



OST

Ostschweizer
Fachhochschule

Automatisierte Auslegung von Membran-Geometrien

Materialmodellierung und KI-gestützte Designentwicklung

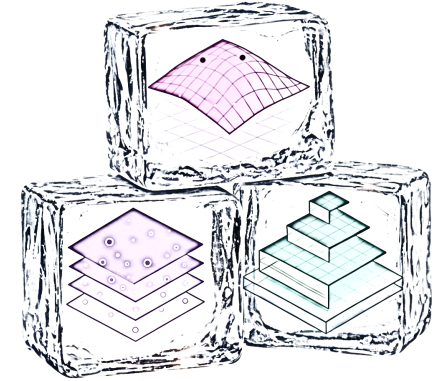
Ivo Lenherr

Institut für Computational Engineering (ICE)

Department Technik / ICE / Materialmodellierung und Prozesssimulation

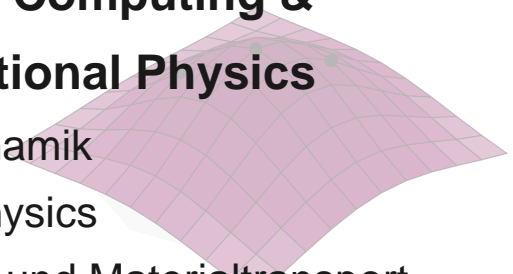
Institut für Computational Engineering (ICE)

Kompetenzbereiche



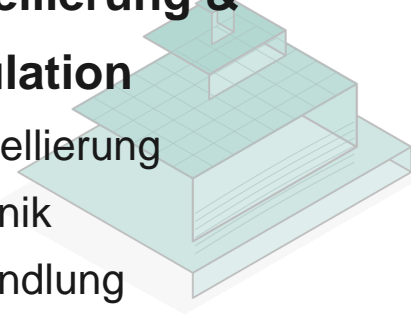
Scientific Computing & Computational Physics

- Fluiddynamik
- Food Physics
- Wärme- und Materialtransport
- Optimierung



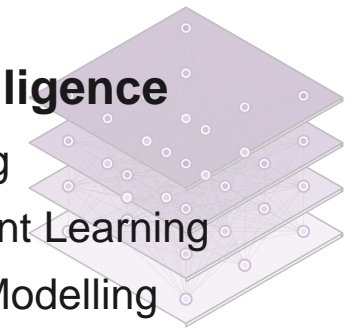
Materialmodellierung & Prozesssimulation

- Materialmodellierung
- Umformtechnik
- Wärmebehandlung
- Schweißen
- Tribologie



Industrial Artificial Intelligence

- Deep Learning
- Reinforcement Learning
- Generative Modelling
- Uncertainty Estimation
- Explainable AI



Wir übersetzen **physikalische Realität** in Simulationen und überführen sie mit **KI** in industrielle Lösungen

Metal-Membranbälge

Einsatzgebiet

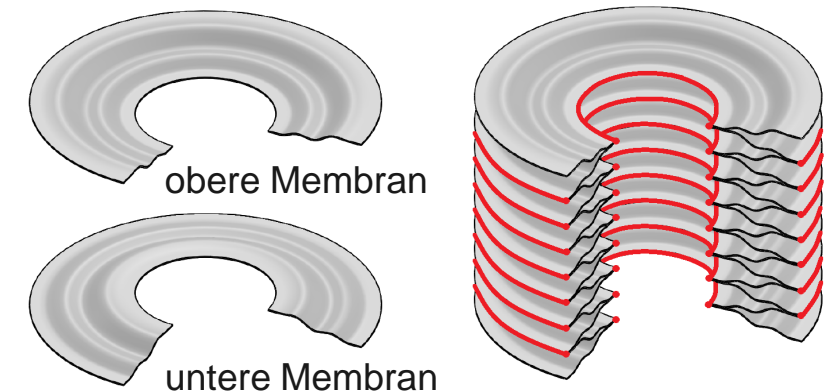
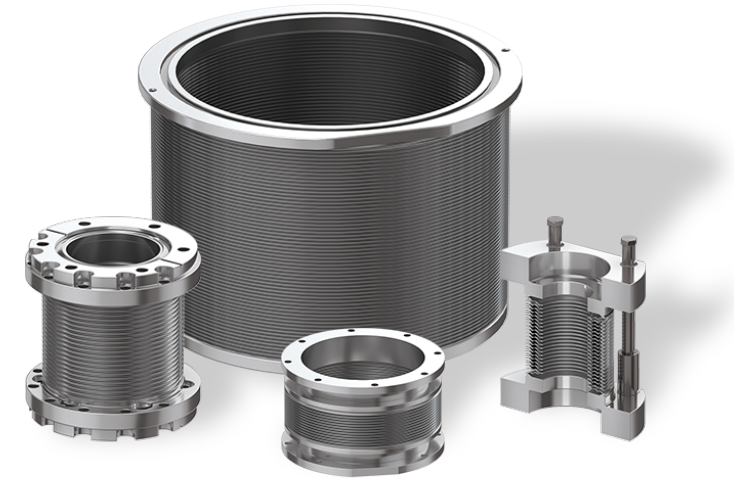
- Hochleistungsbauteile für die Vakuumindustrie
- Trennung (Luft / Vakuum) bei linear bewegten Bauteilen

Herstellung

- Membranen werden aus dünnen Metallfolien mit einer Dicke von ca. 0.1 mm gestanzt
- Zwei unterschiedliche Membran-Geometrien werden abwechselnd geschichtet und mittels Laser verschweisst

Eigenschaften

- Länge und Steifigkeit (Kraft-Weg-Kurve)
 - Lebensdauer unter zyklischer Belastung
- Eigenschaften werden durch die Geometrie der Membranen beeinflusst

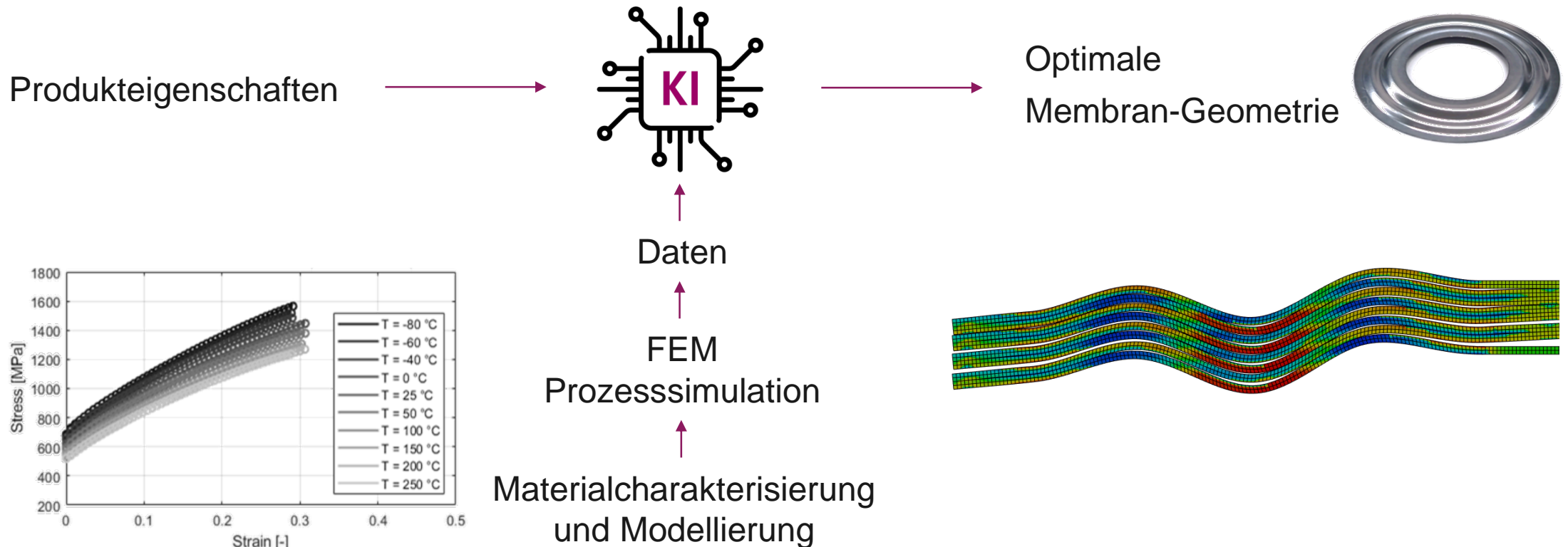


Automatisierte Auslegung von Membran-Geometrien

Dissertationsthema / Projektziel

Entwicklung eines KI unterstützten Optimierungstools zur Auslegung der Membran-Geometrie

→ Einhaltung der vorgegebenen mechanischen Eigenschaften und Maximierung der Lebensdauer



Automatisierte Auslegung von Membran-Geometrien

Materialmodellierung

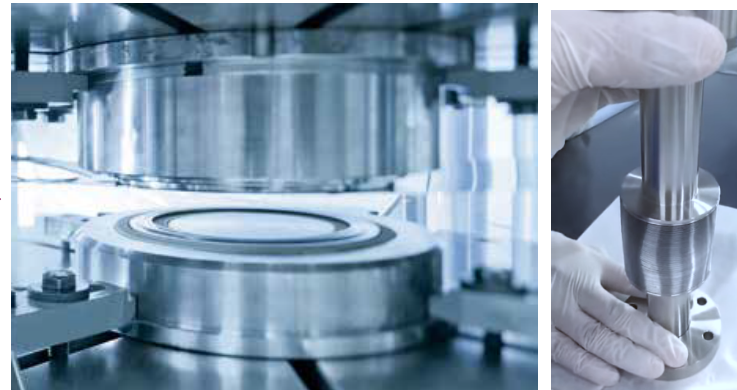
Prozesskette (vom Stahlband zum Membranbalg)

Folienherstellung
(Walzprozess)



- Führt zu:
- Richtungsabhängigkeit

Membran- & Balgherstellung
(Stanz- und Umformprozess)



- Beeinflusst durch:
- Verfestigungsverhalten
 - Umformvermögen

Anwendung
(Zyklische Belastung, Temperatur)



- Beeinflusst durch:
- Zyklisches Verhalten
 - Thermisches Verhalten

→ Materialverhalten muss experimentell charakterisiert und mathematisch modelliert werden

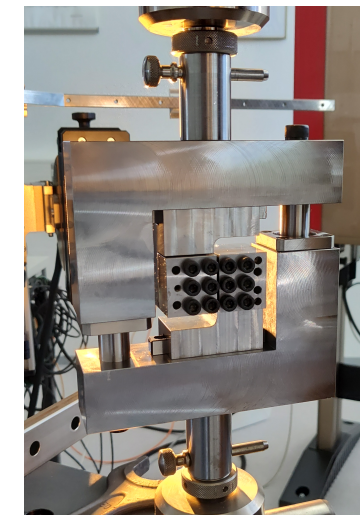
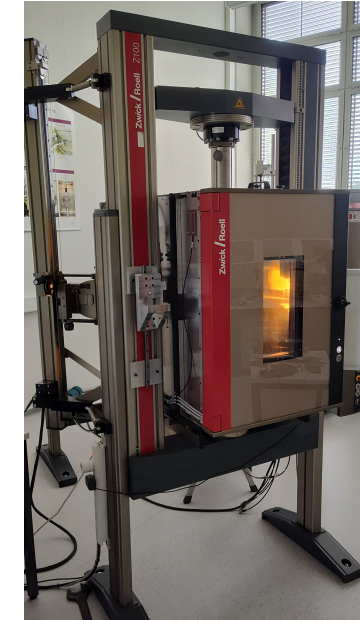
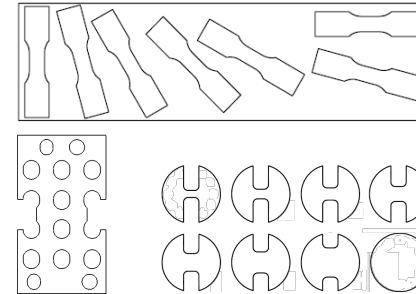
Automatisierte Auslegung von Membran-Geometrien

Materialmodellierung

Materialcharakterisierung

Eigenschaft	Verfestigungsverhalten	Dehnratenabhängigkeit	Richtungsabhängigkeit	Umformvermögen	Zyklisches Verhalten	Thermische Eigenschaften	Versuch
<ul style="list-style-type: none"> Elastizitätsmodul Fliesskurve Anisotropie (R-Wert) 	X	X	X				Zugversuch $-80\text{ °C} < T < 300\text{ °C}$
<ul style="list-style-type: none"> Kin. Verfestigung Zyklisches Verhalten 	X				X		Scherversuch $-80\text{ °C} < T < 300\text{ °C}$
<ul style="list-style-type: none"> Grenzformänderung 				X			Nakajima Test $T = 25\text{ °C}$
<ul style="list-style-type: none"> Spez. Wärmekapazität Wärmeleitfähigkeit 						X	Hot Disk $25\text{ °C} < T < 300\text{ °C}$

Probengeometrie



Materialmodellierung

Mathematische Modellierung

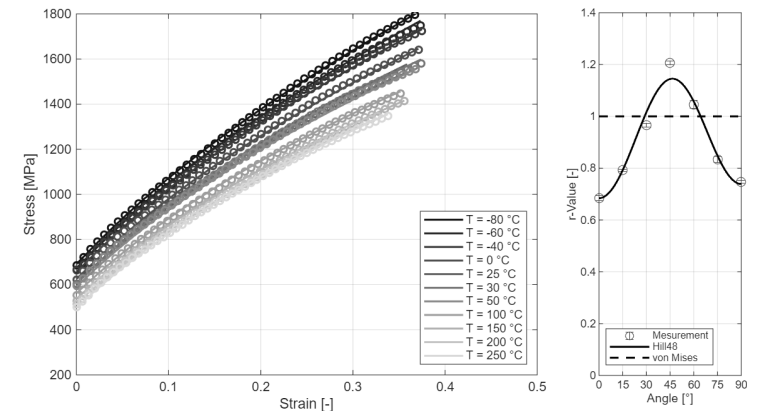
Nichtlineare-Regression der gemessenen Daten mit phänomenologischen Modellen für:

- Isotrope Verfestigung: Voce-Modell
- Kinematische Verfestigung: Armstrong-Fredericks-Modell
- Orthotropie: Hill 1948
- Zyklisches Verhalten: Chaboche-Modell

in Abhängigkeit von Temperatur und Dehnrage.

Warum keine KI-Modelle (z.B. Neuronale-Netze) für die Materialmodellierung?

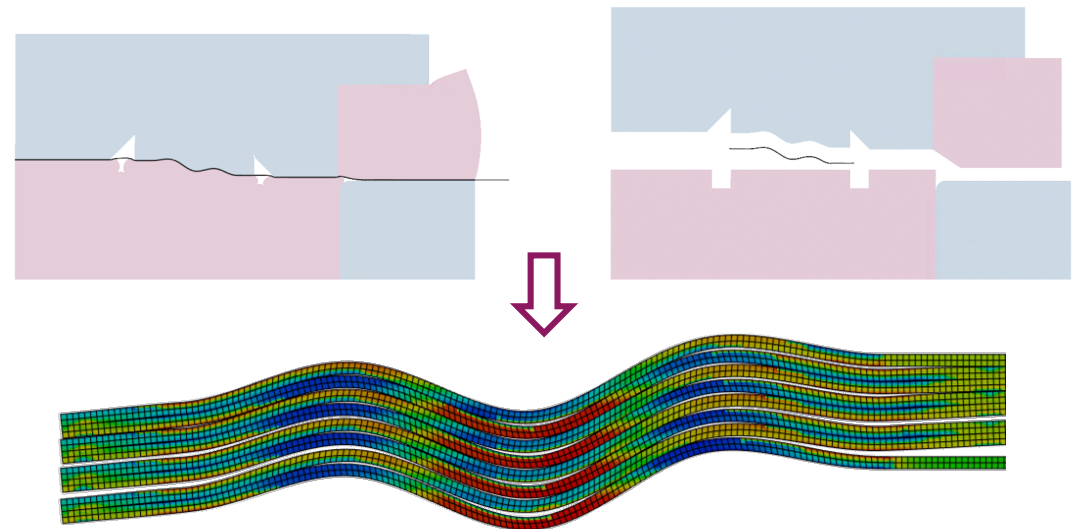
- Phänomenologische Modelle sind in FE-Tools enthalten
- Parameter sind physikalisch nicht interpretierbar
- Vorhersagegenauigkeit bei Extrapolation ist schlecht



Prozesssimulation

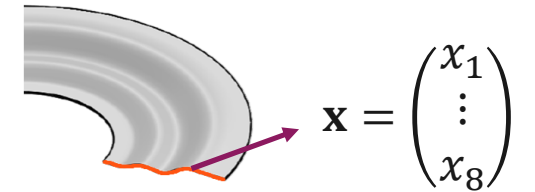
FE-Simulation von Umformung und Balg-Verpressung

1. Implementierung der mathematischen Materialmodelle in FE-Tool
2. Simulation der Umformung einzelner Membranen
 - Geometrie, plastische Dehnungen und Spannungen
3. Balg-Erzeugung
 - Stapelung einzelner Membranen
 - Übertragung der Ergebnisse aus Umformsimulation
4. Simulation der Balg-Verpressung
 - Auswertung von Länge, Steifigkeit, Dehnungen und Spannungen
 - Berechnung der Lebensdauer basierend auf Dehnungen und Spannungen

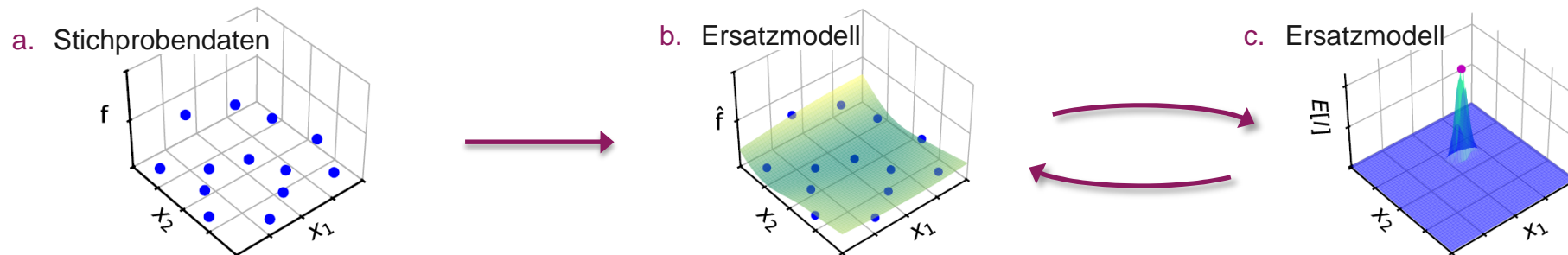


Topologie- und Geometrie-Optimierung

1. Parametrisierung der Membran-Geometrie
2. Definition Optimierungsaufgabe (Zielfunktion und Nebenbedingungen)
 - $f(\mathbf{x})$ wird aus den Ergebnissen FE-Simulationen mit der Membran-Geometrie \mathbf{x} berechnet
 - $f(\mathbf{x})$ berücksichtigt die Erfüllungsgrad der mechanischen Anforderungen
3. KI-Gestützte Optimierung mit adaptivem Ersatzmodell (Bayes'sche Optimierung)
 - a. Grobes Abtasten des Designraums (Stichprobendaten) / DoE
 - b. Aufbauen eines Ersatzmodells \hat{f} für $f(x)$ (z.B. mit Kriging)
 - c. Optimierung durch schrittweises Verfeinern des Ersatzmodells mit neuen Stichproben (Gauss Prozess)







$$f^* = \min(f(\mathbf{x}))$$



Topologie- und Geometrie-Optimierung

Erste erfolgsversprechende Ergebnisse

→ Optimierungsziele: Länge und Steifigkeit sowie Minimierung von Dehnung und Spannung

	Bisheriges Design (Optimierung von Hand)	Neus Design (Optimierung mit KI-Methoden)
Geometrie der oberen Membran		
Geometrie der unteren Membran		
Länge (Abweichung von Sollwert)	+ 3.7 %	+ 0.3 %
Steifigkeit (Abweichung von Sollwert)	+ 40.5 %	- 1.4 %
Maximale Dehnung	Referenz	- 55.6 %
Maximale Spannung	Referenz	- 37.2 %

Fazit / Takeaways

- Mit KI-Unterstützung können optimale Lösungen gefunden werden.
- Für KI-Anwendung werden valide Daten benötigt, welche aber häufig nicht vorliegen.
- Daten können mit Hilfe von FE-Simulationen erzeugt werden.
- Materialcharakterisierung und Modellierung sind wichtig für realitätsgetreue FE-Simulationen.
- Materialmodellierung mit klassischen Methoden liefert bessere Ergebnisse als KI.
- KI kann Materialmodellierung und Prozesssimulation (noch) nicht ersetzen.
- KI ist nicht für jedes Problem die Methode der Wahl.

Vielen Dank