4a Technologietag

Hybride thermoplastische faserverstärkte Polymere: Materialcharakterisierung und Drapiersimulation

Ilg C. [1], Sola E. [1], Karajan N. [1], Haufe A.[1]
Demnitz K. [2], Gude M. [2]

[1] DYNAmore GmbH, Stuttgart
[2] Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik, TU Dresden

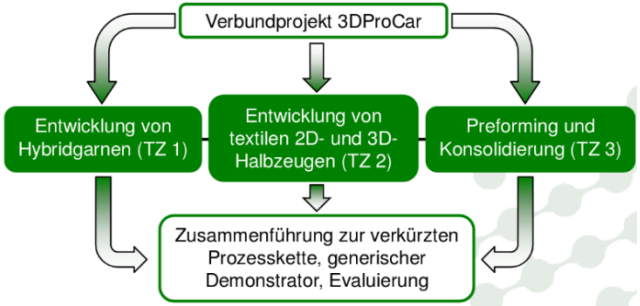
26.02.2019 Schladming

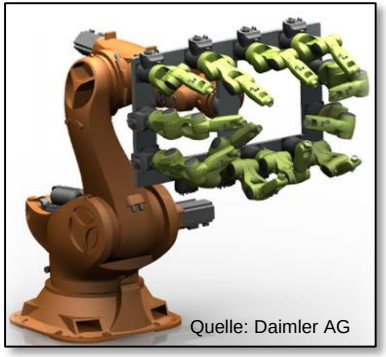
Agenda

- Projekt
- Materialcharakterisierung
  - Konstitutivmodell
  - Experimentelle Versuche
  - Numerisches Modell
- Drapiersimulation
- Zusammenfassung

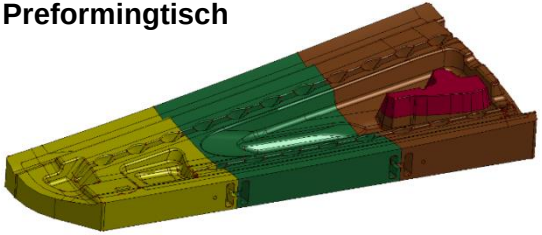
Projekt – 3DProCar

- Ziel: Flexible Prozessketten für integral gefertigte thermoplastische FKV-Bauteile mit komplexer Geometrie

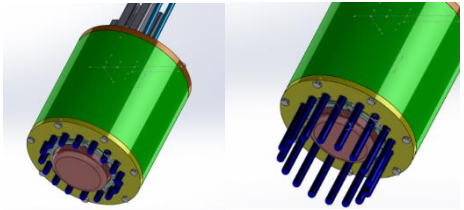



Quelle: Daimler AG

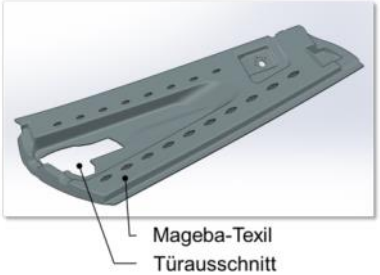
Preformingtisch



Adaptives Werkzeug


Quelle: F. Beck

Technologiedemonstrator (Crash-Schale)



DYNAmore:

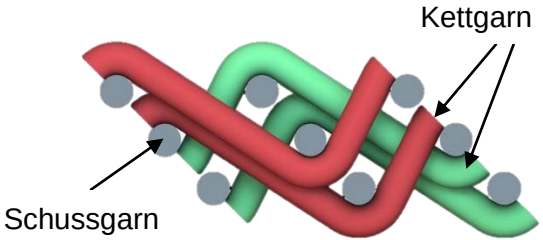
- Materialcharakterisierung des hybriden Textils und der Stempelmembran
- Drapiersimulationen mit starren und adaptiven Werkzeugen

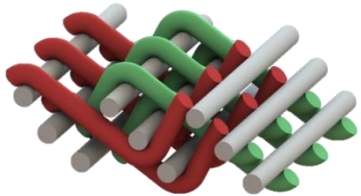
Materialcharakterisierung – Gewebe

Materialcharakterisierung – Konstitutivmodell

- Gewebe aus recycelten Carbon- und Kunststofffasern (9 mm!)
- Materialmodell: *MAT_249
  - Beschreibung des strukturellen Verhaltens von Fasern und Matrix
  - modelliert mit einem elasto-plastischen Konstitutivgesetz, basierend auf der Plastizitätstheorie.
  - Fasern, die durch Vektoren dargestellt werden, die auf der Ebene der Integrationspunkte gespeichert und durch ein hyperelastisches Material beschrieben sind.
  - Das Faserverhalten wird durch Spannungs-Dehnungskurven und das Scherverhalten definiert

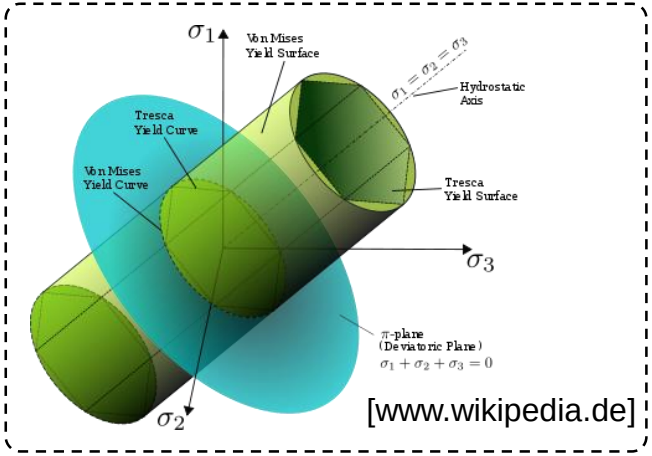
Struktur des Gewebes





Materialcharakterisierung – Konstitutivmodell (Matrix)

	1	2	3	4	5	6	7	8
Card 1	MID	RO	EM	LCEM	PRM	LCPRM	LCSIGY	BETA
Card 2	NFIB	AOPT	XP	YP	ZP	A1	A2	A3
Card 3	V1	V2	V3	D1	D2	D3	MANGLE	THICK
Card 4	IDF1	ALPH1	EF1	LCF1	G23_1	G31_1		
Card 5	G12	LCG12	ALOCK12	GLOCK12	METH12			
Card 6	IDF2	ALPH2	EF2	LCF2	G23_2	G31_2		
Card 7	G23	LCG23	ALOCK23	GLOCK23	METH23			
Card 8	IDF3	ALPH3	EF3	LCF3	G23_3	G31_3		
Opt Card	POSTV							

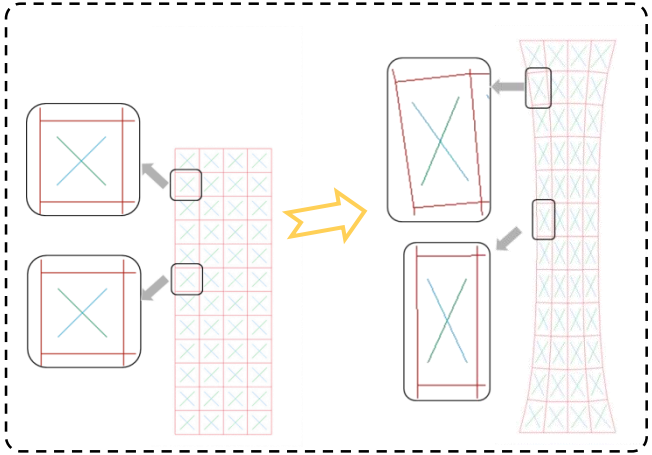


[www.wikipedia.de]

- Thermische elasto-plastische Materialformulierung
  - isotrope, hypo-elastische Formulierung
  - Temperaturabhängige elastische Eigenschaften
  - Fließgrenze (von Mises) – Temperatur- und Dehnratenabhängig
  - kinematischer, isotroper und gemischter Verfestigungsalgorithmus

Materialcharakterisierung – Konstitutivmodell (Faser)

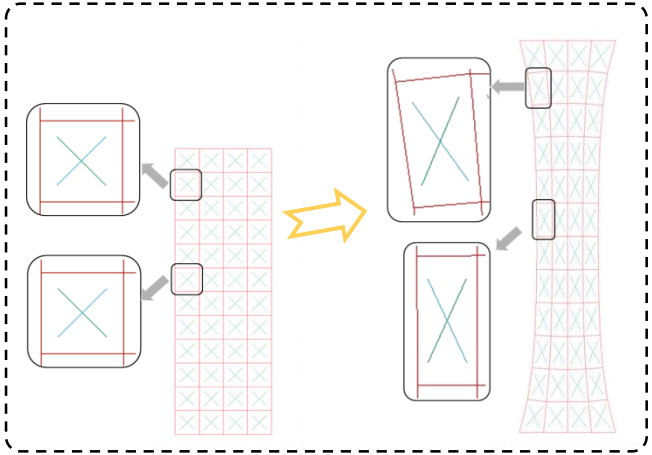
	1	2	3	4	5	6	7	8
Card 1	MID	RO	EM	LCEM	PRM	LCPRM	LCSIGY	BETA
Card 2	NFIB	AOPT	XP	YP	ZP	A1	A2	A3
Card 3	V1	V2	V3	D1	D2	D3	MANGLE	THICK
Card 4	IDF1	ALPH1	EF1	LCF1	G23_1	G31_1		
Card 5	G12	LCG12	ALOCK12	GLOCK12	METH12			
Card 6	IDF2	ALPH2	EF2	LCF2	G23_2	G31_2		
Card 7	G23	LCG23	ALOCK23	GLOCK23	METH23			
Card 8	IDF3	ALPH3	EF3	LCF3	G23_3	G31_3		
Opt Card	POSTV							



- bis zu drei Faserfamilien können berücksichtigt werden
- nichtlineare hyperelastische Materialformulierung für jede Faserfamilie
  - intern wird eine Faser durch einen Vektor dargestellt
  - Deformationsgradient liefert die notwendigen Informationen, um die aktuelle Ausrichtung und Dehnung der Faser zu berechnen.
- anisotrope transversale Scherung kann definiert werden

Materialcharakterisierung – Konstitutivmodell (Faser-Interaktion)

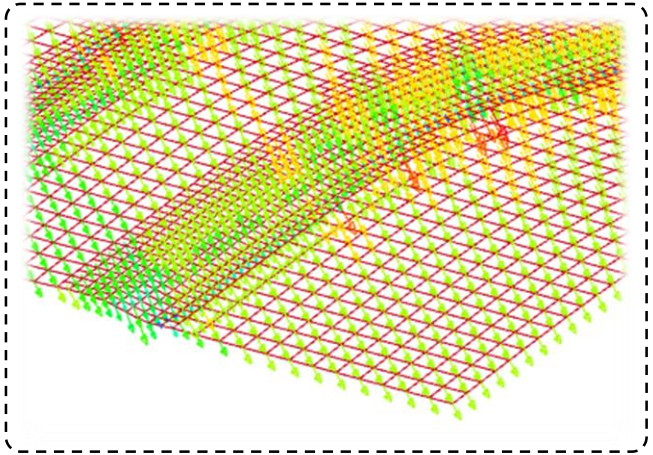
	1	2	3	4	5	6	7	8
Card 1	MID	RO	EM	LCEM	PRM	LCPRM	LCSIGY	BETA
Card 2	NFIB	AOPT	XP	YP	ZP	A1	A2	A3
Card 3	V1	V2	V3	D1	D2	D3	MANGLE	THICK
Card 4	IDF1	ALPH1	EF1	LCF1	G23_1	G31_1		
Card 5	G12	LCG12	ALOCK12	GLOCK12	METH12			
Card 6	IDF2	ALPH2	EF2	LCF2	G23_2	G31_2		
Card 7	G23	LCG23	ALOCK23	GLOCK23	METH23			
Card 8	IDF3	ALPH3	EF3	LCF3	G23_3	G31_3		
Opt Card	POSTV							



- Berücksichtigung der Spannung bei relativer Scherung zwischen benachbarten Fasern
- Verfügbare Algorithmen
  - Nicht-lineare elastische oder elastio-plastische Formulierung
  - Parameter bezüglich des Skalarprodukts oder Schwerwinkels
  - Spannungstensor über reine Scherung oder über Standardmethoden $\underline{\sigma} = \sum_{\substack{i,j \\ i \neq j}} \frac{1}{J} g(\vec{m}_i \cdot \vec{m}_j) \underline{F} \left(\vec{m}_i^0 \otimes \vec{m}_j^0 \right) \underline{F}^T$

Materialcharakterisierung – Konstitutivmodell (Ausgabe)

	1	2	3	4	5	6	7	8
Card 1	MID	RO	EM	LCEM	PRM	LCPRM	LCSIGY	BETA
Card 2	NFIB	AOPT	XP	YP	ZP	A1	A2	A3
Card 3	V1	V2	V3	D1	D2	D3	MANGLE	THICK
Card 4	IDF1	ALPH1	EF1	LCF1	G23_1	G31_1		
Card 5	G12	LCG12	ALOCK12	GLOCK12	METH12			
Card 6	IDF2	ALPH2	EF2	LCF2	G23_2	G31_2		
Card 7	G23	LCG23	ALOCK23	GLOCK23	METH23			
Card 8	IDF3	ALPH3	EF3	LCF3	G23_3	G31_3		
Opt Card	POSTV							



- Einige Parameter können wertvolle Informationen für den Benutzer enthalten, werden aber für den Materialalgorithmus nicht benötigt
  - Derzeit enthält die Liste der Parameter nur Faserdaten: Faserwinkel, ID, Dehnung, Ausrichtung, Spannung (in Faserrichtung), Spannungstensor
  - POSTV definiert, welche Kombination der obigen Parameter ausgegeben wird

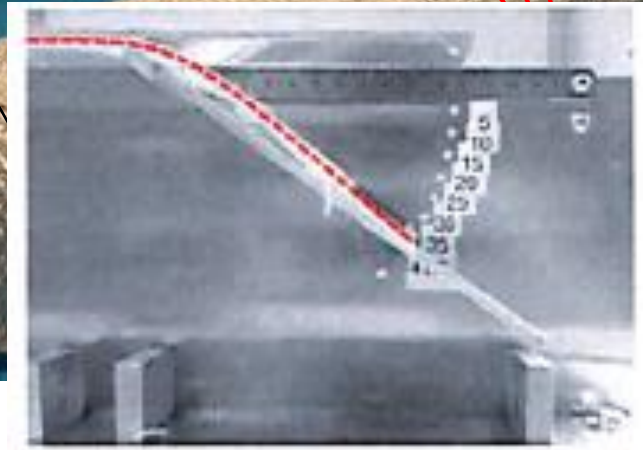
Materialcharakterisierung – Experimentelle Untersuchung

- Mögliche Verformungen
- Materialcharakterisierung basierend auf Zug-, Scher- und Biegeversuchen

Zugversuch:
DIN EN ISO 13934-1
(Probenform: 200*50mm)

Scherung

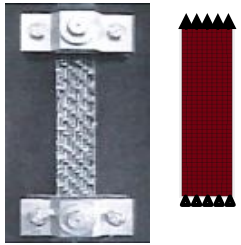
Biegeversuch:
DIN 53362 – Kragarmbiegeversuch
(Probenform: 200*50mm)

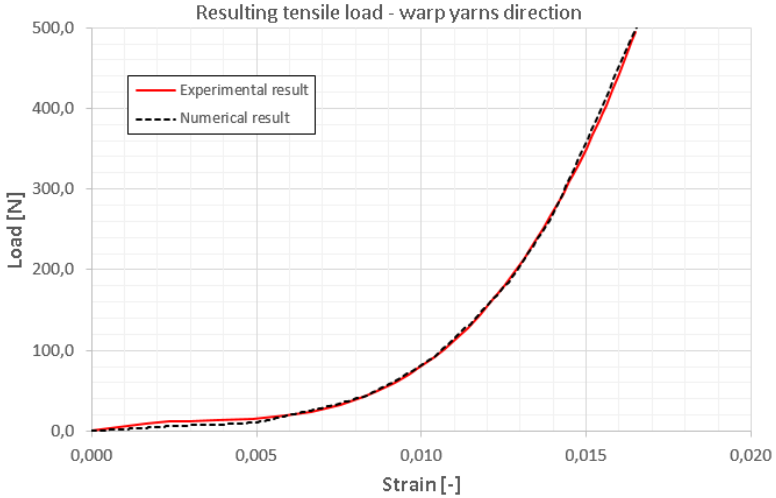


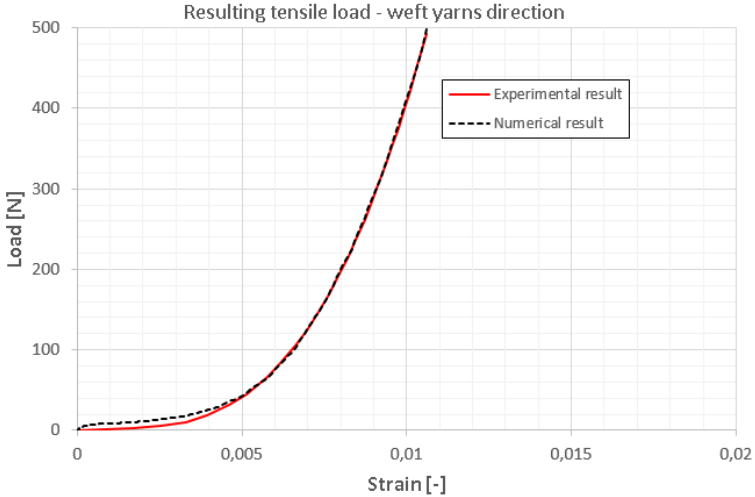
gung

Scherversuch:
Picture Frame Test (PFT)

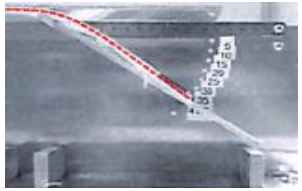
Materialcharakterisierung – Numerische Modelle

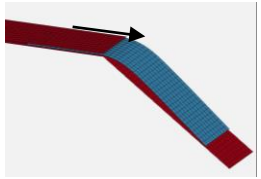


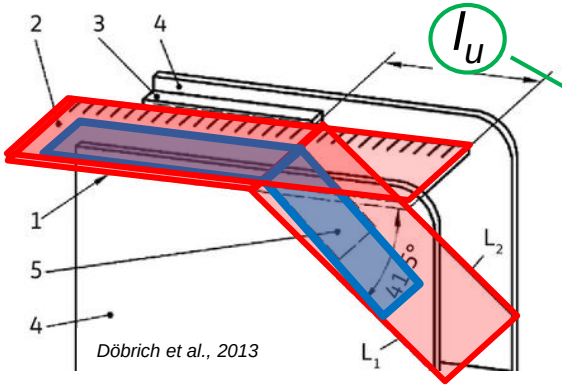




Materialcharakterisierung – Numerische Modelle





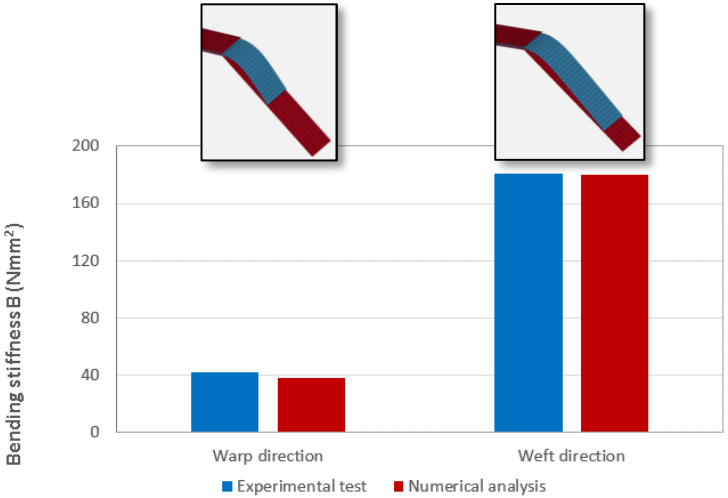


$$\begin{cases} w = \dfrac{mg}{L}, \\ B = w\left(\dfrac{l_u}{2}\right)^3 \end{cases}$$

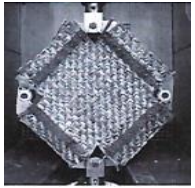
Weight per unit length

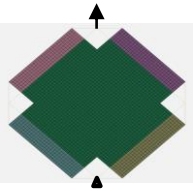
Bending stiffness

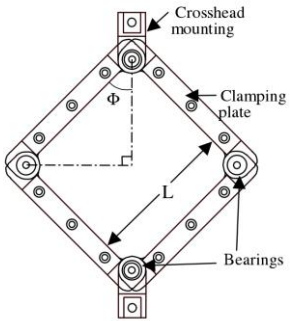
Calibration by adapting the transverse shear stiffness.

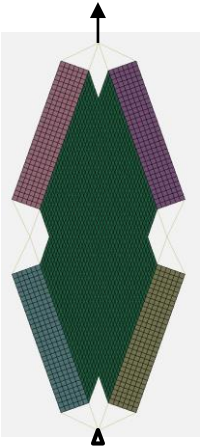


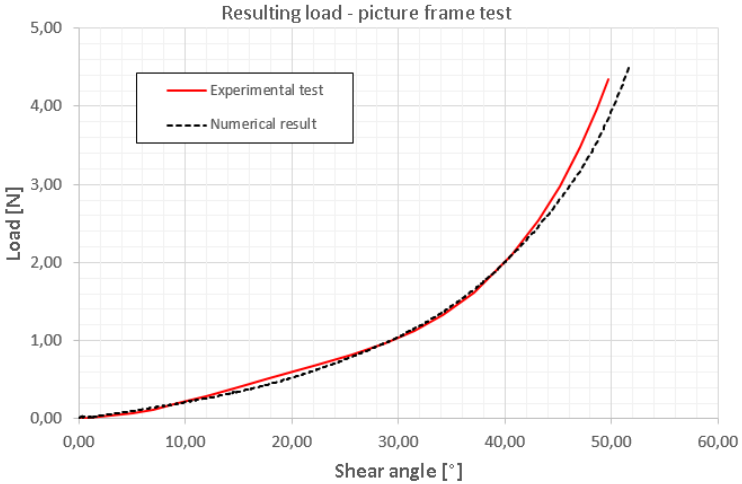
Materialcharakterisierung – Numerische Modelle







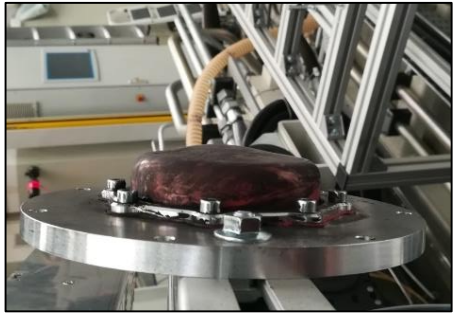


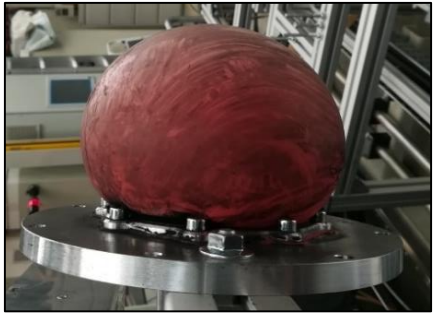


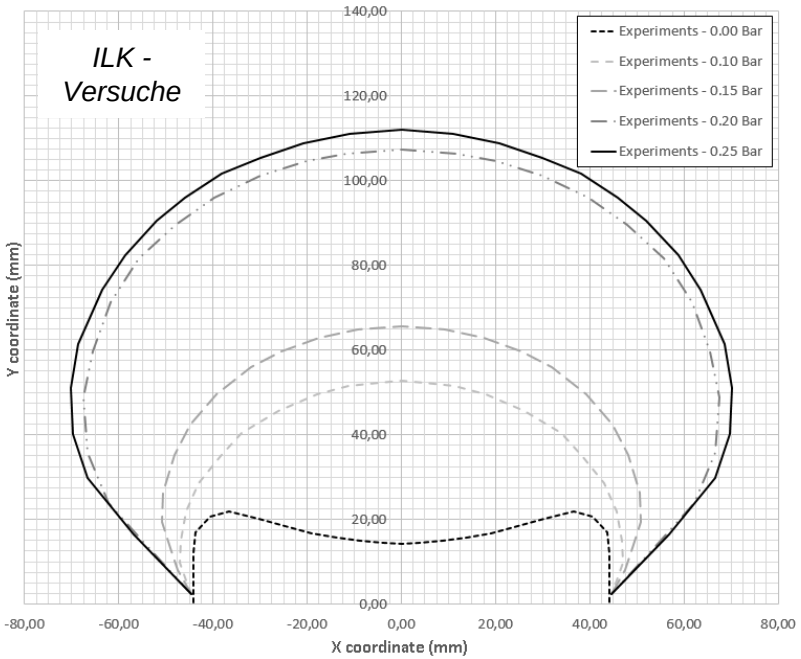
Materialcharakterisierung – Stempelmembran

Materialcharakterisierung – Experimentelle Untersuchung

- Die Materialcharakterisierung wird durchgeführt, um die Ergebnisse der experimentellen Prüfung, d.h. die Verformung der Membran bei vordefiniertem Druck, abzugleichen.
- Vier verschiedene experimentelle Tests mit unterschiedlichen Drücken wurden vom ILK durchgeführt
- Grafische Darstellung des Membranprofils (GOM ATOS), für die vier experimentell erhaltenen Druckstufen: 0, 0.1, 0.15, 0.20 und 0.25 Bar.





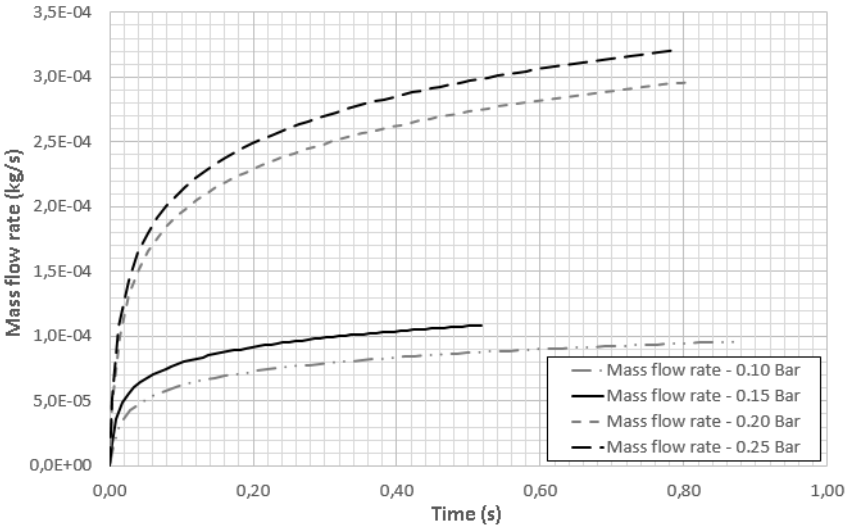


Materialcharakterisierung – Experimentelle Untersuchung

- Der gemessene Druck wird, unter Berücksichtigung des Volumens der Membran im verformten Zustand, mittels des idealen Gasgesetzes in einen Massenstrom umgewandelt (Eingabe in LS-DYNA über *AIRBAG).

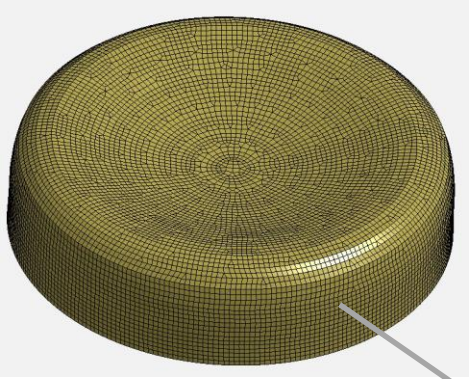
$$p = \frac{m}{V}\frac{RT}{M} \quad \Rightarrow \quad m = \frac{pVM}{RT} \quad \Rightarrow \quad \dot{m} = \frac{dm}{dt}$$

- Die berechnete Masse wird verwendet, um den vom numerischen Modell geforderten Massendurchfluss zu definieren, und es wird davon ausgegangen, dass sie einem logarithmischen Trend folgt. Der Bereich unterhalb der Kurve spiegelt die berechnete Masse aus dem idealen Gasgesetz wider.

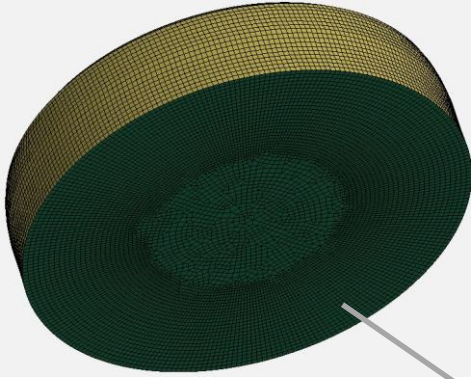


Materialcharakterisierung – FE Modell

- Die folgende Abbildung zeigt die Finite-Elemente-Modellierung (FE) der Membran. Die Membran wird mit *MAT_MOONEY-RIVLIN modelliert und wurde durch eine Drehung der Profildaten bei einem Druck von 0,00 bar erzeugt.
- Die Dichte und Dicke der Membran wurde aus den Versuchsdaten entnommen: r= 1,1 g/cm3 und einer Dicke von 1,0 mm.



MAT_MOONEY-RIVLIN_RUBBER



MAT_RIGID

Materialcharakterisierung – Konstitutivmodell

- Hyperelastische Materialien werden als ein Kontinuum betrachtet, in dem die Dehnungsenergie W als eine vom Verformungsgradienten abhängige Funktion postuliert wird (Formänderungsenergiedichte-funktion). Ein klassisches Modell der Hyperelastizität, das den Anforderungen von Elastomeren, wurde von Melvin Mooney und Ronald Rivlin vorgeschlagen. Implementiert LS-DYNA (Feng & Hallquist, 2012) als *MAT_MOONEY-RIVLIN_RUBBER (MAT_027).

$$W = A(I-3) + B(II-3) + C(III^{-2}-1) + D(III-1)^2$$

I, II, III = Invarianten des rechten Cauchy-Green Tensors **C**=**F**^{T}**F**.

mit:

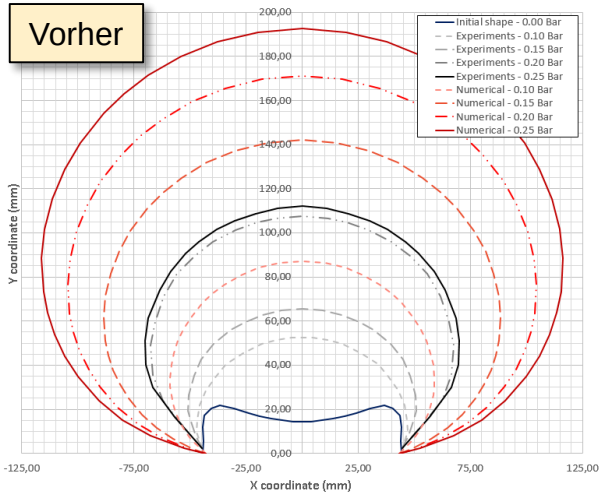
- $C = 0.5A + B$
- $D = \dfrac{A(5\nu-2) + B(11\nu-5)}{2(1-2\nu)}$
- $2(A+B)$ = Schermodul der linearen Elastizität
- ν = Querdehnzahl

A und B sind unabhängige Parameter, die über experimentelle Versuche bestimmt werden müssen.

Materialcharakterisierung– Parameteridentifikation

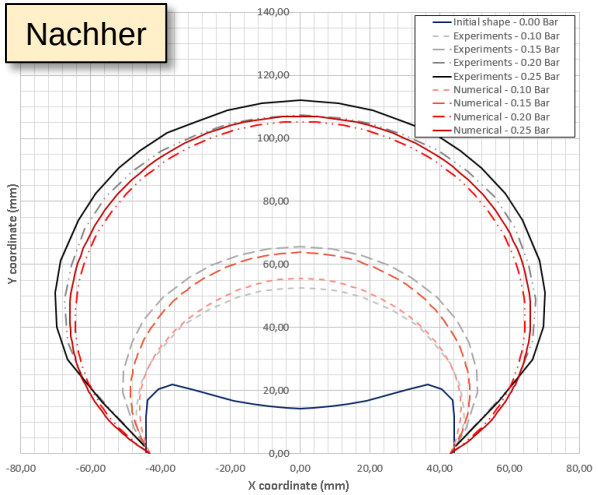
- Im ersten Optimierungsversuch wurden für die Parameter A und B Werte aus der Literatur verwendet, um eine sinnvolle Verformung der Membran zu erhalten, die als Ausgangszustand für den Optimierungsprozess verwendet werden kann.
- Aufgrund der Inkompressibilität der Gummimaterialien wurde die Querdehnzahl 0,495 gesetzt (weniger als 0,5 zur Vermeidung numerischer Probleme).
- Die Optimierung erfolgte mit Hilfe von LS-OPT auf Basis der Z-Koordinate in der Mitte der Membran.

Vorher



Parameter *MAT_027		
	Vor der Optimierung	Nach der Optimierung
A	100.0	783.352
B	10.0	7.499

Nachher

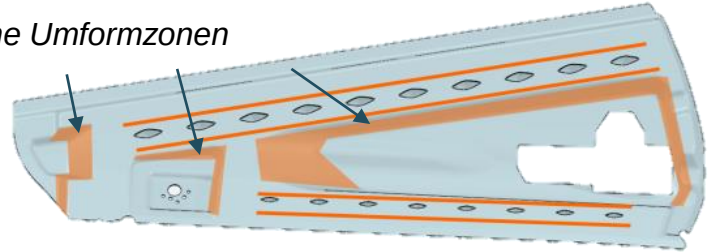


Drapiersimulation

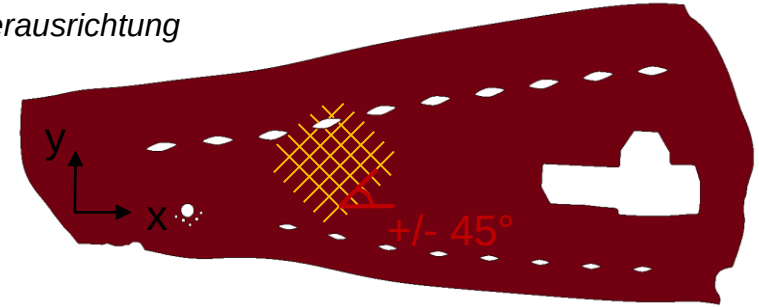
Machbarkeitsstudie - Prozessbeschreibung

- Ablegen des Gewebes auf den Preformtisch
- Drapieren mit starren Werkzeugen
- Weitere Formgebung mit adaptivem Werkzeug

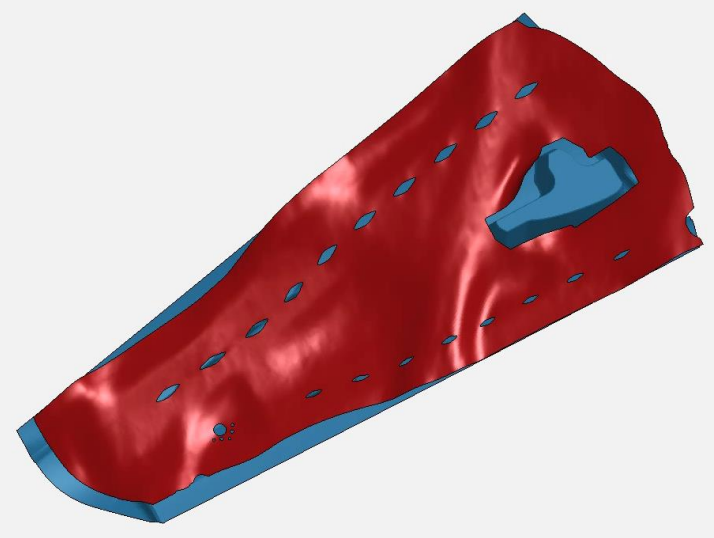
Kritische Umformzonen



Faserausrichtung



Ablegen auf den Preformtisch über die Schwerkraft



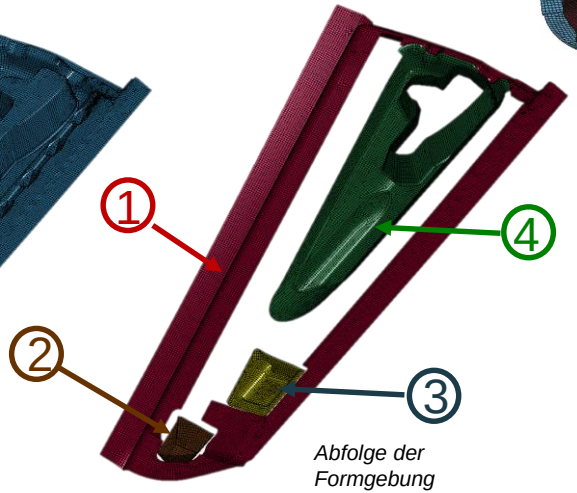
Starre Werkzeuge

Machbarkeitsstudie – Starre Werkzeuge

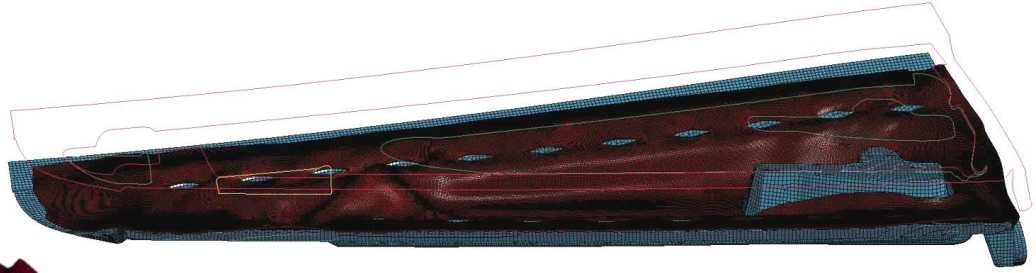
- Drappieren mit starren Werkzeugen

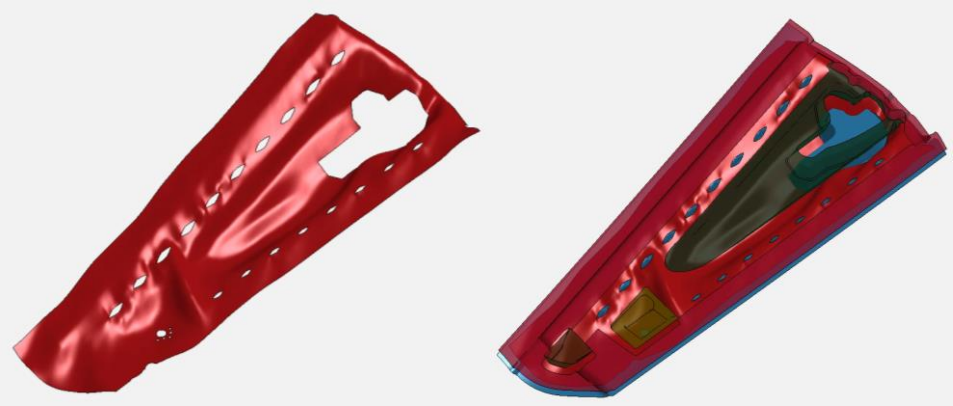
Preformtisch

Starre Werkzeuge



Abfolge der Formgebung

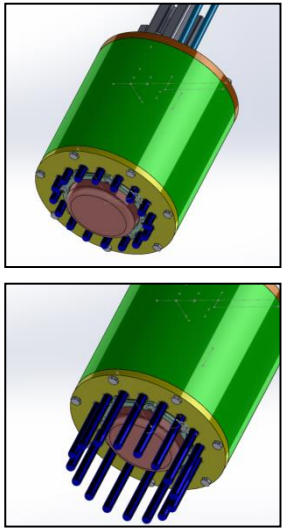


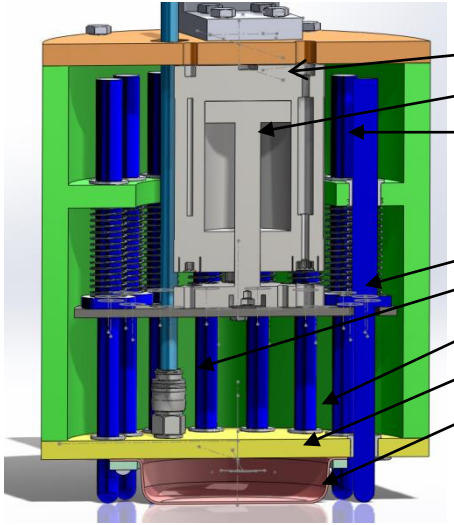


Adaptives Werkzeug

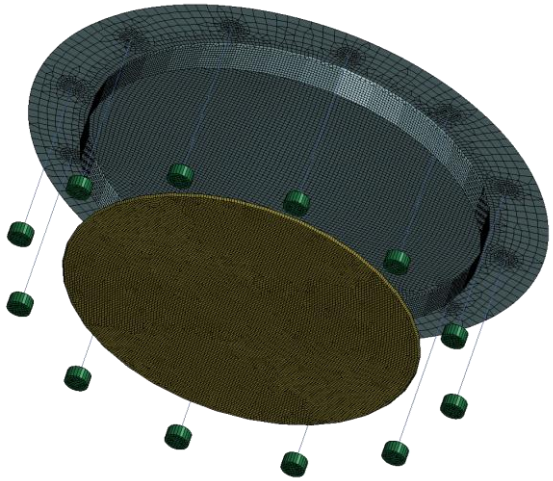
Machbarkeitsstudie – Adaptives Werkzeug

- Nachdem das Gewebe mit starren Werkzeugen auf dem Preformtisch drapiert wurde, kann das adaptive Werkzeug zur Endpositionierung von konkaven Geometrien verwendet werden.



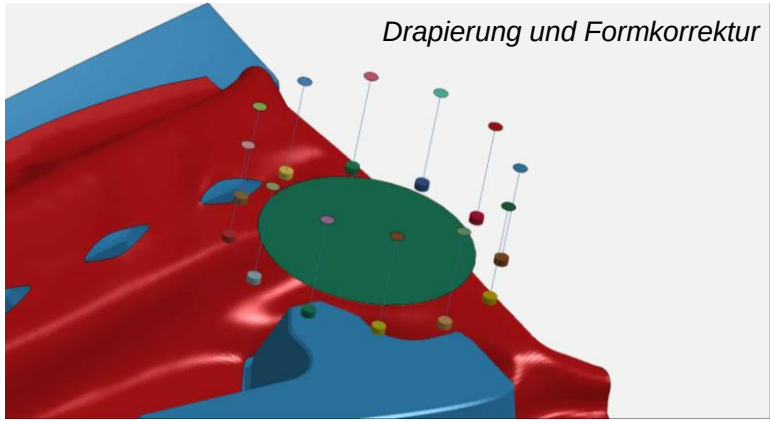


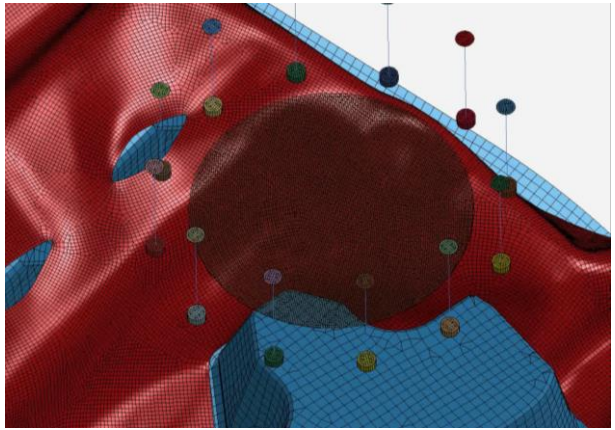
Quelle: F. Beck

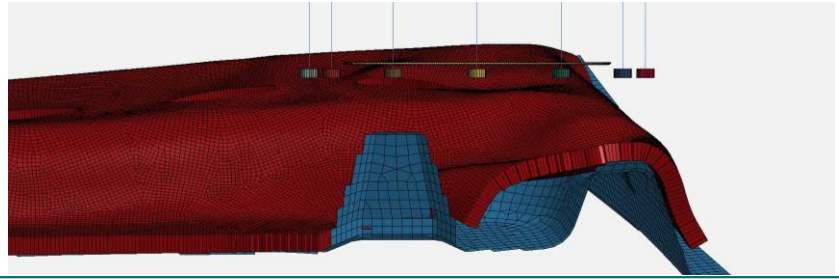


Machbarkeitsstudie – Adaptives Werkzeug

- Anwendung des adaptiven Stempels zur Formkorrektur des Gewebes in der Matrize.



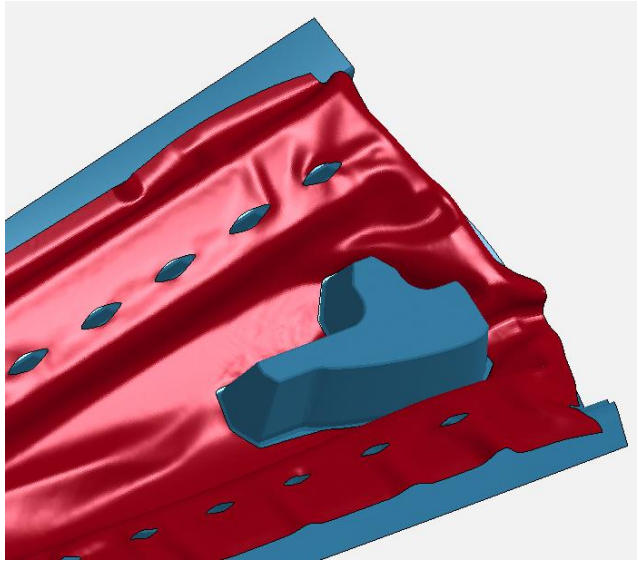




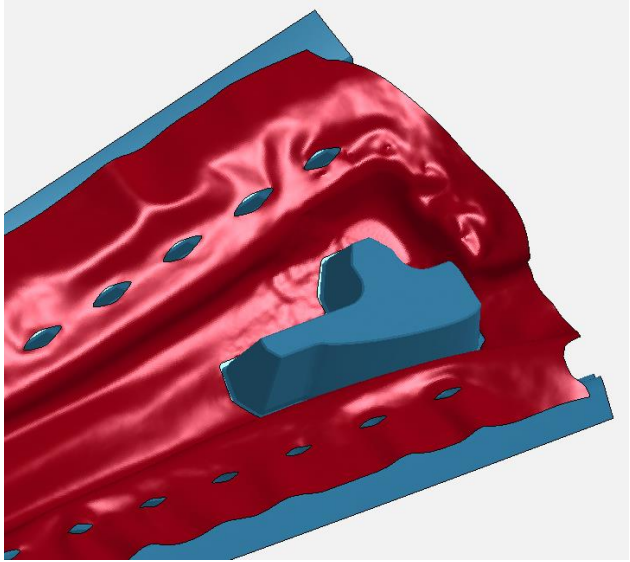
Machbarkeitsstudie – Prozessbestimmung

- Drapieren des Gewebes in den Preformtisch (Matrize)

Nach der Positionierung durch die starren Werkzeuge



Nach dem Drapieren mit dem adaptiven Stempel



Zusammenfassung

- Die Ergebnis der numerischen Simulationen in Bezug auf das Gewebe und das Membranprofil zeigt eine gute Übereinstimmung mit den experimentellen Versuchen.
- Die vorgeschlagenen Materialmodelle *MAT_027 für die Membran und *MAT_249 für das Gewebe sind für die Simulation der Verformungen bzw. des Drapierens geeignet.

The present work was funded by the
Federal Ministry of Education and Research of the Federal Republic of Germany
within the FOREL-program under grant #02P14Z026.

Your questions, please