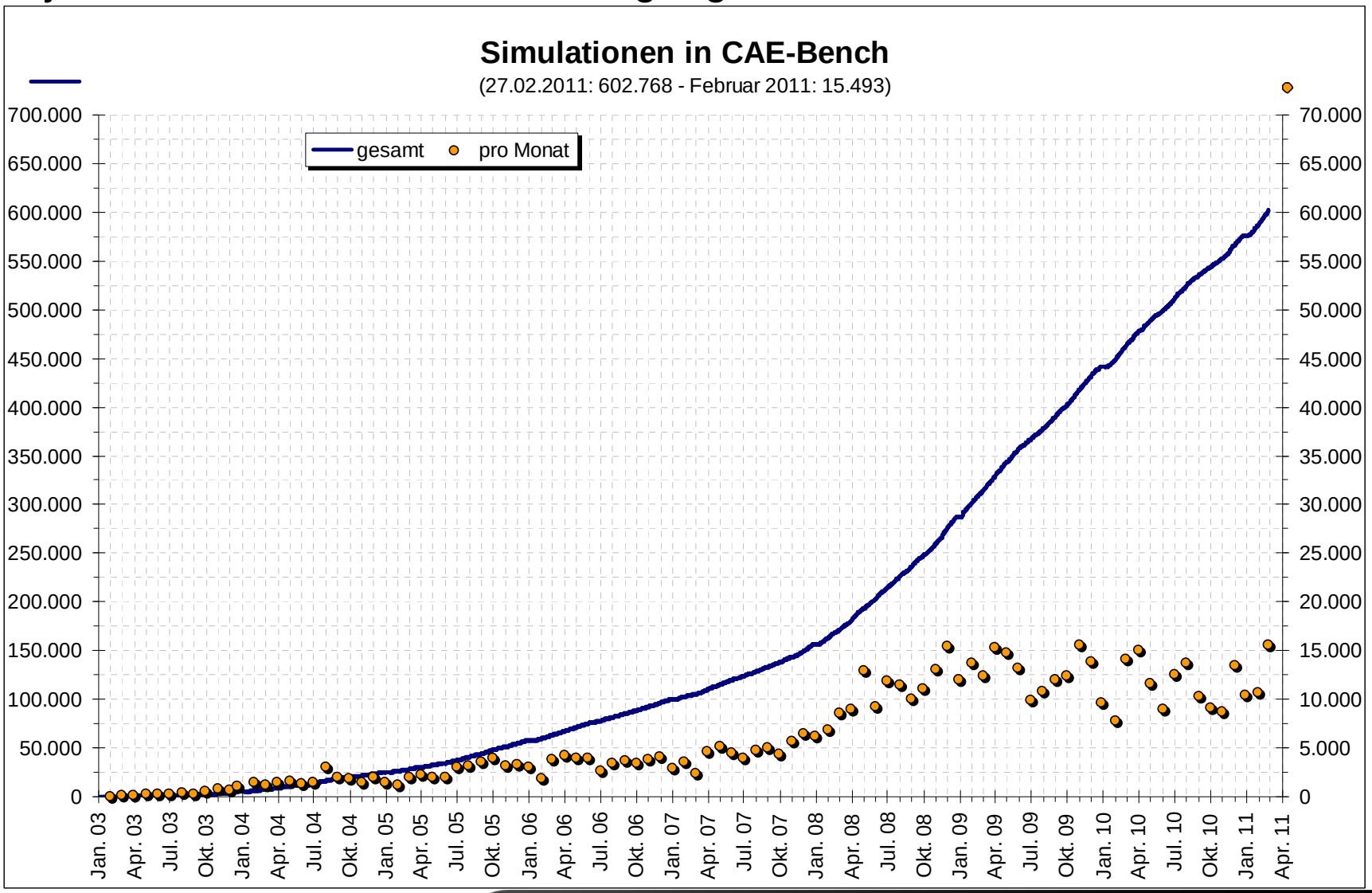
Funktionsauslegung bei Audi

Simulation Interieur: Schwingungskomfort (Hutablage)



Materialdatenverwendung

Projekt Einsatz der Funktionsauslegung



Funktionsauslegung bei Audi

FEM Werkzeuge in der Funktionsauslegung

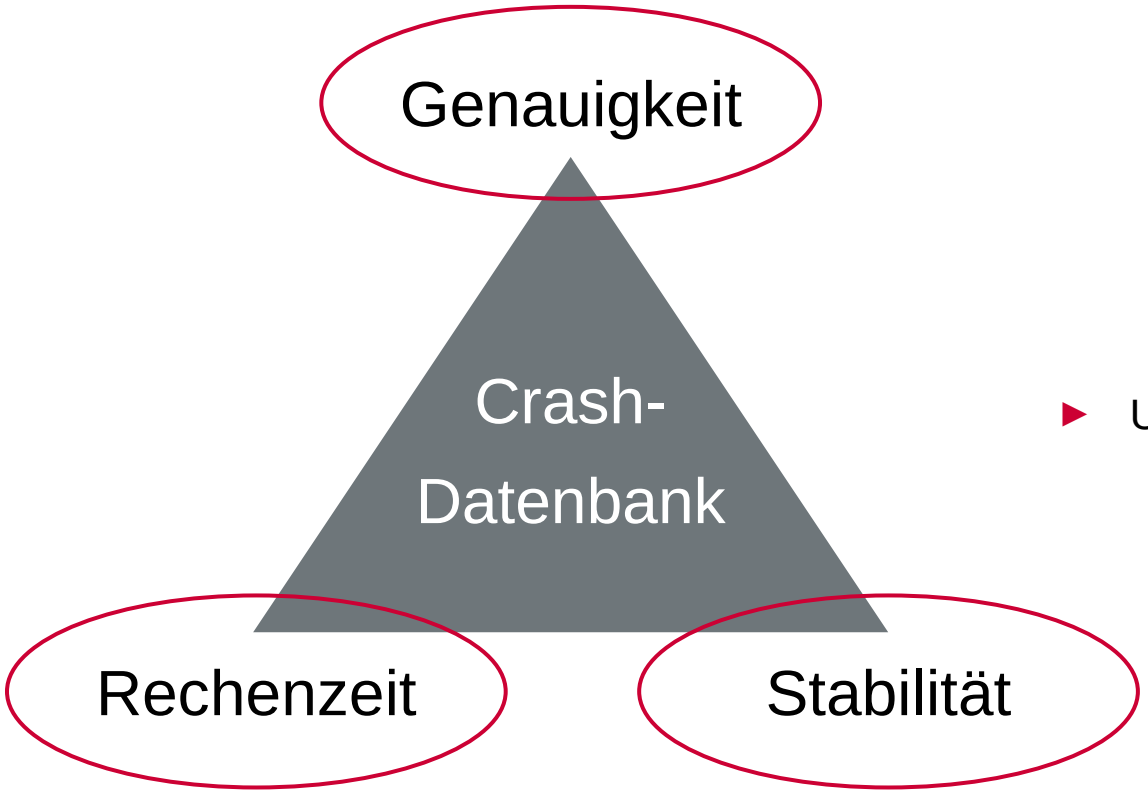
	MSC Software – MSC Nastran	Abaqus Version 6.7 – SIMULIA	ESI Group – Pam-Crash
NVH Schwingungs-komfort	**Lineare Statik / Dynamik**	**Lineare Statik / Dynamik**	
Komfort und Missbrauch		**Nichtlineare Statik**	**Quasistatische Nichtlineare Im- u. explizite FEM**
Crash und Sicherheit			**Dynamische Nichtlineare explizite FEM**

Herkömmliche Materialkenndaten in der Funktionsauslegung

Ausprägung der Materialkenndaten

	MSC Software – MSC Nastran	Abaqus Version 6.7 – SIMULIA	ESI Group – Pam-Crash
NVH Schwingungs-komfort	$\sigma = E * \varepsilon$ ρ, Dichte Dämpfung !	$\sigma = E * \varepsilon$ ρ, Dichte Dämpfung !	
Komfort und Missbrauch		Nicl $\sigma = f(\varepsilon)$ tik	Quasistatische $\sigma = f(\varepsilon)$ Im- u. explizite FEM
Crash und Sicherheit			$\sigma = f(\varepsilon, \dot{\varepsilon})$ ρ, Dichte

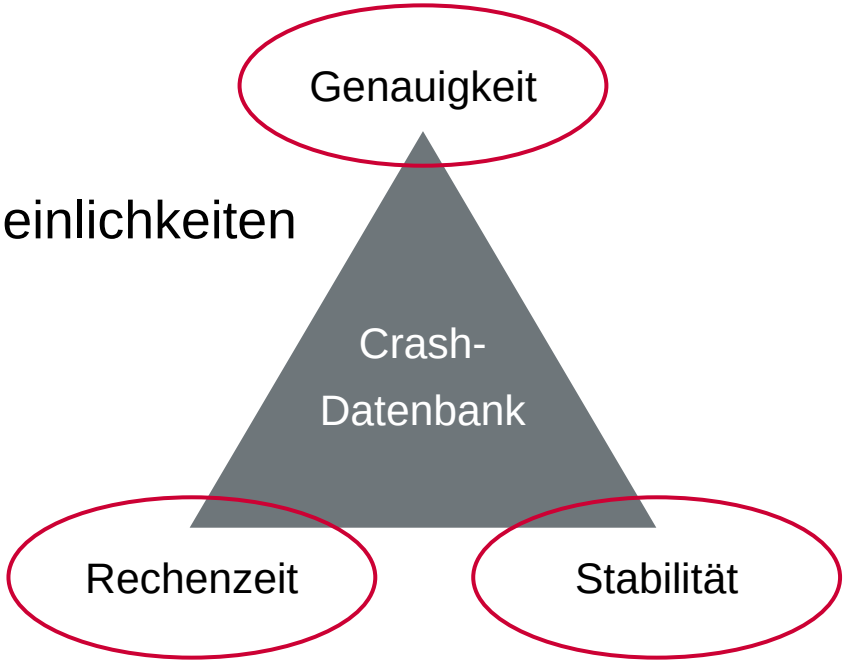
Kunststoffe in der Crashmaterialdatenbank
Randbedingungen



- Bei Audi ca. 250 Potentielle Nutzer
  - Davon ca. 50 Intern
  - ....
  - Grosse Varianz in Erfahrung
  - Material ist „Black Box“
- Unterschiedlicher Projektfokus
  - Aussageschärfe
  - Worst Case Definition

Kunststoffe in der Crashmaterialdatenbank
Abzubildende Eigenschaften

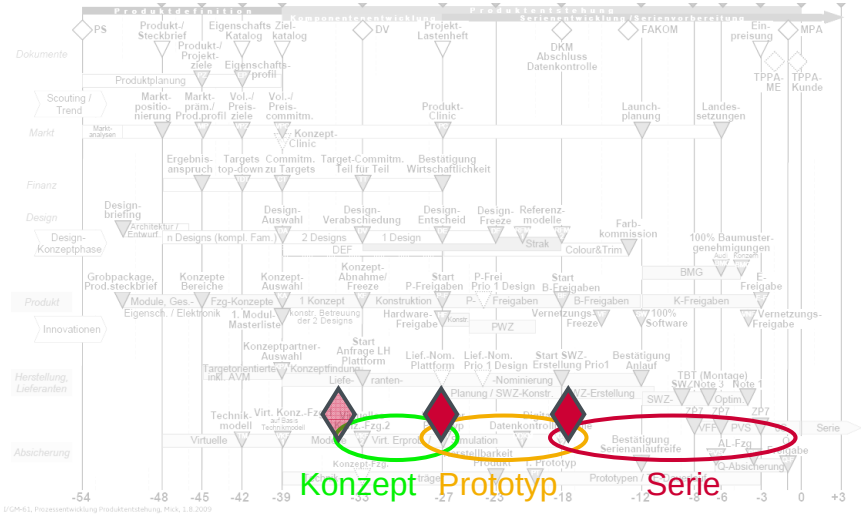
- Steifigkeiten
  - Statisch
  - Dynamisch
- Versagensrisiken / Chancen / Wahrscheinlichkeiten
- Glassfaserspezifische Themen
  - Richtungsabhängigkeit
  - Orientierungsgrad
  - Bindenähte

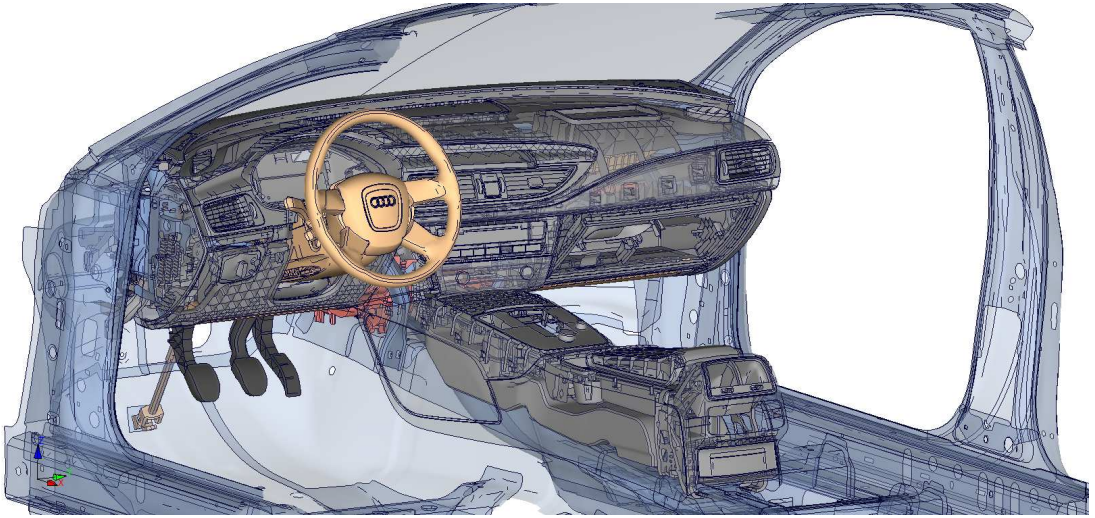


Glassfaserverstärkte Kunststoffe im Entwicklungsprozess

Der Faktor Zeit

- Entwicklungsphasen
  - Interieur 3 Modelle über die Entwicklung
  - Unterschiedliche Produktreife
- Modellaufbau
  - Gesamtcockpit 3-4 Wochen
  - Türverkleidung 2 Wochen
- Rechenzeit / Zyklus Zeiten
  - Antwortzeiten „über Nacht“



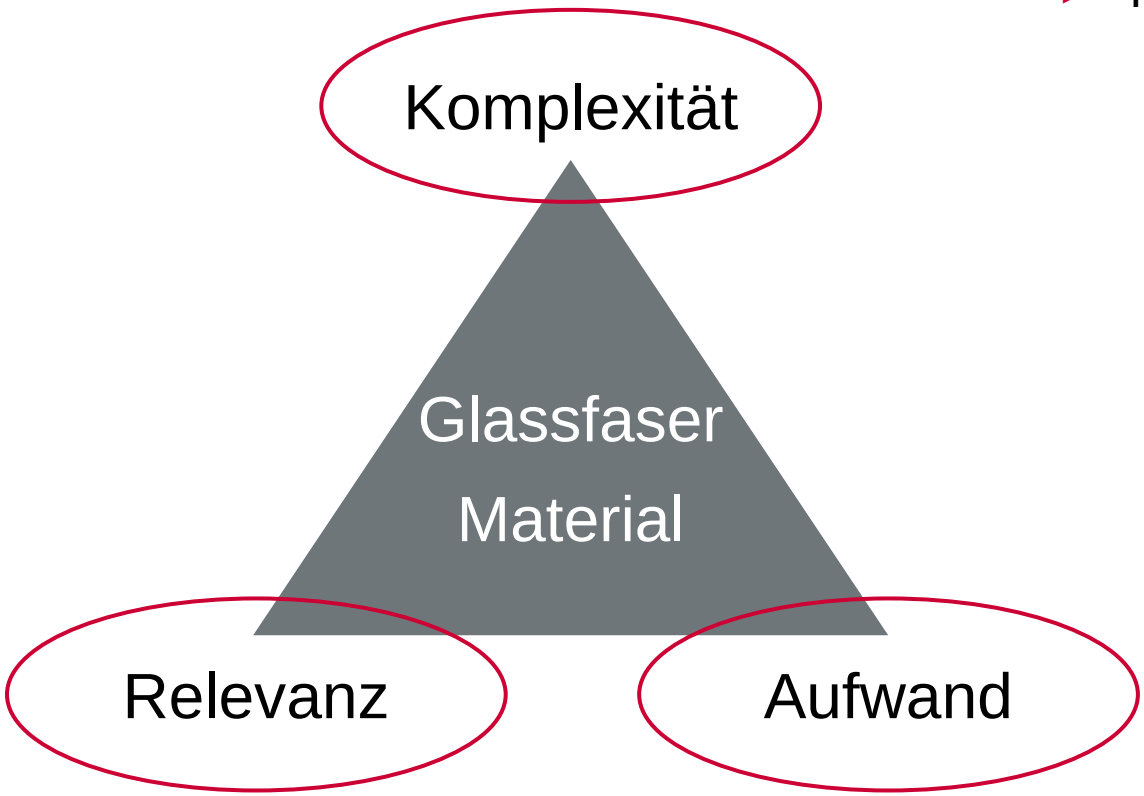


Glassfaserverstärkte Kunststoffe im Entwicklungsprozess

Entwicklungsprozesspartner

- Aufgabenteilung
  - Integrativen Aufgaben
  - Bauteil Integrität
  - Herstellbarkeit
  - Tolleranzen
- Kommunikation
  - Datenbasis
  - Aussagentiefe
- Interessen
  - Wirtschaftlichkeit

Crashmaterialdatenbank
Umgang mit Glassfaserverstärkte Materialien

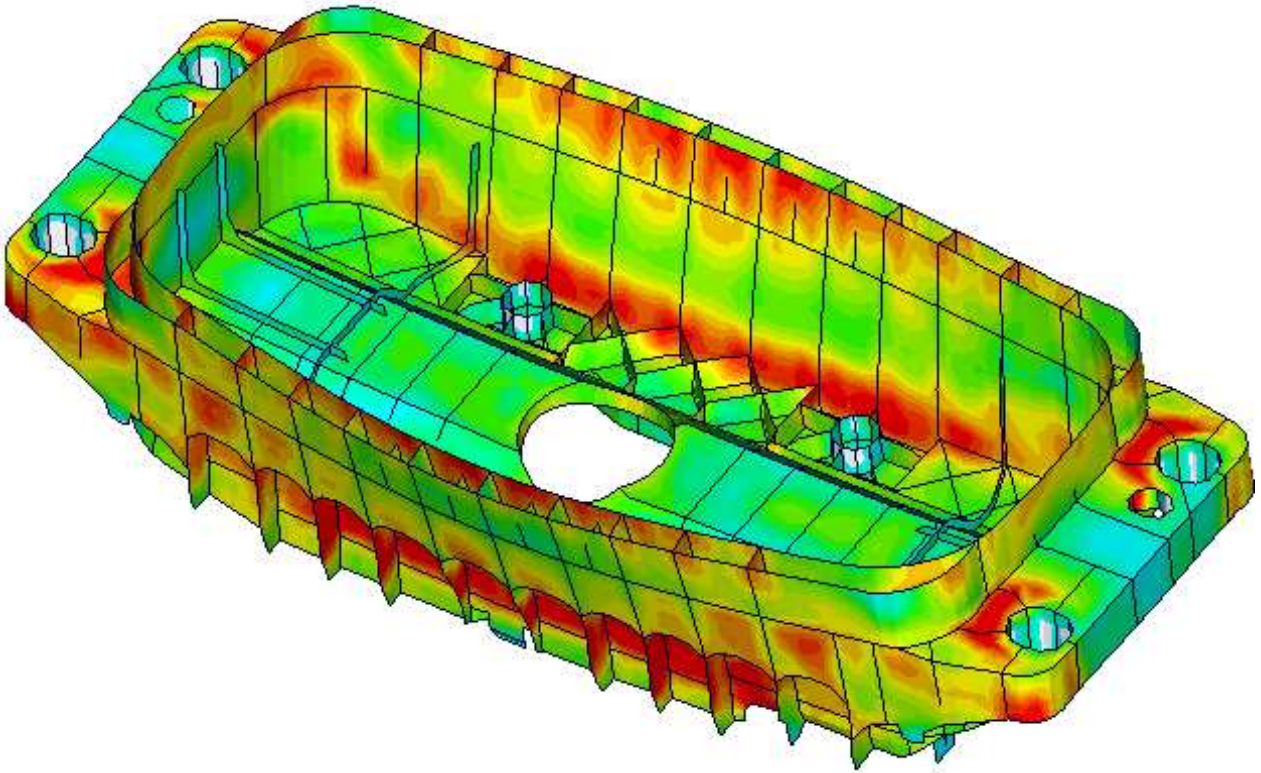


- Pragmatische Ansätze
  - Analyse mit Engineering Judgement „Mechanische Problemzonen geometrisch trennen von Füllproblemzonen“
  - Sensitivitäts-Analysen „Wo muss ich genau sein“
  - Extremwert Ansatz „Was wäre wenn“

Pragmatischer Ansatz hinsichtlich Glassfaserverstärkte Kunststoffe
Auswerten mit Köpfchen

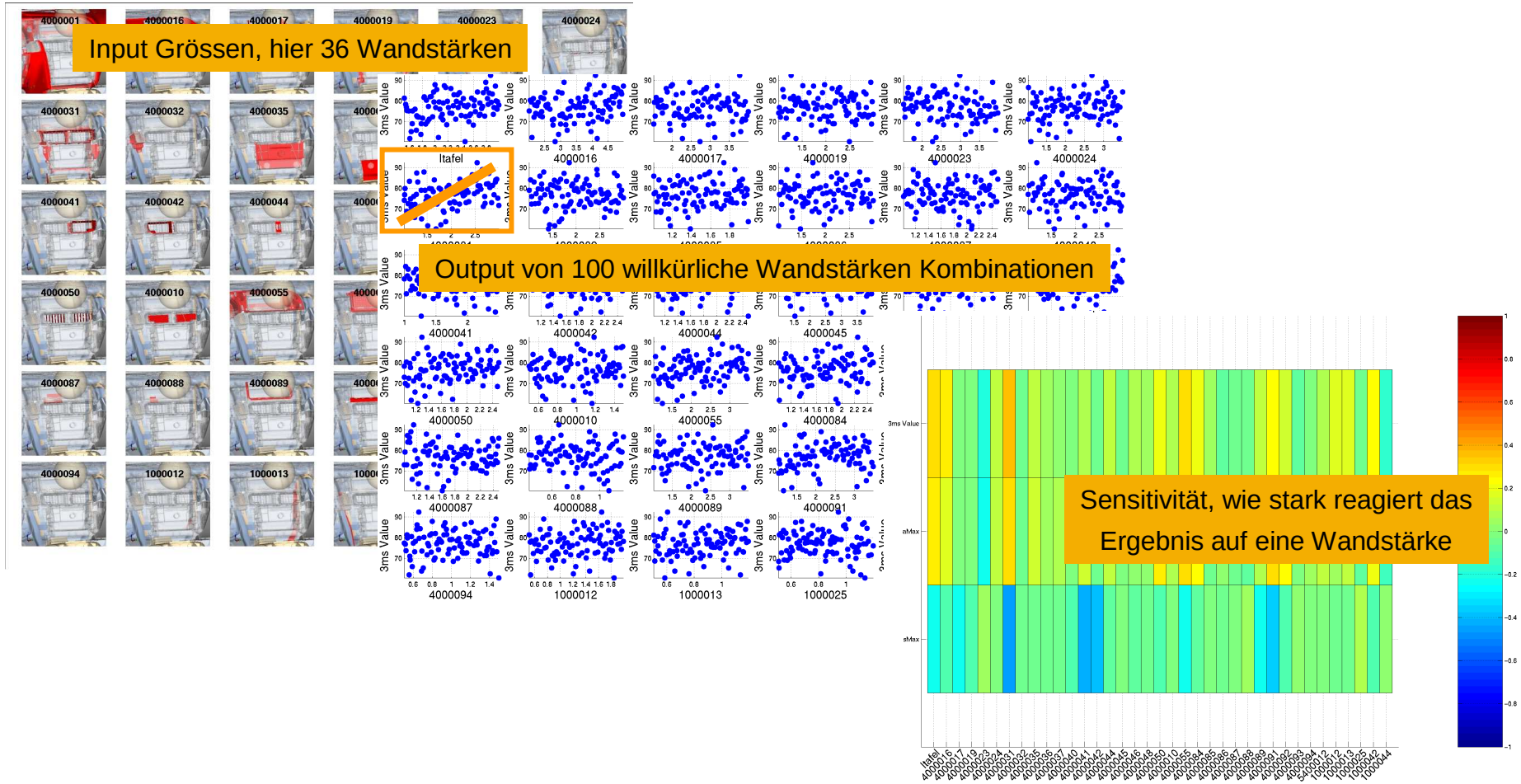
- Bewertung der Mechanik mit herkömmliche isotrope Beschreibung
- Abgleich mit Füllsimulation sofern vorhanden
- Einflussnahme auf Bindenähte

- Radien Radien Radien …



Pragmatischer Ansatz hinsichtlich Glassfaserverstärkte Kunststoffe
Sensitivitätsanalyse

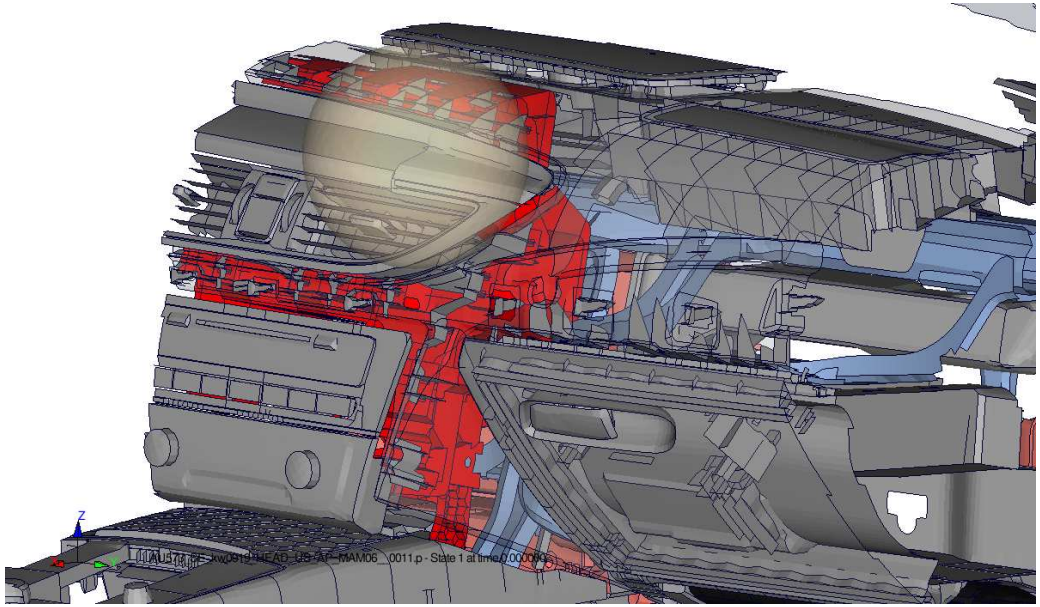
- Was beeinflusst mein Zielwert (Kanonen auf Spatzen)

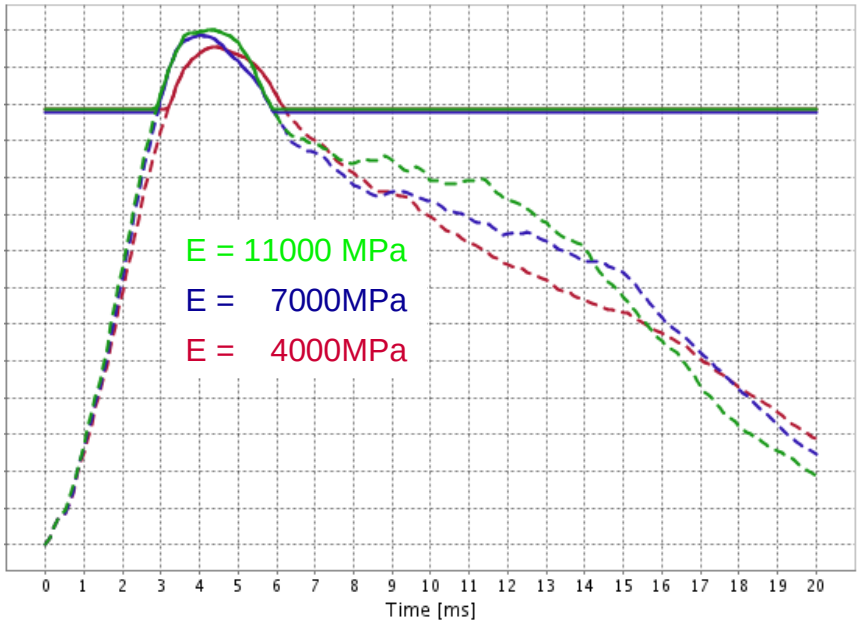


Pragmatischer Ansatz hinsichtlich Glassfaserverstärkte Kunststoffe

Was wäre wenn Szenarien

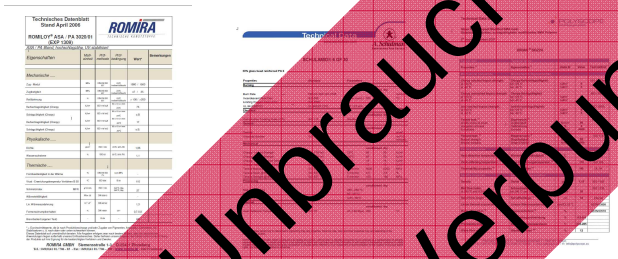
- Extremwert Ansatz
  - Rechung 1 als wäre alles längs orientiert
  - Rechung 2 als wäre alles quer orientiert
  - Auswerteprämisse, die Wahrheit liegt zwischen längs und quer





Materialkenndaten
Quellen

- Lieferantendatenblätter



- Online Quellen

Materials Data Center

IDES Prospector

Google Deutschland

Vieles Unbrauchbar
„Online Werbung“

- Versuche Extern bis 2007

EMI

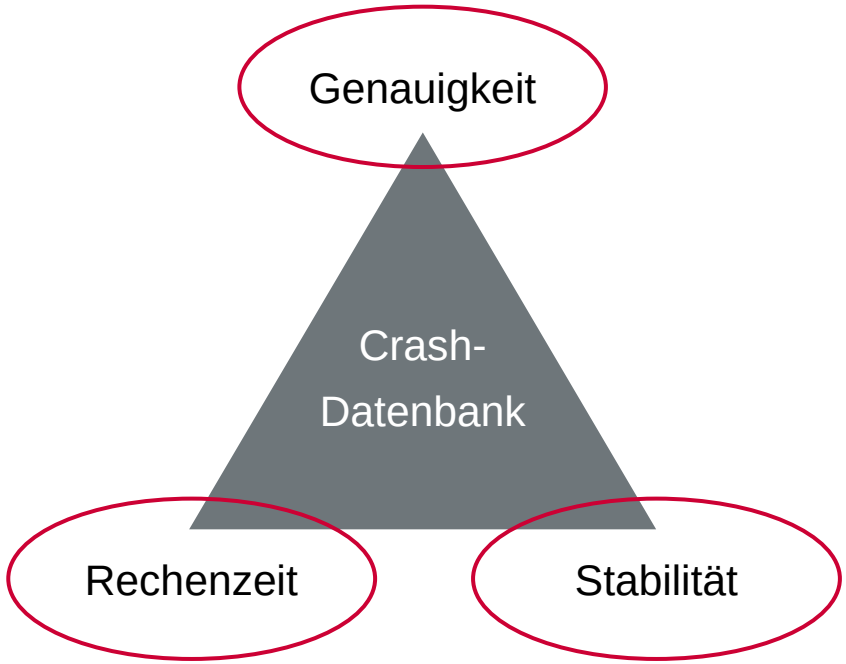
Fraunhofer Institut Kurzzeitdynamik Ernst-Mach-Institut

- Versuche Intern ab 2007

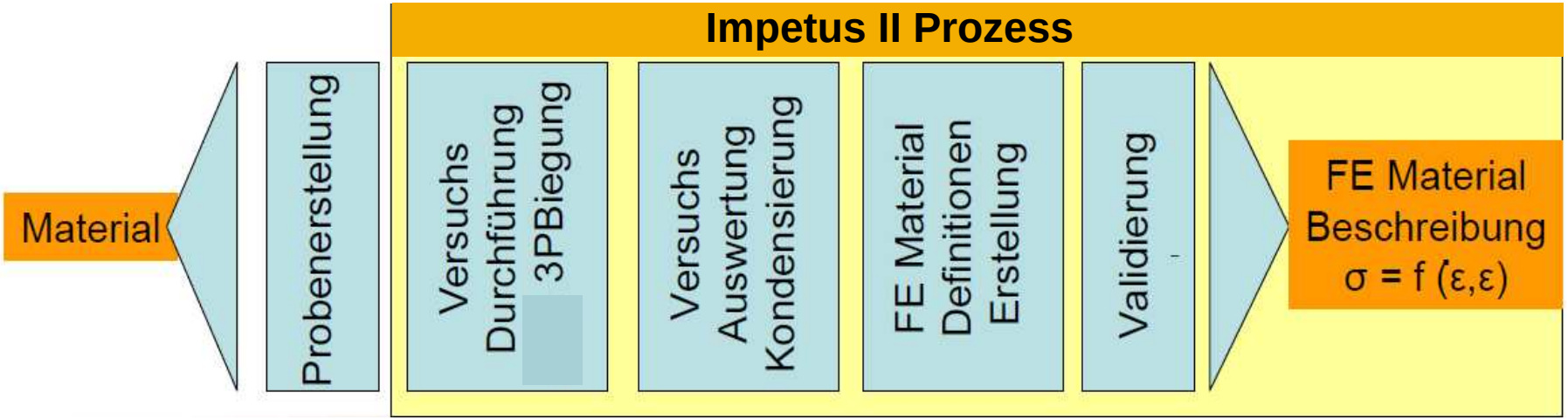
Pragmatische Bestückung der Crashdatenbank
Mehrfach Ablage

- Allgemeingültige „Allround Karten“
  - Gemittelte Steifigkeit
  - Konservative (bzw. keine) Versagenswerte abgebildet
  - Raumtemperatur

- Fokusorientierte Spezialkarten
  - Faserorientierung
  - Temperatur
  - Solid



Materialdatengenerierung
Wie läuft der aktuelle Prozess



- Versuchsplanung / Probenbeschaffung
  - Standardisierter Versuchsplan für jeder Richtung
- Versuchsdurchführung
  - Ggf. vor Klimakammer
- Versuchsauswertung / Materialkarten Optimierung / Validierung
  - Kartenerstellung für jeder Richtung durch Reverse Engineering
- Erzeugen der „Allround“ mittelwertkarte
  - Manueller Nachbearbeitung

Materialdatengenerierung

Probenbeschaffung, Der Faktor Länge

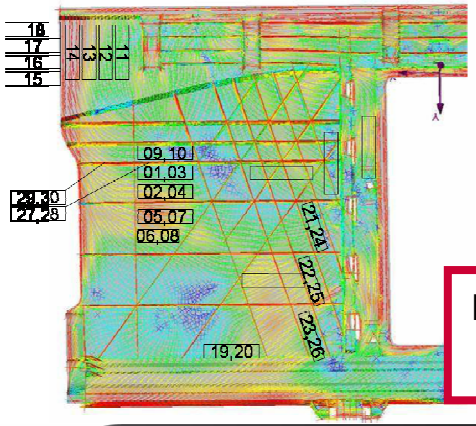
- Standardisierter Probenplan
  - Plattenmaterialien

Probenplan Dehnratenabhängige Materialdefinition für eine Faserrichtung

Prüfart		Menge	Länge [mm]	Breite [mm]	Dicke [mm]
3 Punkt Biegung Quasi Statisch	Breite Auflage	5	120 +/- 1	20 +/- 1	2 bis 3
3 Punkt Biegung Quasi Statisch	Schmale Auflage	5	80 +/- 1	20 +/- 1	2 bis 3
			Pruefsetup Nr. 1		
3 Punkt Biegung Dynamisch Frei	1 m/s	5	120 +/- 1	20 +/- 1	2 bis 3
3 Punkt Biegung Dynamisch Frei	2 m/s	5	90 +/- 1	20 +/- 1	2 bis 3
3 Punkt Biegung Dynamisch Frei	3 m/s	5	60 +/- 1	20 +/- 1	2 bis 3
3 Punkt Biegung Dynamisch Frei	4.3 m/s	5	50 +/- 1	10 +/- 1	2 bis 3
			Pruefsetup Nr. 2		
3 Punkt Biegung Dynamisch eingespannt	4.0 m/s	5	150 +/- 1	6 +/- 1	2 bis 3

Abmaße nötig bei Validierung mit 4 mm Kantenlänge

- Bauteil Entnahme



Möglichst grosse, Flache eindeutige Bereiche
Ziel : Abbildung mit 4 mm Kantenlänge

Materialdatengenerierung bei AUDI
Versuchsdurchführung

- steigende Energie und Dehnrate
  - Langsam und Breit

    niedrige Dehnrate

    Niedrige Energie

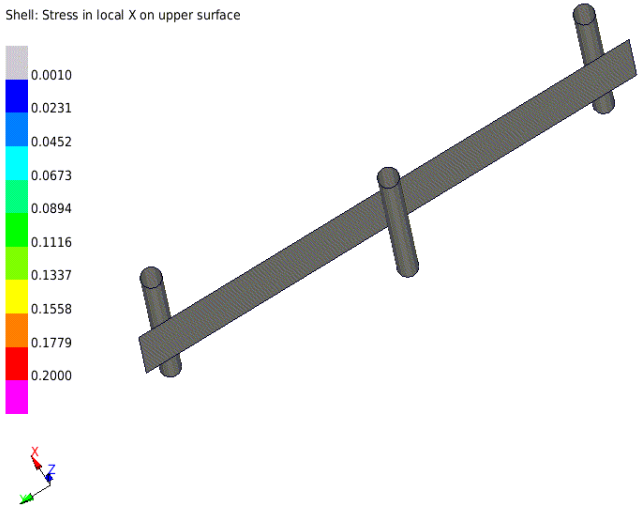
    „rein elastisch“
  - Schneller und schmäler

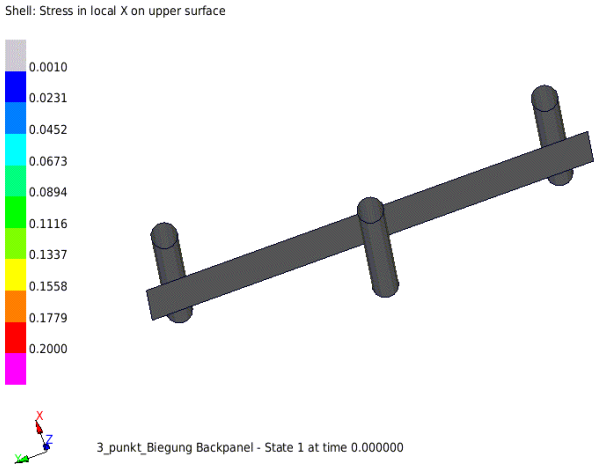
    höhere Dehnraten

    höhere Energie

    Plastizität

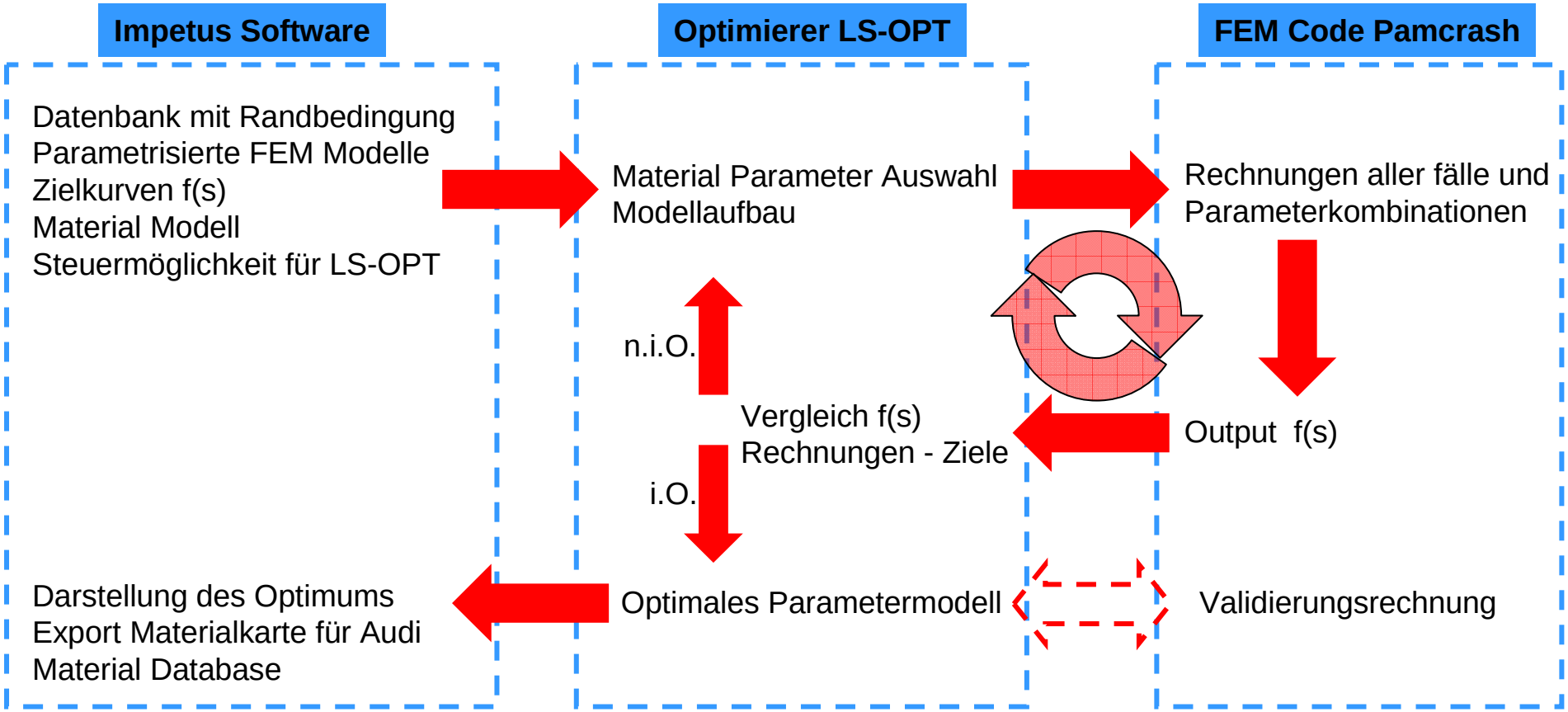
    Ggf. Bruch
- Wenn nötig Massenerhöhung





Materialdatengenerierung bei AUDI

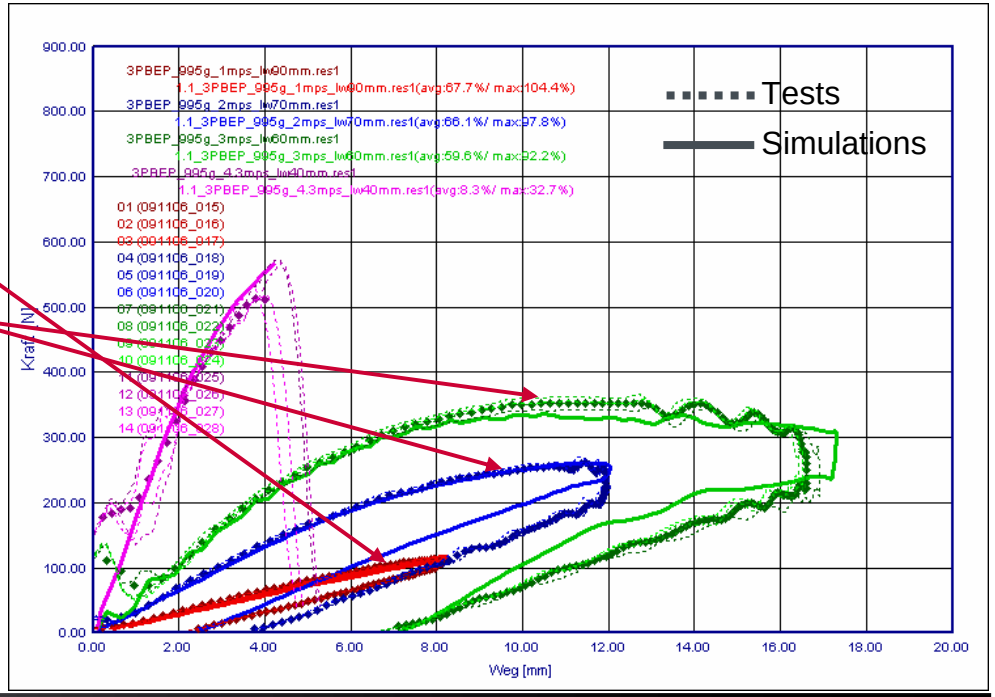
Validierung „in the loop“ mit Impetus II



Materialdatengenerierung bei AUDI
Optimierungsstrategie

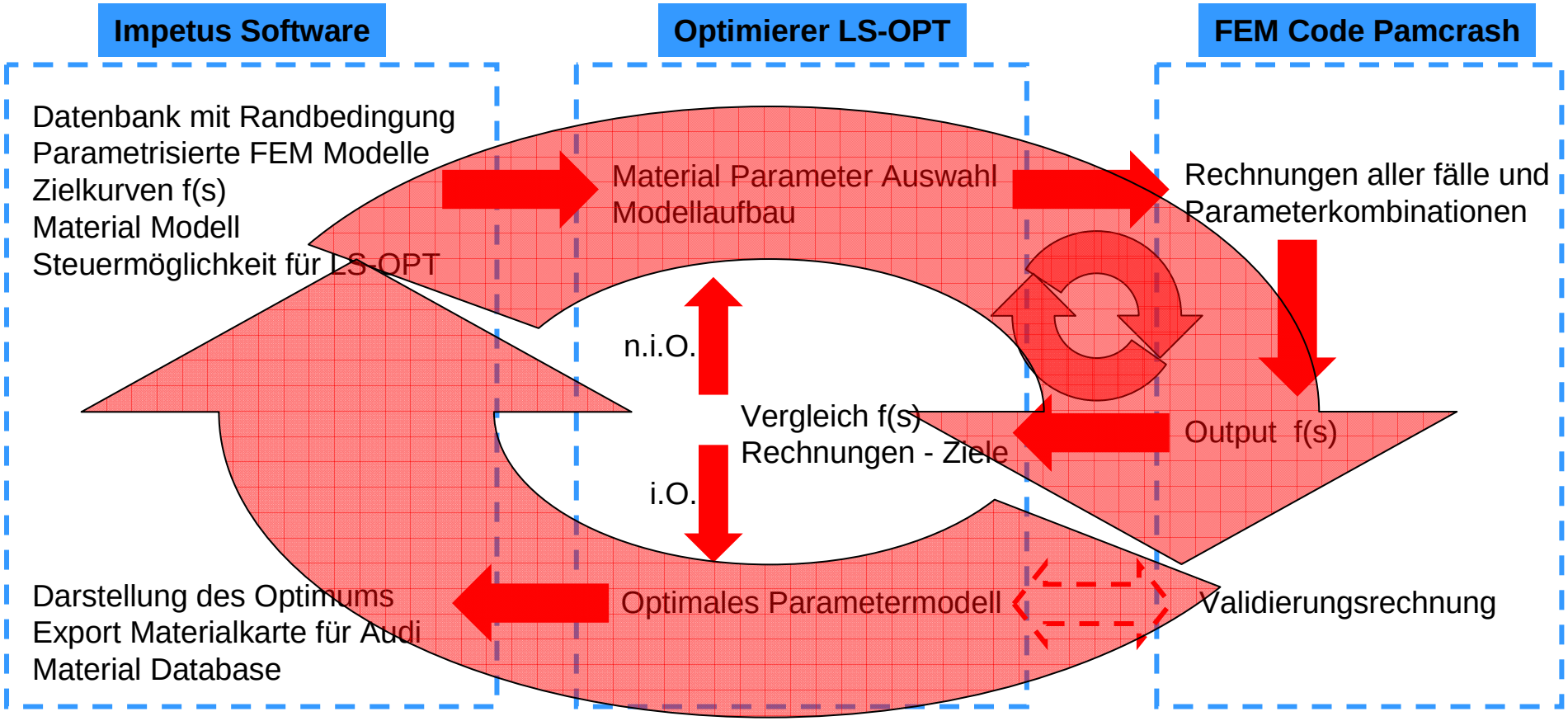
- Validierung auf 3 von 4 Cases Parallel (Validierung auf 4 Cases)
  - 1 m/s, 90 mm Auflage, 995 Gramm
  - 2 m/s, 70 mm Auflage, 995 Gramm
  - 3 m/s, 60 mm Auflage, 995 Gramm
  - 4.3 m/s, 40 mm Auflage, 995 Gramm (zur Validierung)

- E Modul
  - Auf Basis der Belastung 1 m/s
- Plastizität
  - Auf Basis 2 u. 3 m/s mit fixer E Modul
- Bruch
  - Ermittlung auf Basis Rechen-Ergebnisse (= Netzabhängig)



Materialdatengenerierung bei AUDI

Validierung „in the loop“ mit Impetus



Dokumentation PA6GF50

Kraft-Weg Validierung Längsrichtung (0 Grad)

- Material braucht keine Dehnratenäbhängigkeit um Test and Simulation zu Korrelieren
- Optimierungsergebnisse (run 110202_001)
  - E-Modul : 10460 MPa
  - Yield stress: 163 MPa
  - Bruch – Nicht aufgetreten

    Stress Von Mises : 240 MPa

    Stain total : 0.038 [-]

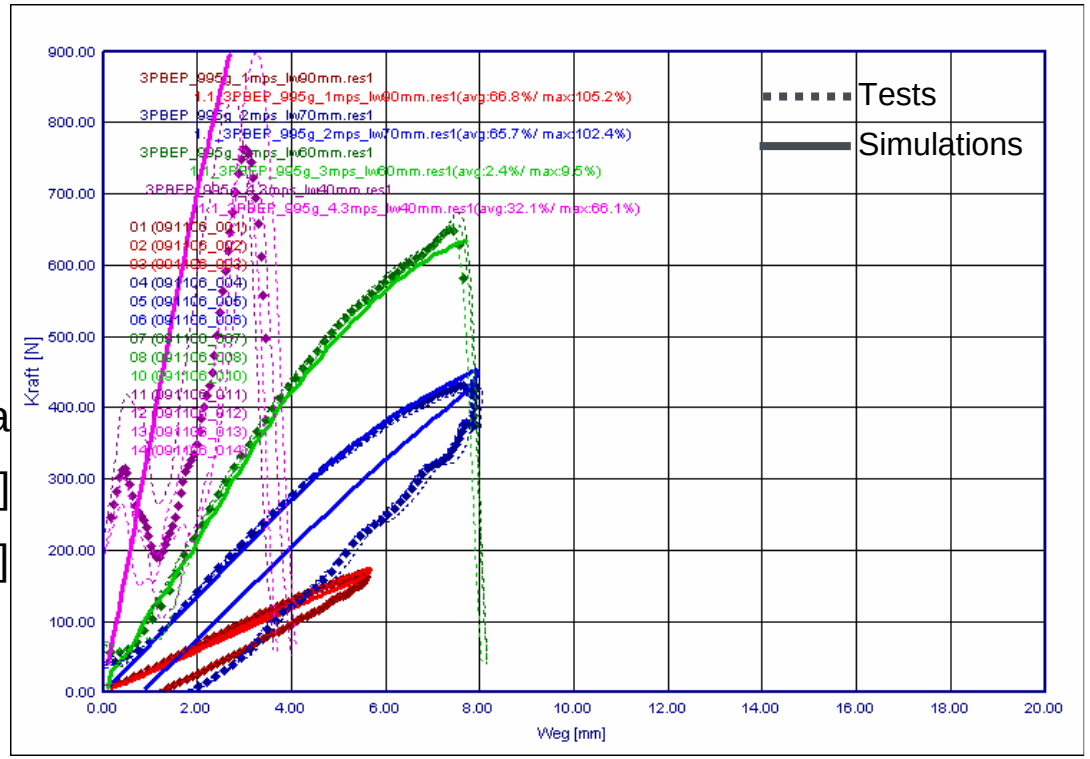
    Strain plastic : 0.017 [-]
  - Spanne der Messungen

    Max Stress von Mises : 240 Mpa

    Max total Stain: 0.038 [-]

    Max plastic strain: 0.017 [-]

    Max strainrate: 17 [1/s]



Dokumentation PA6GF50

Pam material Karten Definition Type 103 für Längsrichtung (0 Grad)

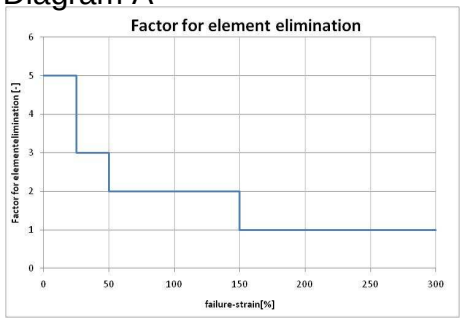
- E-Modul: 10460 MPa
- Poison 0.35 (Annahme aus Literatur)

- Plastische Kurve mit extrapolation

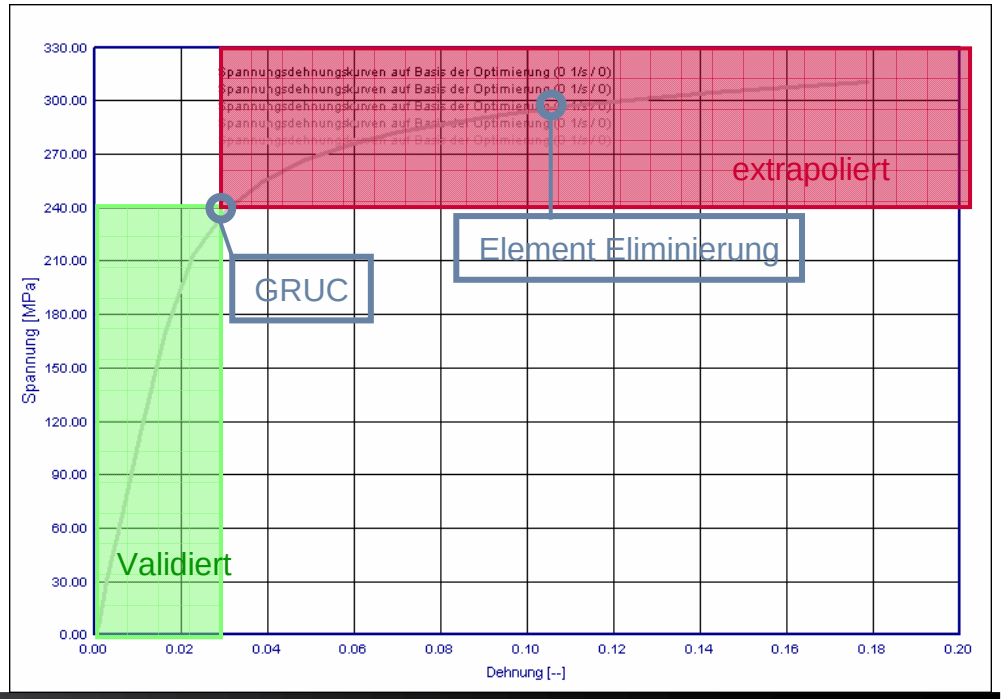
- Gruc Value : 0.017 [plastic strain]

- Element Eliminierung : 0.1 [plastic strain]
  Nach Stabilitätskriterium Diagram A

Diagram A



Total stress strain diagram



Dokumentation PA6GF50

Kraft-Weg Validierung Querrichtung (90 Grad)

- Material braucht keine Dehnratenäbhängigkeit um Test and Simulation zu Korrelieren
- Optimierungsergebnisse (run 110202_002)
  - E-Modul : 5030 MPa
  - Yield stress: 82 MPa
  - Bruch n Case 4.3 m/s

Bruch hat Rateneinfluss

ss Von Mises: 120 MPa

Strain Total: 0.06 [-]

Strain plastic: 0.040 [-]

Strainrate: 80 [1/s]

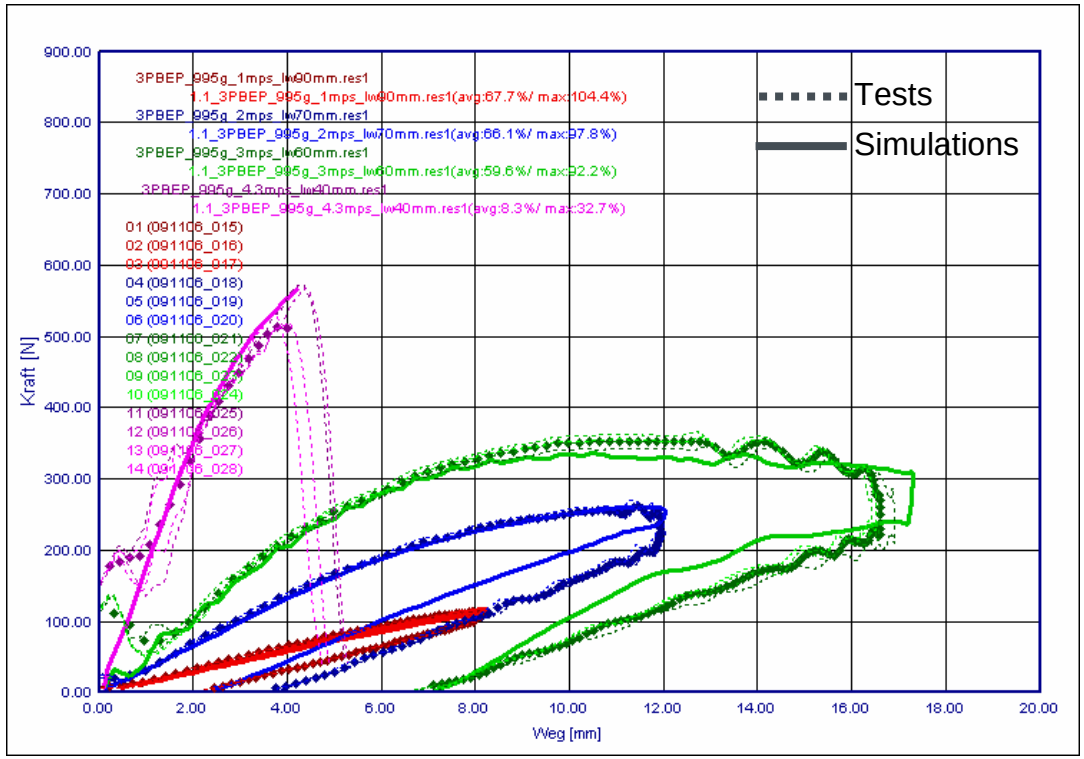
  - Spanne der Messungen bei 3 m/s

Max Stress von Mises :125 MPa

Max Total Strain: 0.105 [-]

Max Plastic Strain: 0.086 [-]

Max Strainrate: 25 [1/s]



Dokumentation PA6GF50

Kraft-Weg Validierung 45 Grad zur Glassfaser

- Material braucht keine Dehnratenäbhängigkeit um Test and Simulation zu Korrelieren
- Optimierungsergebnisse (run 110202_003)
  - E-Modul : 5722 MPa
  - Yield stress: 120 MPa
  - Bruch b[illegible] Case 4.3 m/s

Bruch hat Rateneinfluss

[illegible]ss Von Mises: 155 MPa

Strain Total: 0.065 [-]

Strain Plastic: 0.045 [-]

Max Strainrate: 80 [1/s]

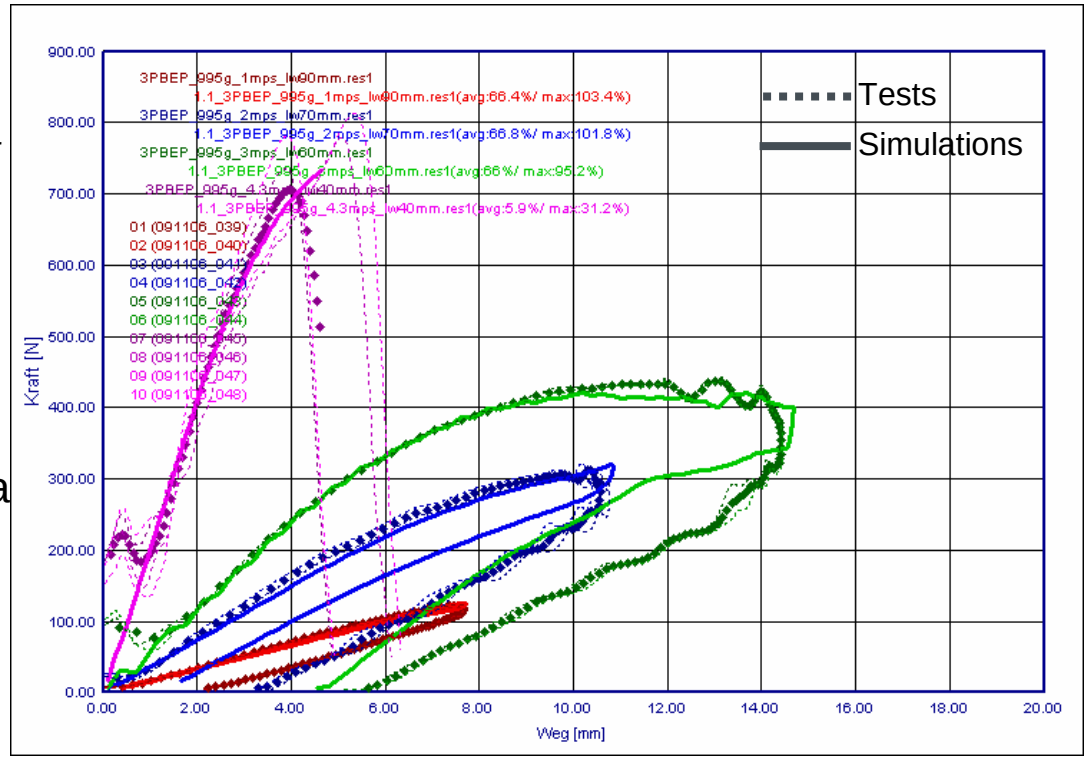
  - Spanne der Messungen 3.0 m/s

Max Stress von Mises : 158 Mpa

Max Total Strain: 0.085 [-]

Max Plastic Strain: 0.062 [-]

Max Strainrate: 25 [1/s]



Dokumentation PA6GF50

Kraft-Weg Validierung 30 Grad zur Glassfaser (30 Grad)

- Material braucht keine Dehnratenäbhängigkeit um Test and Simulation zu Korrelieren
- Optimierungsergebnisse (run 110202_004)
  - E-Modul : 7663 MPa
  - Yield stress: 120 MPa
  - Bruch bei Case 3m/s & 4.3 m/s

    Stress Von Mises: 210 MPa

    Strain Total: 0.045 [-]

    Strain Plastic: 0.020 [-]

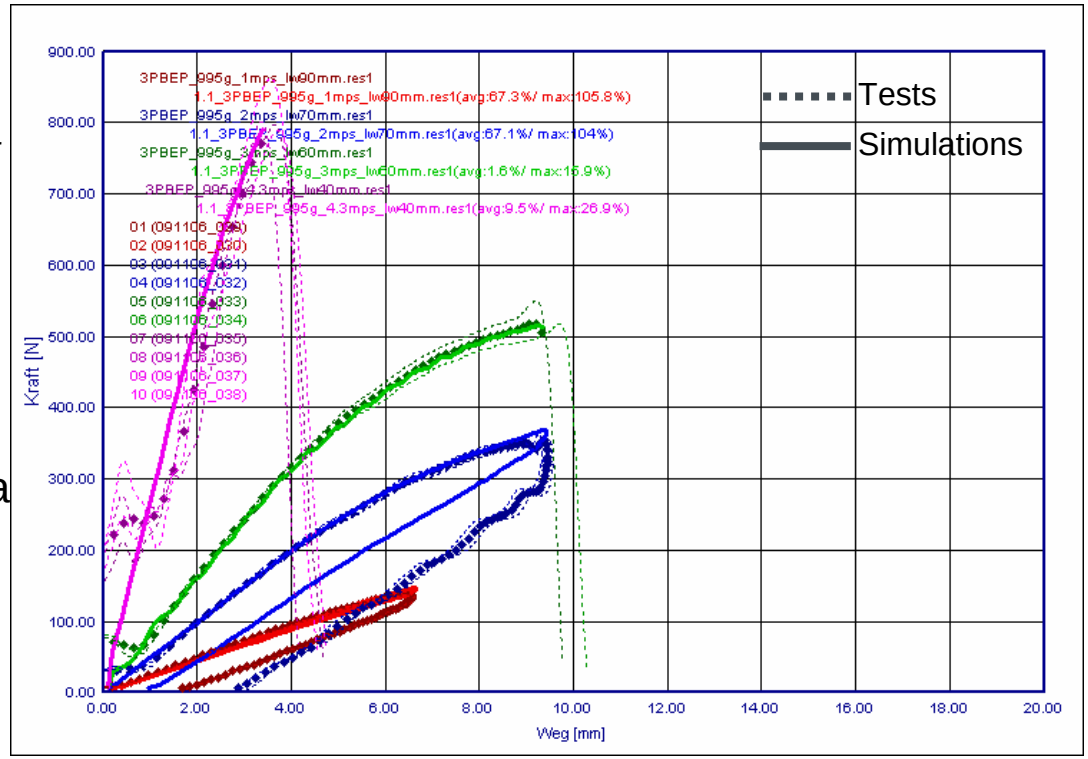
    Max Strainrate: 58 [1/s]
  - Spanne der Messungen

    Max Stress von Mises : 210 Mpa

    Max Total Strain: 0.045 [-]

    Max Plastic Strain: 0.020 [-]

    Max Strainrate: 58 [1/s]

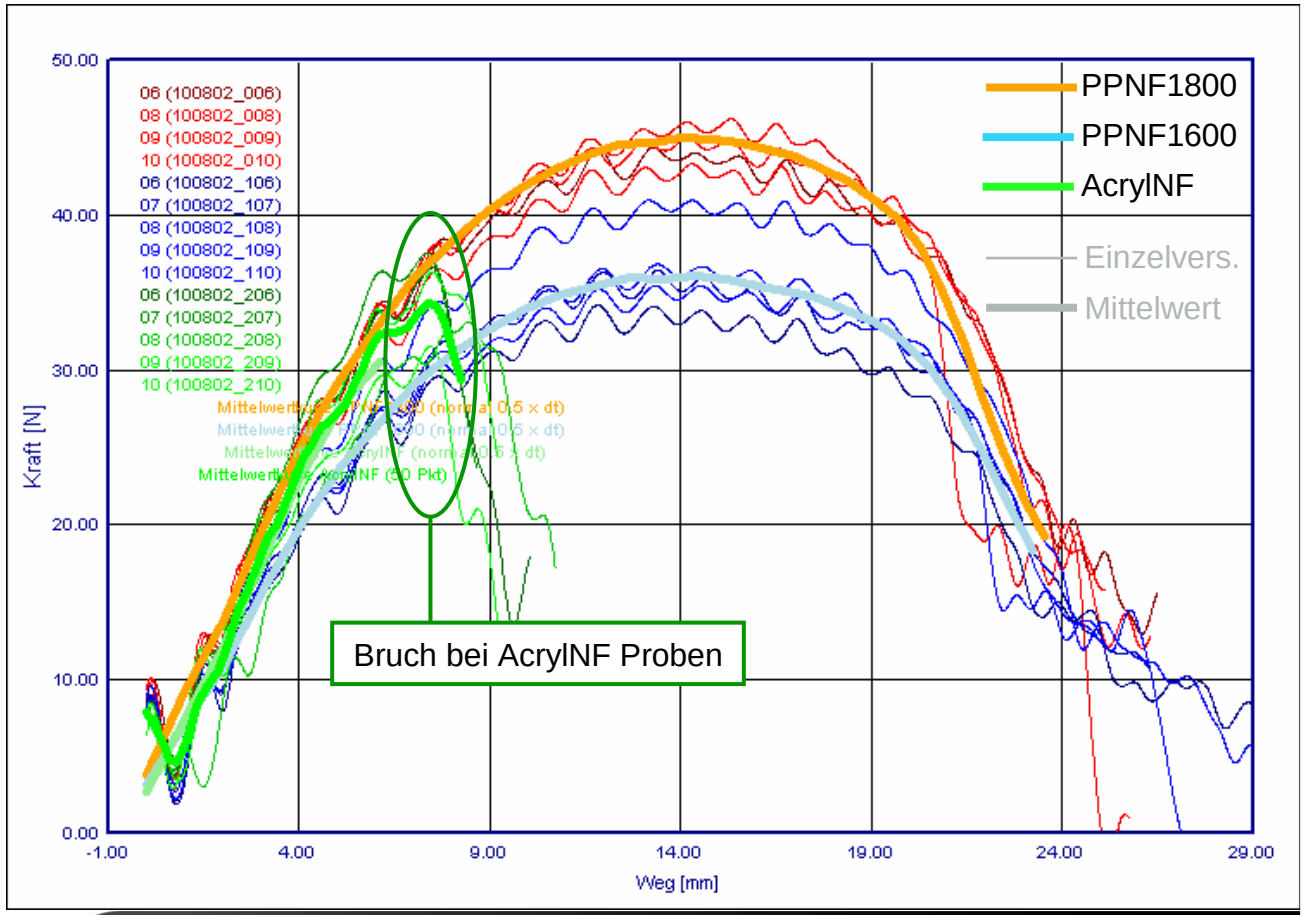


Materialvergleich PPNF 1800 - PPNF 1600 – Acryl NF

Kraft-Weg Vergleich bei gleiche Versuchsbedingungen

- Vergleich auf Basis 3 Punkt Biegeversuche bei 2 m/s mit 70 mm Auflage
- Leichte Versuchsstreuung erkennbar

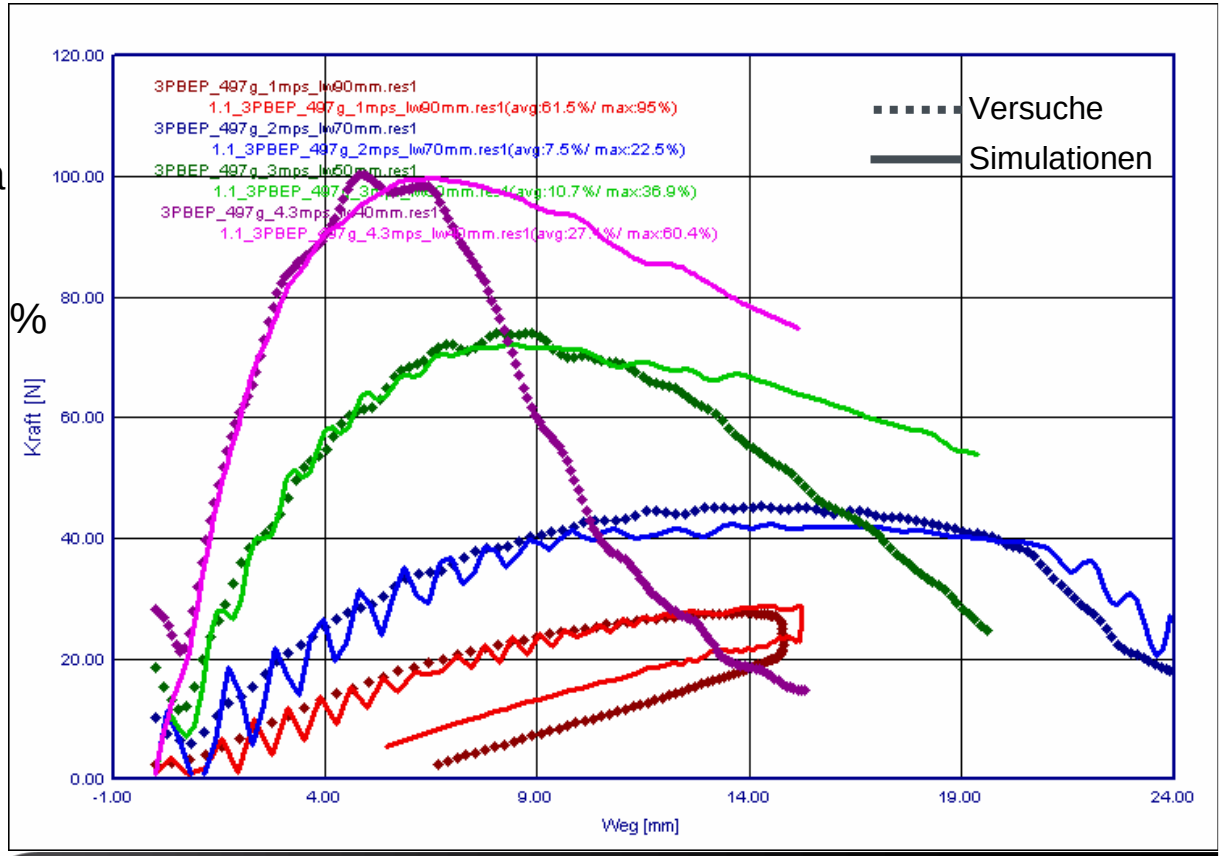
- Acryl ist deutlich spröder und erzeugt sehr lokale Brüche
- PP erzeugt eine globale Plastifizierung
- Ermittelte E Moduli
  - PPNF1800 : 3500
  - PPNF1600 : 3150
  - AcrylNF : 3280



Polyvlies PPNF 1800 – Dokumentation
Kraft-Weg-Verlauf (RT)

- Gute Abbildung der Belastungsphase für alle 4 Fälle
- Die Entlastung passt weniger gut. Das Material schädigt (nicht gleich mit Plastifizierung)

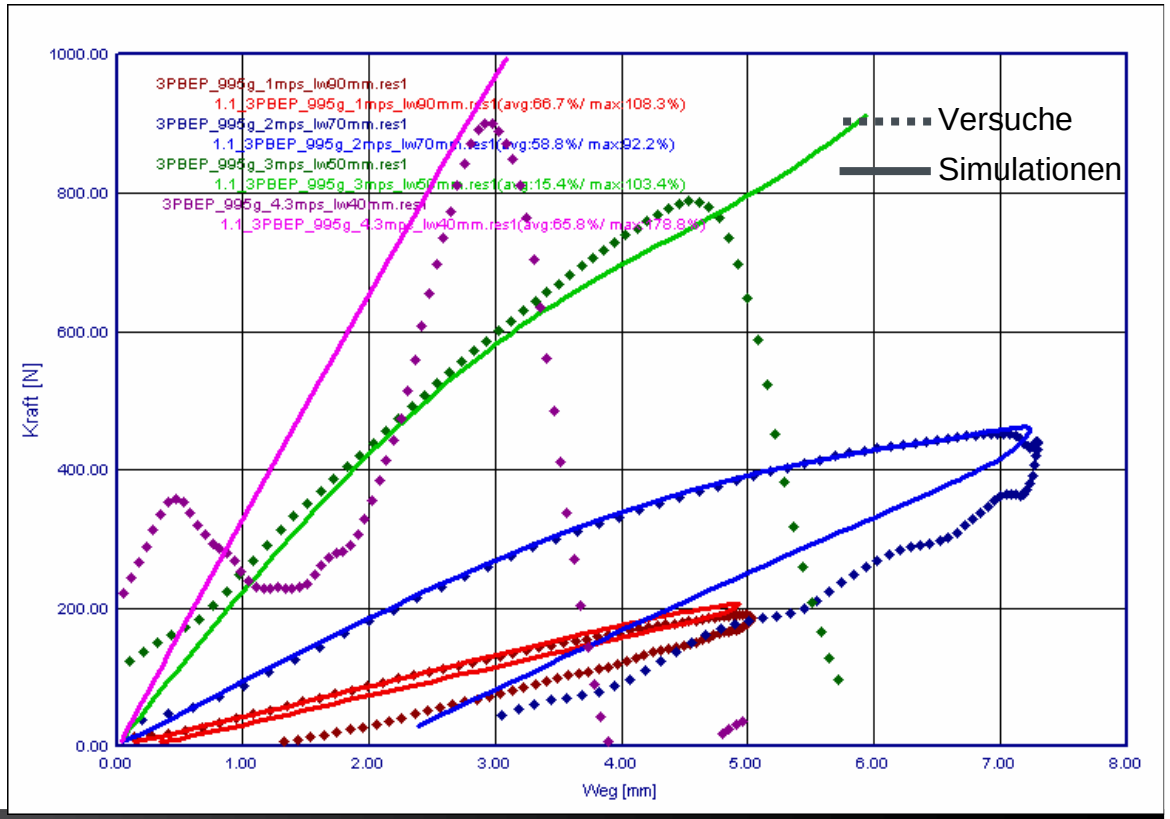
- Ergebnisse der Optimierung
  - E-Modul : 3500 MPa
  - Fliessbegin : 27 MPa
  - Max. Plast. Dehnung : ca 6 %
  - Max Dehnrate : 53 /s
  - Max. v.Mises : 51 MPa
  - Bruch bei ca 51 MPa



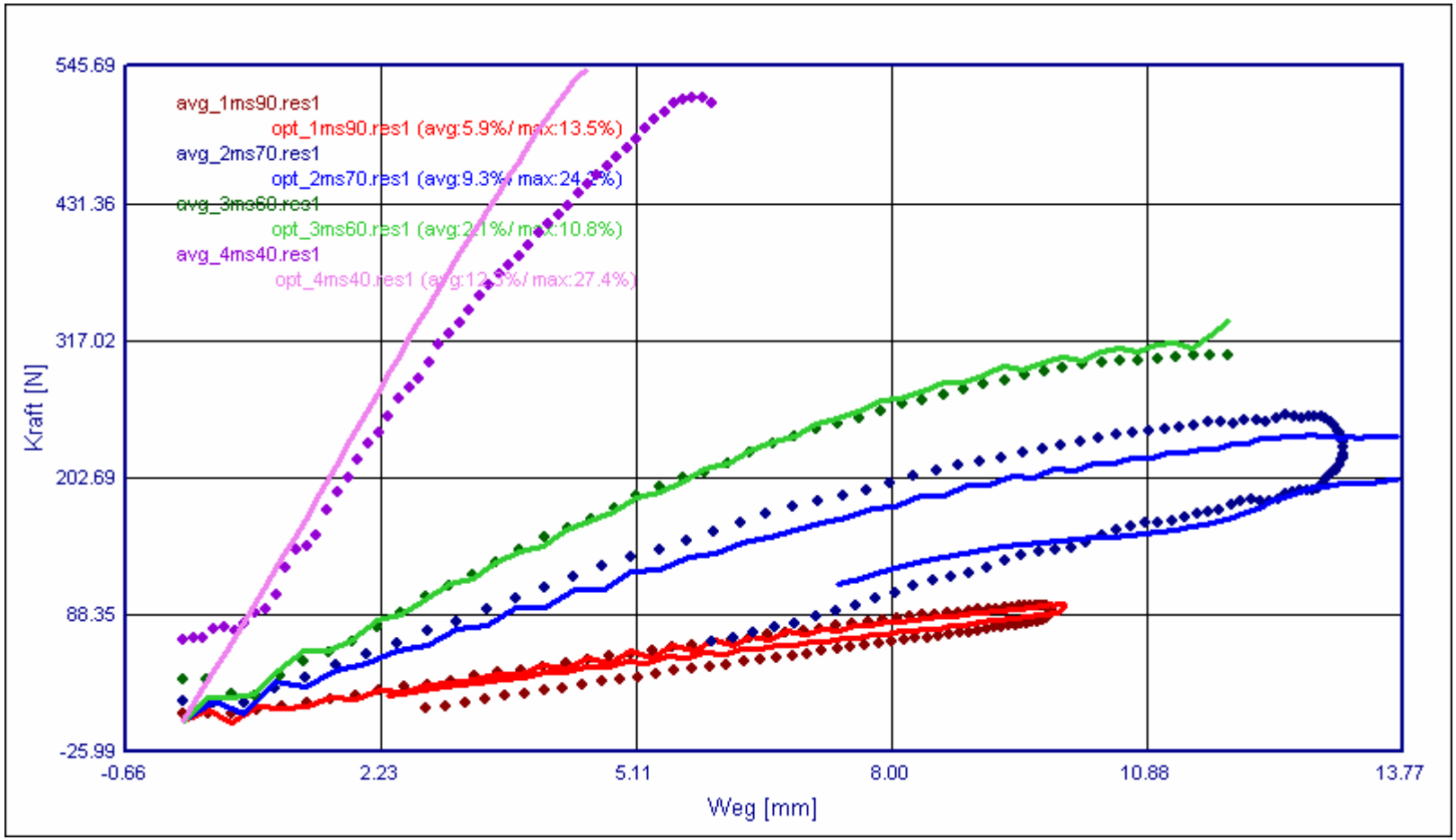
PA6GF60
Längsrichtung Kraft-Weg-Verlauf (RT)

- Gute Abbildung der Belastungsphase für alle 1, 2, 3 m/s
- Versuchskurven 4.3 m/s unplausibel aufgrund starke Schwingungen
- Simulation aktuell noch ohne Bruch, Auswertung folgt

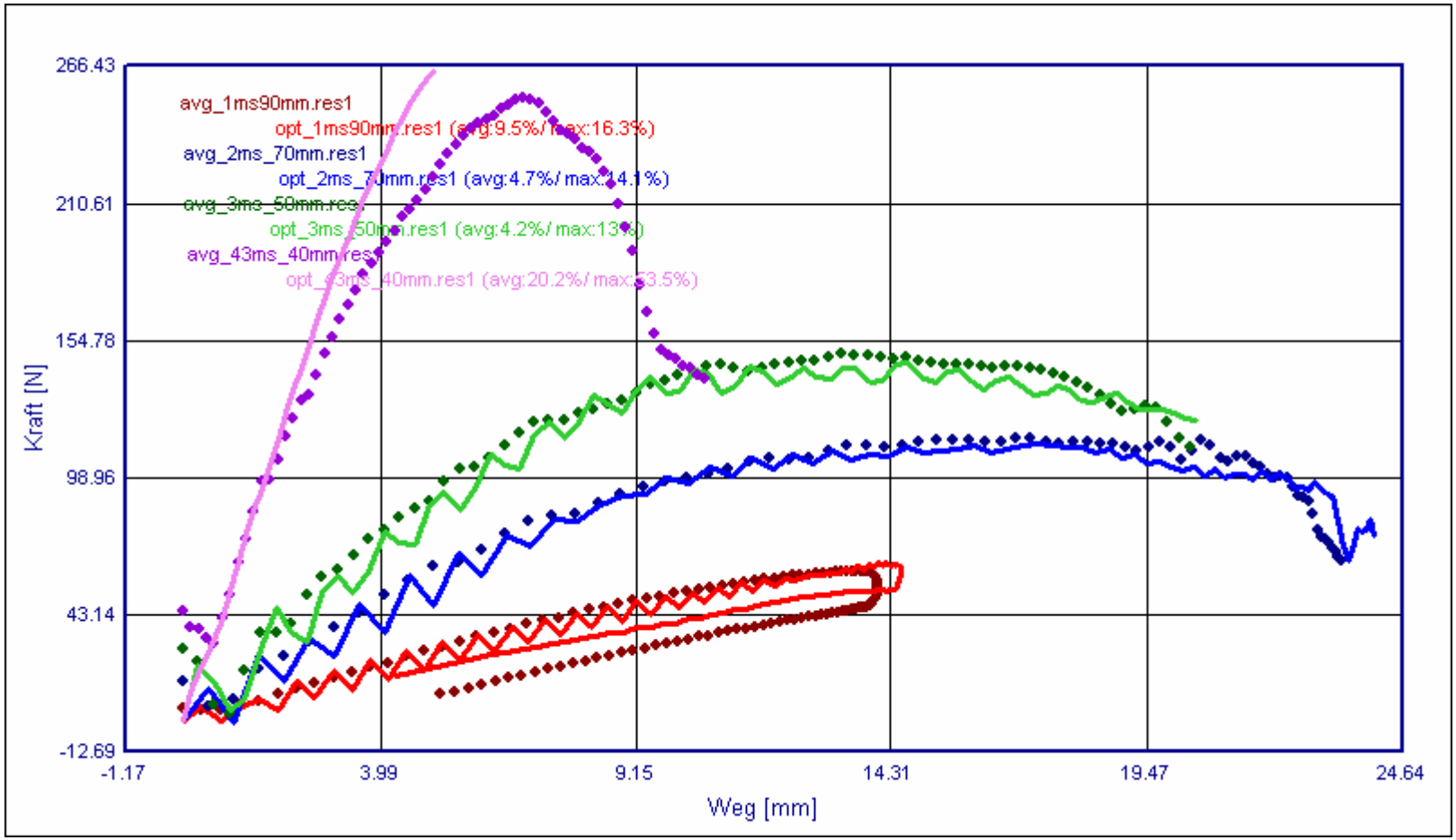
- Ergebnisse der Optimierung
  - E-Modul : 13940 MPa
  - Fliessbegin : 105 MPa
  - Max. Plast. Dehnung : ?
  - Max Dehnrate : ca 60 /s
  - Max. v.Mises : ?
  - Bruch bei ca ?



ppgf40-05 Längs Richtung, Vergleich Versuch / Rechnung



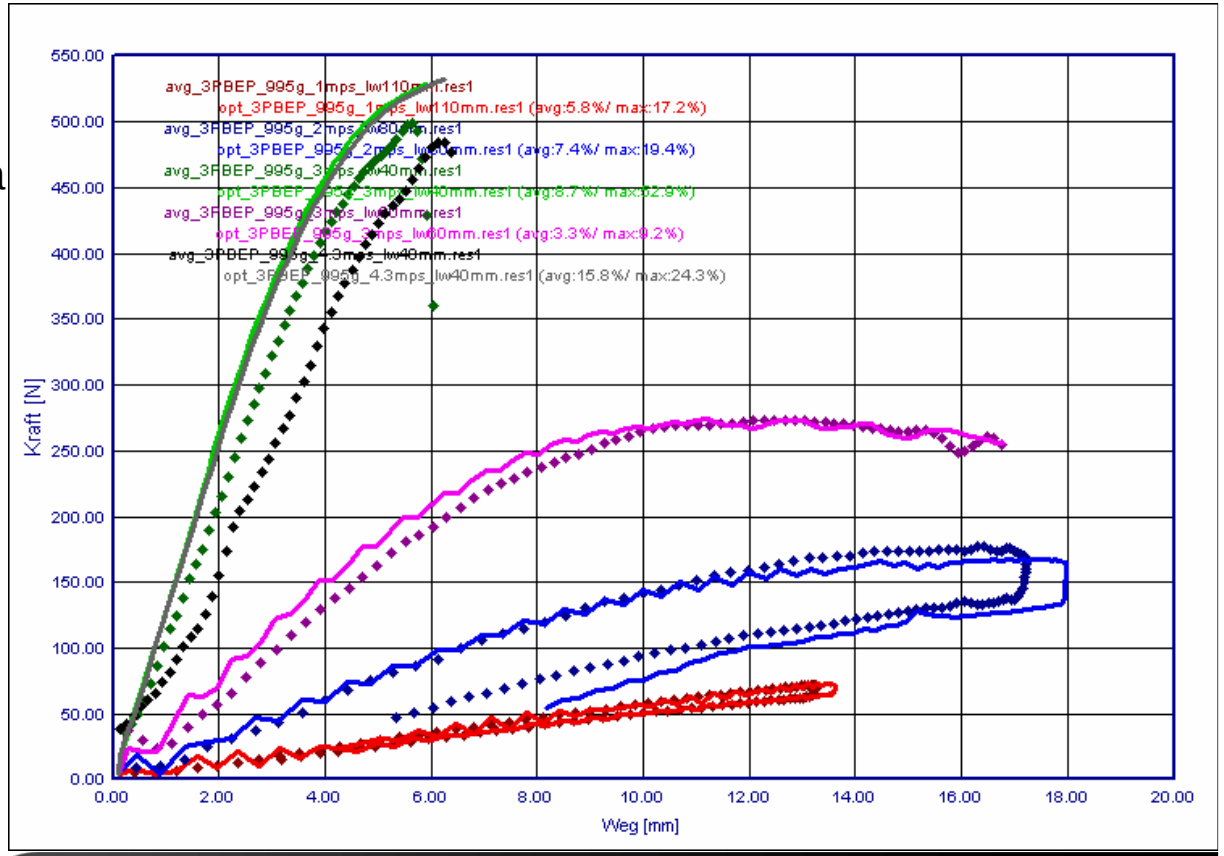
ppgf40-05 Quer Richtung, Vergleich Versuch / Rechnung



PA6GF15
Längsrichtung Kraft-Weg-Verlauf (RT)

- Gute Übereinstimmung 1,2,3 m/s, hohe Geschwindigkeiten haben leichte Zeitversatz wg. Versuchsfilter
- Brüche bei 3 & 4.3 m/s Versuchen

- Ergebnisse der Optimierung
  - E-Modul : 3690 MPa
  - Fliessbegin : 43 MPa
  - Plast. Dehnung : 6.2 %
  - Max. v.Mises : 114 MPa
  - Bruch bei : 6.2 % pl

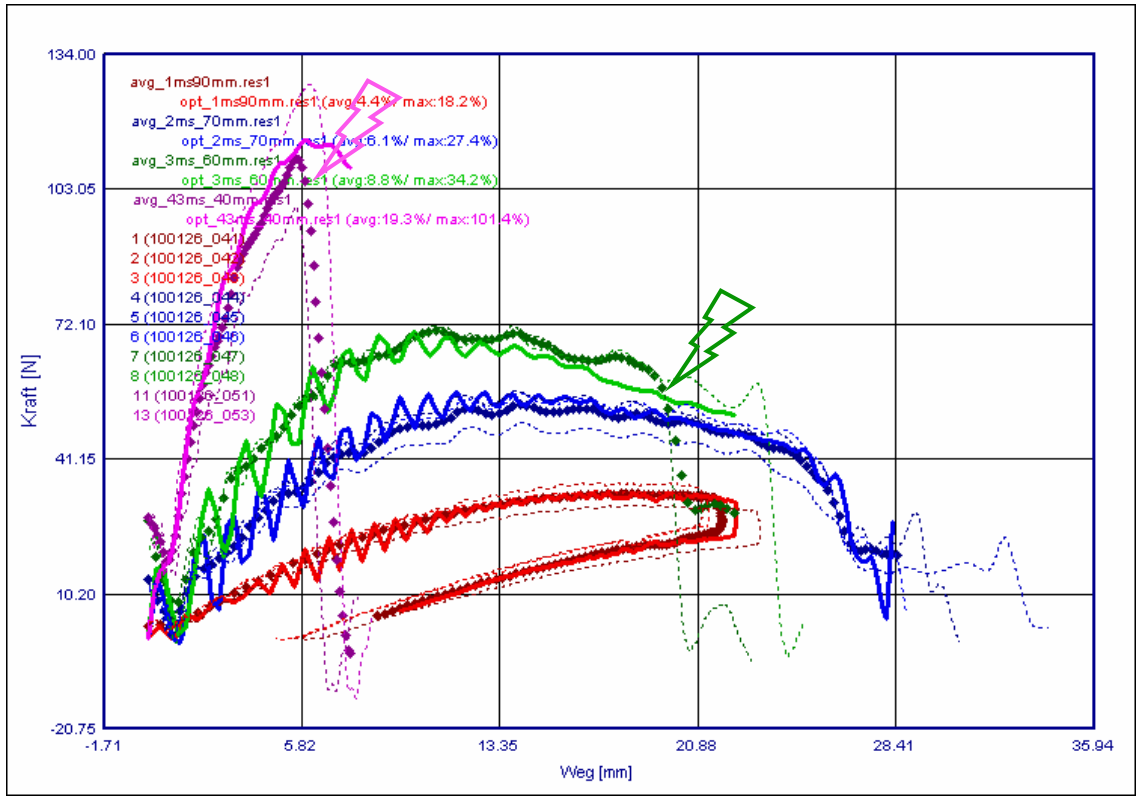


PP-TD20 Dokumentation zur Materialkarte
Kraft-Weg-Verlauf (RT)

- Gute Abbildung der Versuchskurven durch Simulation
- Simulationskurven liegen im Streubereich der Versuche

- Ergebnisse der Optimierung
  - E-Modul : 3200 MPa
  - Fliessbegin : 20 MPa
  - Max. Dehnung : 8.2 %
  - Plast. Dehnung : 7.4 %
  - Max. v.Mises : 55 MPa

: Bruch



Materialdatengenerierung
Fazit und Ausblick

- Fazit
  - Detaillierte Berücksichtigung von Glassfasern nur wo nötig
  - Abbildung Glassfaserverstärkte Kunststoffe in den Fahrzeugprojekten mit Elastisch Plastiche Ansätze

- Ausblick
  - Monitoring was am Markt verfügbar ist
  - Zusammenarbeit mit VW Forschung, Shell Solid Remesh
  - Sinnvolle Aufgabenteilung EOM - Lieferanten

Audi
Vorsprung durch Technik

Vielen Dank.