

# FASERUMORIENTIERUNG IN DER CFK- VERZUGSSIMULATION.

BERÜCKSICHTIGUNG DER UMFORMBEDINGTEN FASER-REORIENTIERUNG BEI  
DER VERZUGSSIMULATION VON CFK-BAUTEILEN.



C. Amann, C. Liebold, S. Kreissl, H. Grass, J. Meinhardt, M. Merklein.

11.10.2016

**BMW  
GROUP**



Rolls-Royce  
Motor Cars Limited

# GLIEDERUNG.

- Einleitung.
- Prozesssimulation Nasspressen.
  - Drapierung.
  - Verzug.
  - Mapping.
- Einfluss der Faserumorientierung am Beispiel eines Versuchsbauteils.
- Zusammenfassung und Ausblick.

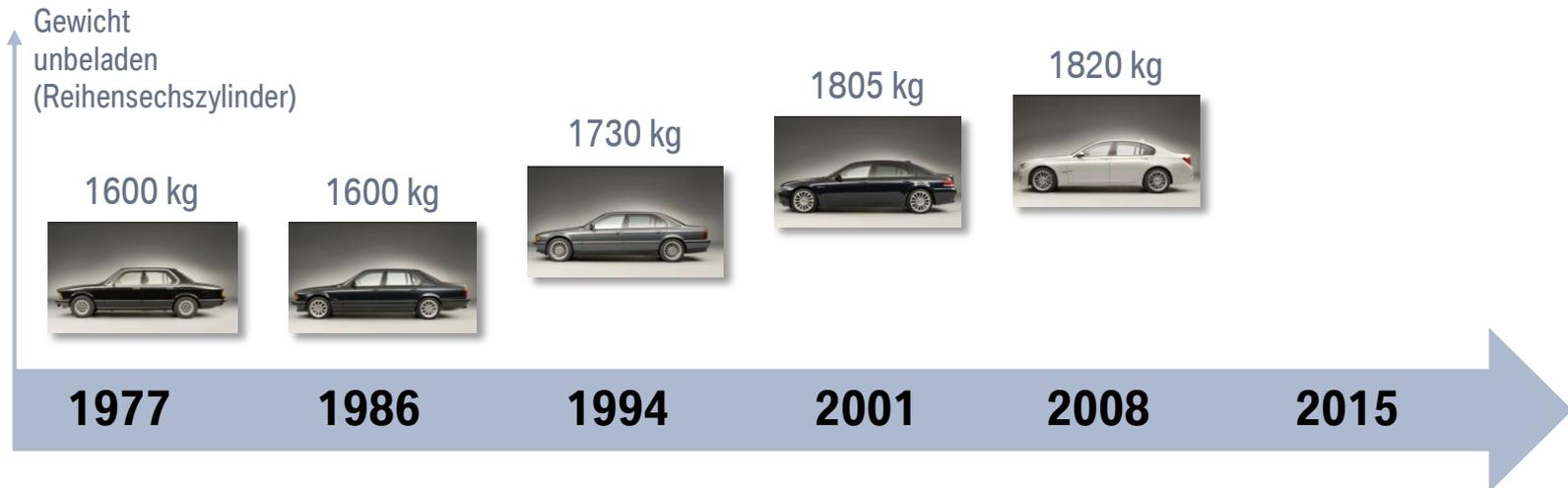
# GLIEDERUNG.

- **Einleitung.**
- Prozesssimulation Nasspressen.
  - Drapierung.
  - Verzug.
  - Mapping.
- Einfluss der Faserumorientierung am Beispiel eines Versuchsbauteils.
- Zusammenfassung und Ausblick.

# EINLEITUNG. ENTWICKLUNG FAHRZEUGGEWICHT.

Zeitliche Entwicklung Fahrzeuggewicht am Beispiel der BMW 7er Reihe:

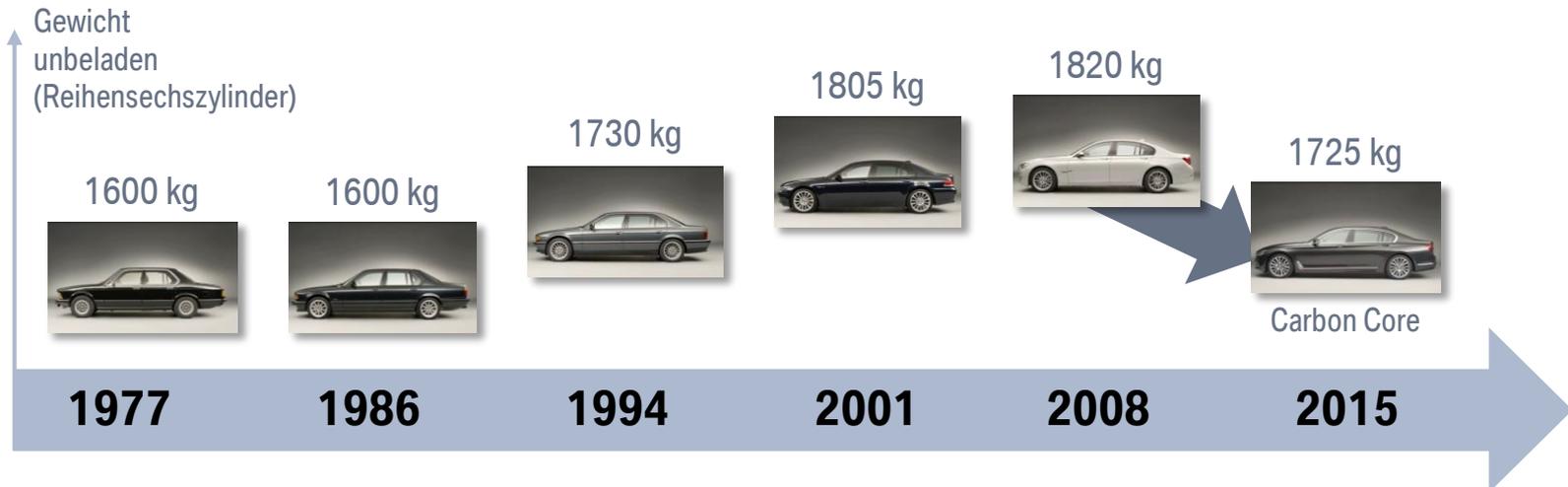
- Gewichtszuwachs durch erhöhte Anforderungen an aktive und passive Sicherheit sowie Komfort.



# EINLEITUNG. ENTWICKLUNG FAHRZEUGGEWICHT.

Zeitliche Entwicklung Fahrzeuggewicht am Beispiel der BMW 7er Reihe:

- Gewichtszuwachs durch erhöhte Anforderungen an aktive und passive Sicherheit sowie Komfort.



- Leichtbau als Kompensation für Gewichtszunahme im Automobilbau.
- Ziele: Verringerung der Schadstoff-Emissionen, Verbesserung der Fahrdynamik, etc.
- Einsatz von kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffen (CFK) mit vorteilhaften Eigenschaften wie z.B. hoher spezifischer Festigkeit  $R_m / \rho$ .

# EINLEITUNG. NASSPRESSVERFAHREN.

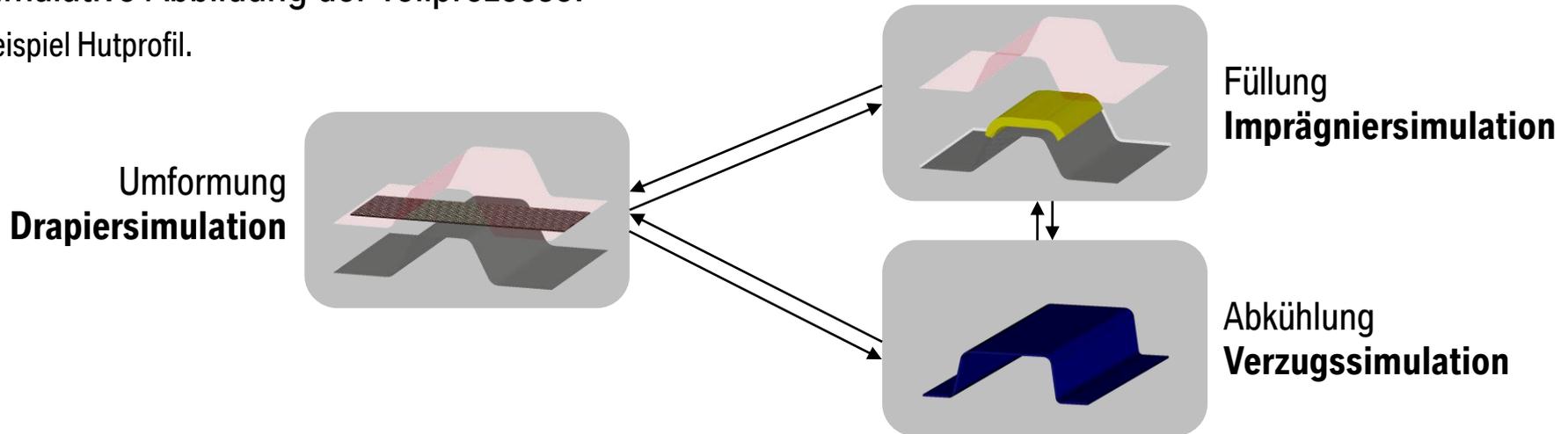


# EINLEITUNG. NASSPRESSVERFAHREN – PROZESSSIMULATION.



Simulative Abbildung der Teilprozesse:

Beispiel Hutprofil.



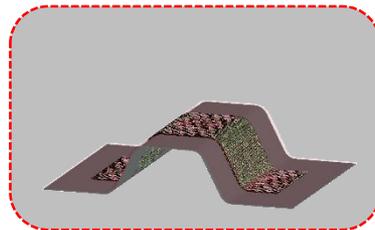
# EINLEITUNG. NASSPRESSVERFAHREN – PROZESSSIMULATION.



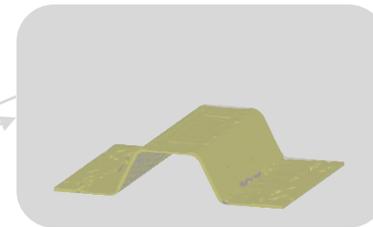
Simulative Abbildung der Teilprozesse:

Beispiel Hutprofil.

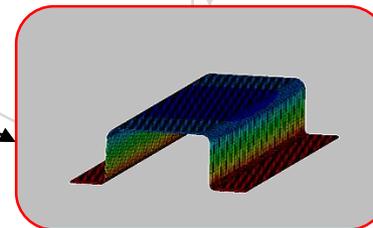
Umformung  
**Drapiersimulation**



Faserumorientierung



Füllung  
Imprägniersimulation

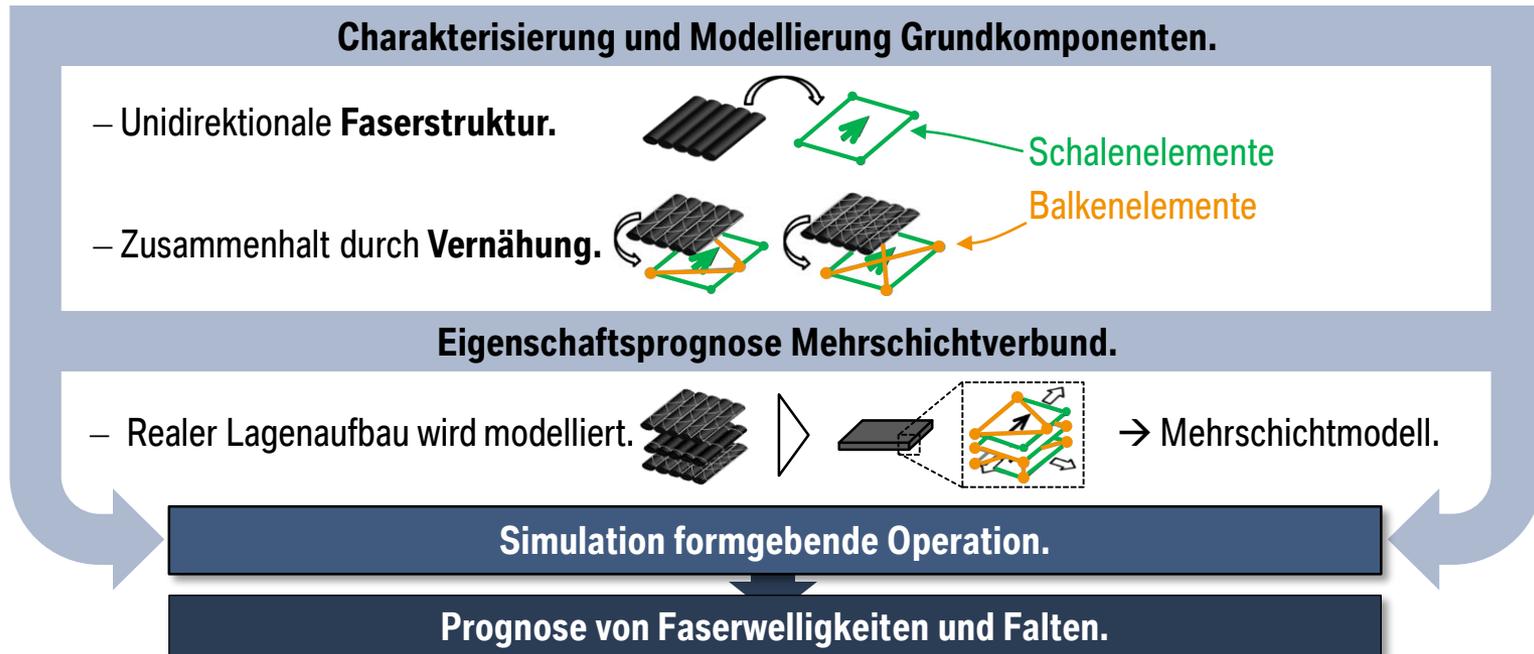


Abkühlung  
**Verzugssimulation**

# GLIEDERUNG.

- Einleitung.
- **Prozesssimulation Nasspressen.**
  - **Drapierung.**
  - Verzug.
  - Mapping.
- Einfluss der Faserumorientierung am Beispiel eines Versuchsbauteils.
- Zusammenfassung und Ausblick.

# PROZESSSIMULATION NASSPRESSEN. DRAPIERSIMULATION\*.



\*Senner, T.; Kreissl, S.; Merklein, M.; Meinhardt, J.; Lipp, A.: A modular modeling approach for describing the in-plane forming behavior of unidirectional non-crimp-fabrics, Production Engineering 8/2014 (5), S. 635-643.

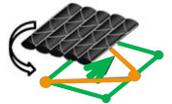
# PROZESSSIMULATION NASSPRESSEN. DRAPIERSIMULATION.

## Charakterisierung und Modellierung Grundkomponenten.

– Unidirektionale **Faserstruktur**.

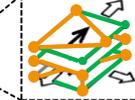
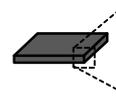


– Zusammenhalt durch **Vernähung**.



## Eigenschaftsprognose Mehrschichtverbund.

– Realer Lagenaufbau wird modelliert.



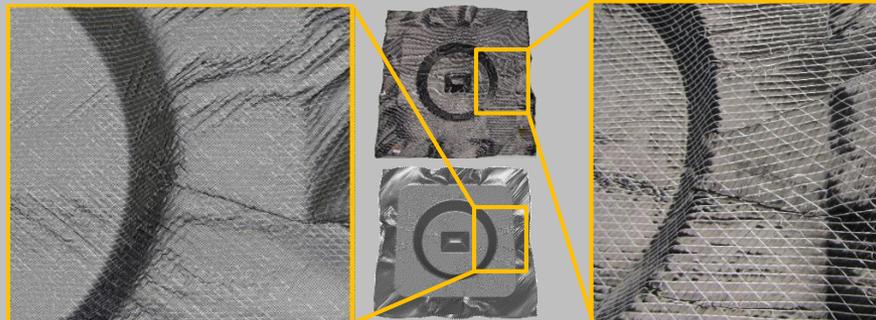
→ Mehrschichtmodell.

## Simulation formgebende Operation.

## Prognose von Faserwelligkeiten und Falten.

Validierung

**Simulation.**  
(dargestellt ohne  
Werkzeugoberteil)



**Experiment.**  
(nach Entnahme  
aus Werkzeug)

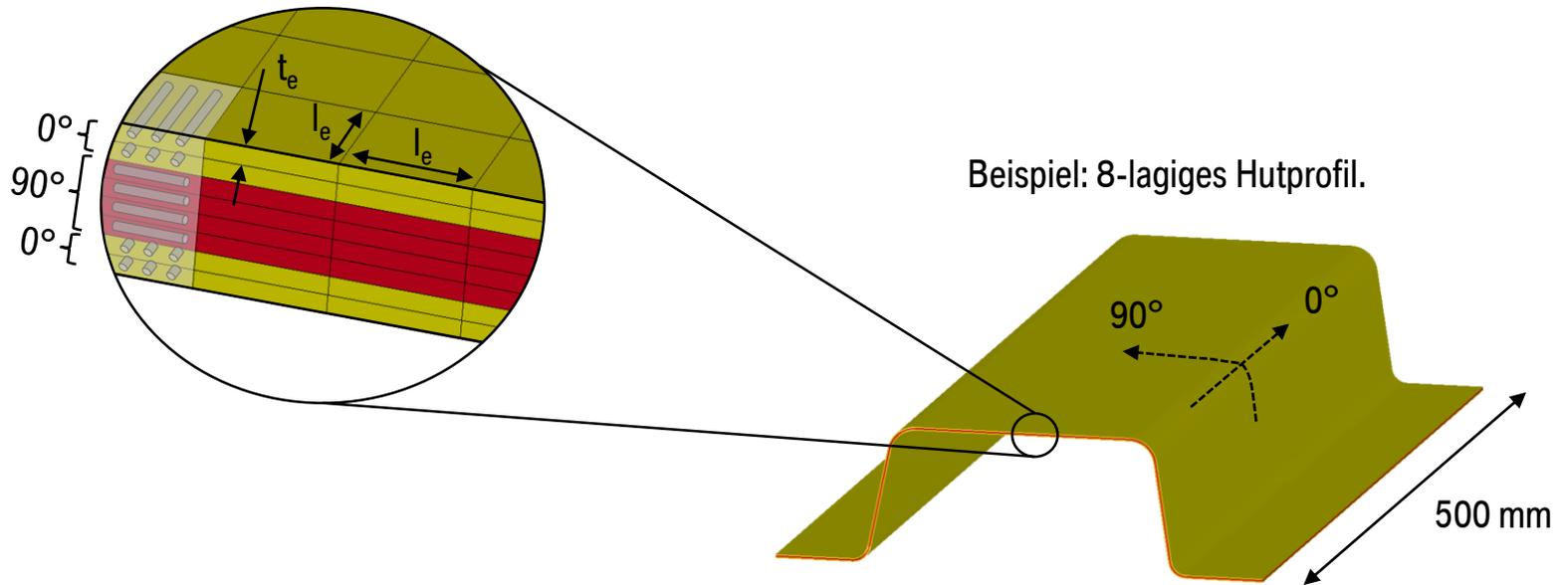
# GLIEDERUNG.

- Einleitung.
- **Prozesssimulation Nasspressen.**
  - Drapierung.
  - **Verzug.**
  - Mapping.
- Einfluss der Faserumorientierung am Beispiel eines Versuchsbauteils.
- Zusammenfassung und Ausblick.

# PROZESSSIMULATION NASSPRESSEN. VERZUGSSIMULATION – DISKRETISIERUNG.

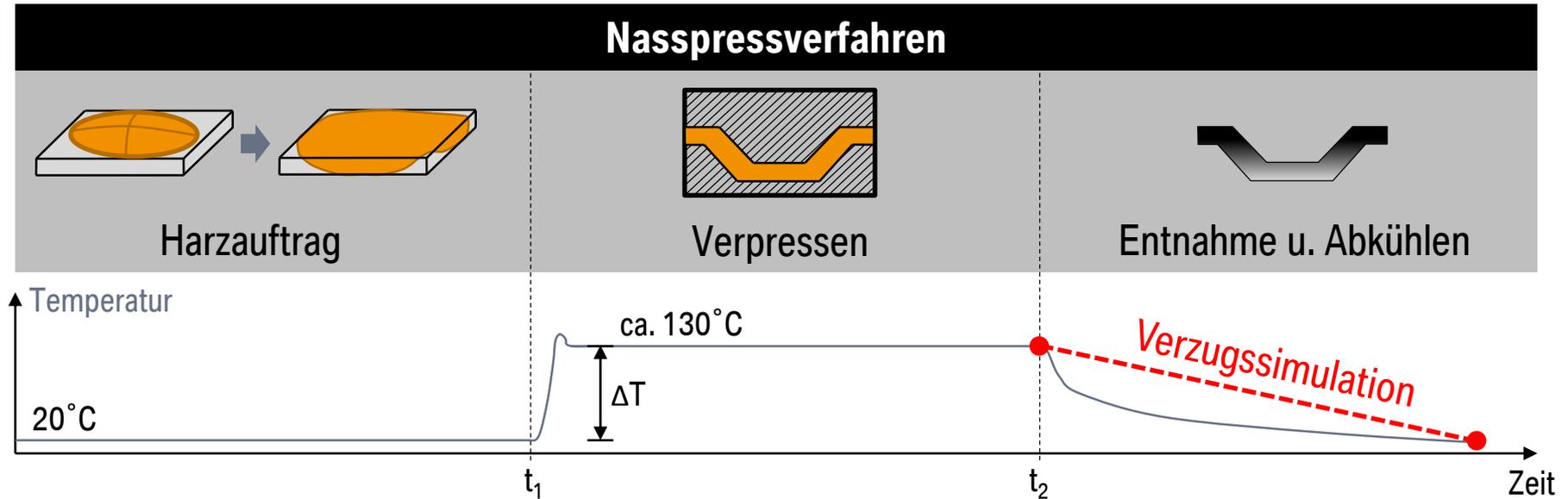
## Diskretisierungsstrategie\* bei der Verzugsimulation:

- Elementtyp: **Solid** (Typ -2).
  - Elementaspektverhältnis  $l_e/t_e < 6$ .
  - Anzahl Elemente über Radius in Umfangsrichtung  $> 7$ .
  - Eine Elementlage pro CFK-Schicht.
- } Elementkantenlänge  $l_e < 2,5$  mm (bei dieser Geometrie).



\*Amann, C.; Kreissl, S.; Grass, H.; Meinhardt, J.; Merklein, M.: Industrial Distortion Simulation of Fibre Reinforced Plastics – A Study on Finite Element Discretisation, In: Advanced Materials Research 1140 (WGP Congress 2016), S. 272-279.

# PROZESSSIMULATION NASSPRESSEN. VERZUGSSIMULATION – ANNAHMEN.



## Annahmen für die Verzugssimulation:

- Startpunkt der Simulation = Zeitpunkt  $t_2$  der Entnahme aus dem beheizten Werkzeug.
- Abkühlung  $\Delta T$  von Werkzeug- auf Raumtemperatur auf jeden Knoten des Modells aufgeprägt.
- Linear elastisches und transversal-isotropes Materialverhalten (Harz vollständig ausgehärtet).
- Chemischen Schrumpf über modifizierten Wärmeausdehnungskoeffizienten berücksichtigt.

# GLIEDERUNG.

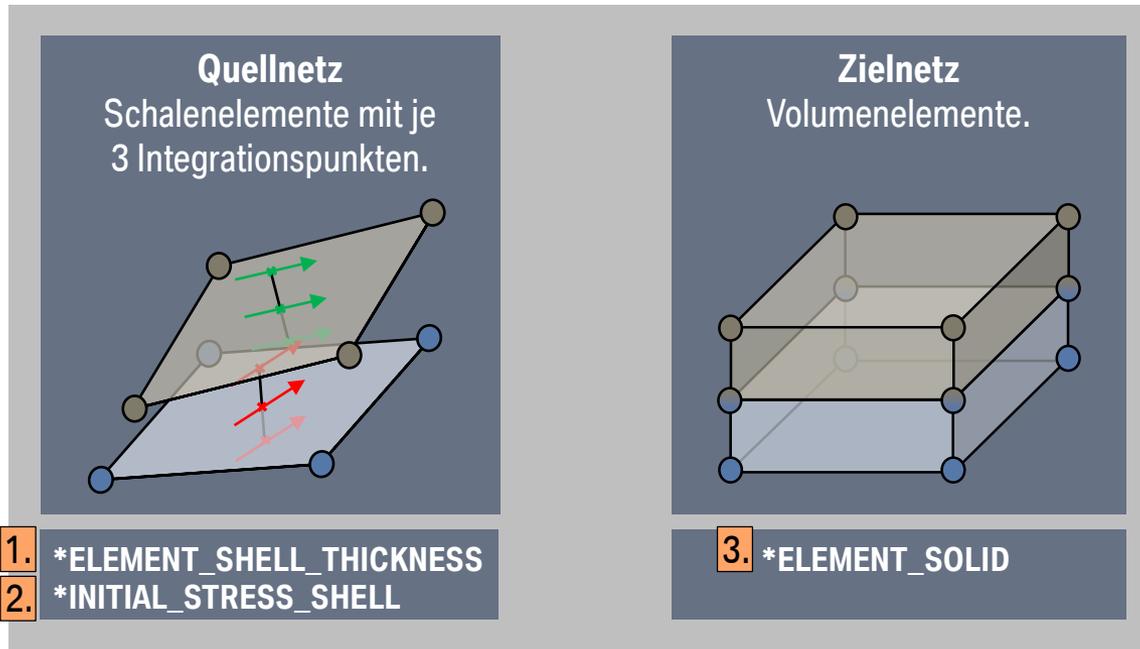
- Einleitung.
- **Prozesssimulation Nasspressen.**
  - Drapierung.
  - Verzug.
  - **Mapping.**
- Einfluss der Faserumorientierung am Beispiel eines Versuchsbauteils.
- Zusammenfassung und Ausblick.

# PROZESSSIMULATION NASSPRESSEN. MAPPING.

## 3 Input-Dateien für Envyo®:

1. Datei mit **Quellnetz**.
2. Datei mit History-Variablen des Quellnetzes (enthält Faserorientierungen).
3. Datei mit **Zielnetz**.

Bedingung: Quell- und Zielnetz ausgerichtet (notfalls Best-Fit vor dem Mapping).

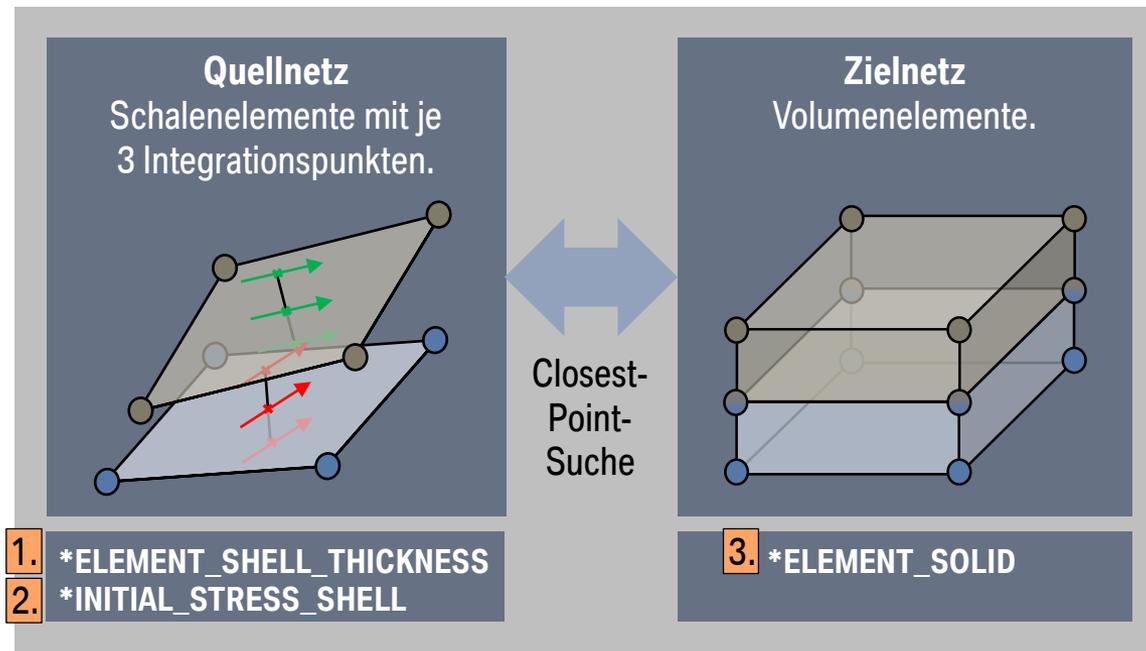


# PROZESSSIMULATION NASSPRESSEN. MAPPING.

## 3 Input-Dateien für Envyo®:

1. Datei mit **Quellnetz**.
2. Datei mit History-Variablen des Quellnetzes (enthält Faserorientierungen).
3. Datei mit **Zielnetz**.

Bedingung: Quell- und Zielnetz ausgerichtet (notfalls Best-Fit vor dem Mapping).

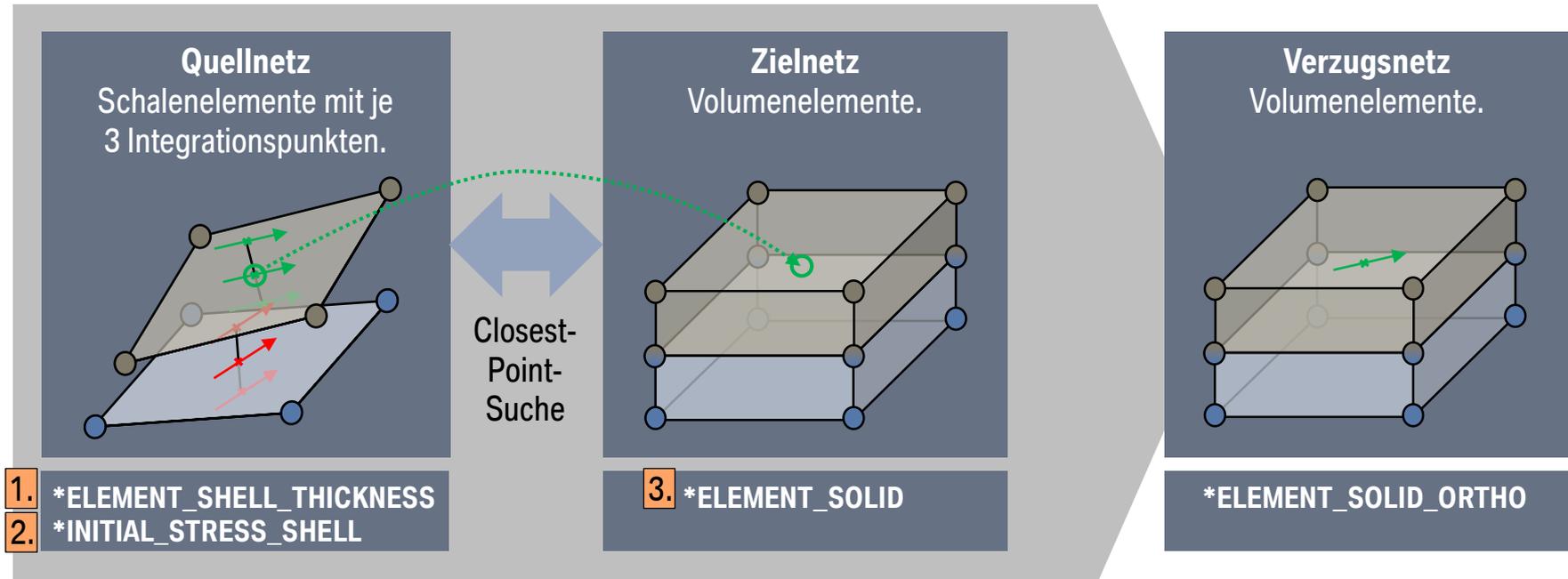


# PROZESSSIMULATION NASSPRESSEN. MAPPING.

## 3 Input-Dateien für Envyo®:

1. Datei mit **Quellnetz**.
2. Datei mit History-Variablen des Quellnetzes (enthält Faserorientierungen).
3. Datei mit **Zielnetz**.

Bedingung: Quell- und Zielnetz ausgerichtet (notfalls Best-Fit vor dem Mapping).

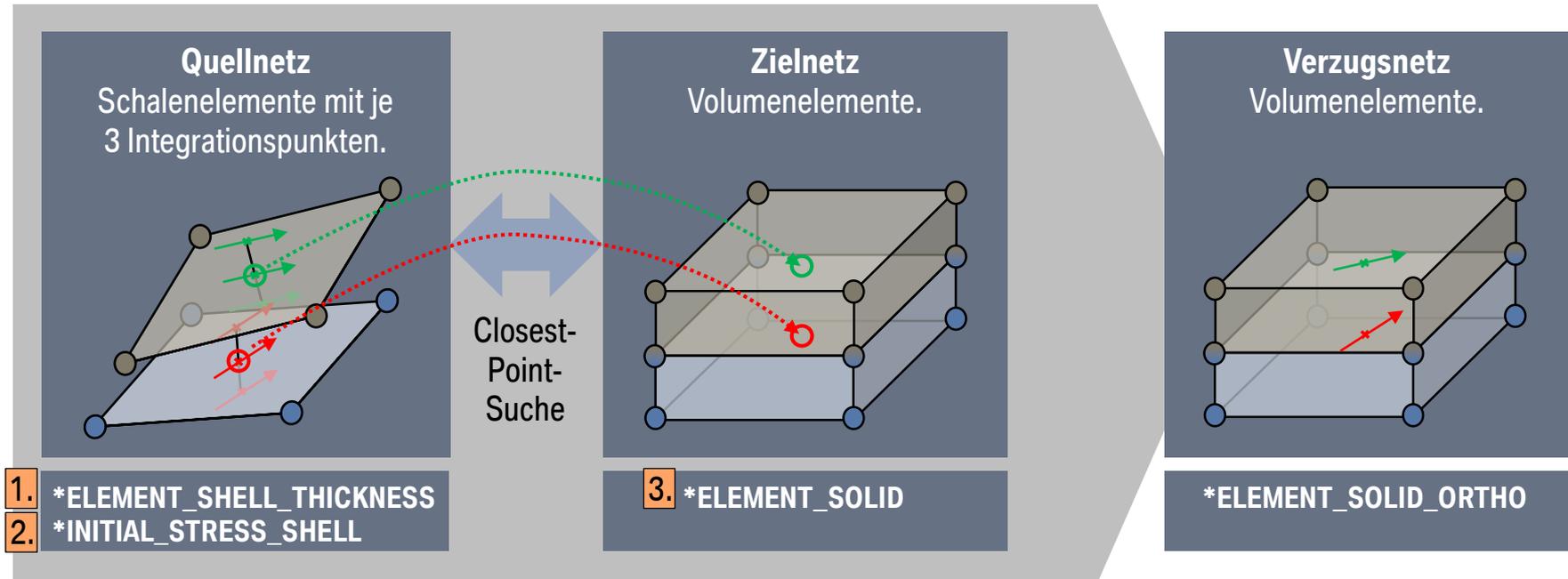


# PROZESSSIMULATION NASSPRESSEN. MAPPING.

## 3 Input-Dateien für Envyo®:

1. Datei mit **Quellnetz**.
2. Datei mit History-Variablen des Quellnetzes (enthält Faserorientierungen).
3. Datei mit **Zielnetz**.

Bedingung: Quell- und Zielnetz ausgerichtet (notfalls Best-Fit vor dem Mapping).



# GLIEDERUNG.

- Einleitung.
- Prozesssimulation Nasspressen.
  - Drapierung.
  - Verzug.
  - Mapping.
- **Einfluss der Faserumorientierung am Beispiel eines Versuchsbauteils.**
- Zusammenfassung und Ausblick.

# EINFLUSS DER FASERUMORIENTIERUNG AM BEISPIEL EINES VERSUCHSBAUTEILS.

Einsatz des Mappers erleichtert die Definition der Faserorientierung im Preprocessing, Voraussetzung: Existenz einer Drapiersimulation.

## Method A: konventionell.

- Information der Faserorientierung muss für jede CFK-Schicht definiert werden (BETA).
- AOPT = 2.0 oder 3.0  
→ zusätzliche Definition eines oder mehrerer Hilfsvektoren notwendig.
- Für geometrisch anspruchsvolle Bauteile evtl. Partitionierung erforderlich.  
→ hoher zeitlicher Aufwand.

➔ **Eingabe von 5-8 Parametern pro CFK-Schicht.**

\*MAT\_ORTHOTROPIC\_THERMAL\_{OPTION}

This is Material Type 21. A linearly elastic, orthotropic material with orthotropic thermal expansion.

## Materialkarte MAT\_21.

Card 1	1	2	3	4	5	6	7	8
Variable	MID	R0	EA	EB	EC	PRBA	PRCA	PRCB
Type	A8	F	F	F	F	F	F	F

Card 2	1	2	3	4	5	6	7	8
Variable	GAB	GBC	GCA	AA	AB	AC	AOPT	MACF
Type	F	F	F	F	F	F	F	I

Card 3	1	2	3	4	5	6	7	8
Variable	XP	YP	ZP	A1	A2	A3		
Type	F	F	F	F	F	F		

Card 4	1	2	3	4	5	6	7	8
Variable	V1	V2	V3	D1	D2	D3	BETA	REF
Type	F	F	F	F	F	F	F	

## Method B: mit Envyo®.

- Information der Faserorientierung in Element gespeichert.
- AOPT = 0.0  
→ Materialkoordinatensystem an Elementkante ausgerichtet.

➔ **Eingabe von 1 Parameter.**



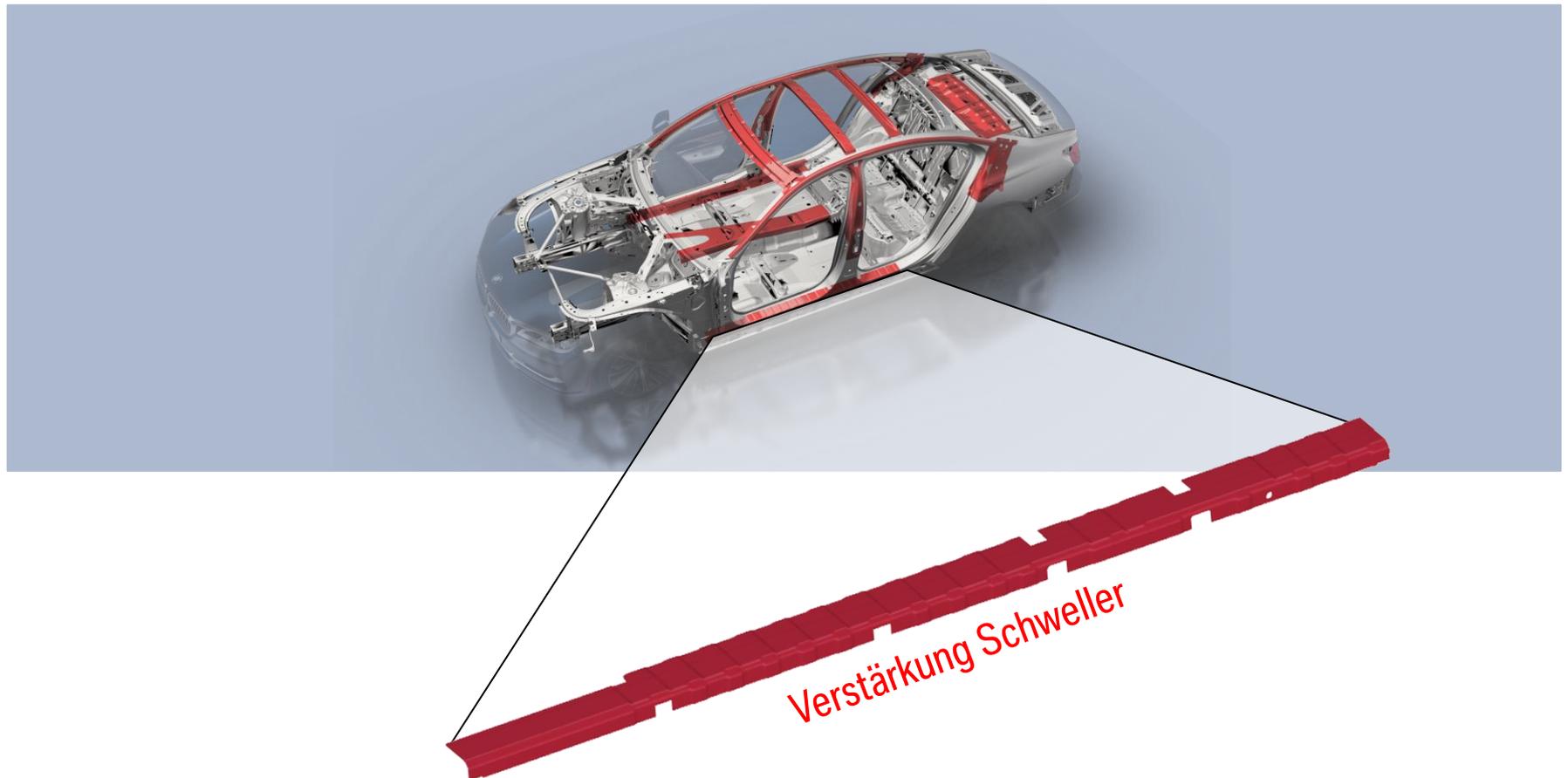
# EINFLUSS DER FASERUMORIENTIERUNG AM BEISPIEL EINES VERSUCHSBAUTEILS.

Aktueller BMW 7er:



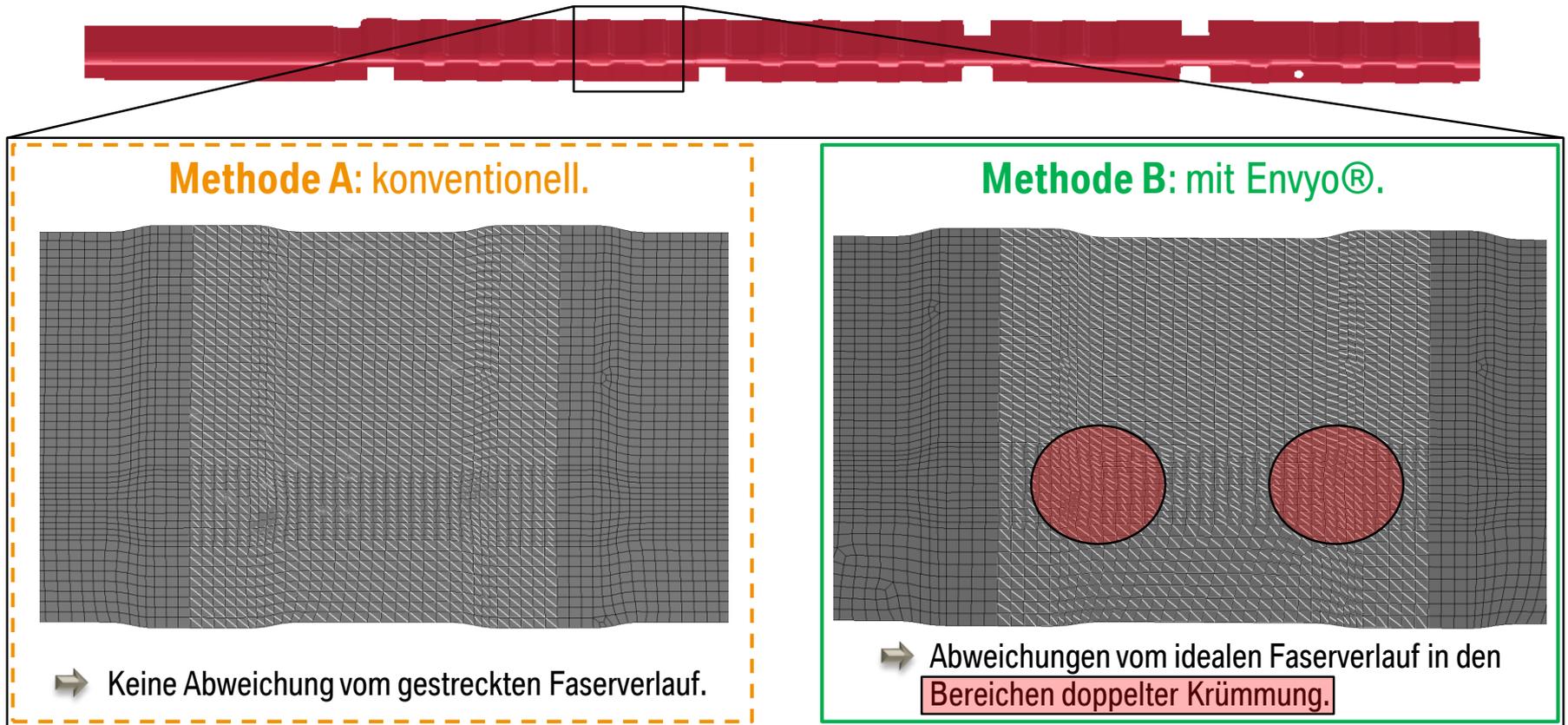
# EINFLUSS DER FASERUMORIENTIERUNG AM BEISPIEL EINES VERSUCHSBAUTEILS.

Aktueller BMW 7er: CFK-Bauteile („Carbon Core“).



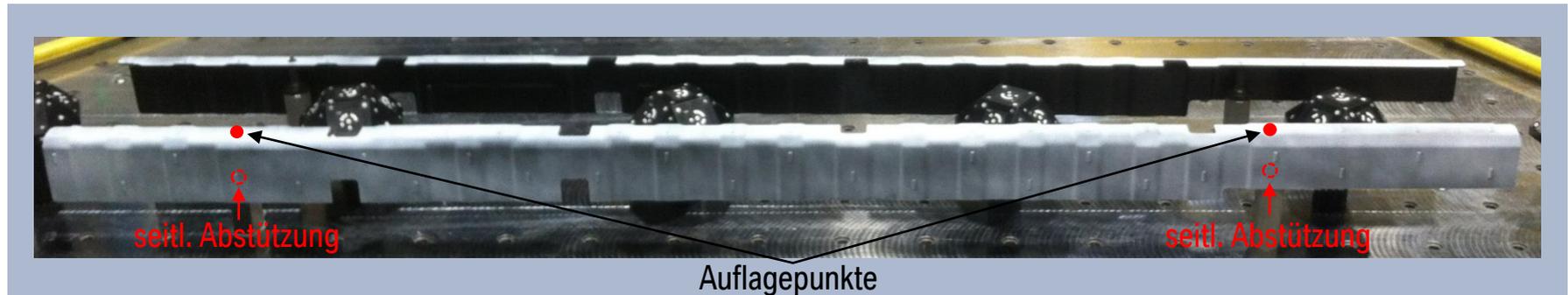
# EINFLUSS DER FASERUMORIENTIERUNG AM BEISPIEL EINES VERSUCHSBAUTEILS.

Faserorientierung (Visualisierung des Materialkoordinatensystems) bei Verwendung der konventionellen Projektionsmethoden und bei Verwendung von Envyo am Bspl. einer  $-45^\circ$ -Lage.

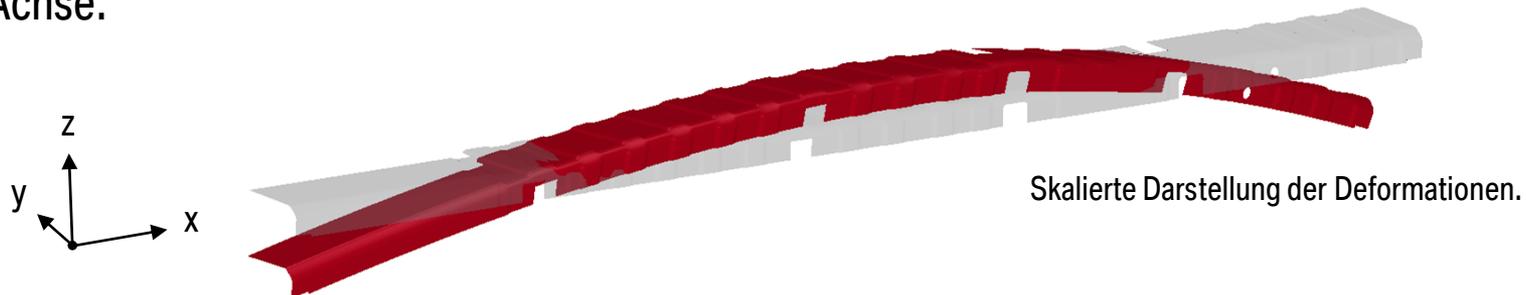


# EINFLUSS DER FASERUMORIENTIERUNG AM BEISPIEL EINES VERSUCHSBAUTEILS.

- Konzept der optischen Bauteilvermessung (GOM-Messung) nach erfolgter Versuchsabpressung der Verstärkung Schweller.
  - **Lagerung:** 2-Punkt-Auflage und seitliche Abstützung.
  - **Lagerbedingungen:** Ungespannter Zustand unter Einfluss der Schwerkraft.



- Dominanter Verzugmechanismus bei der Verstärkung Schweller ist eine **Biegung** um die y-Achse.

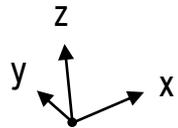
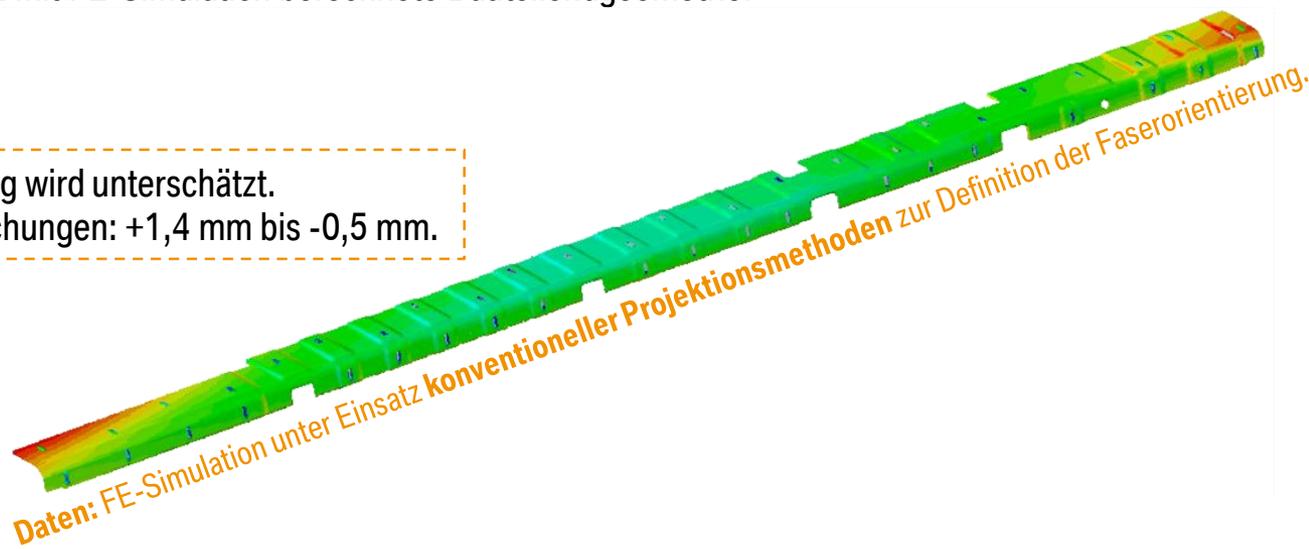


# EINFLUSS DER FASERUMORIENTIERUNG AM BEISPIEL EINES VERSUCHSBAUTEILS.

Abgleich optischer Messdaten zu simulativ ermittelter Bauteilendgeometrie.

- **Referenz:** optisch vermessenes Versuchsbauteil einer Tunnelverstärkung.
- **Daten:** mit FE-Simulation berechnete Bauteilendgeometrie.

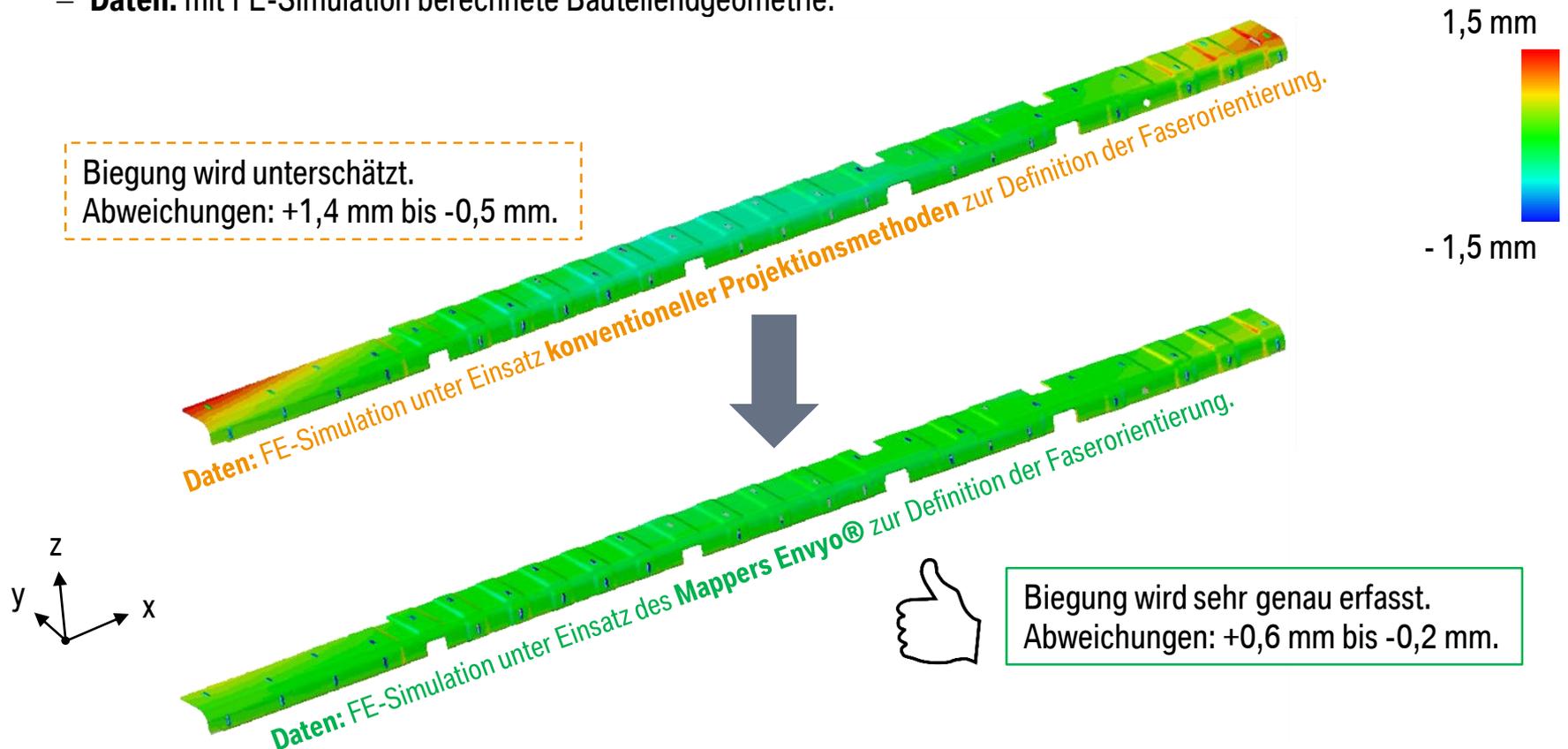
Biegung wird unterschätzt.  
Abweichungen: +1,4 mm bis -0,5 mm.



# EINFLUSS DER FASERUMORIENTIERUNG AM BEISPIEL EINES VERSUCHSBAUTEILS.

Abgleich optischer Messdaten zu simulativ ermittelter Bauteilendgeometrie.

- **Referenz:** optisch vermessenes Versuchsbauteil einer Tunnelverstärkung.
- **Daten:** mit FE-Simulation berechnete Bauteilendgeometrie.



# GLIEDERUNG.

- Einleitung.
- Prozesssimulation Nasspressen.
  - Drapierung.
  - Verzug.
  - Mapping.
- Einfluss der Faserumorientierung am Beispiel eines Versuchsbauteils.
- **Zusammenfassung und Ausblick.**

# ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK.

## – **Zusammenfassung:**

Der Einsatz des Mapping-Programms Envyo® bei der CFK-Verzugssimulation...

- ... erleichtert und verkürzt das Preprocessing, da Faserorientierung aus vorausgegangener Drapiersimulation übernommen wird.
- ... verbessert die Prognosegüte der FE-Verzugssimulation, was anhand eines Versuchsbauteils einer Schwellerverstärkung gezeigt werden konnte.

## – **Ausblick:**

- Berücksichtigung weiterer Einflussfaktoren auf den Verzug (z.B. Faservolumengehalt), um die Genauigkeit der Verzugssimulation weiter zu steigern.
- Untersuchung der Einflussgröße Faserumorientierung für weitere Geometrien.
- Verwendung des Mappers zur Übertragung von Informationen von Drapier- zu Imprägnier-simulation.

VIELEN DANK FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT.

