



**SGL GROUP**  
THE CARBON COMPANY

# Modellierung von Verbundwerkstoffen bei SGL Group

Dr. Thomas Frommelt & Tobias Schmidt  
SGL Group, Technology & Innovation

2. Fachkongress Composite Simulation – Fellbach, 28. Februar 2013

**BROAD BASE. BEST SOLUTIONS.**

# Modellierung von Verbundwerkstoffen bei SGL Group

## Gliederung

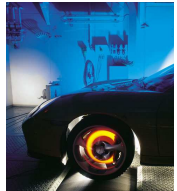
**Einführung**

**Modellierungsbeispiele bei SGL**

**Zusammenfassung und Ausblick**

# Einführung

## SGL Group



- **SGL Group ist einer der weltweit größten Hersteller von Produkten aus Kohlenstoff**
- **Umfassendes Portfolio von Carbon- und Graphitprodukten bis zu Carbonfasern und Verbundwerkstoffen**
- **48 Produktionsstandorte weltweit**
- **Flächendeckendes Servicenetz in über 100 Ländern**
- **1,5 Mrd. € Umsatz in 2011**
- **Hauptverwaltung in Wiesbaden**
- **Rund 6.500 Mitarbeiter weltweit**
- **MDAX notiert**

# Einführung

## Technology & Innovation

- **Zentrale Forschung & Entwicklung in Meitingen:**  
**Technology & Innovation (T&I)**

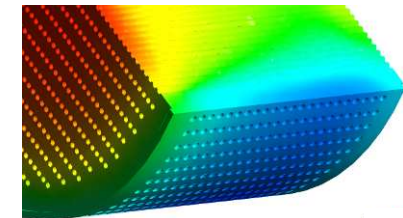


**T&I Center**

- **Materialmodellierung**
- **Hochtemperaturprozesse**
- **Chemische Reaktionen**
- **Produktsimulation**
- **Hochtemperaturanwendungen**



**Elektrodenherstellung**

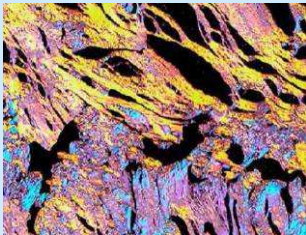
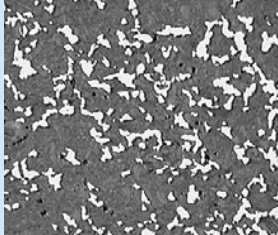
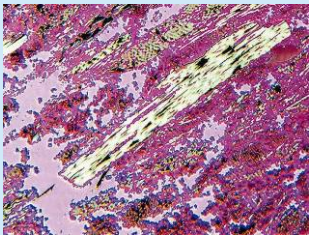
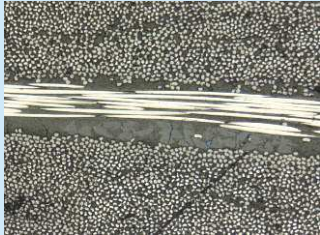


**Wärmetauscher**



**Graphitelektrode im Lichtbogenofen**

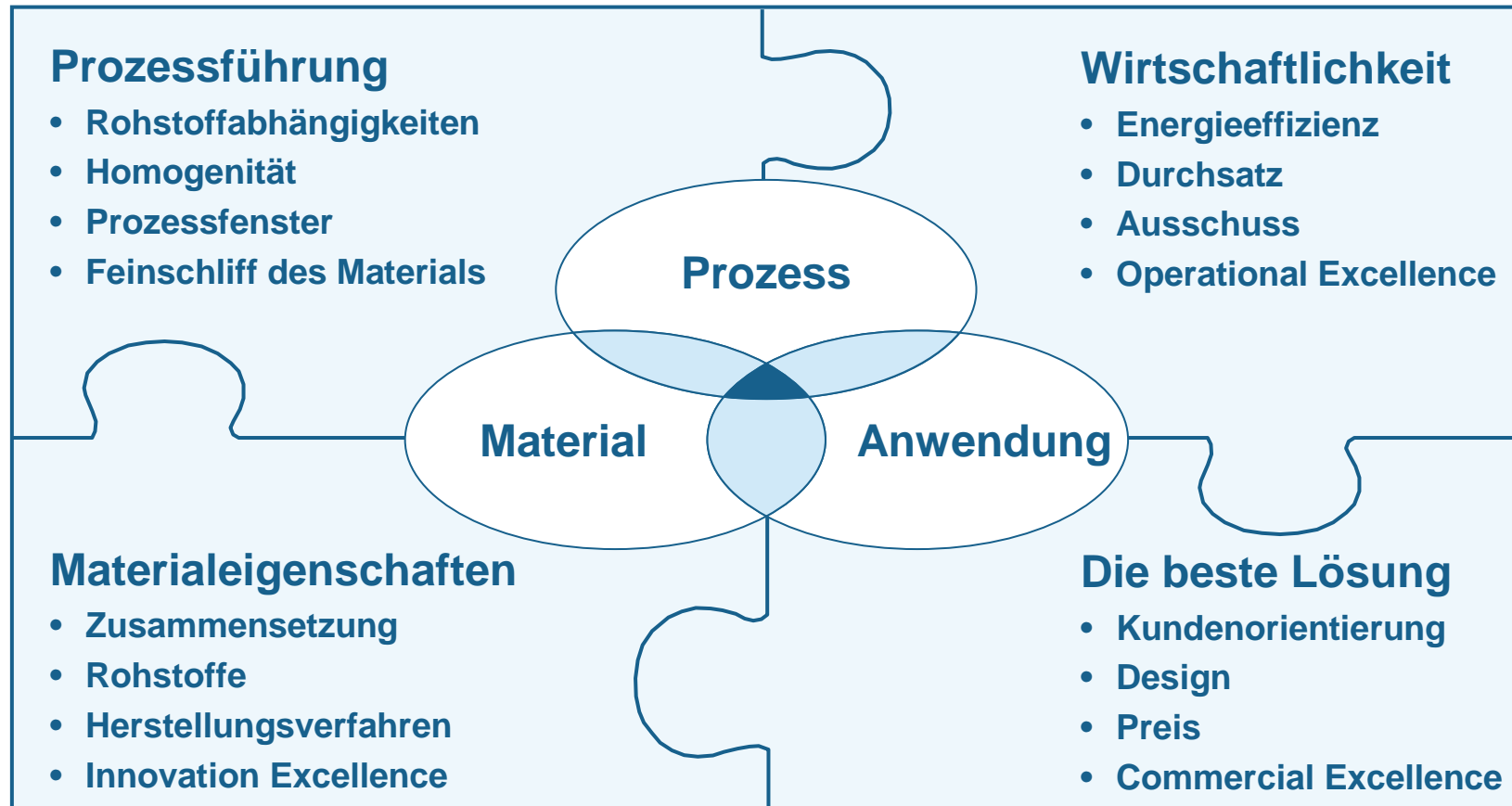
# Einführung Modellierung

	Graphit	MMC	CMC	CFK
<b>Füllstoff</b>	<b>Koks</b> <b>Anisotrop</b> 	<b>Koks</b> <b>Isotrop</b> 	<b>C-Faser</b> <b>Anisotrop</b> 	<b>C-Faser</b> <b>Anisotrop</b> 
<b>Matrix</b>	<b>Pech carbonisiert</b>	<b>Pech carbonisiert</b>	<b>SiC</b>	<b>Harz ausgehärtet</b>
<b>Einschlüsse</b>	<b>Luft</b>	<b>Luft</b>		
<b>Imprägnierung</b>	<b>Pech carbonisiert</b>	<b>Metall</b>	<b>Silizium</b>	

- **Starke Analogien zwischen Graphit und Verbundwerkstoffen**

# Einführung

## Modellierung


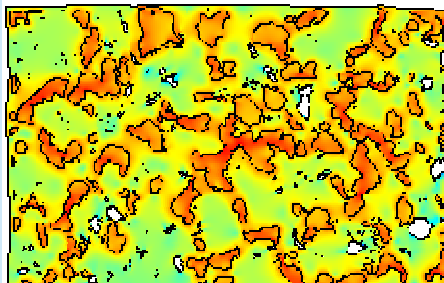
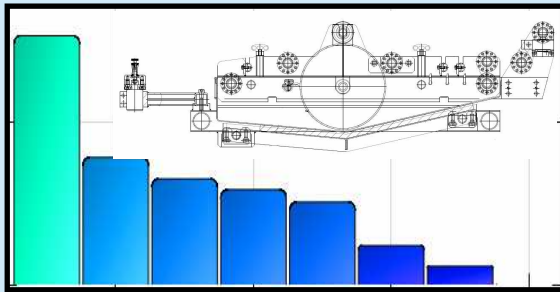
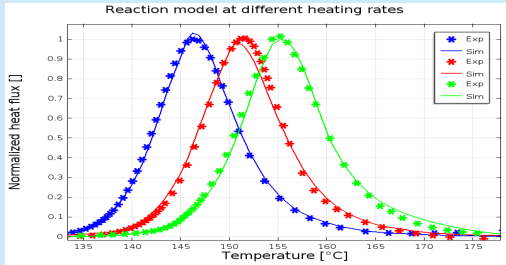

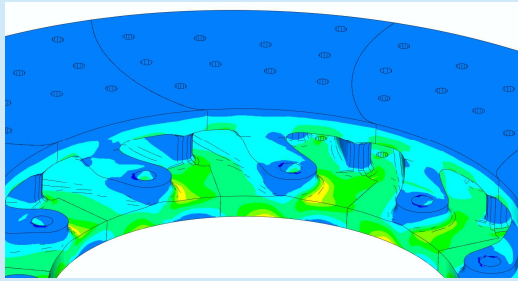


- Wir spannen den Bogen vom Material bis zur Anwendung



# Modellierungsbeispiele bei SGL

## Übersicht

	CFK	MMC/CMC
Material		
Prozess		
Anwendung		

# Modellierungsbeispiele bei SGL

## CNG Tank – Materialmodell

### *CFK Hybridbauteil*

- Stahlbehälter mit CFK-Verstärkung zur Druckbetankung mit Erdgas (CNG: Compressed Natural Gas)

### *Fragestellung*

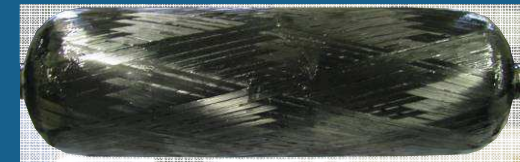
- Muster mathematisch abgewickelt
- Aufbau einer Volumenzelle
- FEM Simulation der Lastfälle

### *Ergebnisse*

- Einfluss des Wickelmusters und des Bedeckungsgrades auf mechanische Eigenschaften
- Eingrenzung sinnvoller Wickelparameter im Rahmen der Vorauslegung



CNG-Tank schematisch



CNG-Tank mit Kreuzwicklung



Abgewickeltes Muster



# Modellierungsbeispiele bei SGL

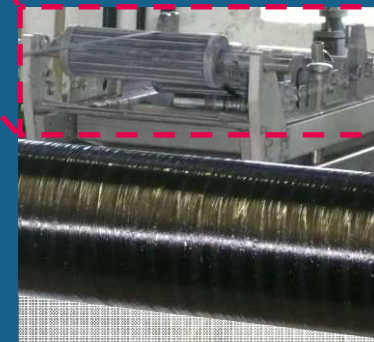
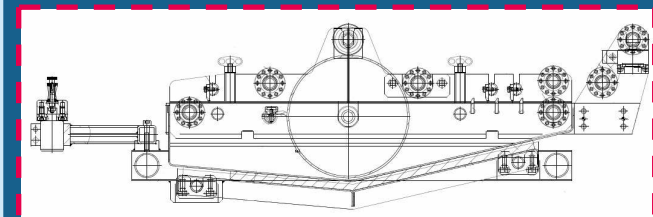
## CNG Tank – Prozessmodell

### *Fragestellung*

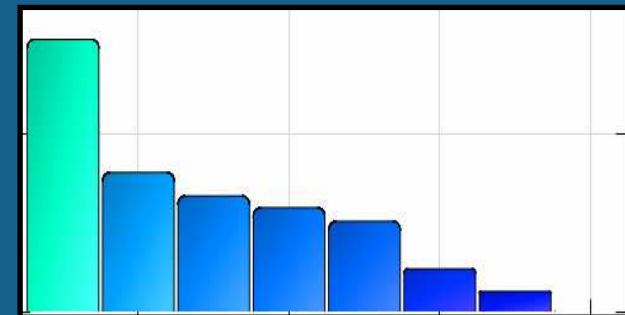
- Imprägnierungsverhalten des Rovings im Imprägnierbad
- Simulations-DOE an Infiltrationsmodell
- Korrelations- und Einflussanalyse

### *Ergebnisse*

- Haupteinflussgrößen auf den Sättigungsgrad:  
Rohstoffparameter (z.B. Harzviskosität)  
Geometrieparameter (z.B. Faser-Volumen-Gehalt)  
Prozessgrößen (z.B. Fadenspannung)
- Relevante Größen für Optimierung und stabile Prozessführung (z.B. Badtemperatur und Fadenspannung)



Imprägnierbad



Ranking der Faktoren

# Modellierungsbeispiele bei SGL

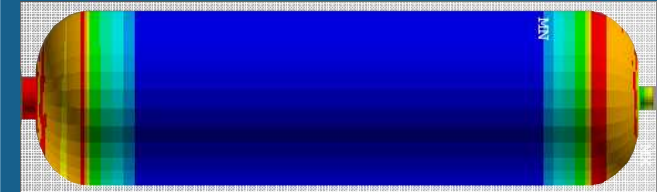
## CNG Tank – Anwendungsmodell

### *Fragestellung*

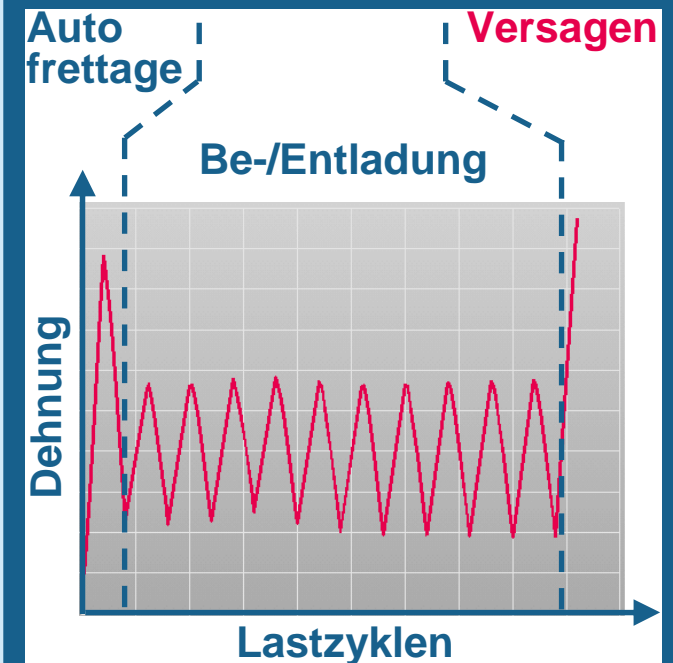
- Autofrettage: Belastung des Materials über Betriebsdruck → Plastifizierung des Stahls  
→ Nach Entlastung Druckspannungen im Stahl durch elastische CFK Hülle  
→ Höherer Betriebsdruck möglich
- Zyklische Belastung durch Be-/Entladung
- Elastisch-plastisches FEM Modell
- Analyse ansteigender Verformungen zur Einschätzung der Lebensdauer

### *Ergebnisse*

- Wechselwirkungen der Fasereigenschaften mit dem Autofrettage-Prozess
- Lagenoptimierung in kritischen Regionen



Druckspannungen im Stahl nach Autofrettage



Abschätzung der Lebensdauer

# Modellierungsbeispiele bei SGL

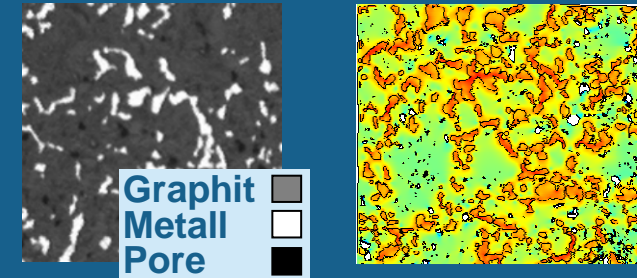
## Metallimprägnierter Graphit – Materialmodell

### Fragestellung

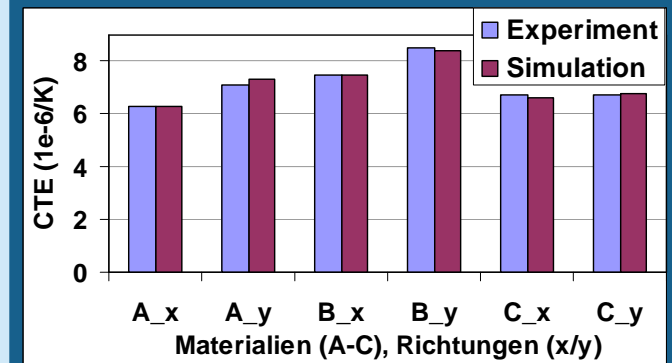
- FEM Mikrostrukturmodelle
- Homogenisierungsmodelle
- Berechnung der Materialeigenschaften aus den beteiligten Konstituenten

### Ergebnisse

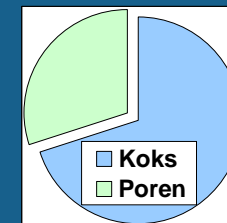
- Einfluss von imprägnierten Poren und Koks auf Anisotropie des Materials
- Verständnis relevanter Eigenschaften, z.B.
  - Richtungsabhängiger CTE → Spaltmaße
  - Elastizitätsmodul → Steifigkeit
- → Reverse Engineering: Wie kann ein Zielmaterial realisiert werden?



Mikrostruktur Modelle



CTE Modellierung



Quellen für Anisotropie

# Modellierungsbeispiele bei SGL

## SiC Grünfertigung – Prozessmodell

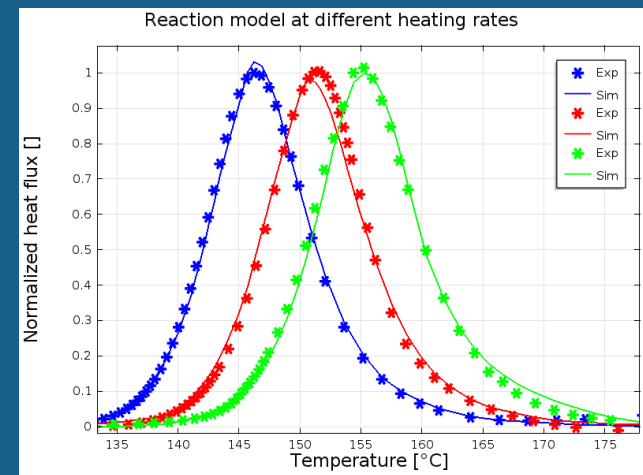
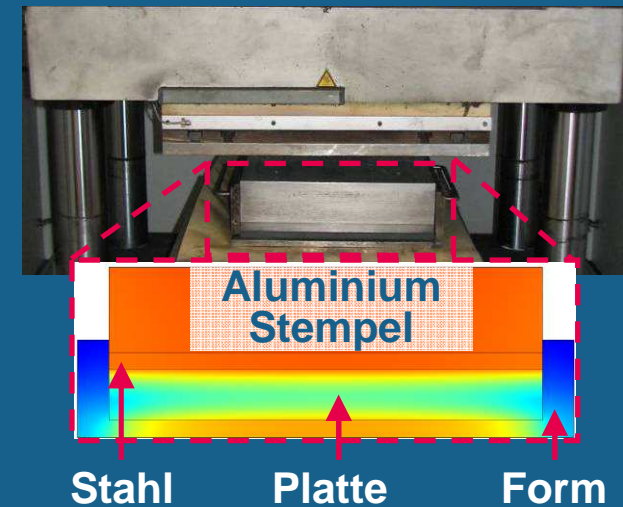
- SiC Vorstufe: Faserverbundplatten (gemahlene Faser und Harz)

### *Fragestellung*

- Ausschuss z.B. durch entbinderndes Harz oder Verformung der Platten
- → Bottleneck für dicke Platten
- Thermisches Modell der Presse
- Kinetisches Modell der Härtingsreaktion

### *Ergebnisse*

- Optimierung der Heizprogramme:
  - Reduktion der Prozesszeit um 25%
  - Reduktion der Dichtestreueung um 20%
- Auslegung von sicheren und effizienten Heizprogrammen, z.B. für dickere Platten



Reaktionsmodell Sim./Exp.

# Modellierungsbeispiele bei SGL

## CSiC Bremsscheiben – Anwendungsmodell

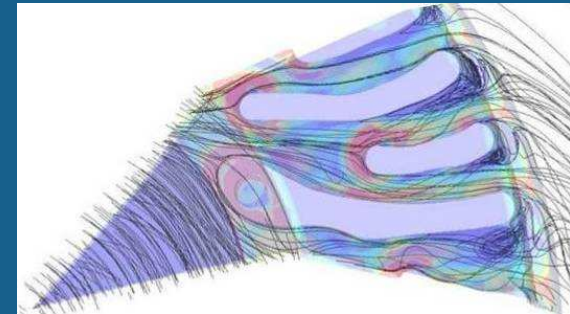
- **Brembo-SGL: Bremsscheiben aus faserverstärkter Keramik (CSiC)**

### *Fragestellung*

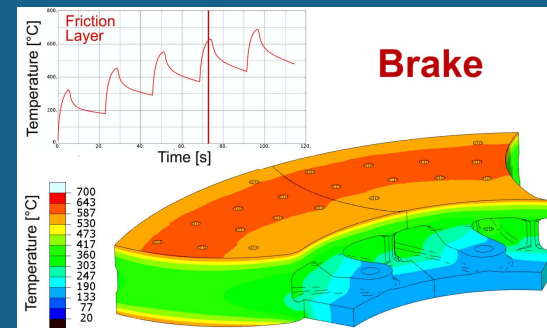
- Reibungswärme beim Bremsvorgang
- Wärmetransfer durch Leitung, Strömung in Kühlkanälen und Strahlung
- Thermo-Mechanik der Bremsscheibe

### *Ergebnisse*

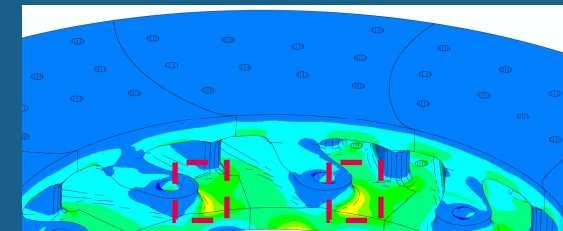
- Vorhersage und lokale Optimierung der Kühlleistung durch die Kanalgeometrie
- Analyse der thermischen Belastung bei zyklischen Bremsversuchen
- Optimierung des Designs hinsichtlich thermo-mechanischer Robustheit



Wärmeübergang in Kühlkanälen



Zyklische Bremstests

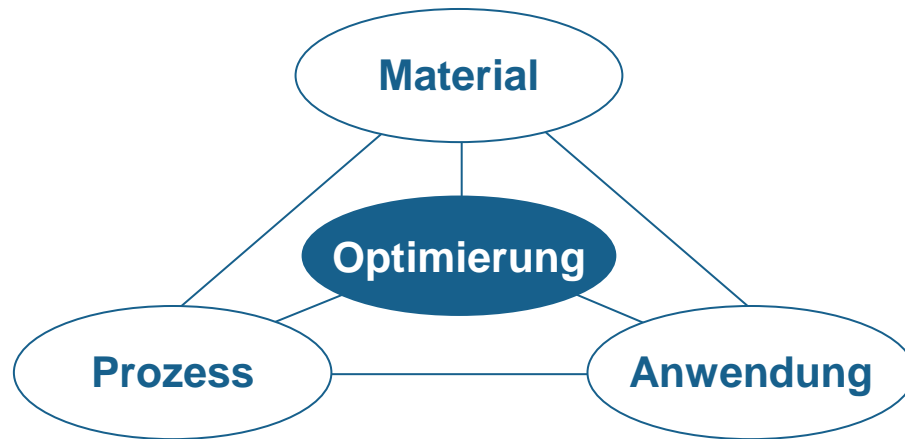


Thermomechanik



# Zusammenfassung und Ausblick

- Synergien in der Modellierung und Erweiterung der Methoden:



- Ganzheitliche Modellierung von Material, Prozess und Anwendung erschließt das gesamte Potential einer Idee
- SGL bietet die wichtigen Fertigungsstufen in-house
  - Optimierungsmöglichkeiten von C-Faser, Schlichte und Harz bis zum Produktdesign
  - Die beste Lösung aus einer Hand

