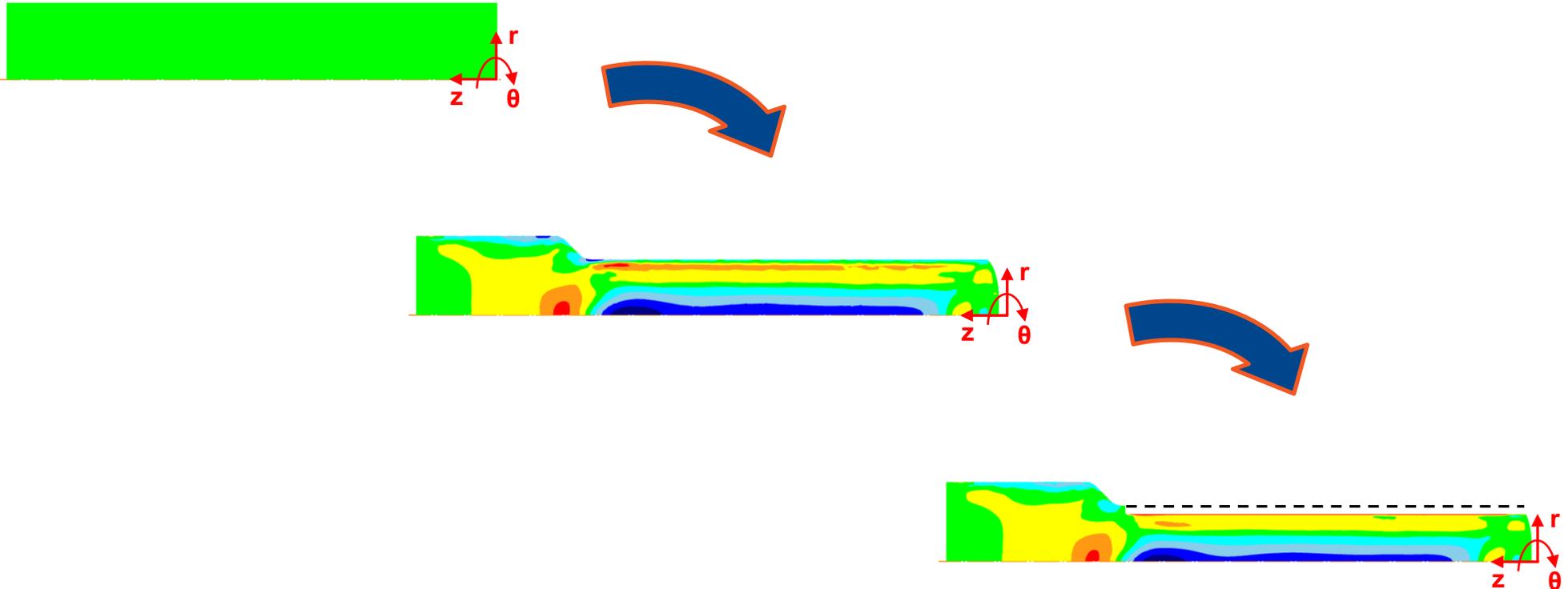


CAE-basierte Vorhersage von Bauteileigenschaften

Ziel → Numerische Methoden zur exakten Abbildung von Prozessketten (Kaltumformung, Zerspanung) und Bauteilprüfung (Struktursimulation) zur Ausnutzung von Bauteileigenschaften für neue Leichtbaupotentiale



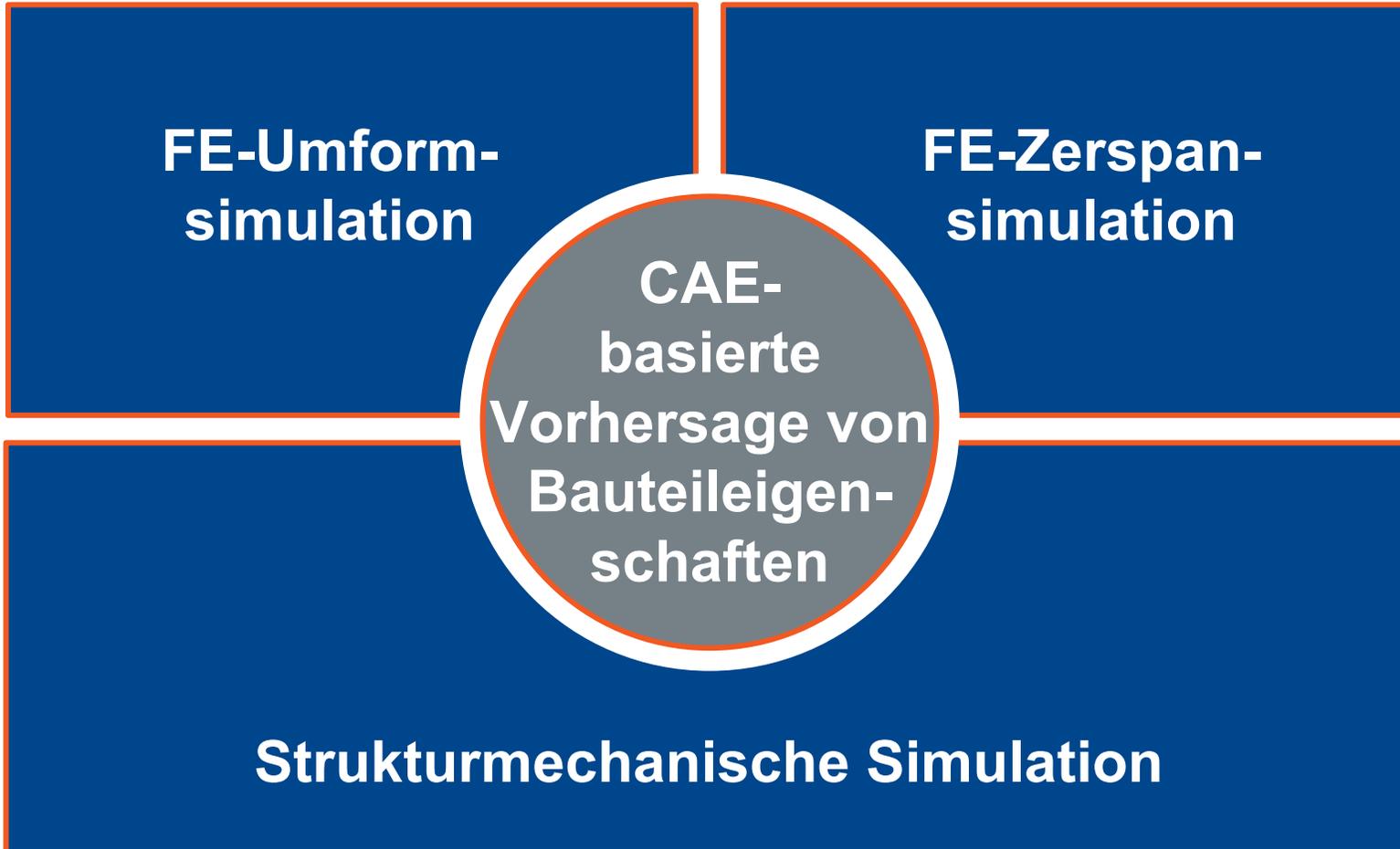
Forschungsinstitute

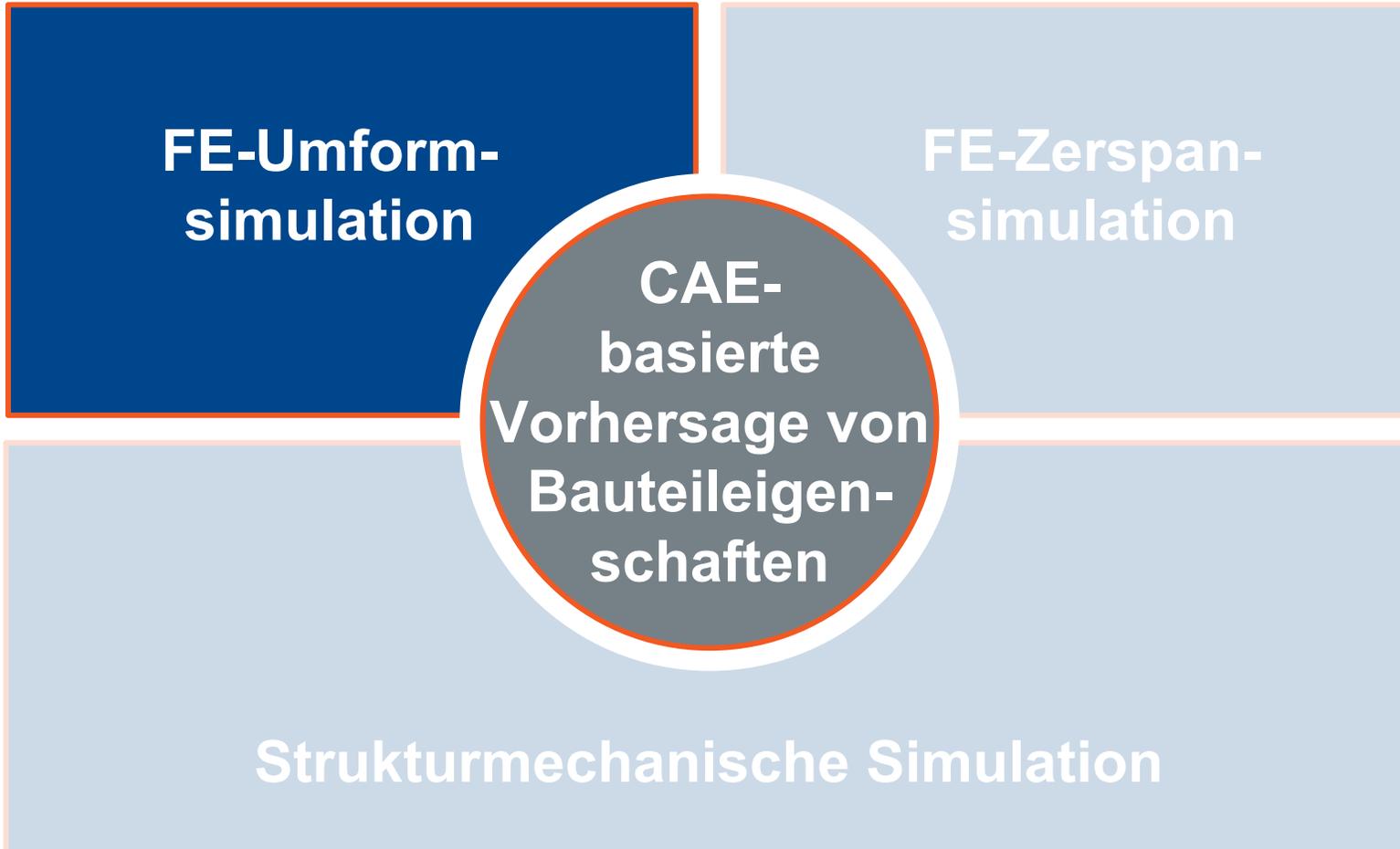


Forschungsvereinigungen



Im Folgenden werden Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt *Leichtbau durch gezielte Einstellung lokaler Bauteileigenschaften mit optimierten Umform- und Zerspanprozessen* (P 1057 / IGF-Nr. 18225 N) präsentiert.



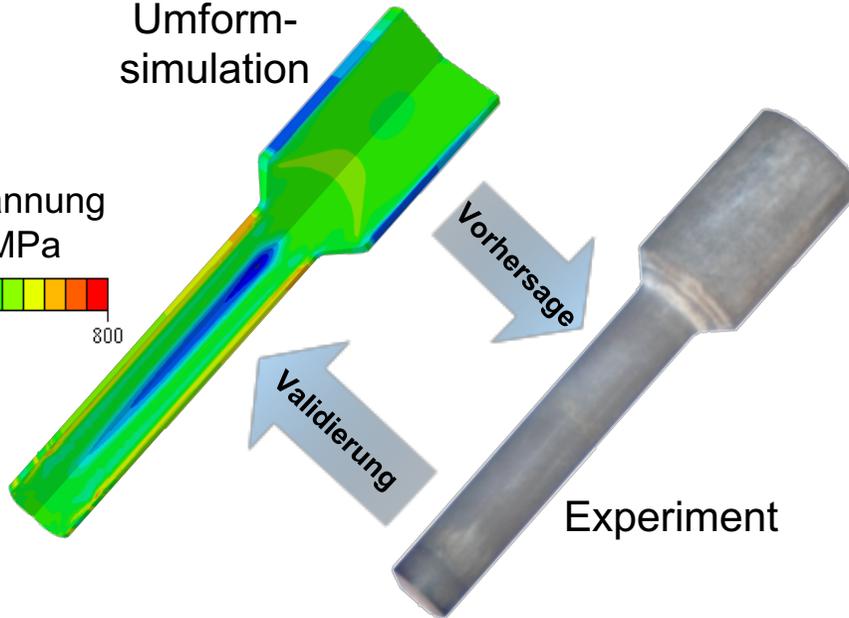
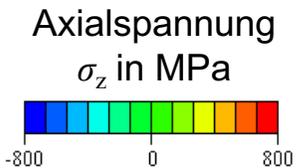


Lokale Bauteileigenschaften in FEM-Umformsimulationen

Vorteile der Kaltumformung

- Endkonturnahe Fertigung
- Kaltverfestigung
- Belastungsgerechter Faserverlauf

Umform-
simulation



FEM-basierte Bauteilauslegung (St. d. T.)

- Umformgeschichte wird nicht berücksichtigt (Mehrstufigkeit!)
- Werkstoffverhalten wird nur unzureichend genau abgebildet

Leichtbaupotentiale werden nicht ausgeschöpft

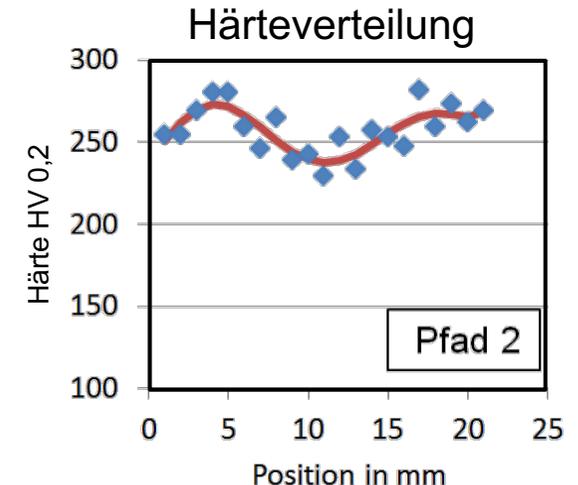
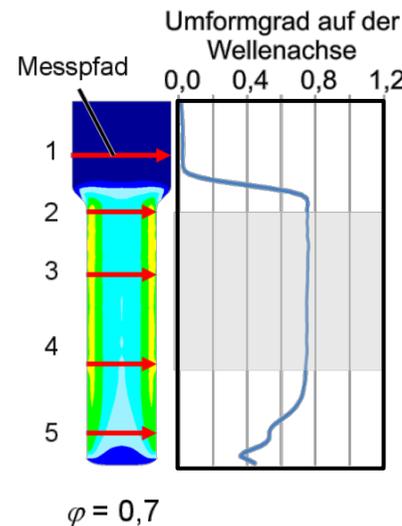
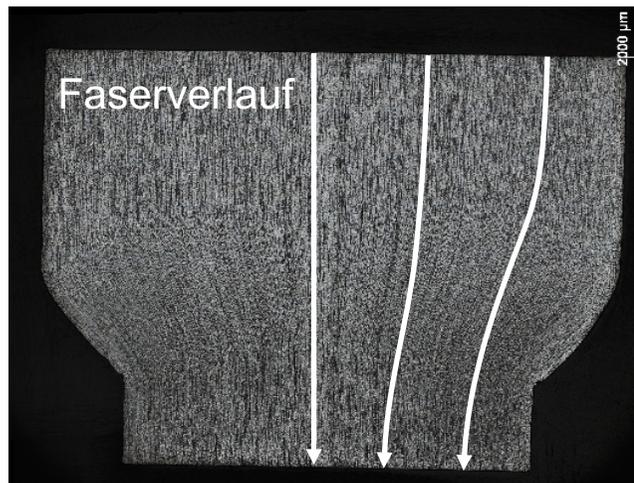
Experimentelle Untersuchungen

Versuche

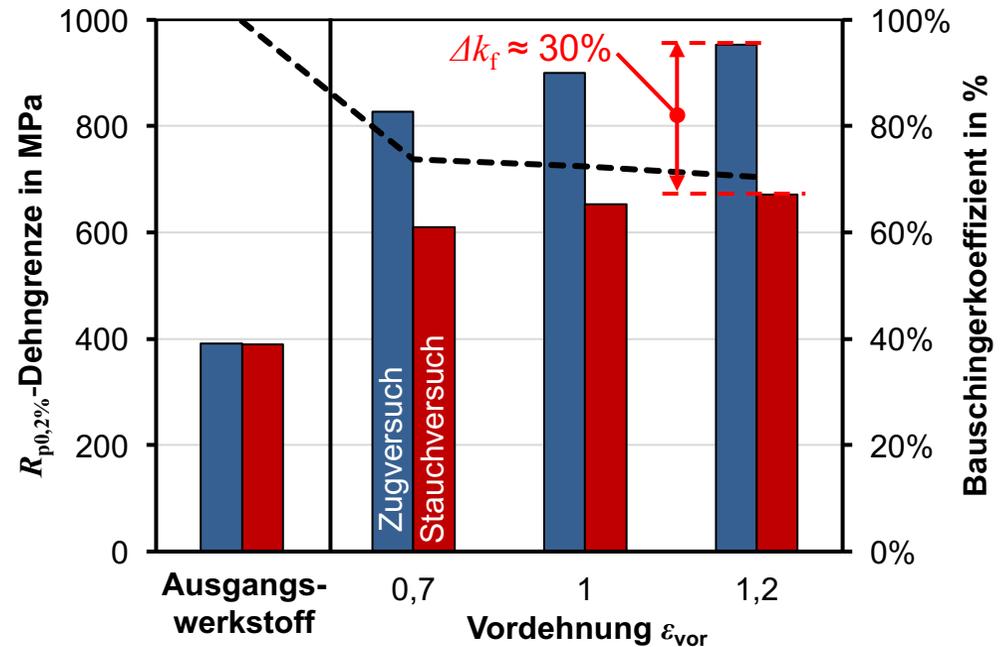
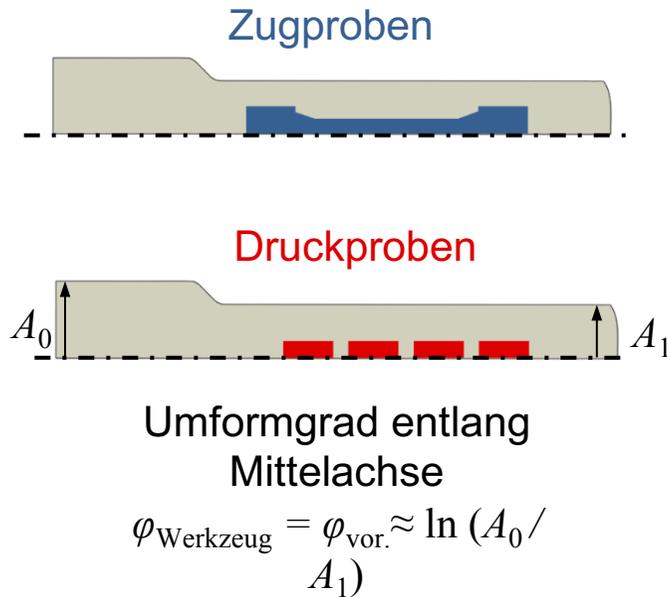
- Umformversuche (Voll-Vorwärts-Fließpressen)
- „Standard-Fließkurven“ (IFU)
- Reibwertermittlung durch Ringstauchversuche

Lokale Bauteileigenschaften

- Mikroskopie → Faserverlauf
- Eigenspannungsmessung (Bohrlochmethode)
- Marko-/Mikrohärtemessungen
- *Richtungsabhängige Festigkeit*



Einfluss kinematischer Verfestigung auf die Bauteilfestigkeit



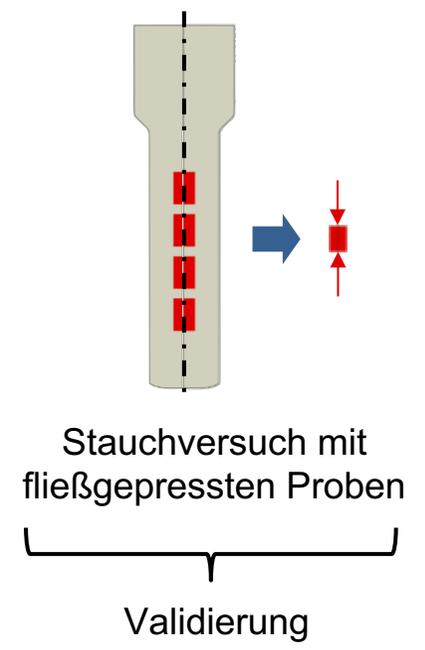
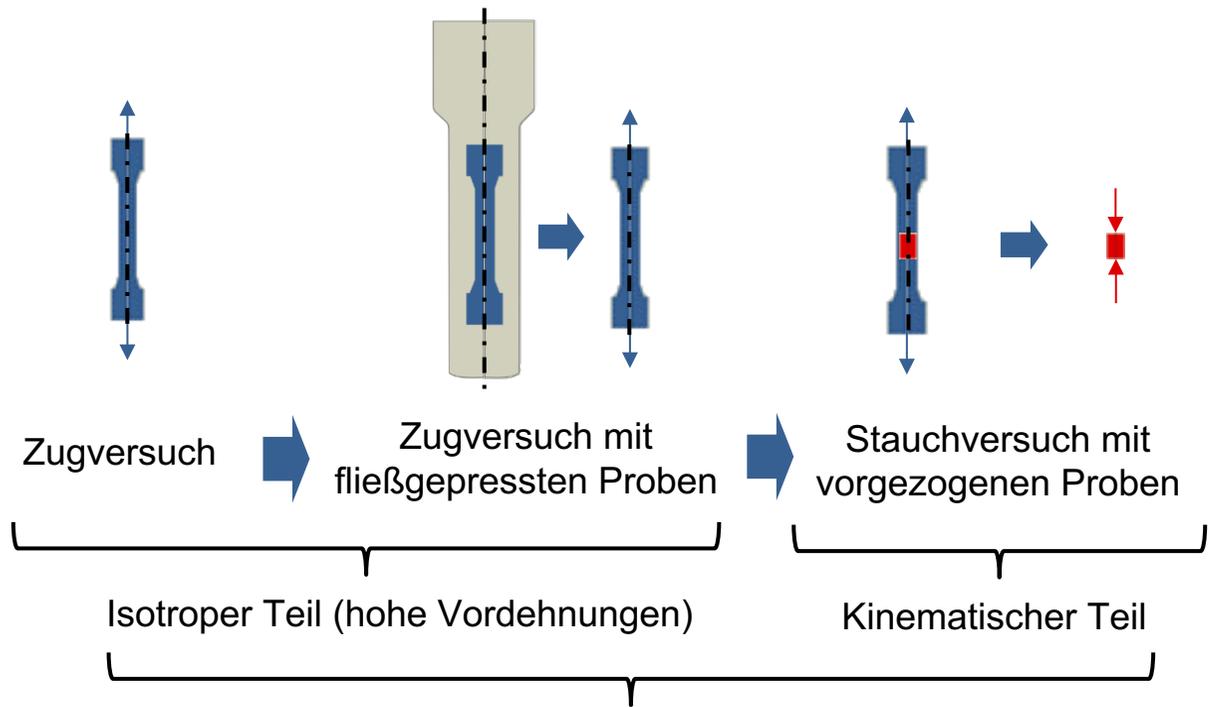
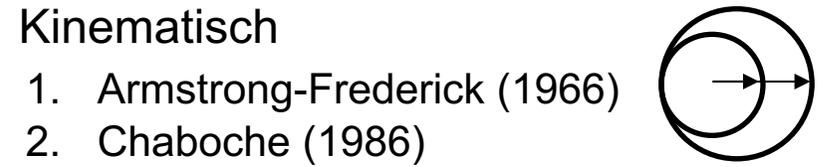
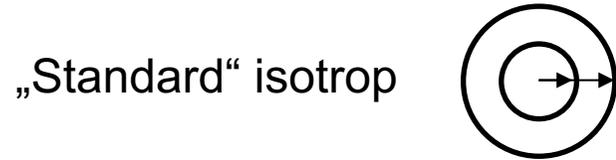
Beobachtung

Deutliche Richtungsabhängigkeit der Bauteilfestigkeit
→ Grund: Bauschinger effekt

Ziel

Verbesserte numerische Vorhersage der Bauteileigenschaften
durch Berücksichtigung kinematischer Verfestigung

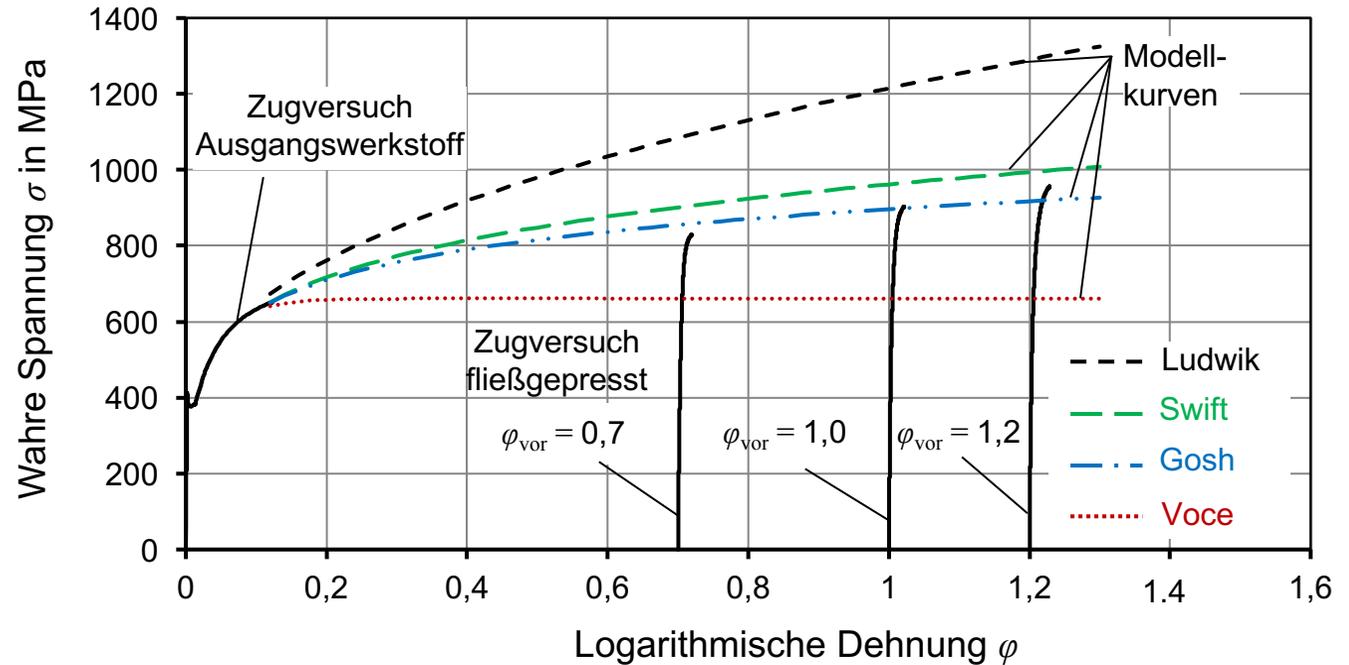
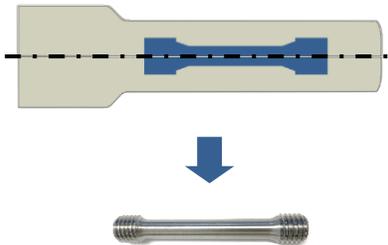
Verfestigungsmodelle und Parameterermittlung



Kombinierte (isotrop-kinematische) Verfestigung

Parameterermittlung für kombinierte Verfestigungsmodelle

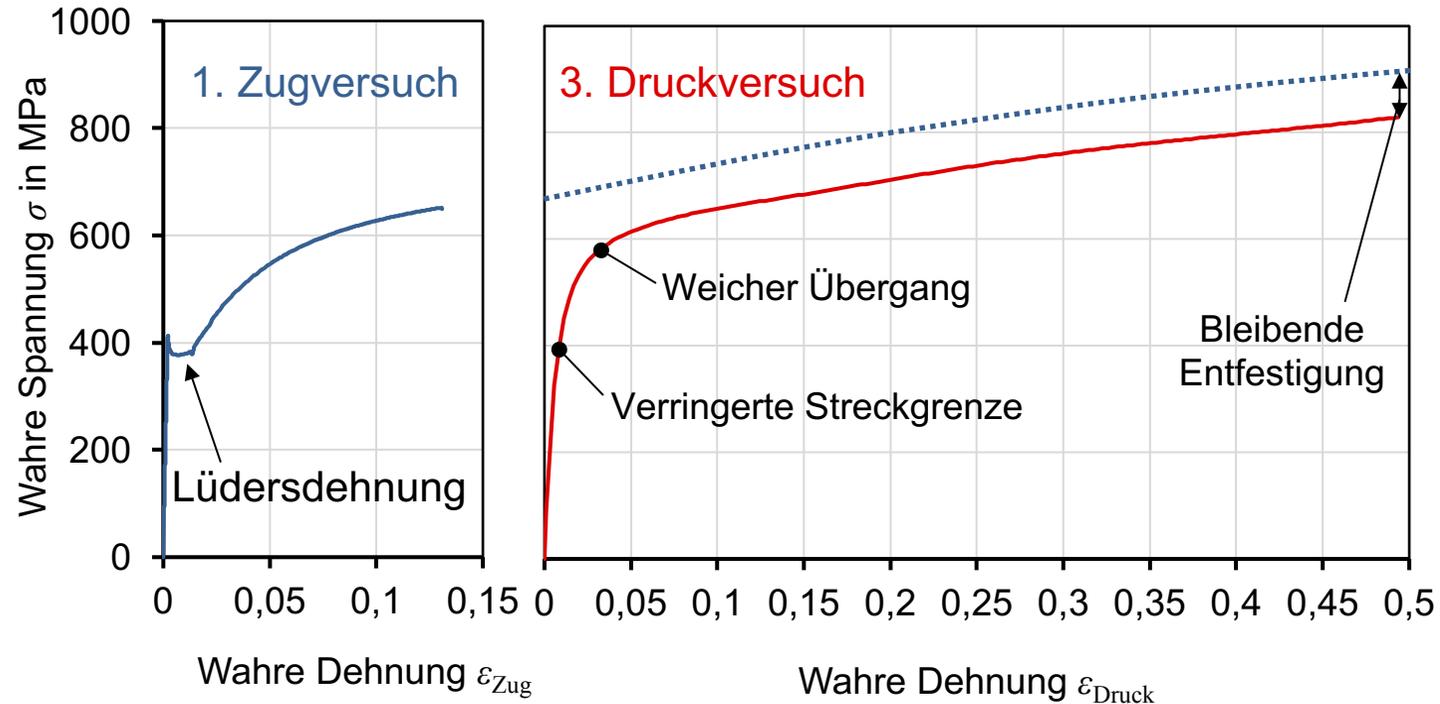
- Isotrope Verfestigung
 1. Zugversuche
 2. Zugversuche mit fließgepressten Proben
 3. Druckversuche



Parameterermittlung und gezielte Auswahl eines geeigneten Extrapolationsmodells

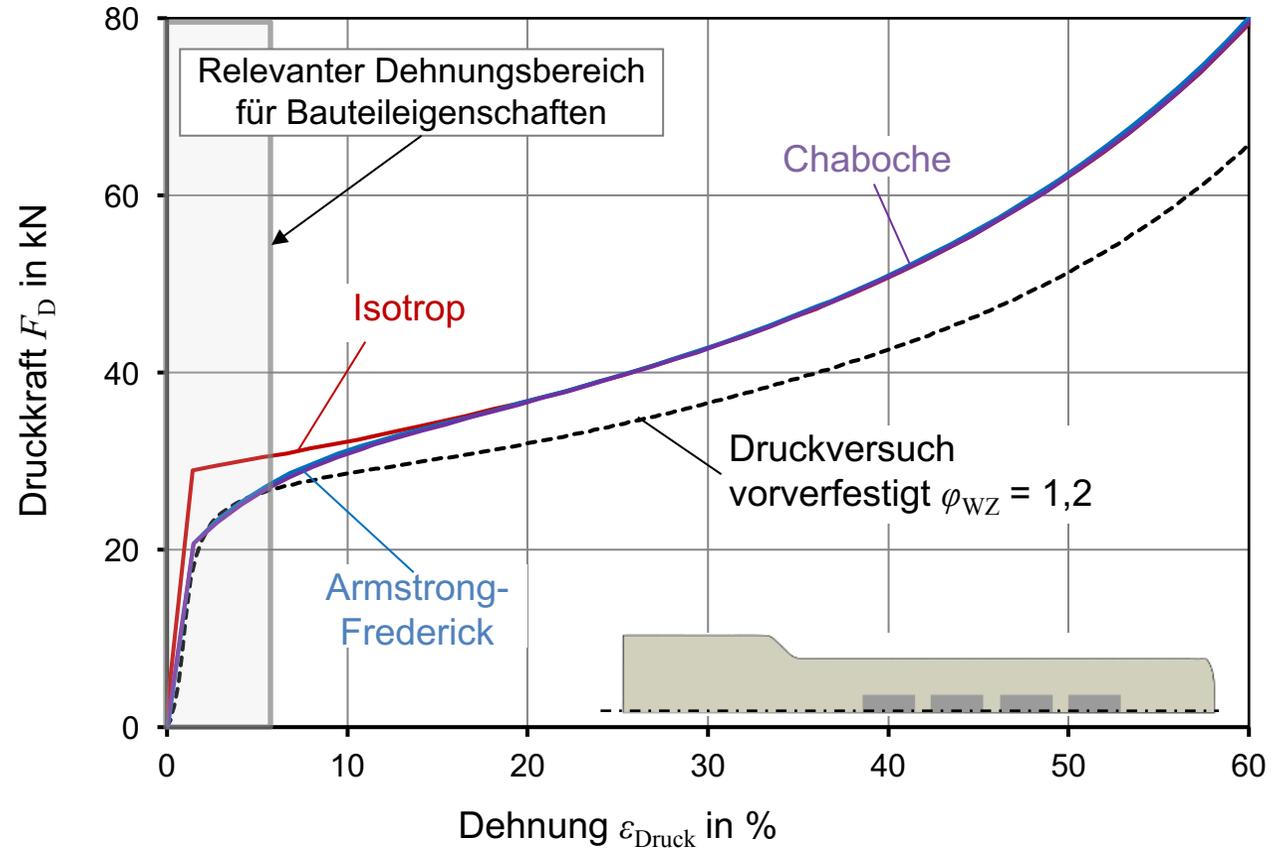
Parameterermittlung für kombinierte Verfestigungsmodelle

- Kinematische Verfestigung
 1. Zugversuche
 2. Zugversuche mit fließgepressten Proben
 3. Druckversuche mit vorgezogenen Proben
 4. Druckversuche mit fließgepressten Proben

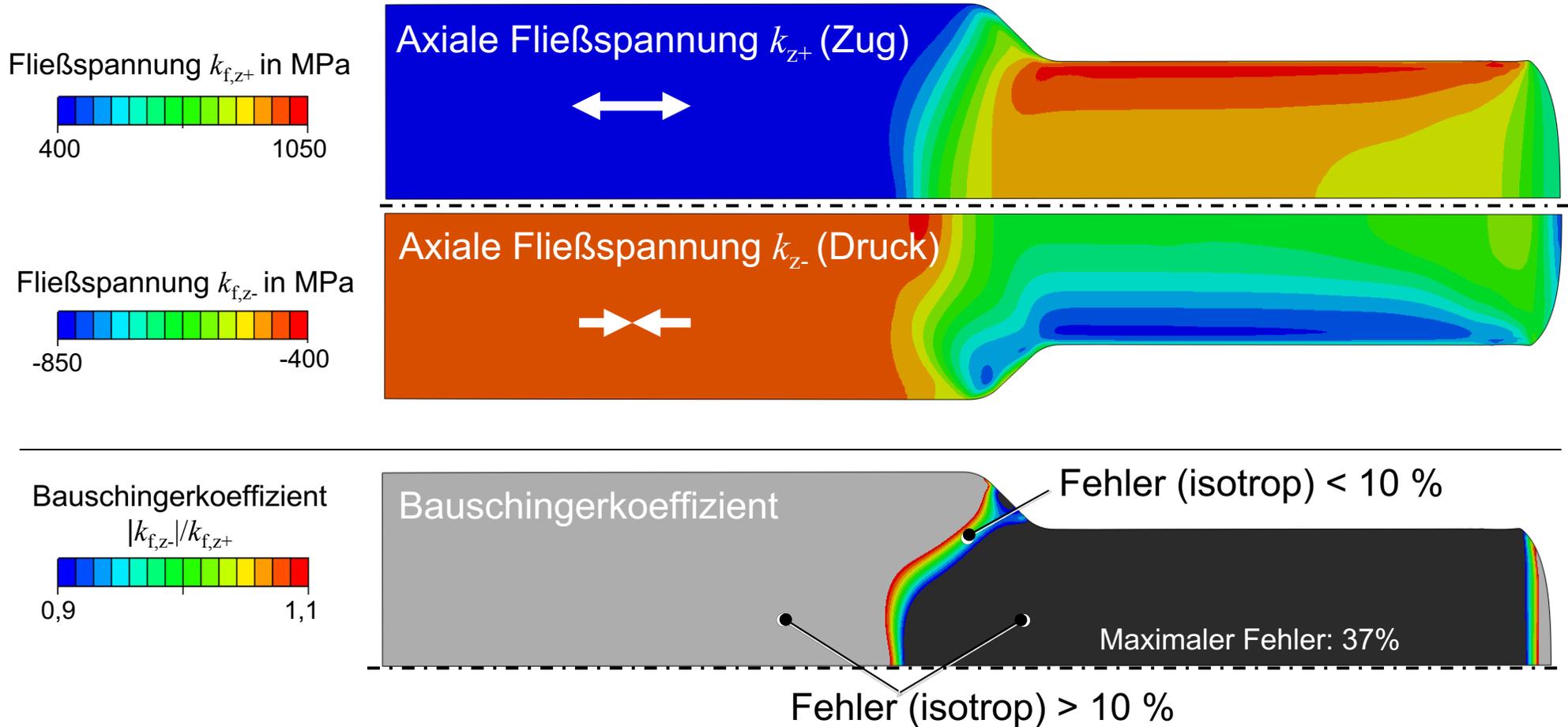


Parameterermittlung für kombinierte Verfestigungsmodelle

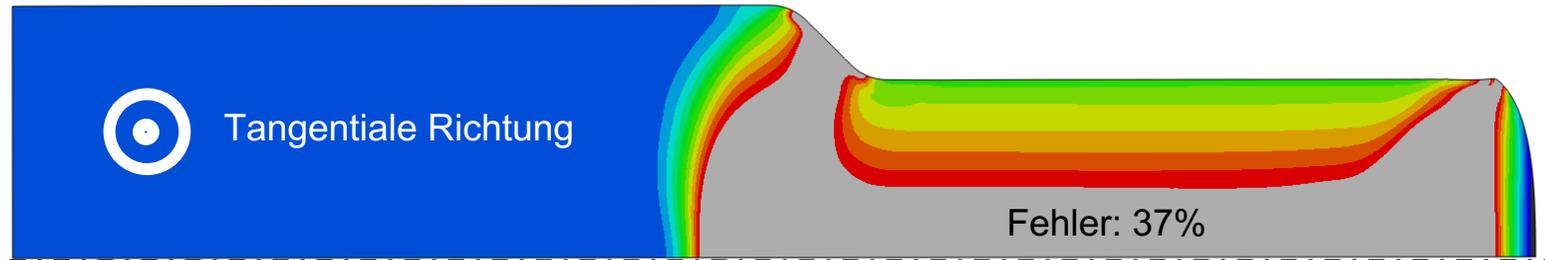
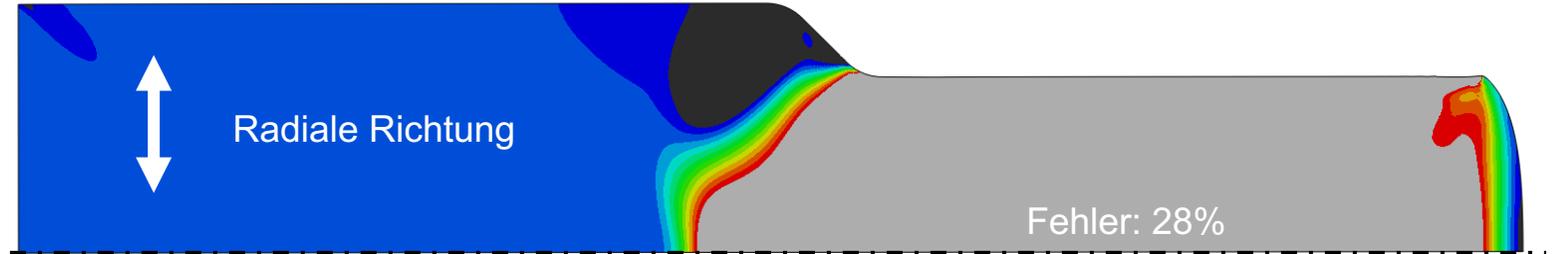
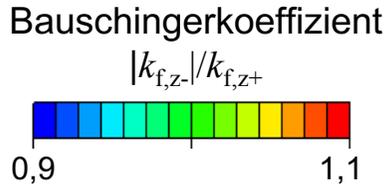
- Kinematische Verfestigung
 1. Zugversuche
 2. Zugversuche mit fließgepressten Proben
 3. Druckversuche mit vorgezogenen Proben
 4. Druckversuche mit fließgepressten Proben



Einfluss kinematischer Verfestigung auf die Festigkeit



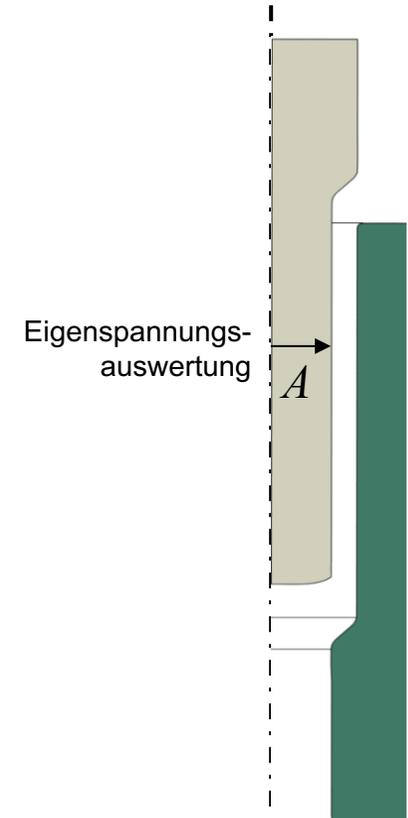
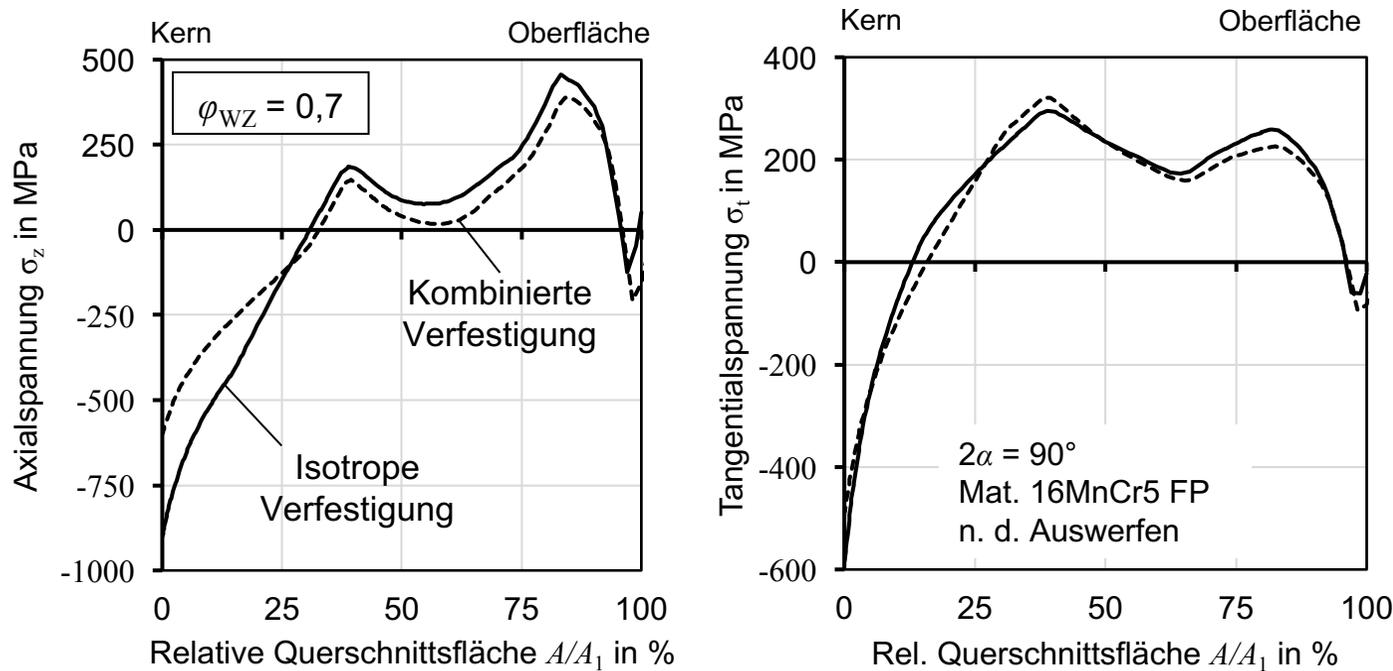
Einfluss kinematischer Verfestigung auf die Festigkeit



➔ Vernachlässigung des Bauschingereffektes führt bei isotropen Verfestigungsmodellen zu großen Fehlern

➔ Folge sind Fehler in der Vorhersage der Bauteilfestigkeit und bei mehrstufigen Umformprozessen

Einfluss kinematischer Verfestigung auf Eigenspannungen



Kinematische Verfestigung führt zu geringeren Eigenspannungen nach dem Bauteilwurf

Fazit

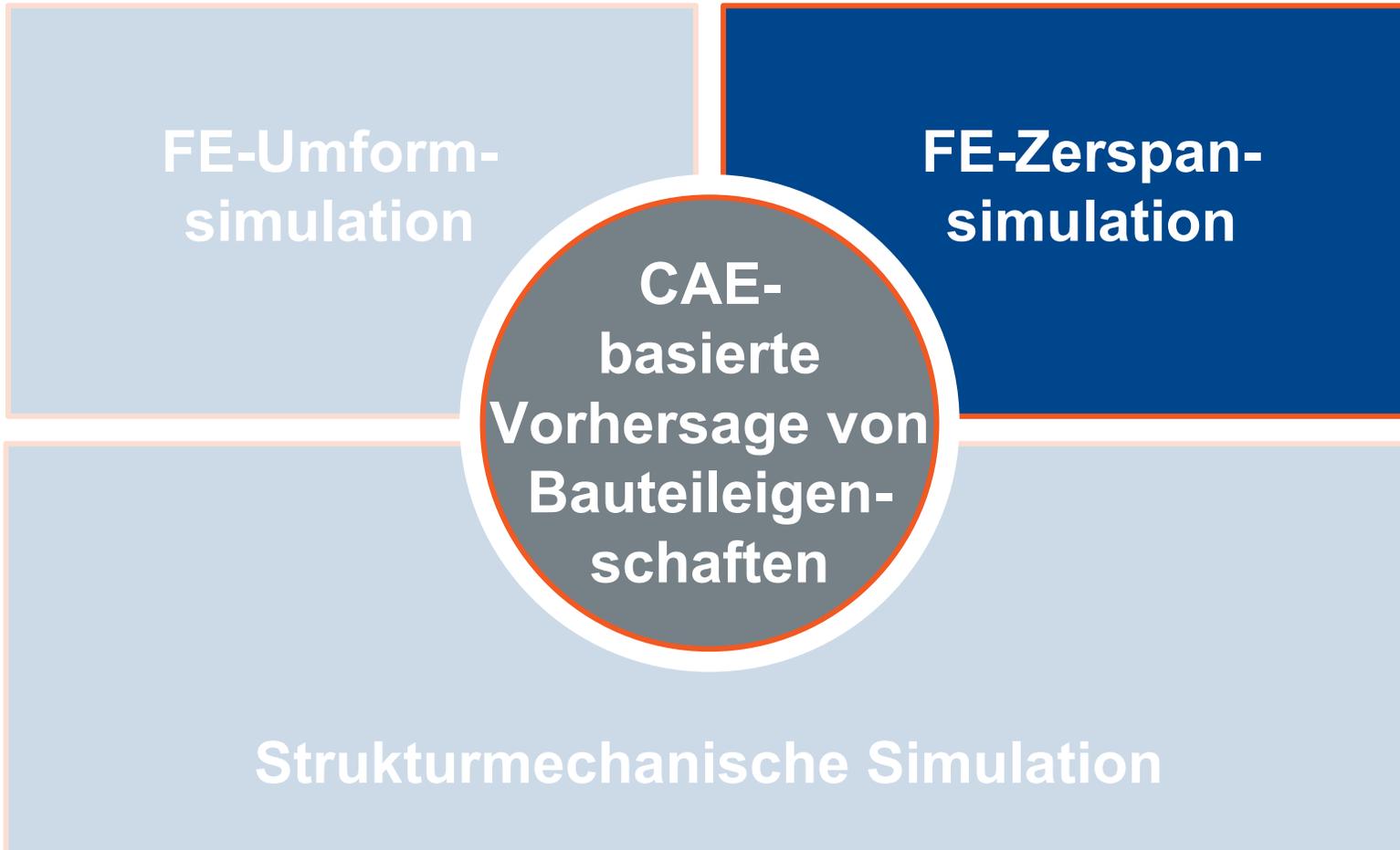
- Charakterisierung lokaler Bauteileigenschaften am Beispiel des Voll-Vorwärts-Fließpressens
- Entwicklung einer neuen Methodik zur Charakterisierung kinematischer Verfestigung für Werkstoffe der Kaltmassivumformung
- Deutliche Verbesserung der Vorhersagegüte bereits mit einfachen Modellen (Verfügbar in meisten FE-Programmen z.B. Abaqus, DEFORM, Simufact, ...)
- Kinematische Verfestigung hat signifikanten Einfluss auf die Vorhersagegüte lokaler Bauteileigenschaften bzgl.

→ Festigkeit

→ Eigenspannungen

Simulation von Prozessketten kann langfristig nur unter Berücksichtigung der gesamten Werkstoffhistorie erfolgen!

Grundanforderung für
CAE-basierten Leichtbau



Motivation und Zielsetzung

- Vorhersage der durch den Zerspanprozess zu erwartenden Veränderungen der umformtechnisch eingestellten Bauteileigenschaften anhand von FE-Zerspannsimulationen
- Betrachtung eines durch Fließpressen umgeformten Demonstratorbauteils (Bolzen)

Vorgehensweise

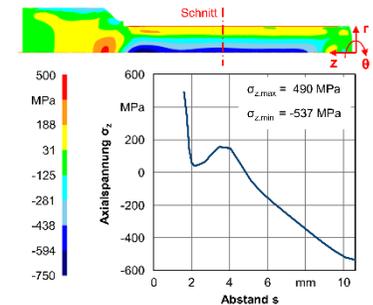
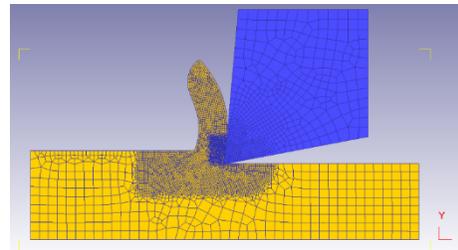
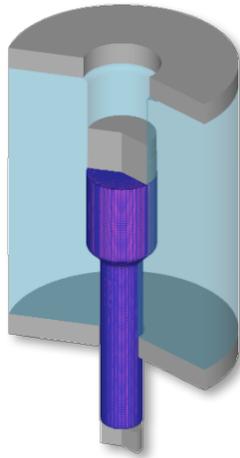
Übernahme von Bauteileigenschaften aus vorgelagerter FE-Umformsimulation



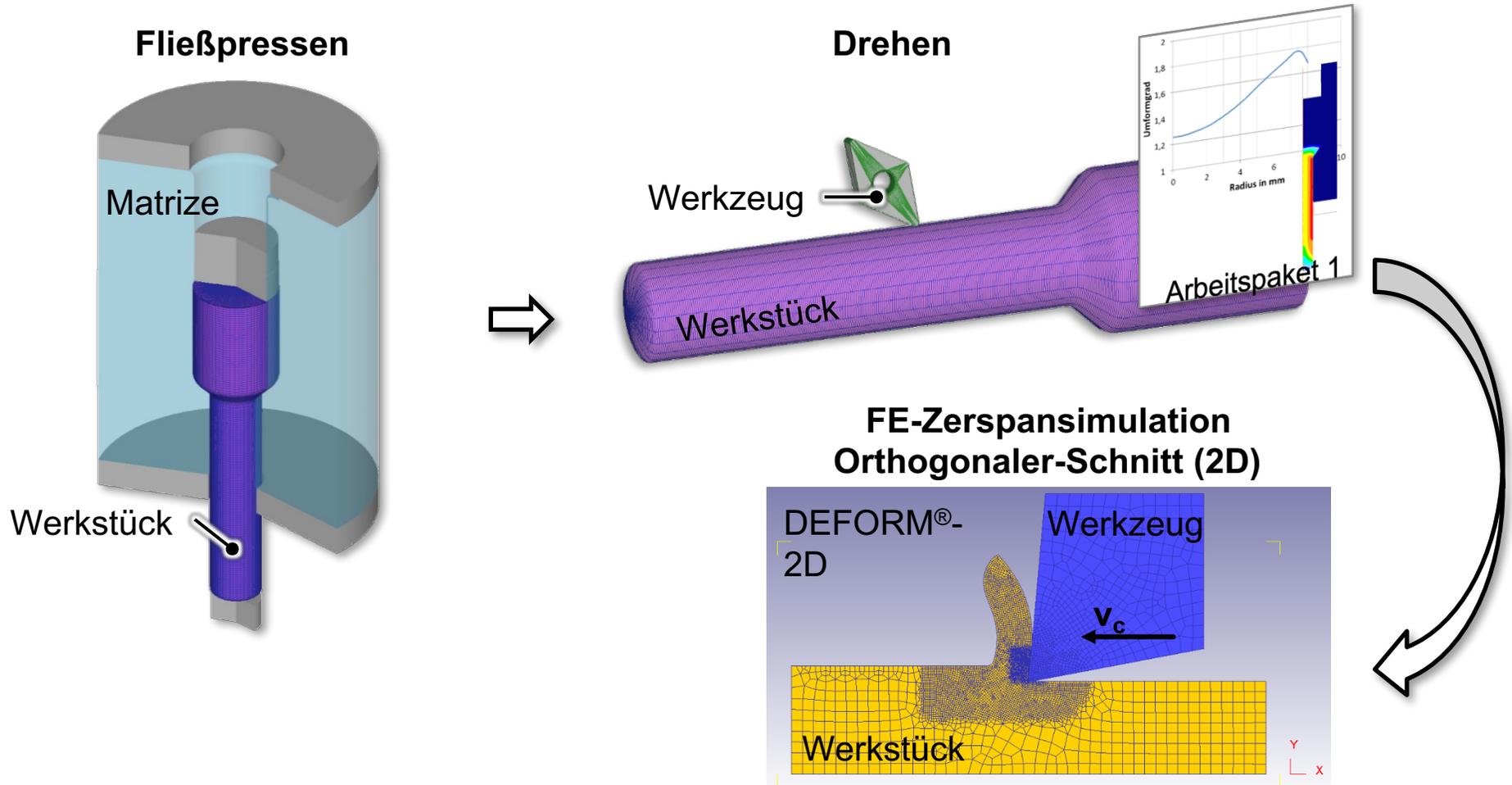
FE- Zerspannsimulation



Betrachtung der Bauteileigenschaften



Simulationssystem: DEFORM[®]-2D



Fließspannungsmodell: Johnson-Cook

Johnson-Cook-Fließspannungsmodell

$$\sigma = (A + B \cdot \bar{\varphi}^n) (1 + C \cdot \ln \bar{\varphi}) (1 - T^{*m})$$

Materialparameter A, B, n, C, m

$$(A + B \cdot \bar{\varphi}^n)$$

$$(1 + C \cdot \ln \bar{\varphi}) (1 - T^{*m})$$

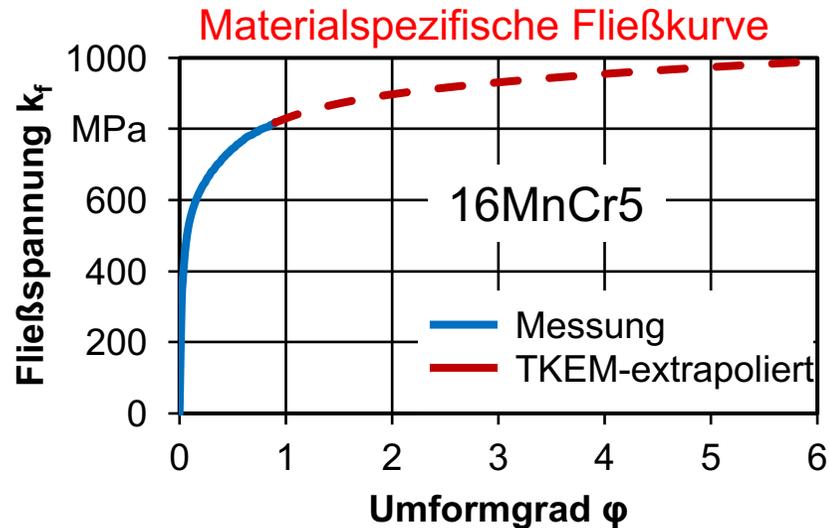
Anpassung des Fließspannungsmodells

Angepasstes Johnson-Cook-Fließspannungsmodell

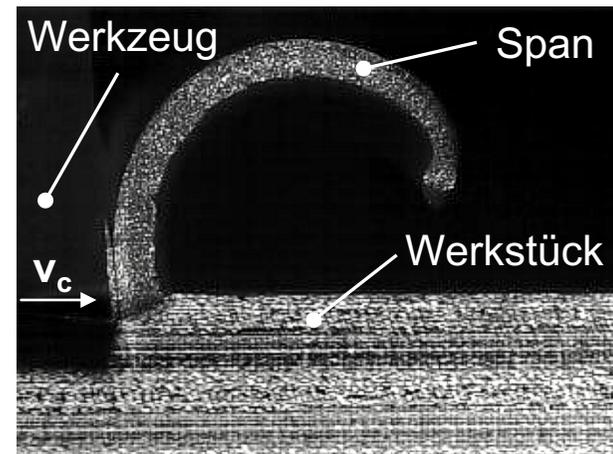
$$\sigma = TKEM \cdot (1 + C \cdot \ln \bar{\phi}) \cdot (1 - T^{*m})$$

TKEM: $\alpha \cdot (K \cdot (\phi + \phi_0)^n) + (1 - \alpha) \cdot (b - (b - a) \cdot e^{-c\phi})$

$$(1 + C \cdot \ln \bar{\phi}) (1 - T^{*m})$$



Orthogonal-Schnittversuche



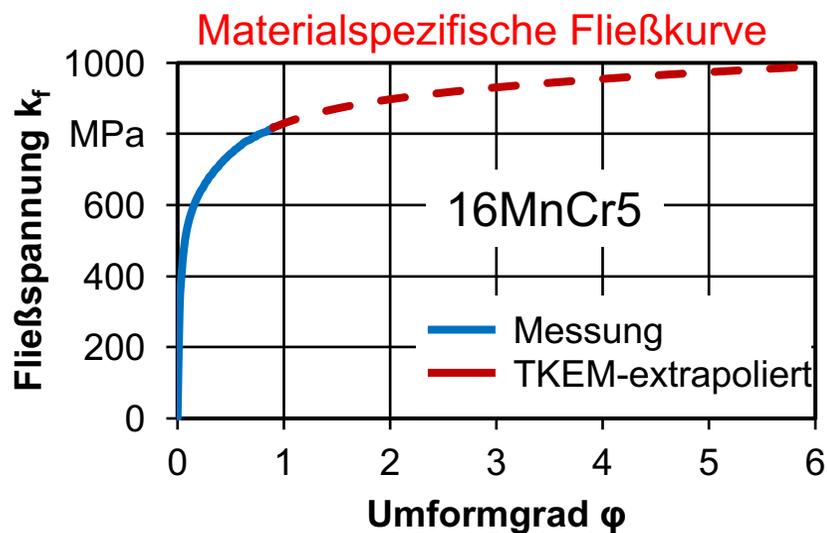
Anpassung des Fließspannungsmodells

Angepasstes Johnson-Cook-Fließspannungsmodell

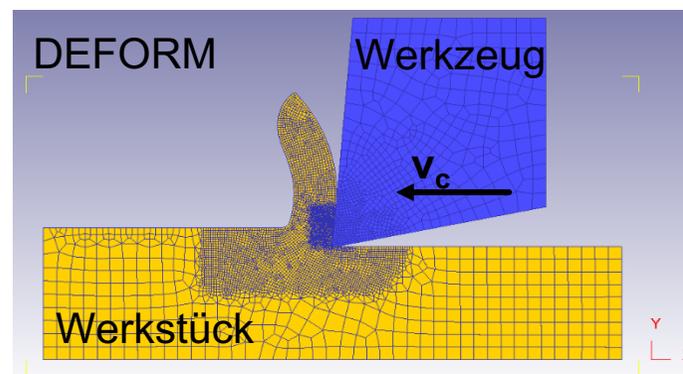
$$\sigma = TKEM \cdot (1 + C \cdot \ln \bar{\phi}) \cdot (1 - T^{*m})$$

TKEM: $\alpha \cdot (K \cdot (\phi + \phi_0)^n) + (1 - \alpha) \cdot (b - (b - a) \cdot e^{-c\phi})$

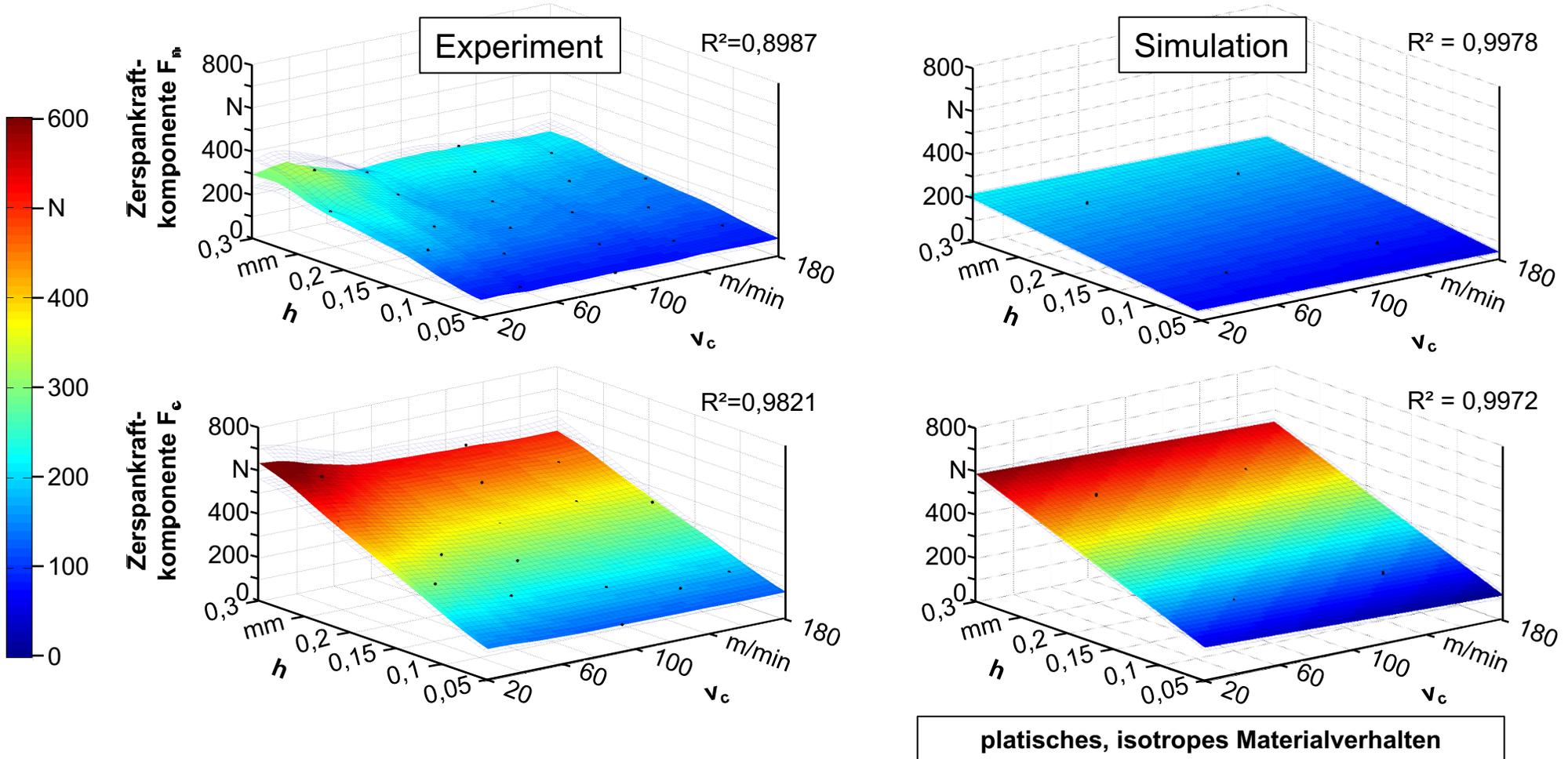
$$(1 + C \cdot \ln \bar{\phi}) (1 - T^{*m})$$



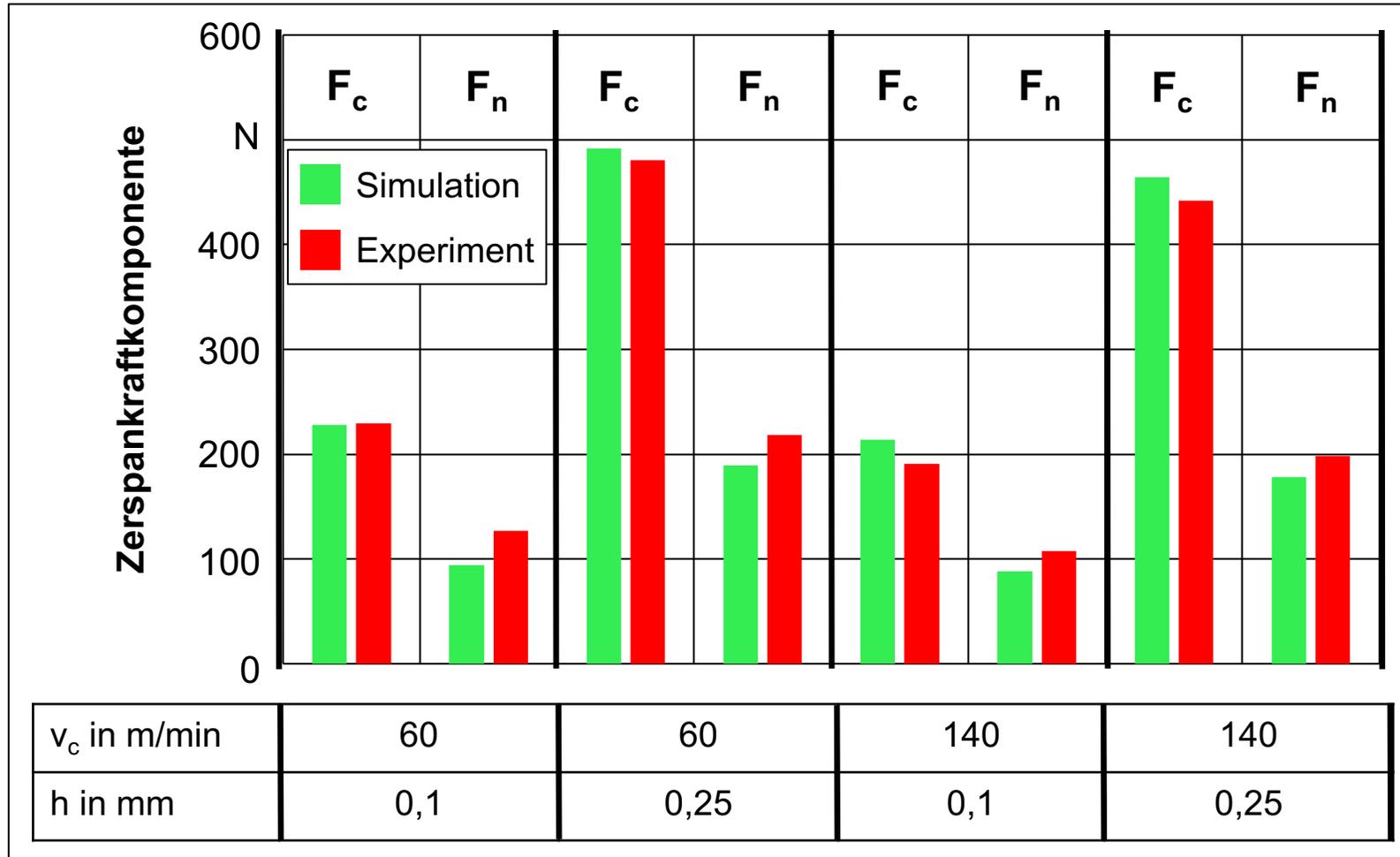
FE-Zerspannsimulation
(Orthogonaler-Schnitt)



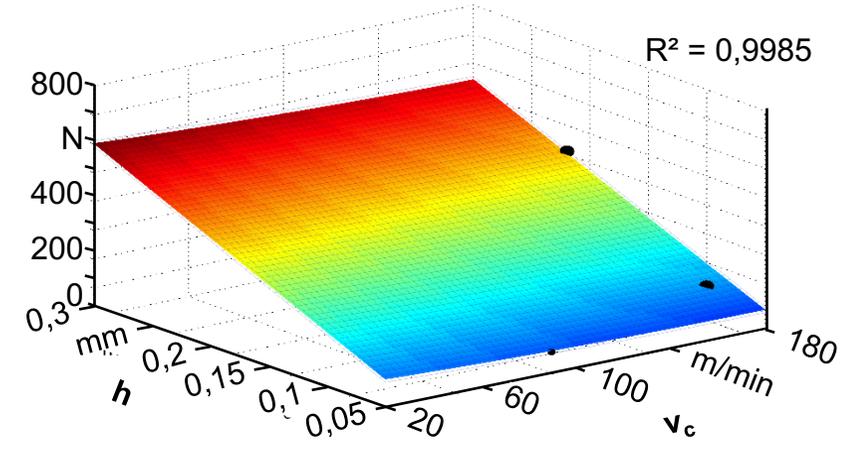
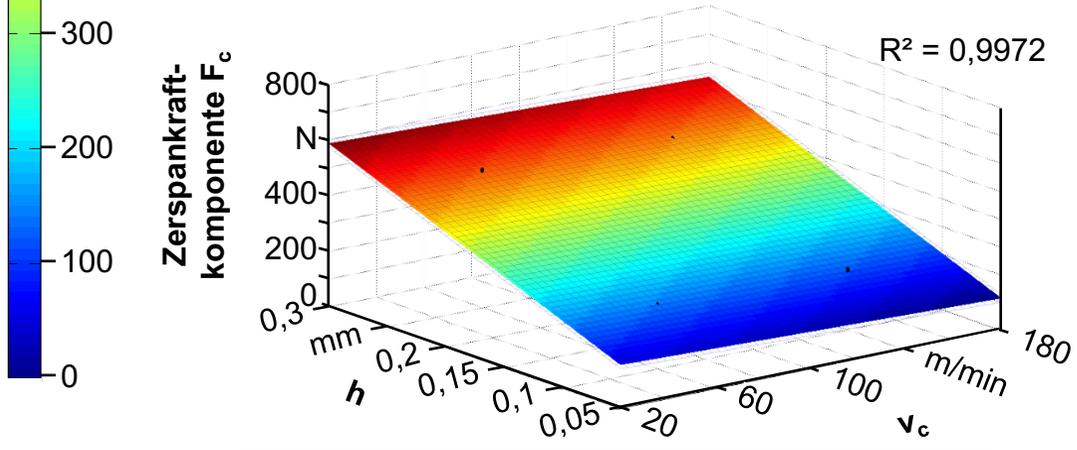
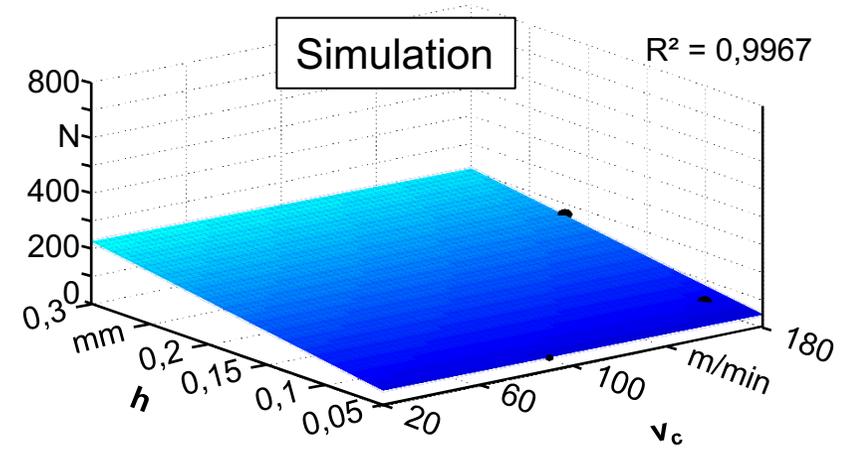
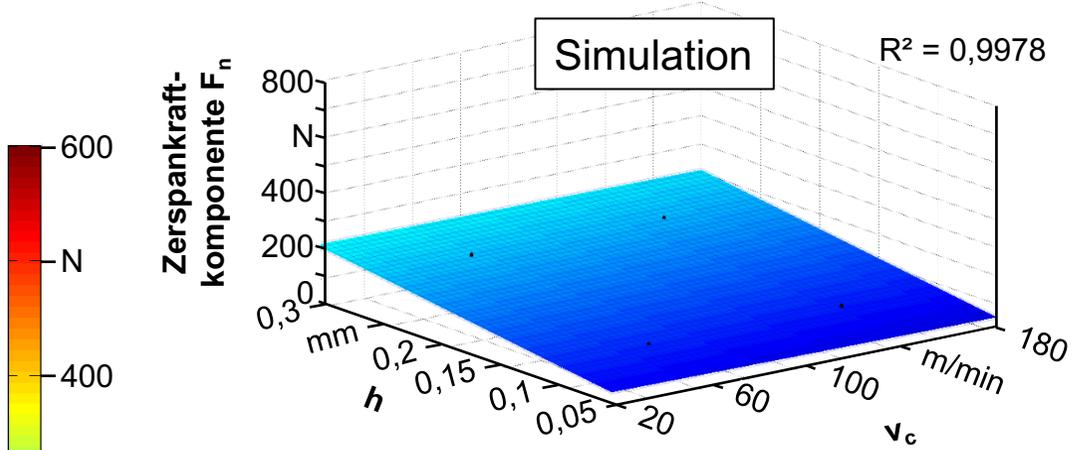
Vergleich Zerspaukraftkomponenten



Vergleich Zerspankraftkomponenten



Vergleich Zerspaukraftkomponenten



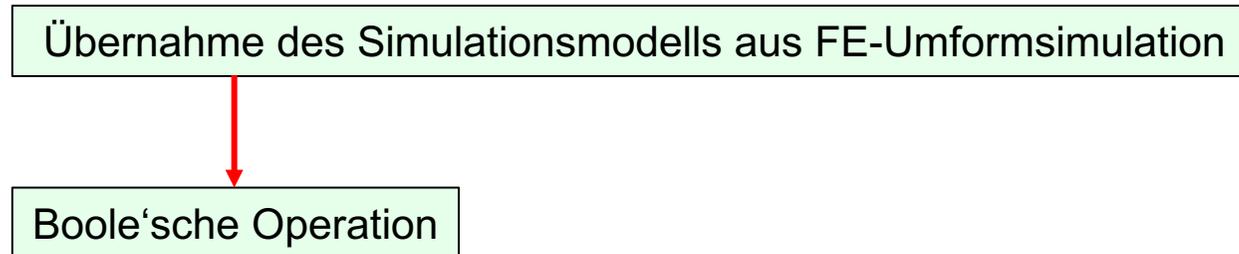
platisches, isotropes Materialverhalten

elastisch-platisches, isotropes Materialverhalten

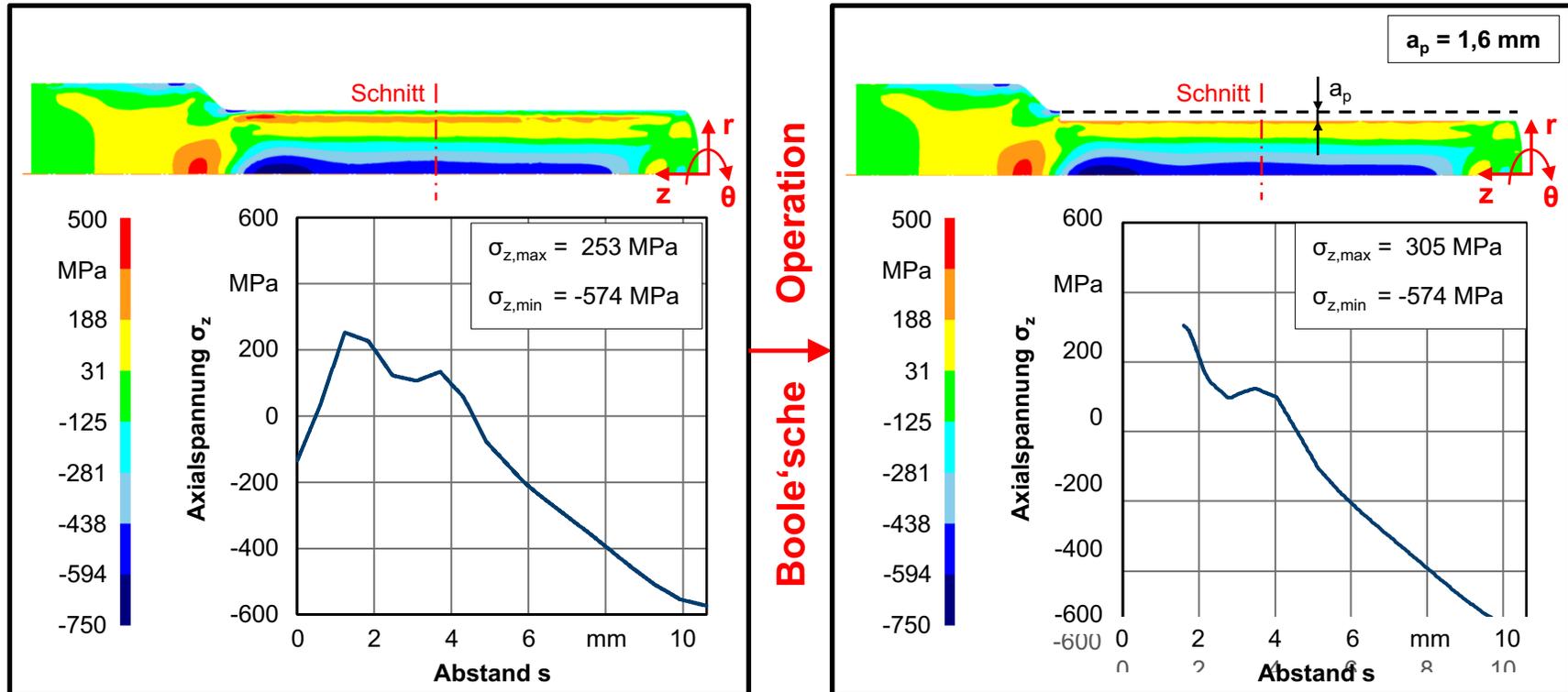
Vorgehen Simulationsverknüpfung

Übernahme des Simulationsmodells aus FE-Umformsimulation

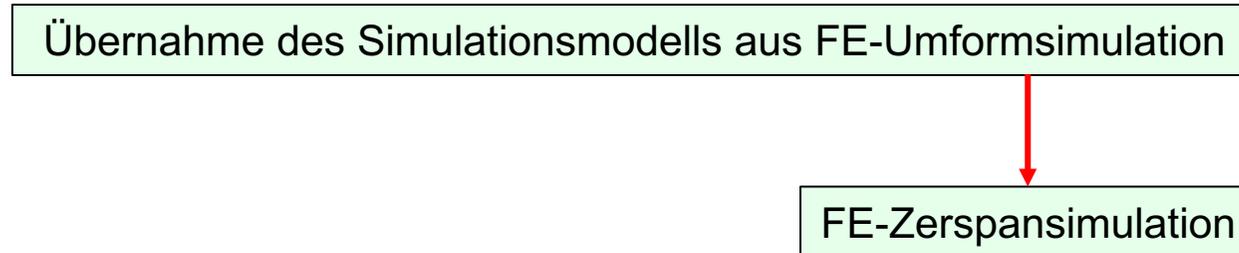
Vorgehen Simulationsverknüpfung



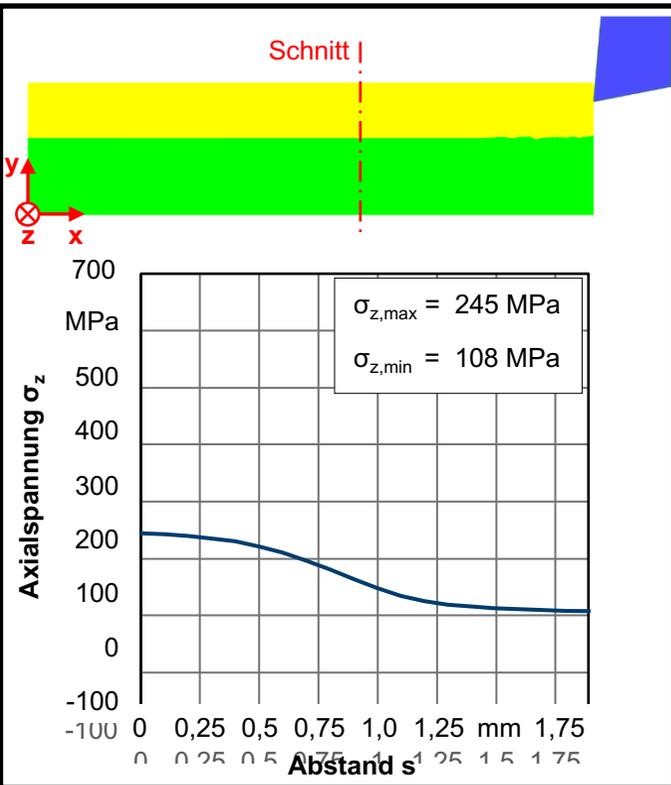
Vorgehen Simulationsverknüpfung



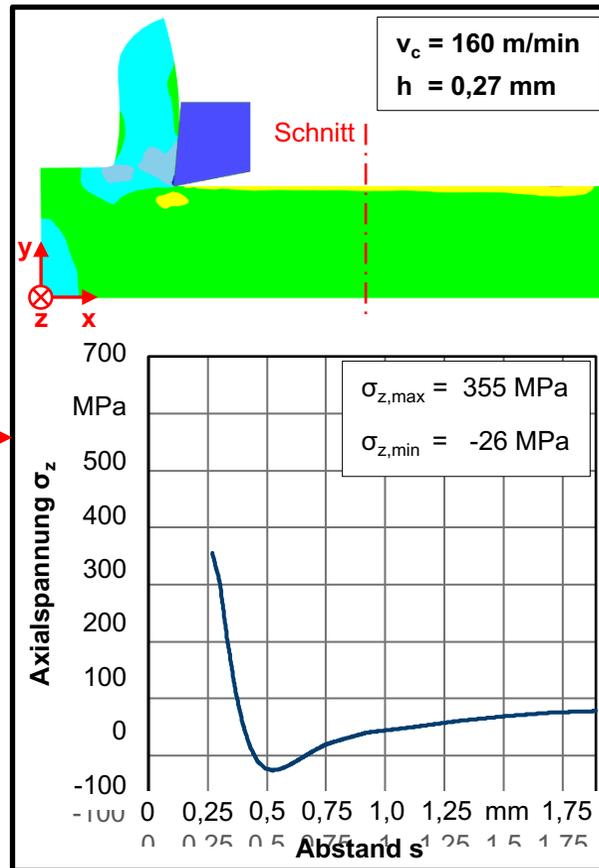
Vorgehen Simulationsverknüpfung



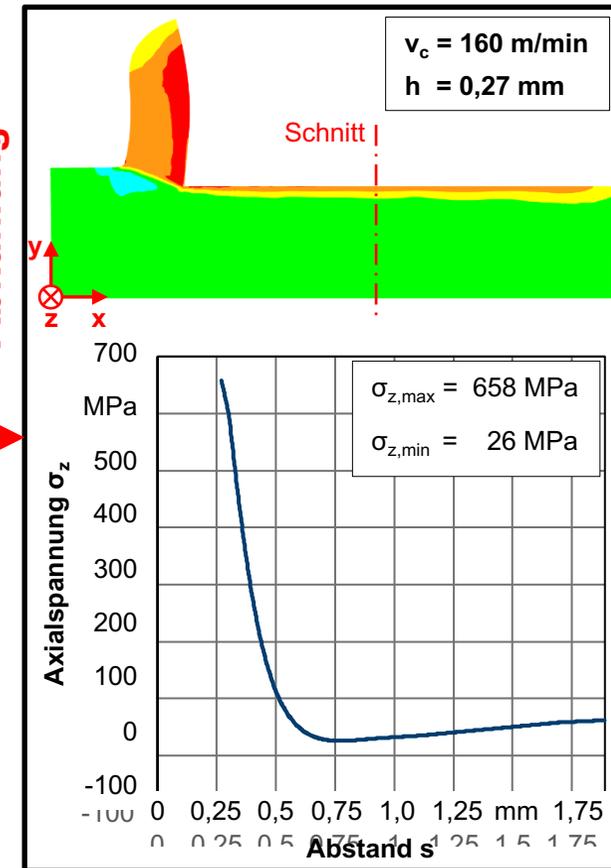
Vorgehen Simulationsverknüpfung



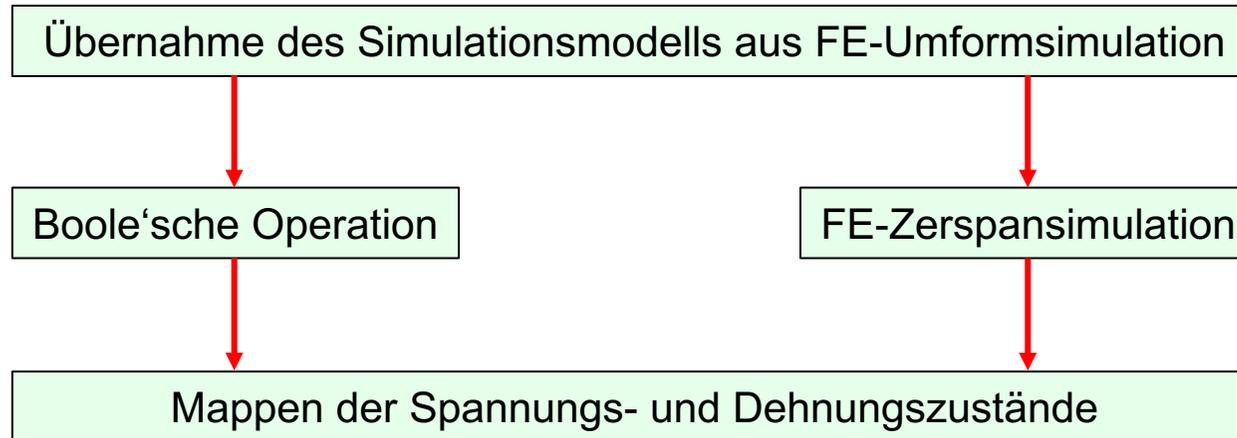
Zerspannung



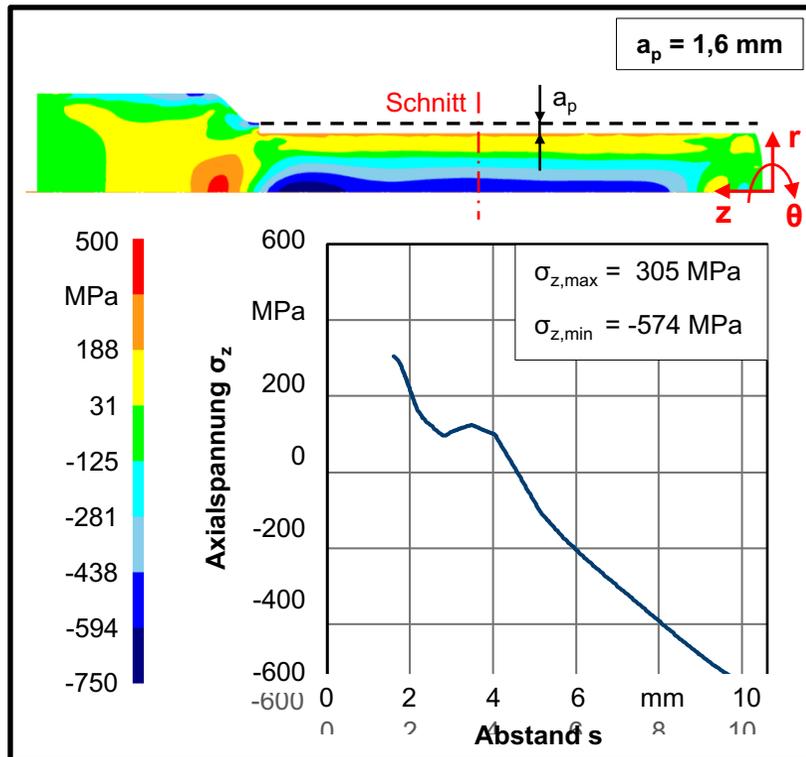
Abkühlung



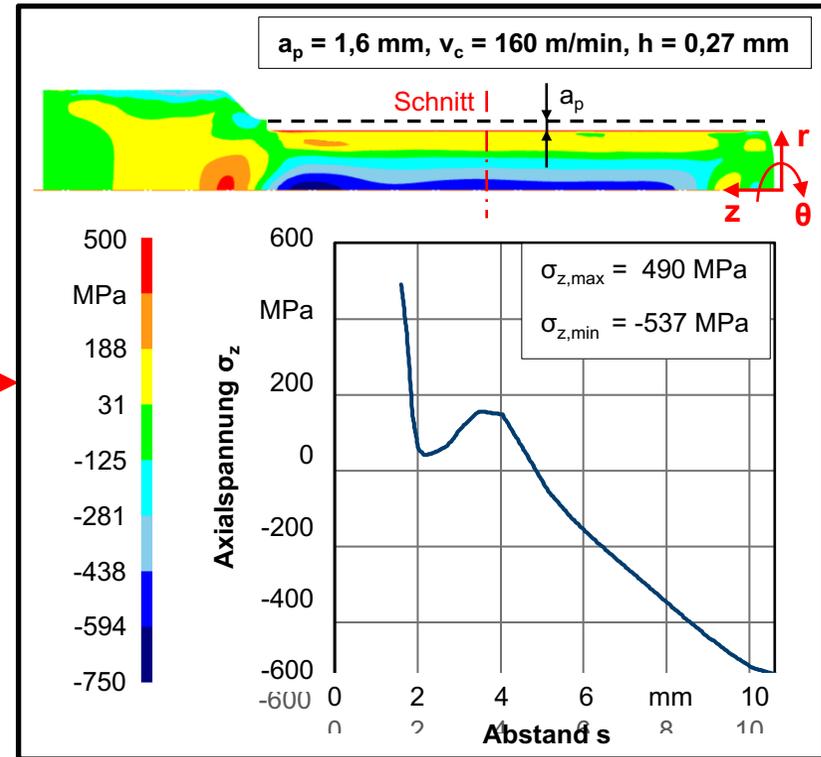
Vorgehen Simulationsverknüpfung



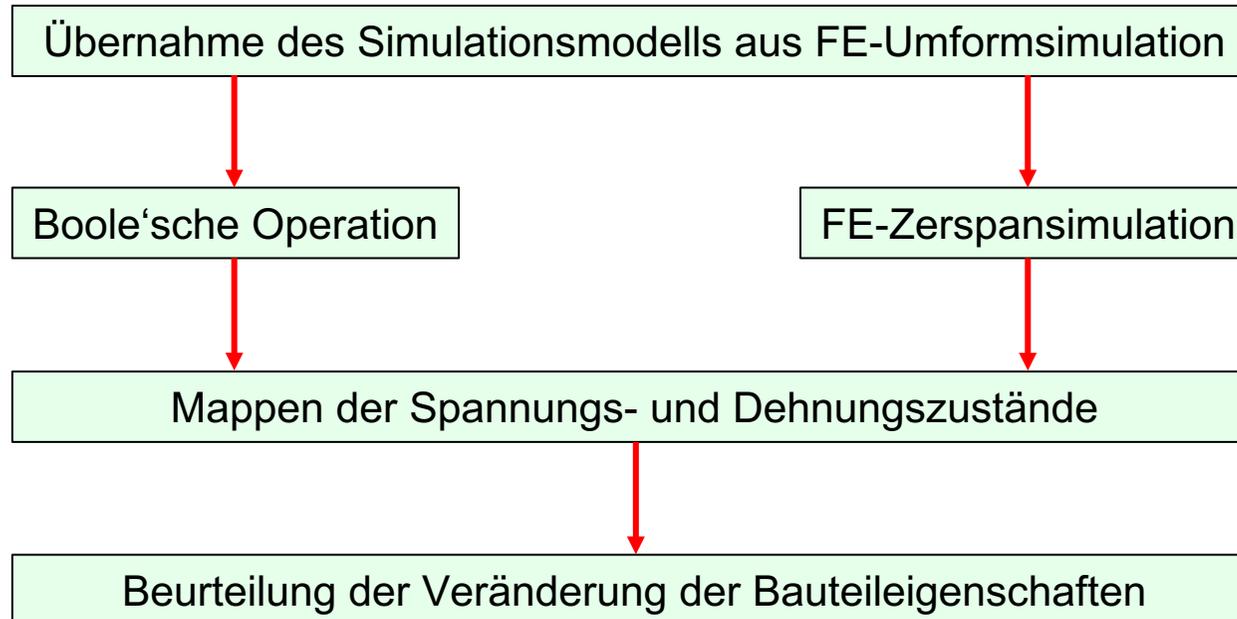
Vorgehen Simulationsverknüpfung



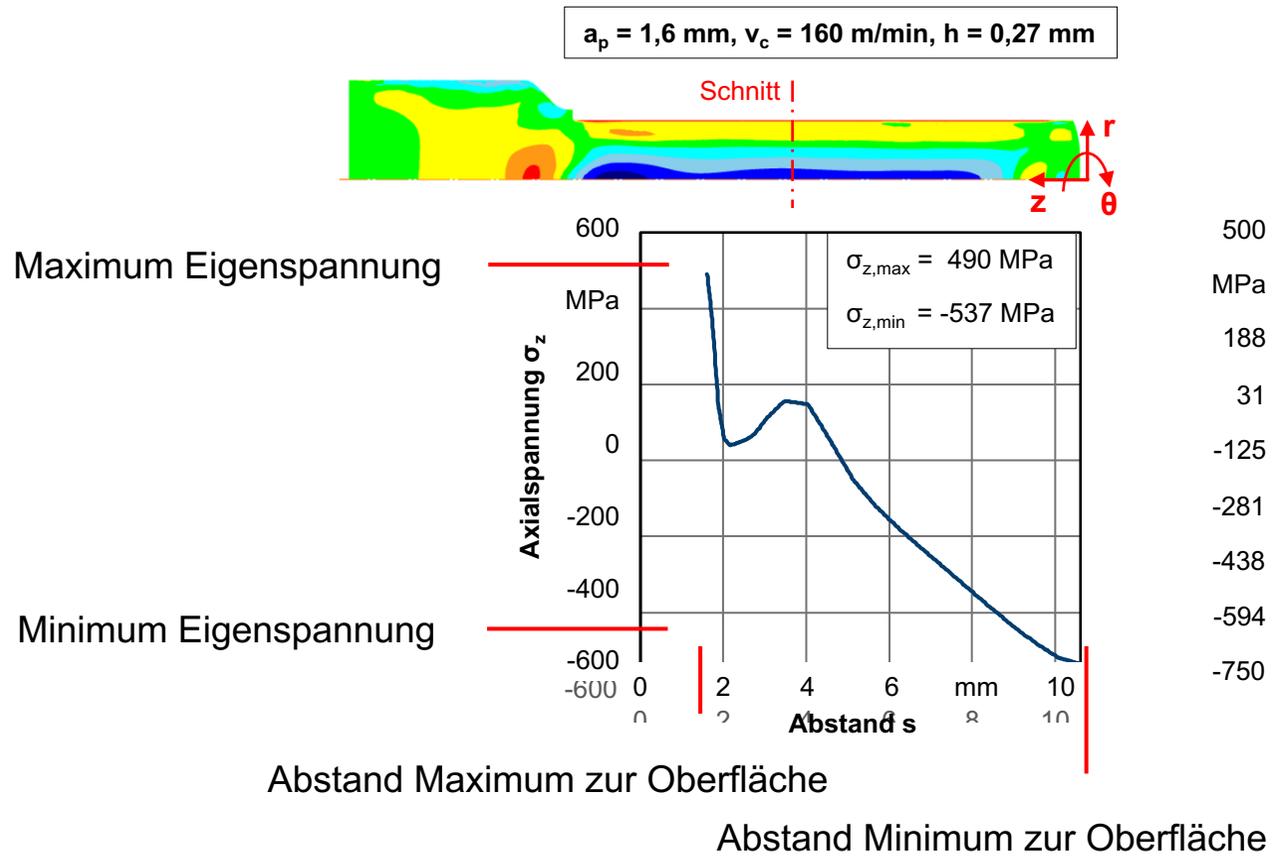
Mapping & Gleichgewicht herstellen



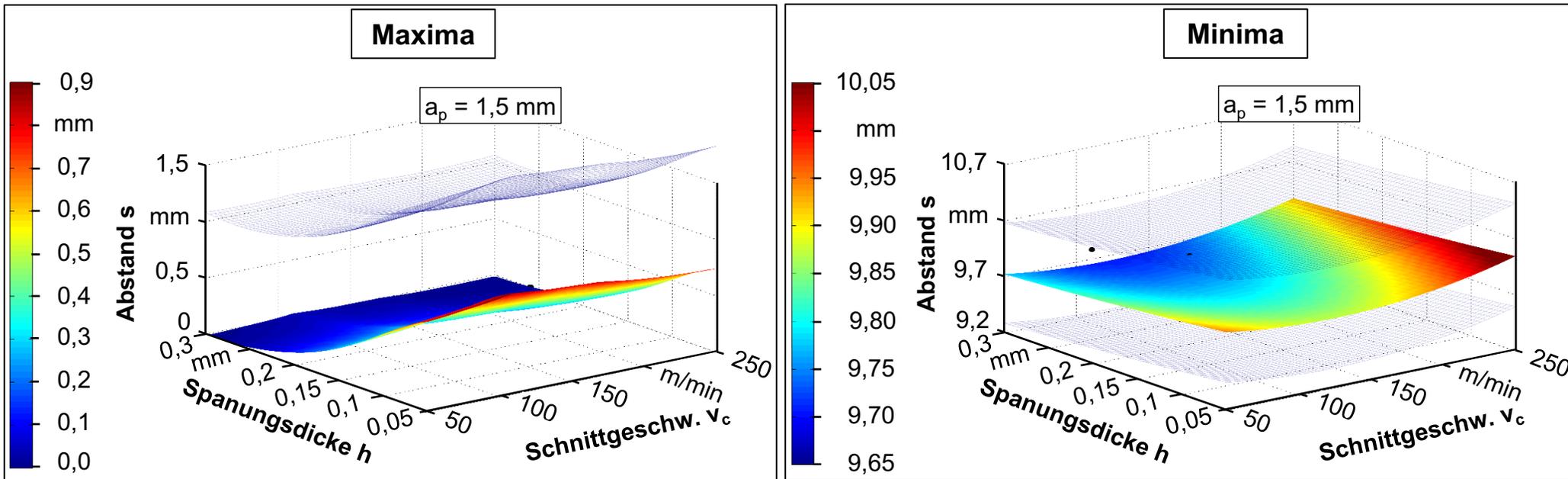
Vorgehen Simulationsverknüpfung



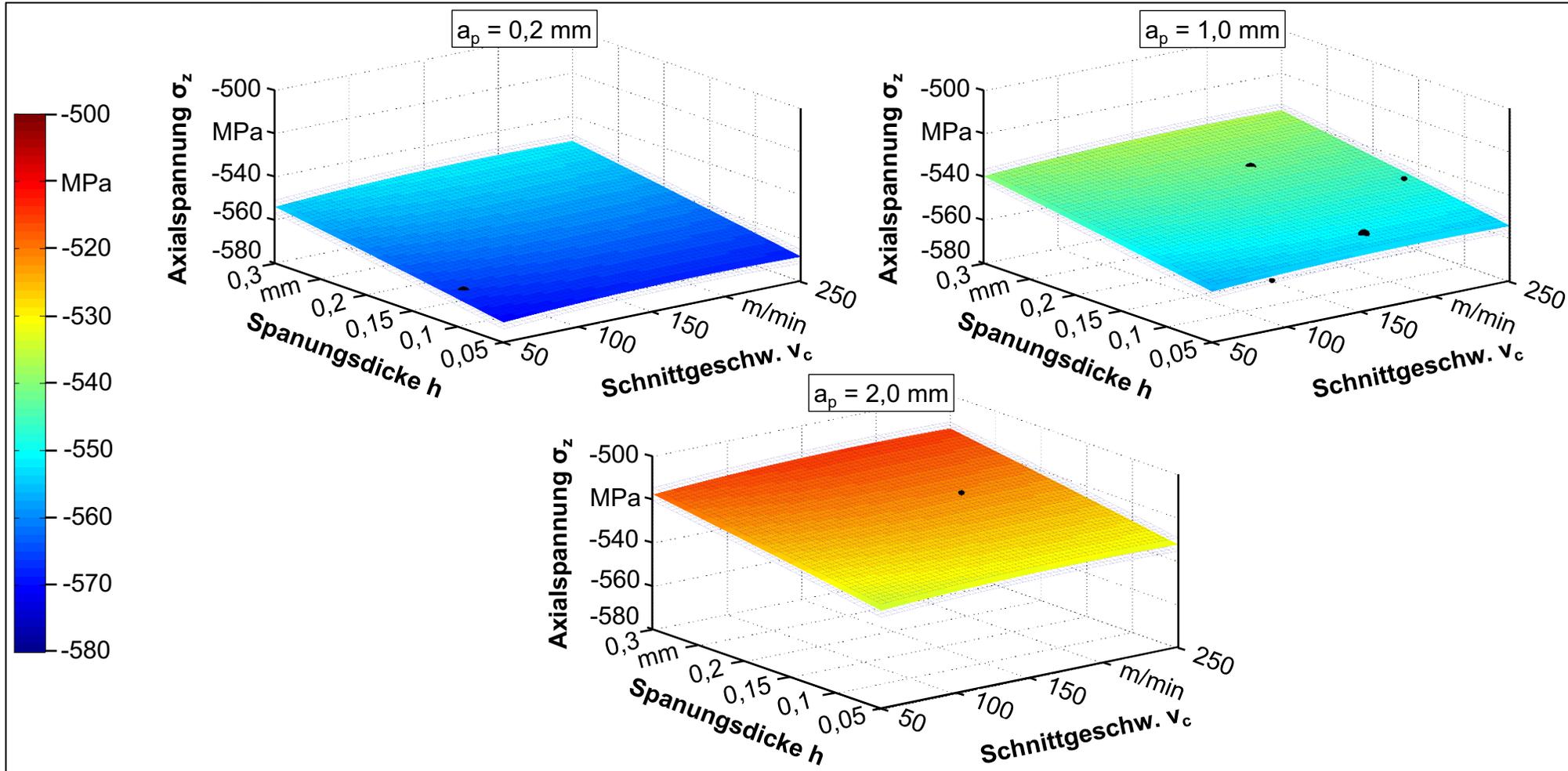
Vorgehen Analytische-Modellierung



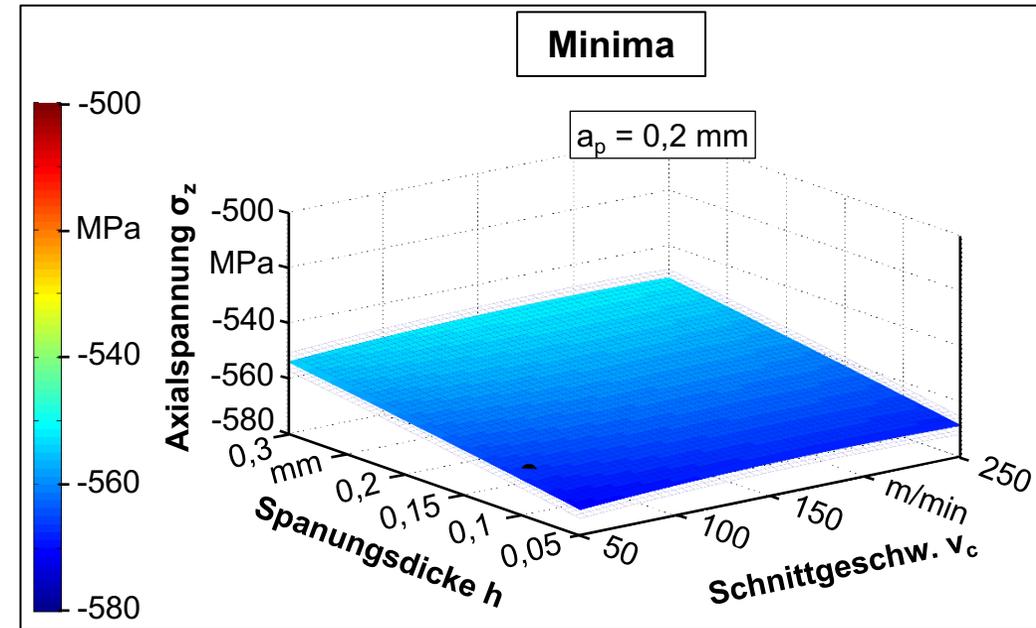
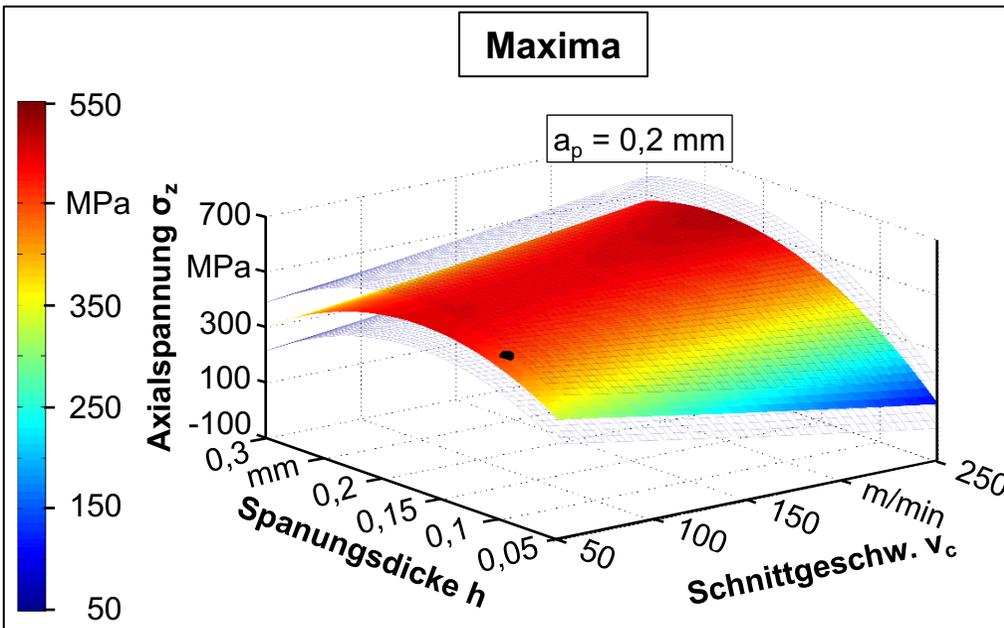
Einfluss v_c und h auf Lage Minima und Maxima - Axialspannung



Einfluss a_p , v_c und h auf Minima - Axialspannung

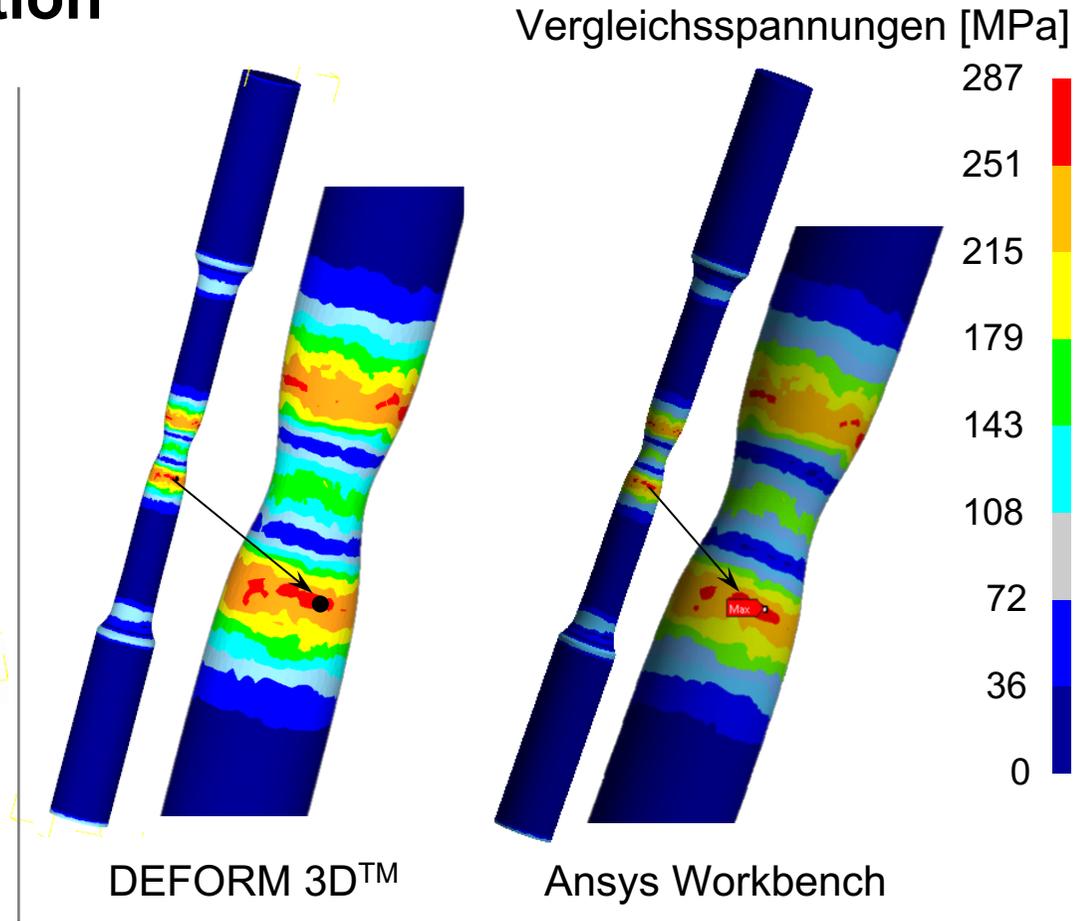
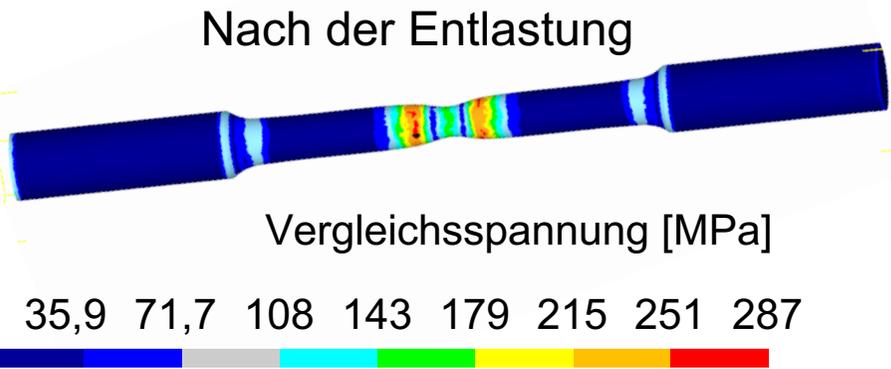
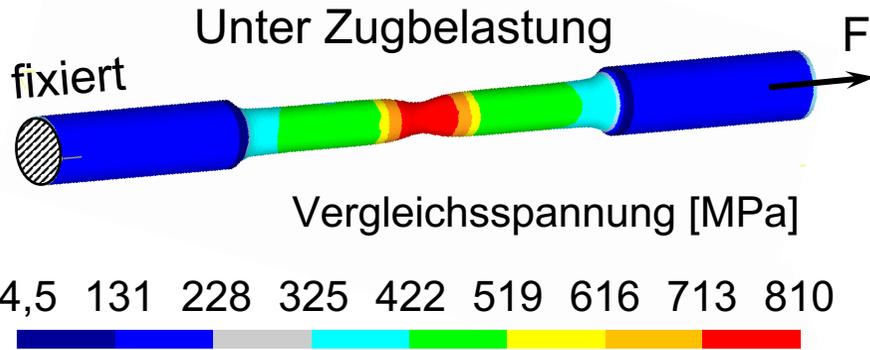


Einfluss v_c und h auf Minima und Maxima - Axialspannung



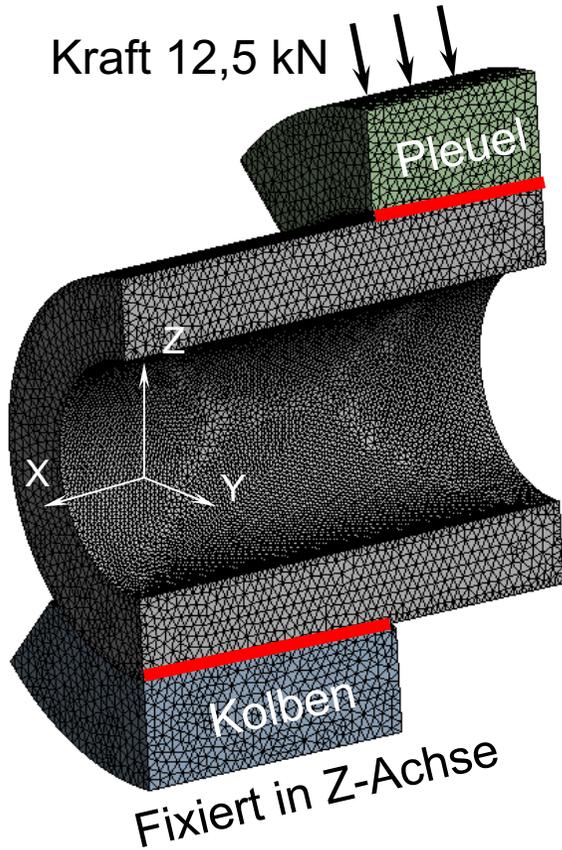


Mapping der lokalen Bauteileigenschaften auf FEM-Netz für strukturmechanische Simulation



Simulationsmodell in DEFORM und Ansys Workbench

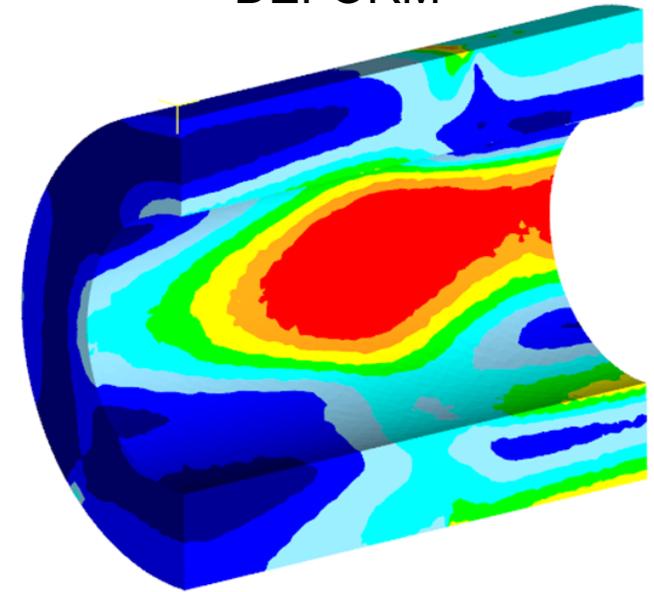
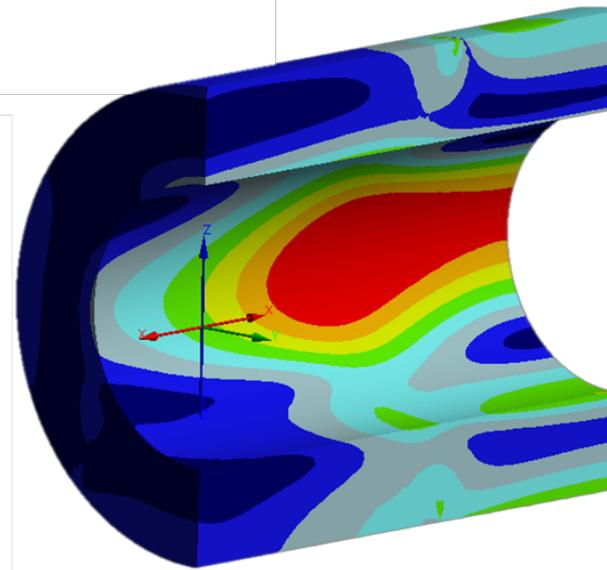
Simulationsmodell



Simulationsergebnisse

Ansys Workbench

DEFORM™

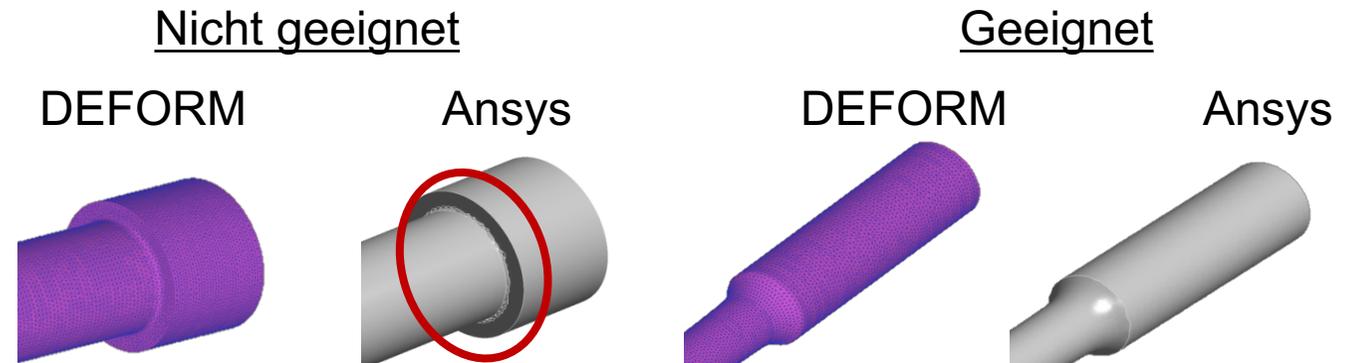


Vergleichsspannungen [MPa]



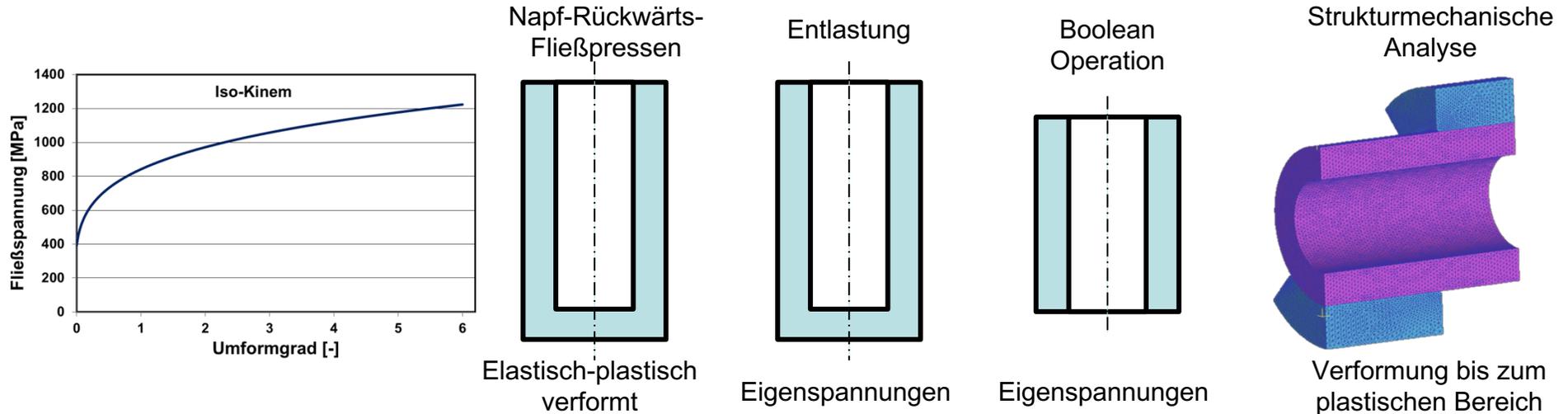
Wichtigste Ergebnisse zum Mapping der Bauteileigenschaften

- Die Übertragung der Vorverfestigung vom DEFORM in Ansys Workbench ist möglich, kann jedoch **nicht automatisiert** werden, weil jeder Übertragungsschritt **manuell** nachgearbeitet oder ausgeführt werden soll
- Die Übertragung ist **nicht geeignet für komplexe Geometrien** mit kleinen Radien oder scharfen Kanten



- Die Untersuchung zeigte, dass der Unterschied der Simulationsergebnisse zwischen DEFORM und Ansys weniger als 5% beträgt
- Aus dem Vergleich der Simulationsergebnisse kann beschlossen werden, dass die strukturmechanische Analyse in DEFORM durchgeführt werden kann
- DOE- und Sensitivitätsanalyse der gesamten Prozesskette in DEFORM ist möglich

Simulationsergebnisse mit untersch. Materialmodellen



Simulationsparameter, 2D; DEFORM:

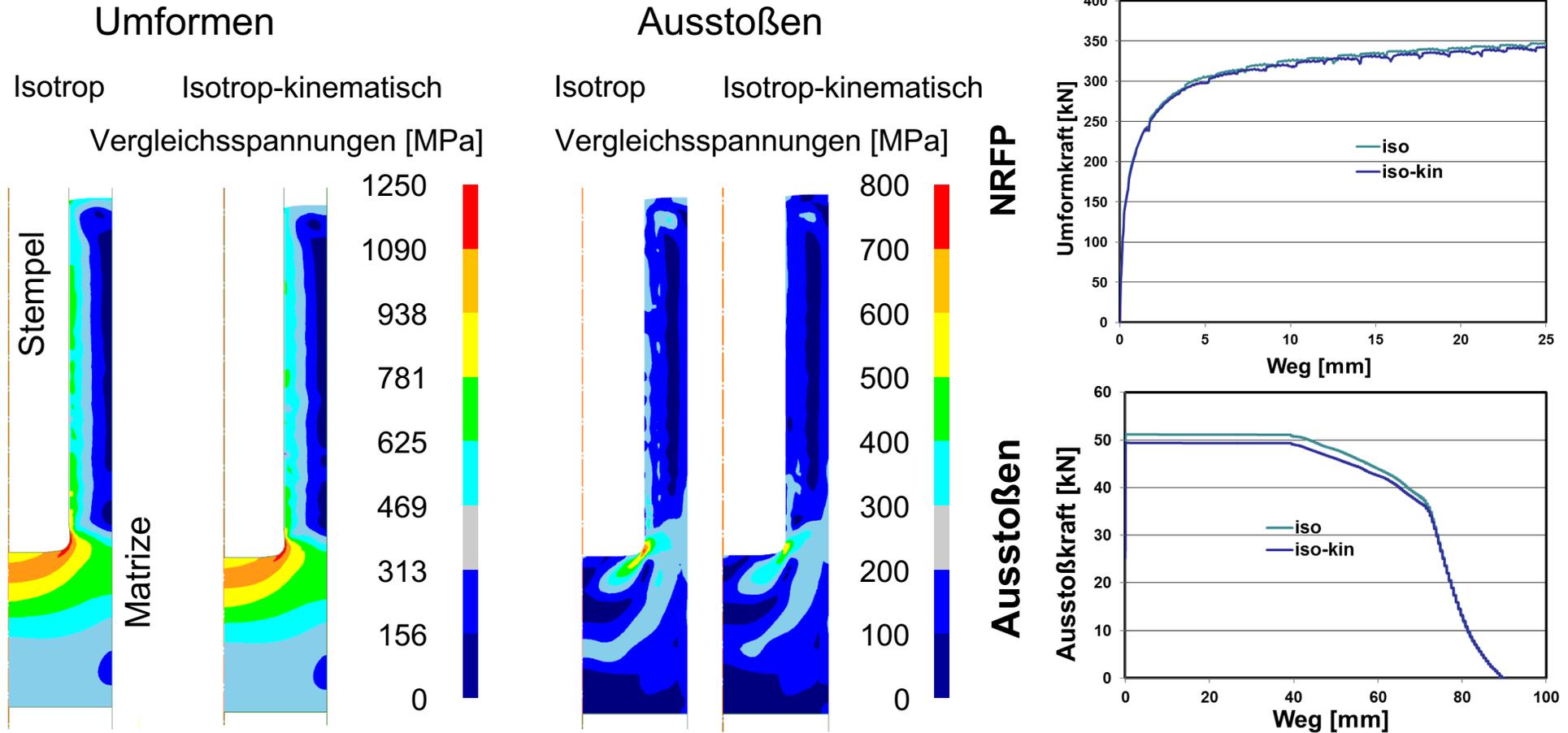
Halbzeug: elasto-plastic; Werkzeug: rigid; Netzelemente: 2.000;

Werkstoff: 16MnCr5; Reibung: Coulomb 0,07; Umformgrad: 0,65;

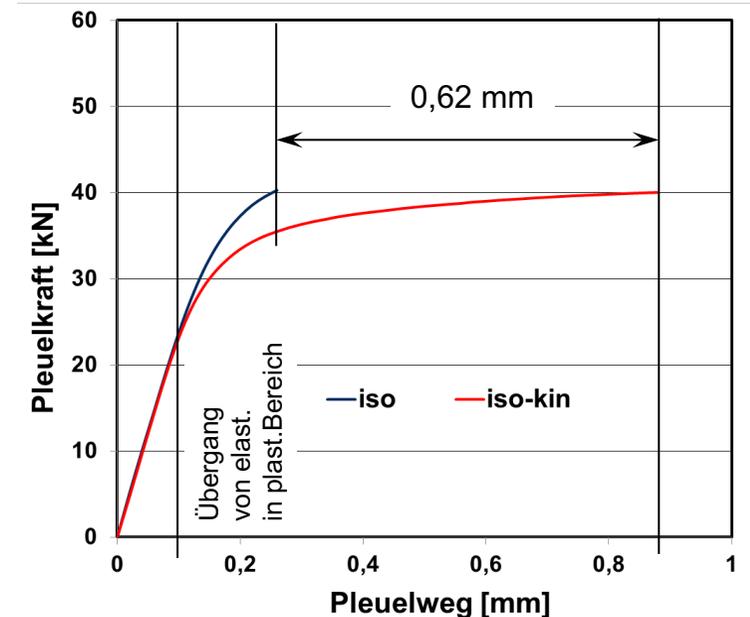
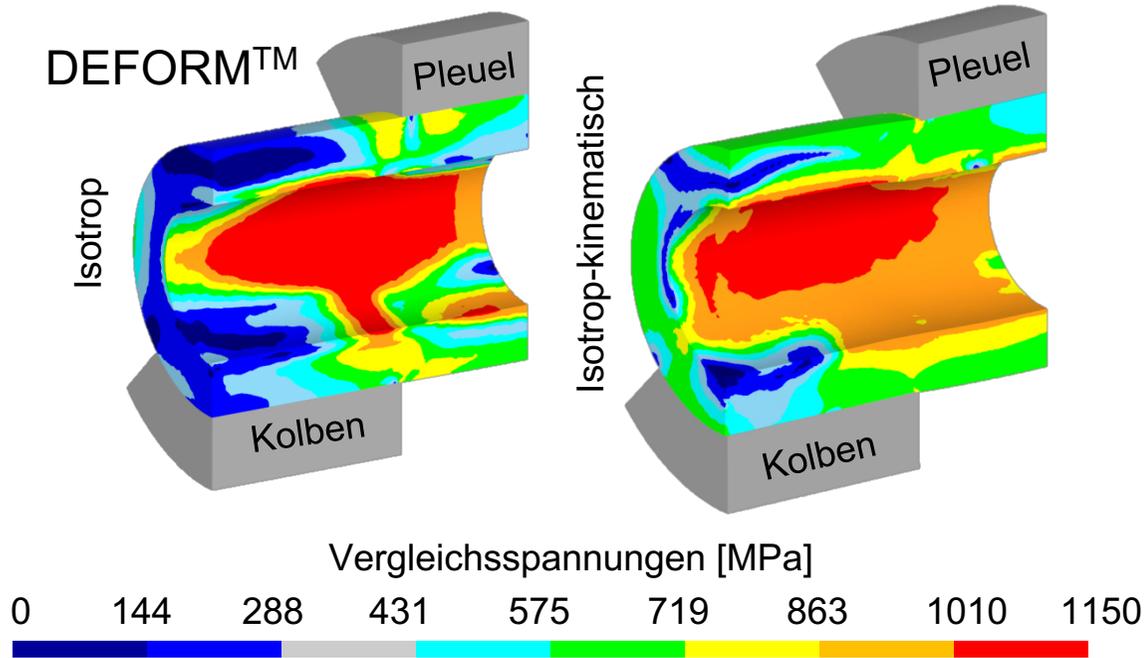
Verfestigungsmodell:

- Isotrop
- Isotrop-kinematisch

Simulationsergebnisse mit untersch. Materialmodellen



Simulationsergebnisse mit untersch. Materialmodellen



- Für die betrachtete Biegebeanspruchung tritt die Bauteilverformung bei der Anwendung des isotrop-kinematischen Verfestigungsmodells früher als beim Einsatz des isotropen Verfestigungsmodells ein
- Während der Simulation wurde festgestellt, dass Eigenspannungen keinen signifikanten Einfluss auf den Prozessverlauf zeigen

Zusammenfassung

- Entwicklung einer neuen Methodik zur Charakterisierung kinematischer Verfestigung für Werkstoffe der Kaltmassivumformung
- Durch Berücksichtigung der kinematischen Verfestigung ermöglicht eine Verbesserung der Vorhersagegüte von Bauteileigenschaften
- Realitätsnahe Simulation der Spanbildung bei der Bearbeitung von 16MnCr5
- Simulationsgestützte Vorhersage der Beeinflussung umformtechnisch eingestellter Bauteileigenschaften durch Zerspanprozesse möglich
- Es wurde die Datenübertragung zwischen FEM-Systemen für die Prozesssimulation (Umformung/Zerspannung) und für die strukturmechanische Berechnung realisiert
- Im Zuge der CAE-basierte Prozesskettenauslegung wurde eine verkettete Simulation der Umformung, Zerspannung und Betriebsbelastung durchgeführt; die Gewichtsoptimierung der Bauteile erfolgte in OptiSLang an einem Metamodell

Danksagung



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie



Forschungsnetzwerk
Mittelstand



Industrielle
Gemeinschaftsforschung



Forschungsvereinigung
Stahlanwendung e. V.

