

Simulation der Materialeigenschaften von Dualphasenstahl auf Basis von 3D-Mikrostrukturen

Motivation

Dualphasenstähle zeigen einen komplexen Zusammenhang zwischen ihrer Mikrostruktur und ihren Materialeigenschaften. Aus diesem Grund basiert die Entwicklung neuer Stahllegierungen auch heute noch maßgeblich auf Erfahrungswerten. Die Materialparameter der neuen Legierung, z.B. E-Modul und Streckgrenze, können traditionell erst nach der Herstellung durch Prüfverfahren wie den uniaxialen Zugversuch bestimmt werden. Dies ist ein zeit- und kostenintensiver Prozess, der oft mehrere Iterationen erfordert. Aus diesem Grund ist eine tiefere Kenntnis der Gefüge-Eigenschafts-Korrelation von Dualphasenstählen notwendig.

⇒ Vorhersage der Materialparameter beliebiger Mikrostrukturen durch numerische Simulation der Gefüge-Eigenschafts-Korrelation

- Qualitätssteigerung
- Zeit- und Kosteneinsparung
- Ressourcenschonung

3D-Tomographie

- 3D-Tomographie als Ausgangspunkt zur Mikrostruktursimulation

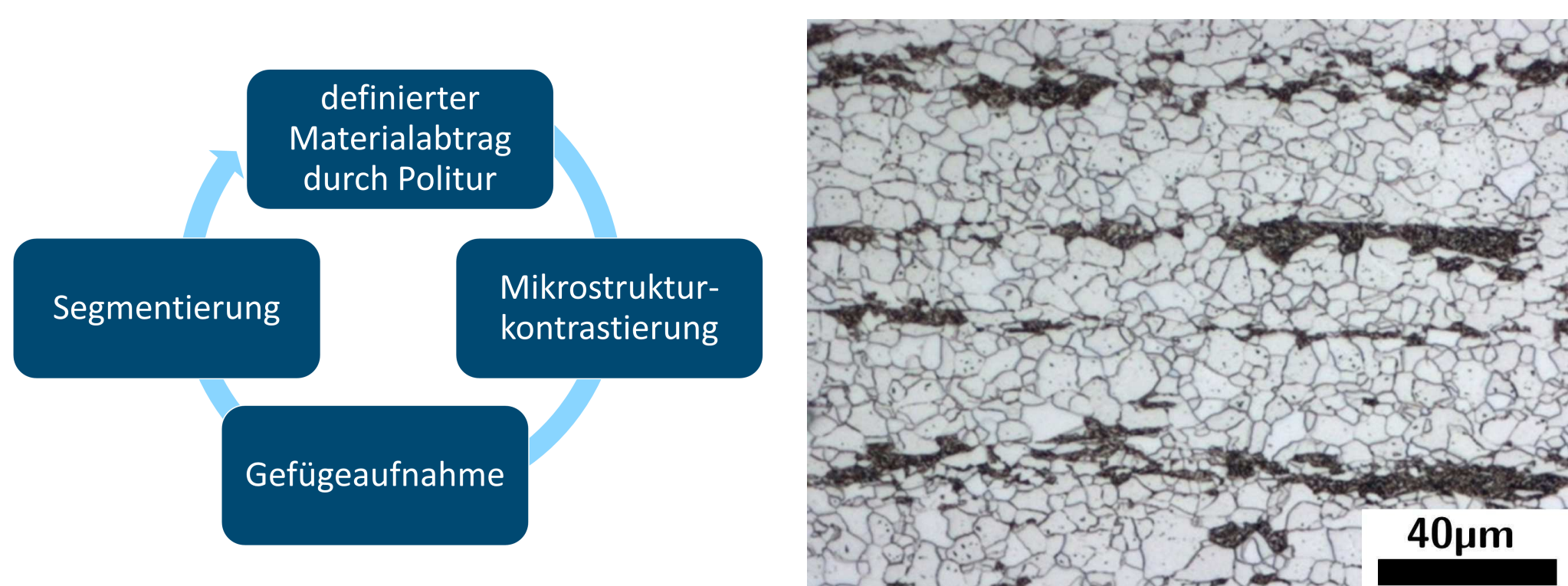


Abbildung 1: Schematischer Ablauf einer Serienschlitttomographie (links) und durch Ätzung kontrastierte 2D-Mikrostruktur (rechts)

- Rekonstruktion der 3D-Struktur aus Stapeln von 2D-Gefügebildern

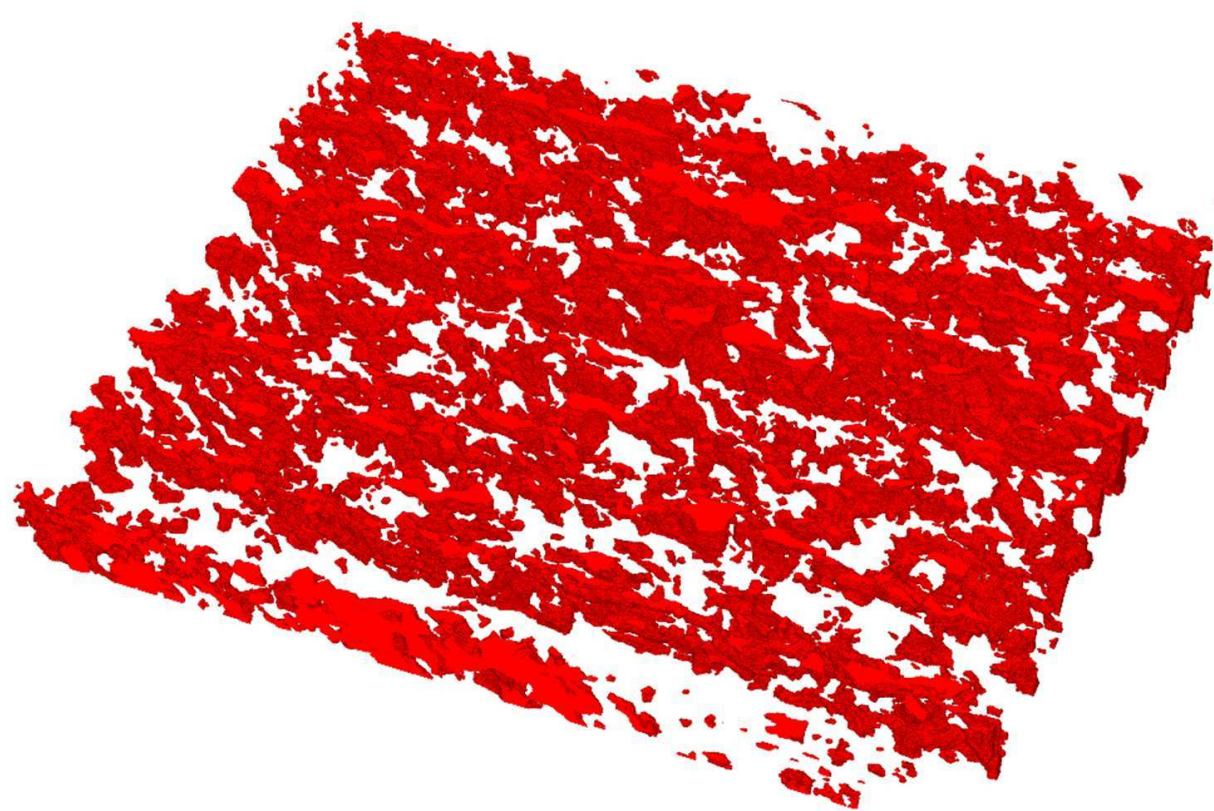


Abbildung 2: 3D-Mikrostruktur (Martensit rot, Ferrit transparent)

Modellierung

- elastoplastisches Materialmodell mit linearer, isotroper Verfestigung

$$\sigma = 2\mu(\epsilon - \epsilon_p) + \lambda \text{tr}(\epsilon - \epsilon_p)\mathbf{I}$$

$$g(\mathbf{s}, \alpha) = \|\mathbf{s}\| - \sqrt{2/3}(\sigma_y + K\alpha)$$

$$\text{if } (g(\mathbf{s}, \alpha) > 0) \quad \dot{\epsilon}_p = \gamma \frac{\partial g}{\partial \mathbf{s}}, \quad \gamma = \frac{2\mu}{2\mu + 2/3K} \mathbf{N} : \dot{\epsilon}$$

- Implementierung in C++ FEM-Programmbibliothek deal.II [1]
- Lösung des Gleichungssystems mit Newtonverfahren und numerischer Tangente [2]
- parallelisierte Rechnung

[1]: W. Bangerth & R. Hartmann & G. Kanschat, ACM Trans. Math. Softw. 33-4 (2007)

[2]: F. Goldschmidt, Dissertation, Universität des Saarlandes (2015)

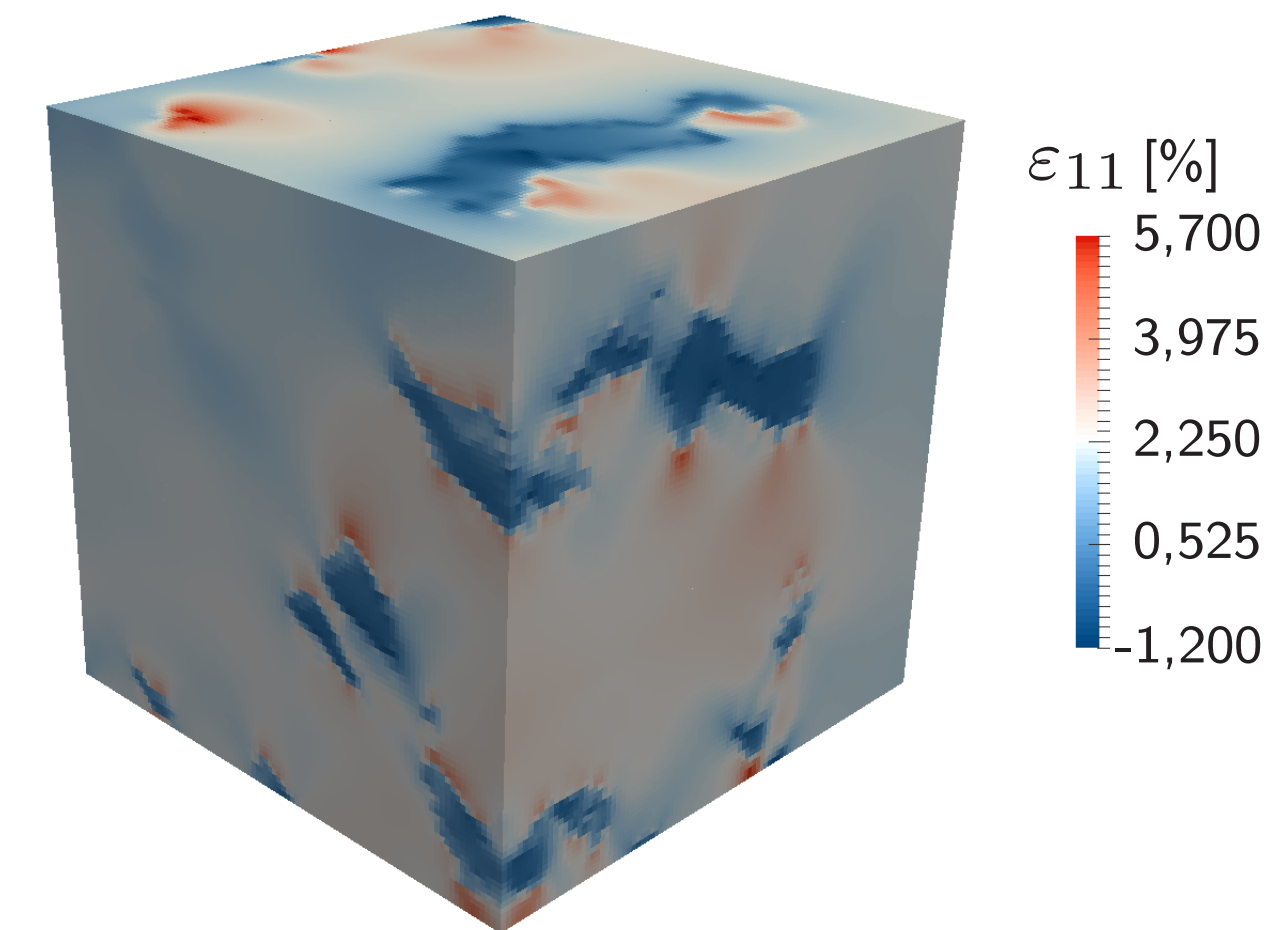
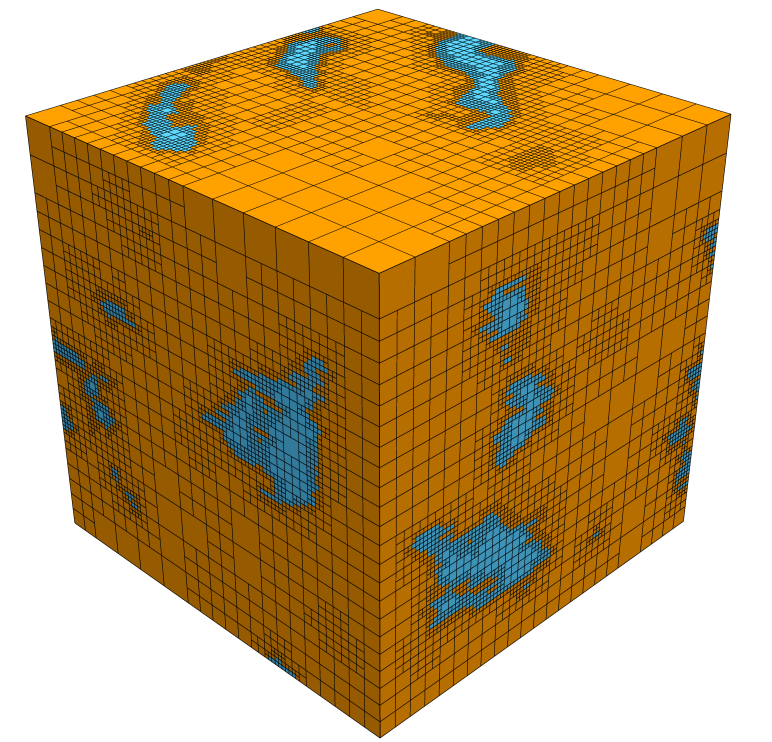


Abbildung 3: Dehnungsverteilung einer beispielhaften Mikrostruktur im simulierten Zugversuch

- Import beliebiger, voxelbasierter Mikrostrukturen
- Vorgabe: Rechnung auf Desktop-PCs durchführbar
- Verschiedene Verfahren zur Datenreduktion:
 - * Boxfilter
 - * Materialdefinition an den Stützstellen
 - * hanging-node-Vernetzung



Interphase

- Nachbildung verfestigender Effekte durch Anpassung der Materialparameter der um Martensitpartikel herumliegenden Ferritbereiche
- Messung der Grenzschichteigenschaften durch Nanoindentation und Modellierung des Verhaltens mittels Helmholtzgleichung
⇒ Erhöhung des Spannungsniveaus

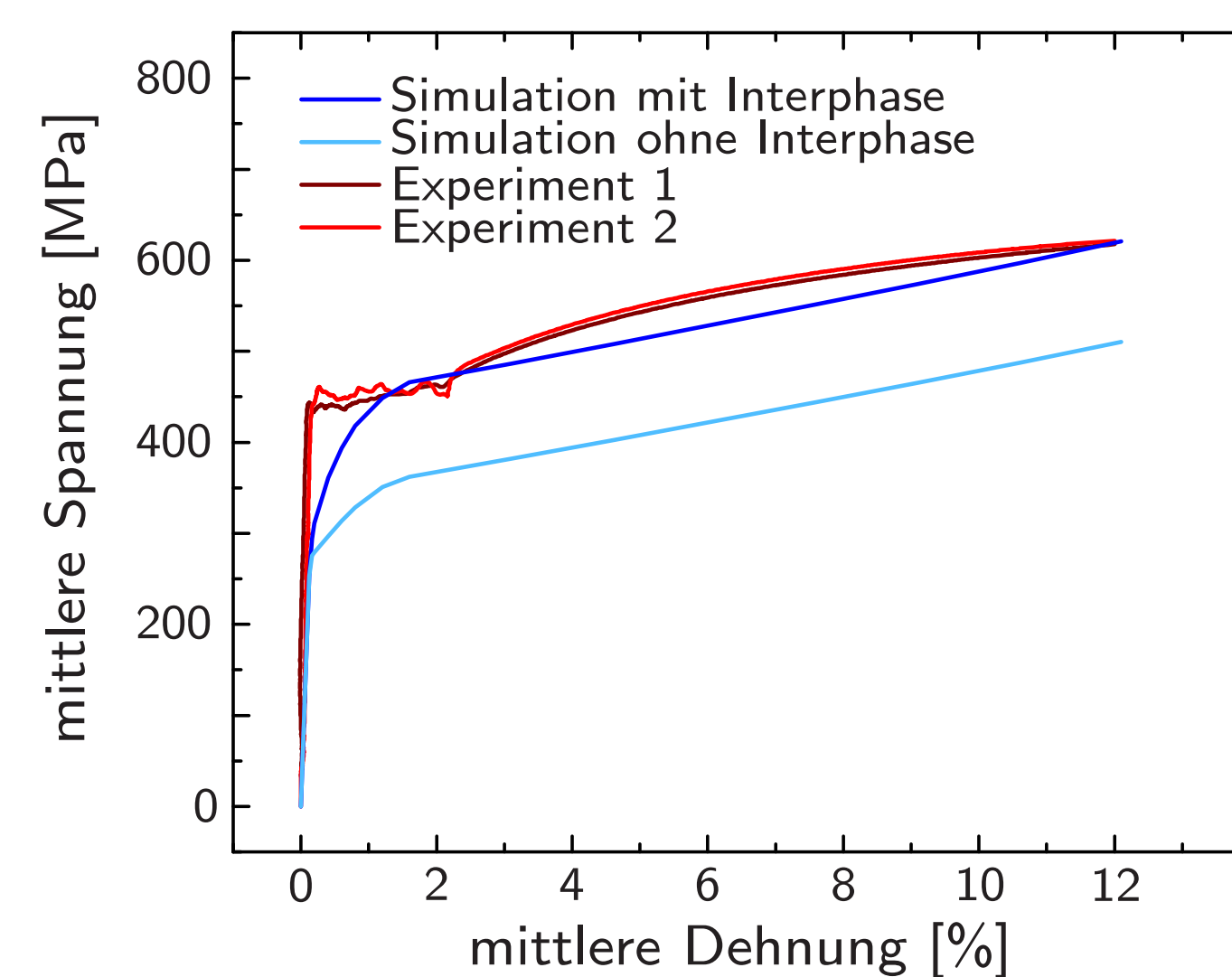


Abbildung 4: Vergleich von experimenteller und simulierter Fließkurve (mit und ohne Interphase)

Zusammenfassung und Ausblick

- Simulation kann den Spannungs-Dehnungs-Verlauf beschreiben
⇒ Ableitung von Materialparametern möglich
- Numerische Identifikation der Materialparameter von reinem Ferrit/Martensit aus Nanoindentationskurven
- **Projektziel:**
Kenntnis des notwendigen Gefüges zur genauen Einstellung der gewünschten Eigenschaften durch numerische Optimierung

Kooperationspartner

- Lehrstuhl für Funktionswerkstoffe & Lehrstuhl für experimentelle Methodik der Werkstoffwissenschaften, Universität des Saarlandes
- AG der Dillinger Hüttenwerke