

# *Co-Simulation einer Hochdruckpumpe*

---

für PKW-Dieseleinspritzsysteme



Mehrkörpersysteme  
Universität Kassel

---

**RWTHAACHEN**  
**UNIVERSITY**

**IFAS**

Institut für  
fluidtechnische  
Antriebe und  
Steuerungen

*Robert Schmoll und Julian Ewald*  
25.05.2011

# Gliederung

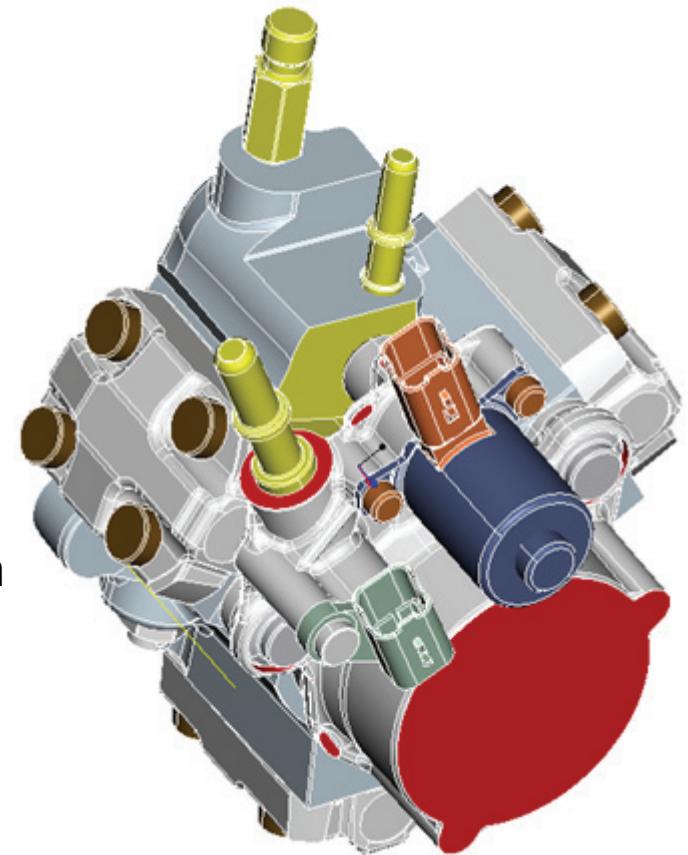
---

- Einleitung
- Modellbildung Mechanik
- Modellbildung Hydraulik
- Kopplung und Co-Simulation
- Simulationsergebnisse
- Zusammenfassung und Ausblick

# Einleitung

---

- Ziel der Co-Simulation
  - GesamtSimulation bisher getrennt betrachteter Subsysteme
  - Bestimmung der notwendigen Submodelltiefen
  - Anwendung unterschiedlicher Kopplungsverfahren
  - Simulation dynamischer Koppeleffekte
- Förderung durch FVV
- Forschungsstellen
  - Universität Kassel
    - Fachgebiet Mehrkörpersysteme
    - Institut für Maschinenelemente/Konstruktionstechnik
  - RWTH Aachen
    - Institut für fluidtechnische Antriebe und Steuerungen
- Betrachtete Anwendung:
  - Hochdruckpumpe für PKW-Anwendung
  - 3-Kolben-Radialkolbenpumpe
  - Antrieb durch Steuertrieb des Motors



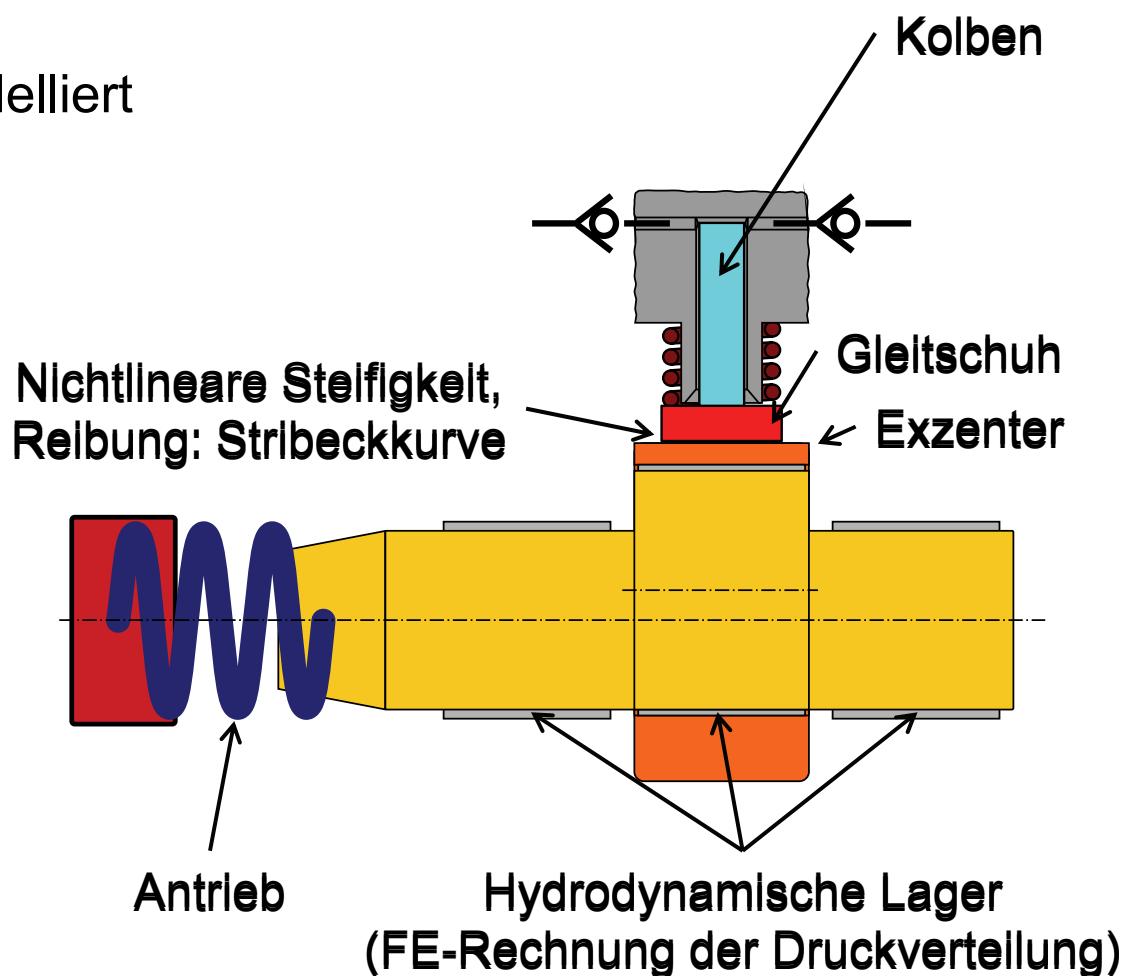
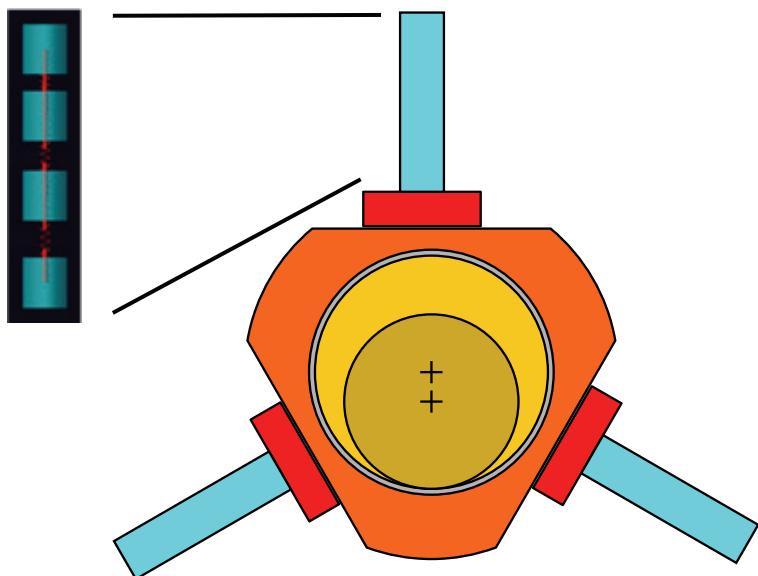
# Gliederung

---

- Einleitung
- Modellbildung Mechanik
- Modellbildung Hydraulik
- Kopplung
- Simulationsergebnisse
- Zusammenfassung und Ausblick

# Modellbildung Mechanik – Übersicht

- Antriebswelle flexibel modelliert (modal reduziert)
- „Weicher“ Antrieb der Pumpenwelle
- Hydrodynamische Lager
- Exzenter und Gleitschuh starr modelliert
- Kolben als 4-Massen-Schwinger



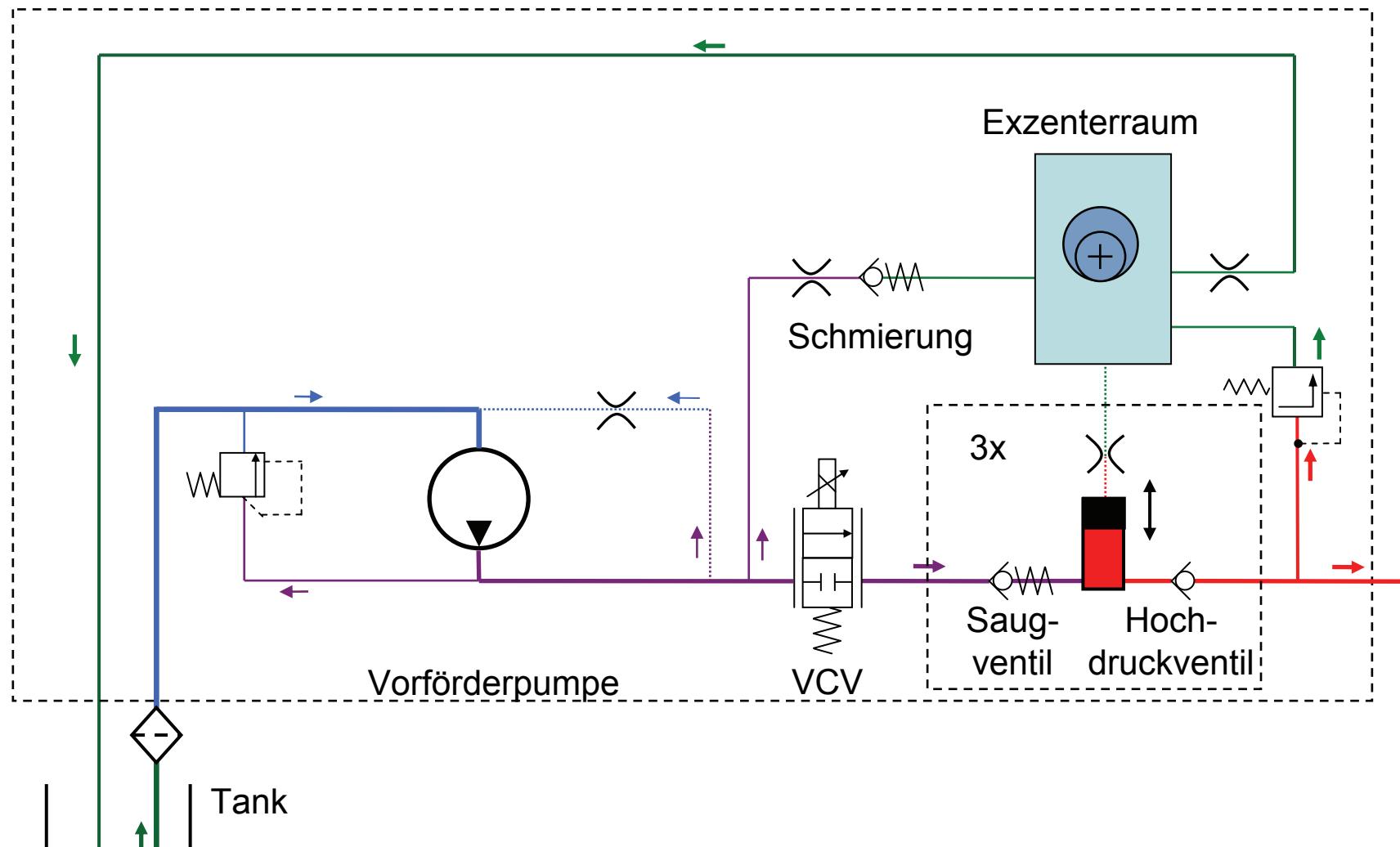
# Gliederung

---

- Einleitung
- Modellbildung Mechanik
- Modellbildung Hydraulik
- Kopplung
- Simulationsergebnisse
- Zusammenfassung und Ausblick

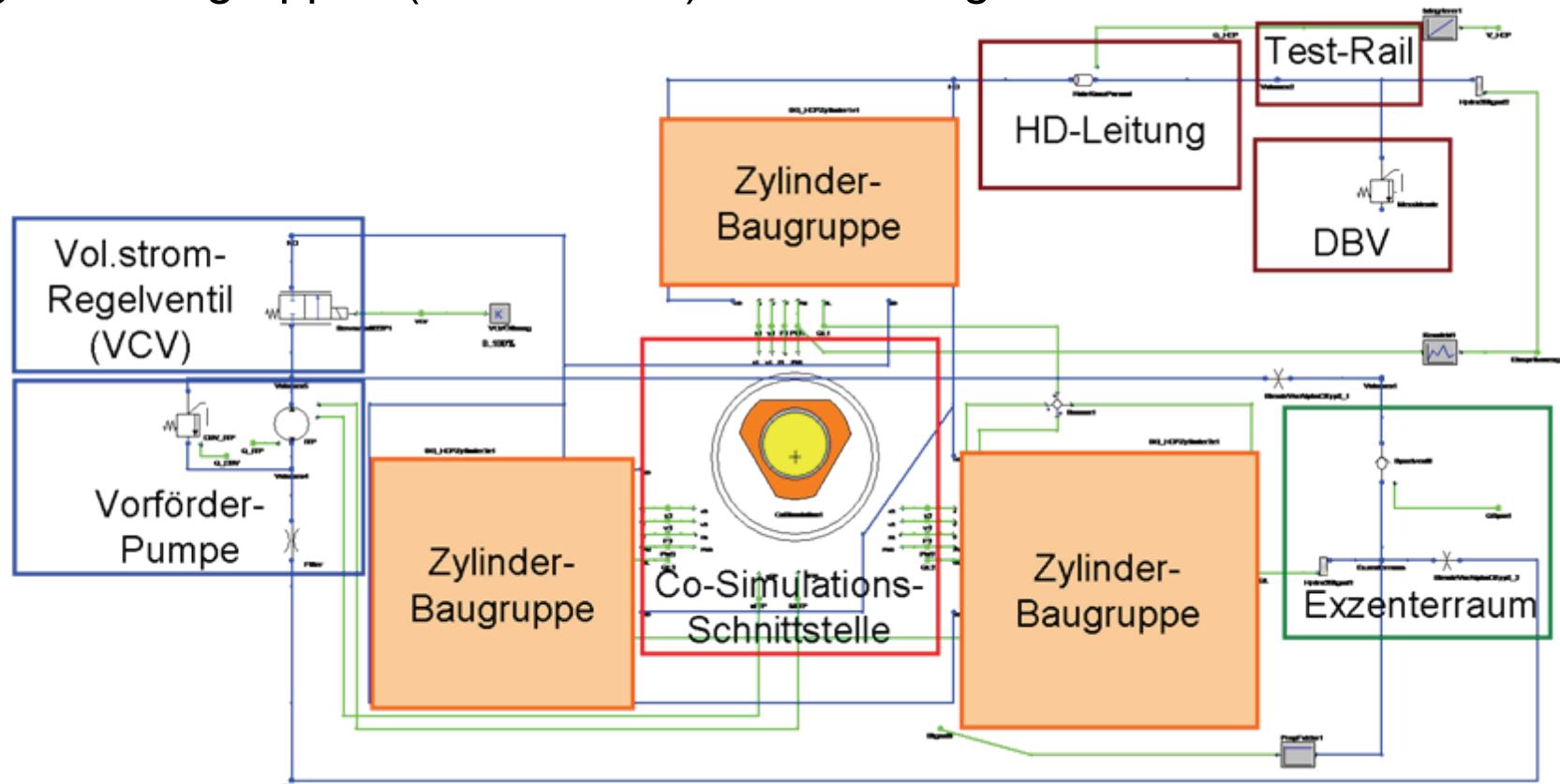
# Hydraulischer Schaltplan der Hochdruckpumpe

Vereinfachter Schaltplan ohne Rail und Injektoren

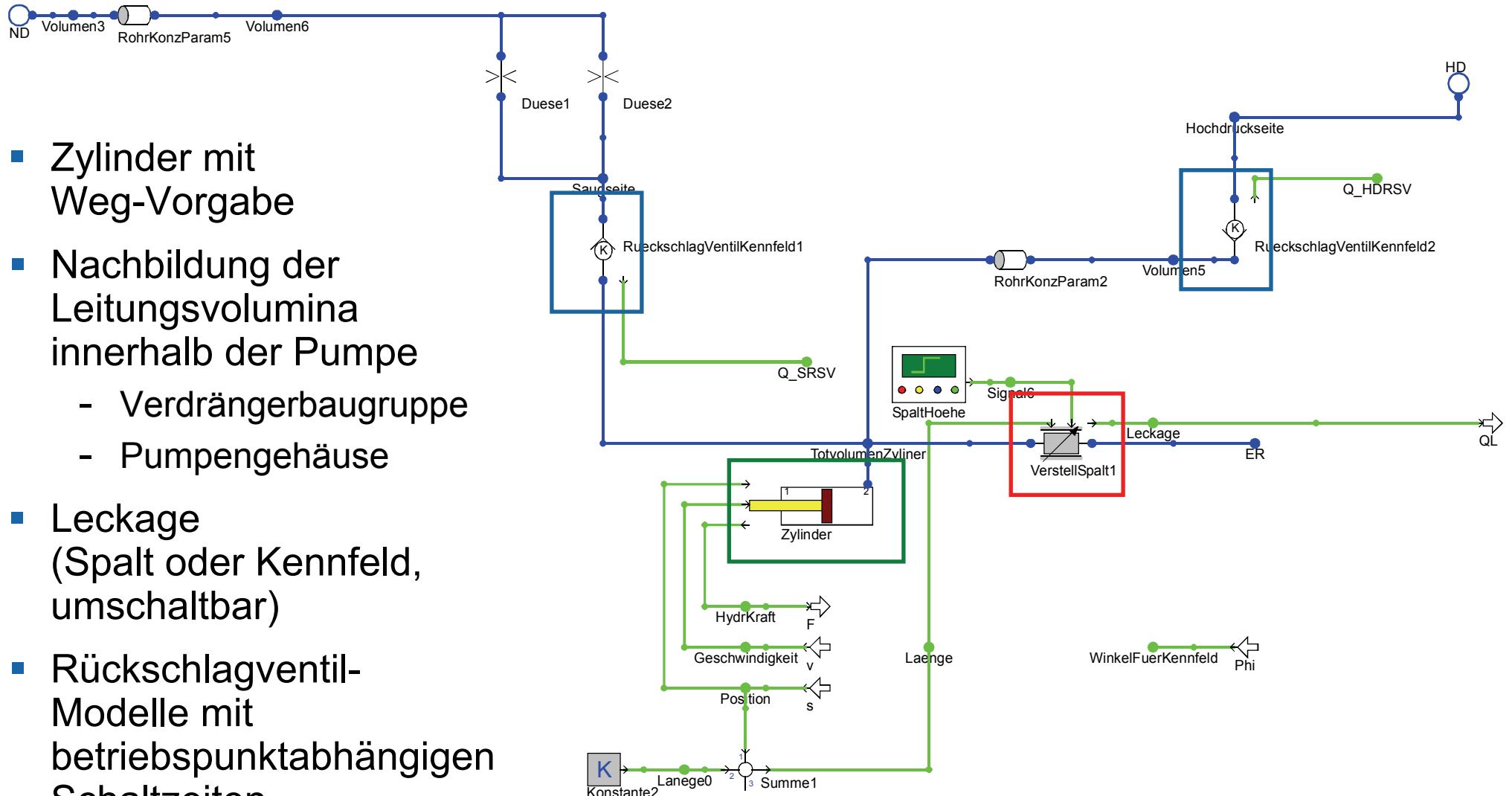


# Modellbildung der Hochdruckpumpe

- Modell orientiert sich am physikalischem Aufbau der Hochdruckpumpe
- Simulation eines Pumpenprüfstands im ersten Schritt
- Unterschiedliche Modelltiefen
- Nutzung von Baugruppen (Submodelle) für Verdrängereinheiten

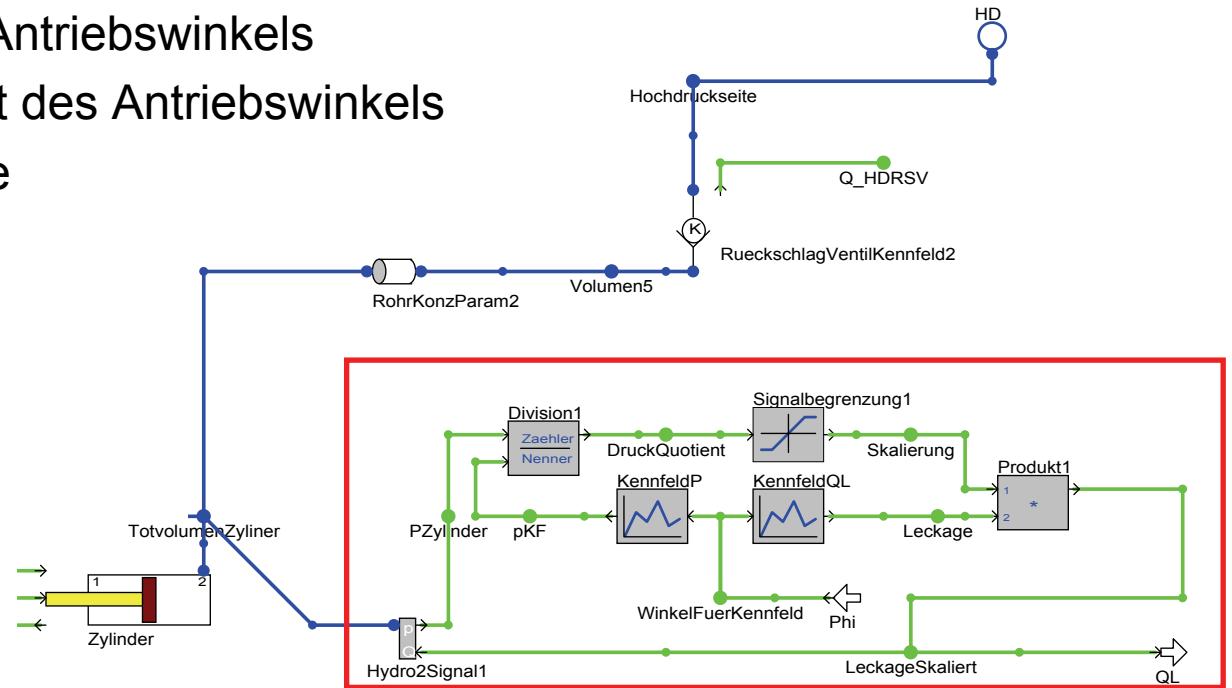


# Modellbildung der Verdrängereinheit



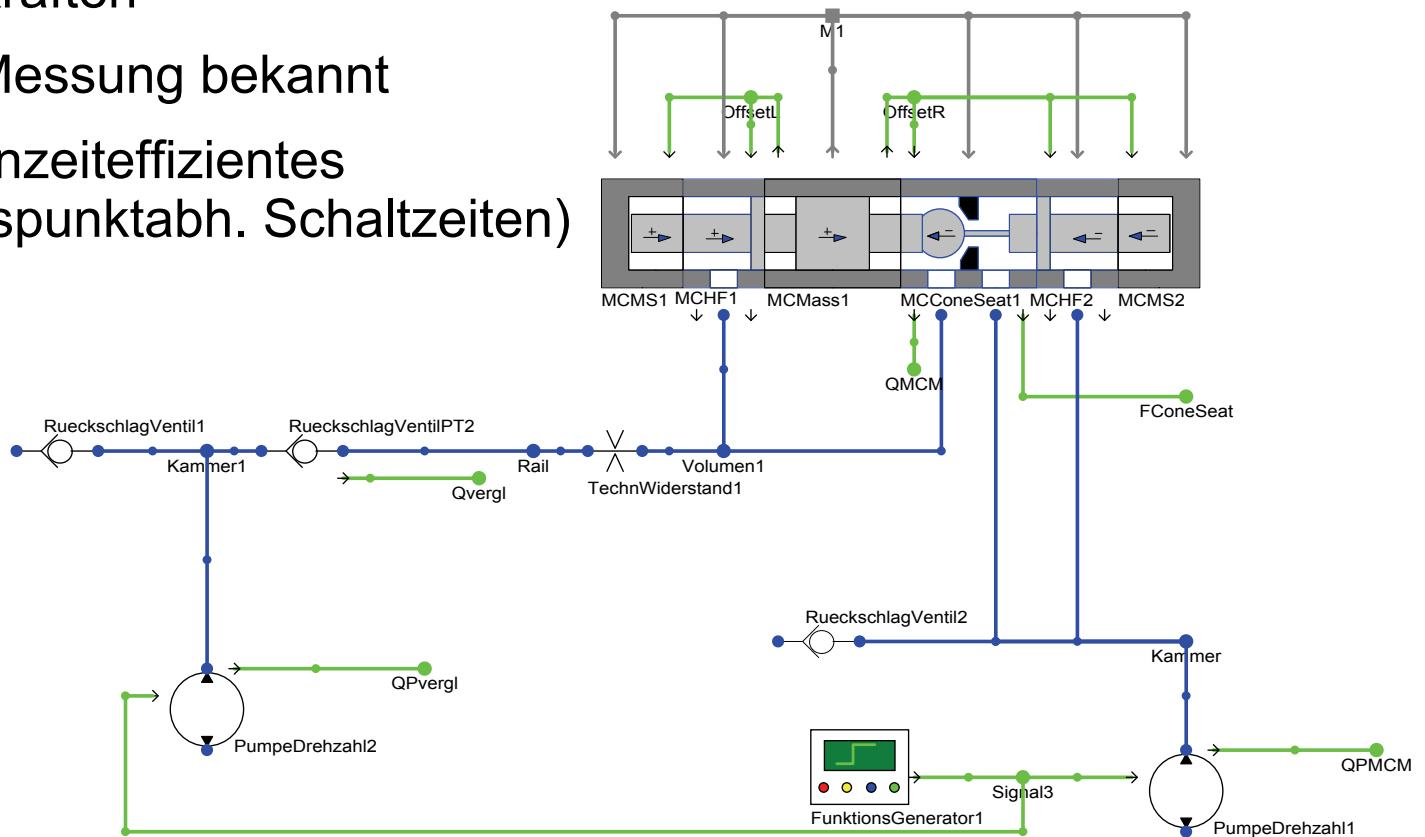
# Einbindung der Leckagekennfelder

- Exakte Leckagekennfelder aus EHD-Berechnung des Kolben-Buchse-Kontaktes von IMK in Abhangigkeit von:
  - Antriebswinkel
  - Druckverlauf
  - Querkraftverlauf
- Einbettung zweier Kennfelder
  - Leckage in Abhangigkeit des Antriebswinkels
  - Referenzdruck in Abhangigkeit des Antriebswinkels
  - Sechs Referenzbetriebspunkte
  - Lineare Skalierung in Abhangigkeit der Druckabweichung



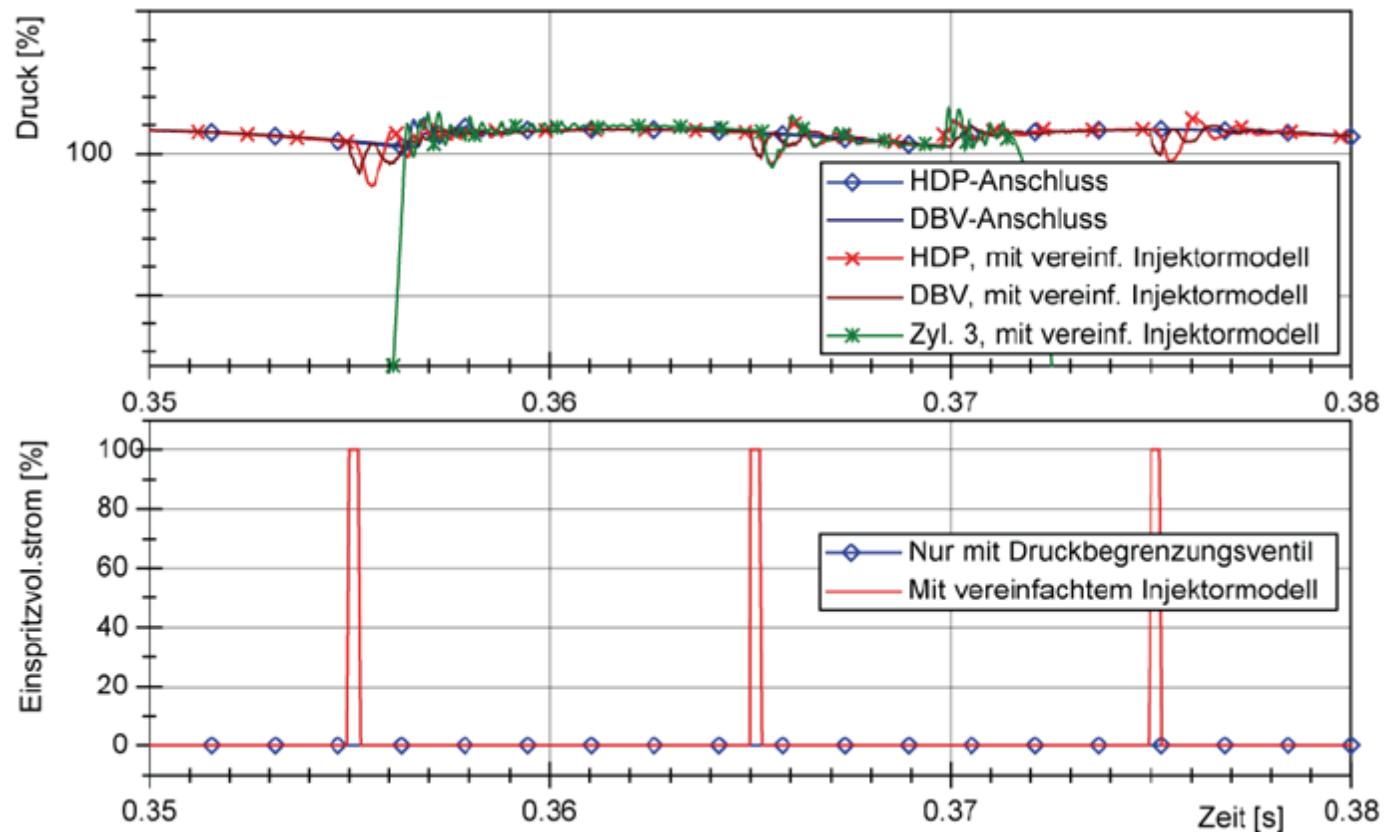
# Modellbildung Rückschlagventile

- Ziel: Untersuchung der Ventildynamik
- Modellierung mit Mikro-Komponenten-Bibliothek (MKB)
- Kräftegleichgewicht mit Strömungs-, Trägheits- und Druckkräften
- Statische Werte aus Messung bekannt
- Parametrierung rechenzeiteffizientes Ersatzmodell (Betriebspunktabh. Schaltzeiten)



# Ungekoppelte Simulation des Hydraulikmodells

- Betriebspunkte
  - 1500 1/min Pumpendrehzahl
  - 3000 1/min Motordrehzahl
  - 50 cm<sup>3</sup>/s Einspritzvolumenstrom über 0,5 s
  - Maximaler Druck
  - 100 Einspritzungen/s
  - Entspricht ca. 75 kW bei 200 g/kWh
- Einspritzung erzeugt Druckschwankungen im Rail und in der HDP
  - Fortsetzung bis in Verdrängerraum der HDP
  - Anregung auf die Co-Simulations-Schnittstelle

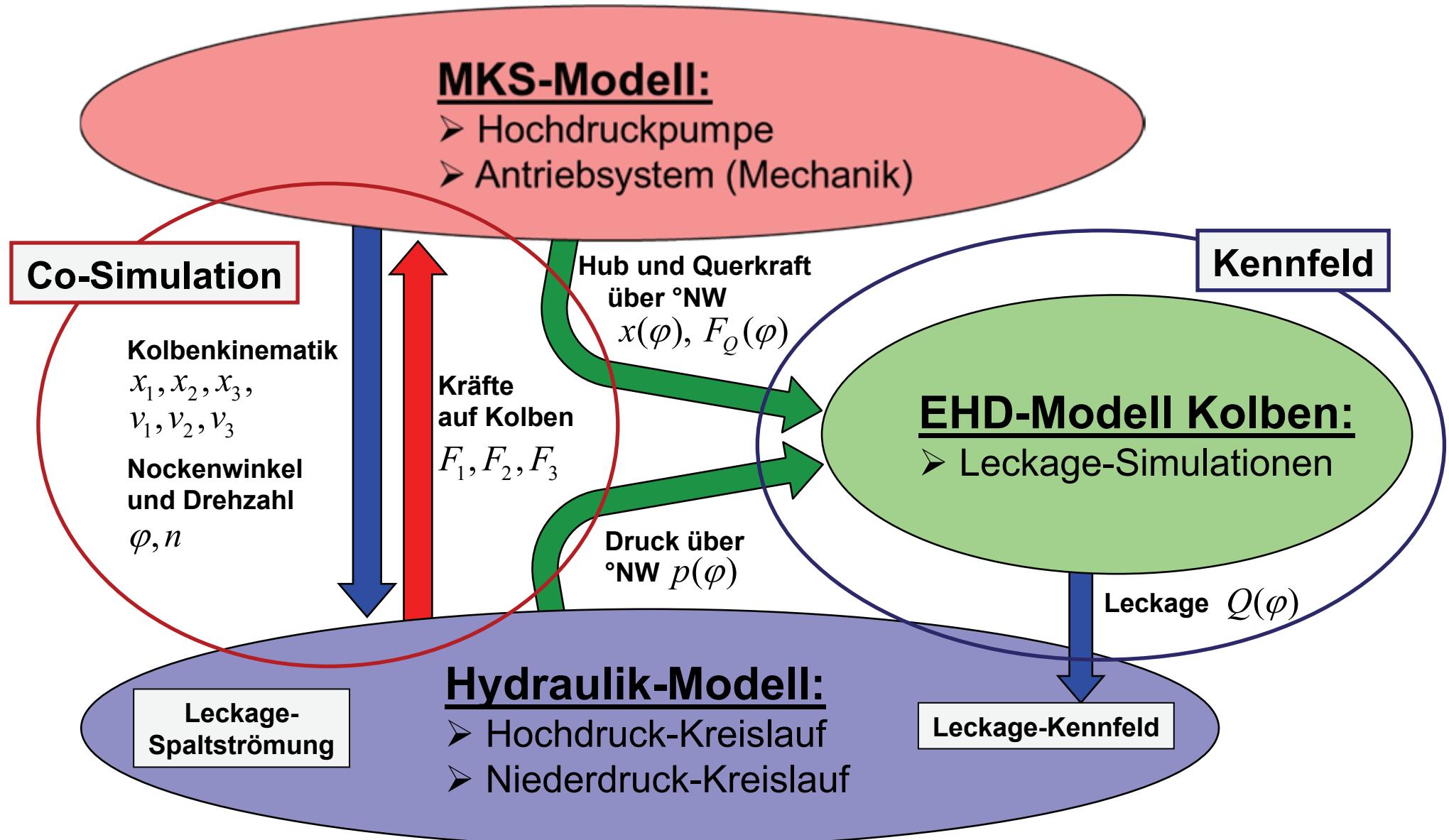


# Gliederung

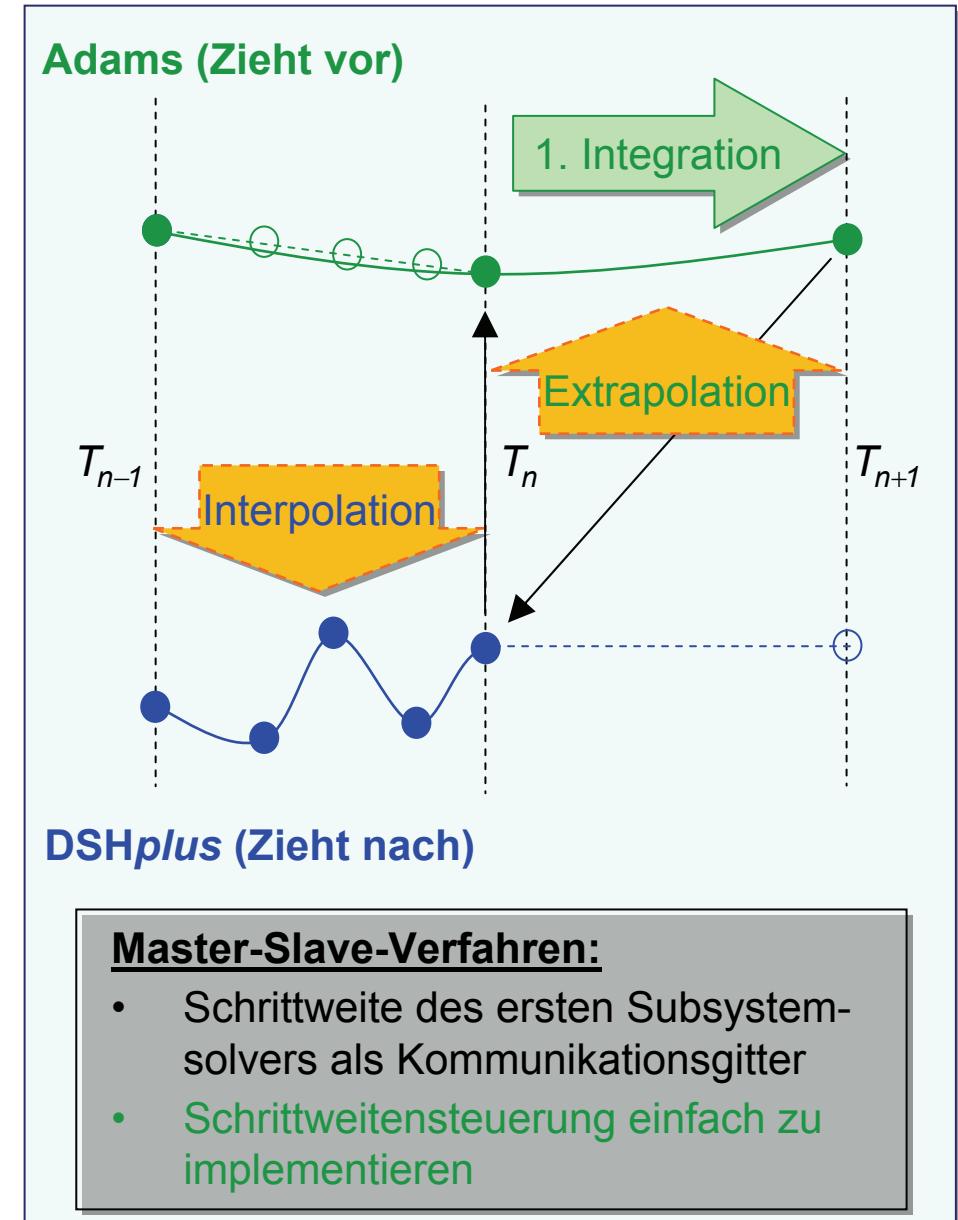
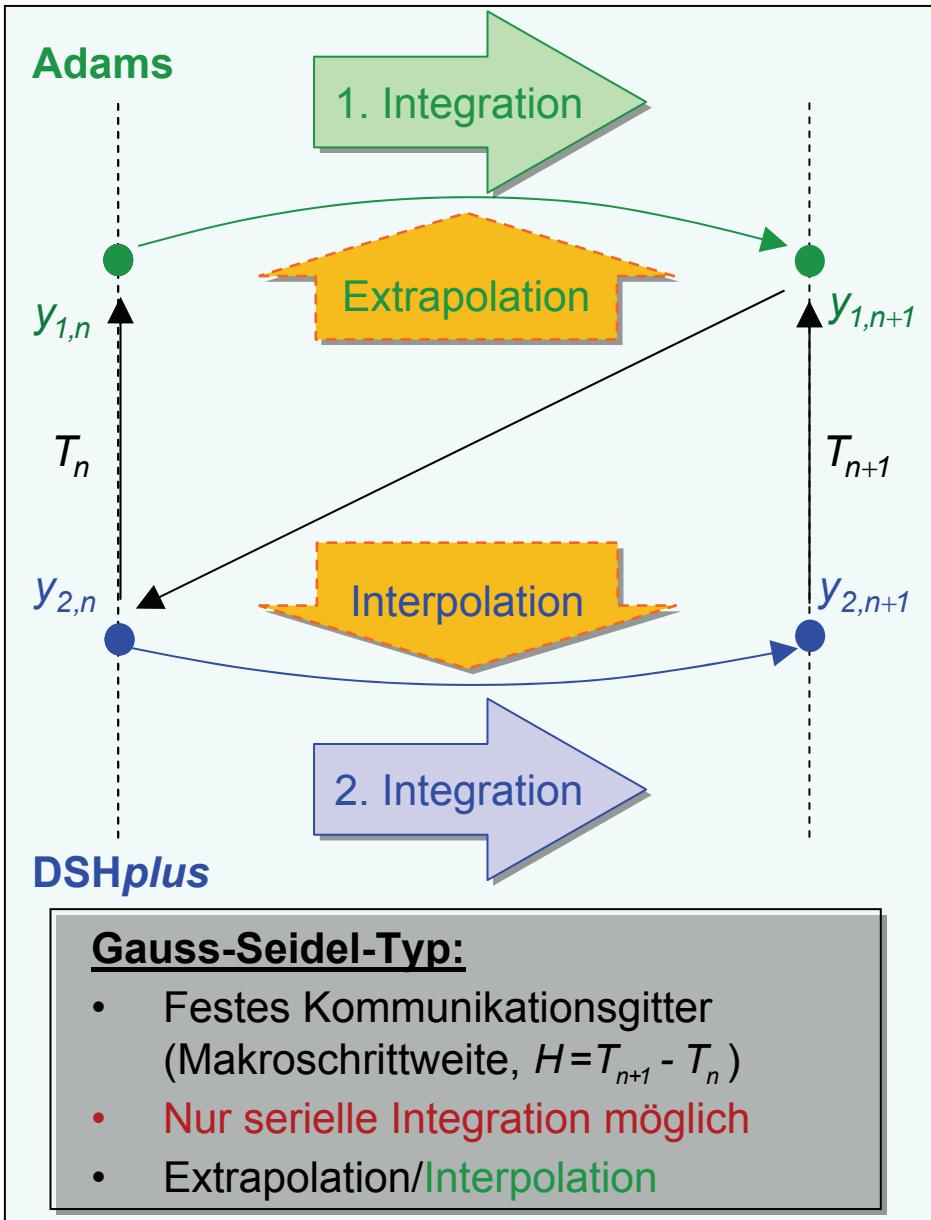
---

- Einleitung
- Modellbildung Mechanik
- Modellbildung Hydraulik
- Kopplung
- Simulationsergebnisse
- Zusammenfassung und Ausblick

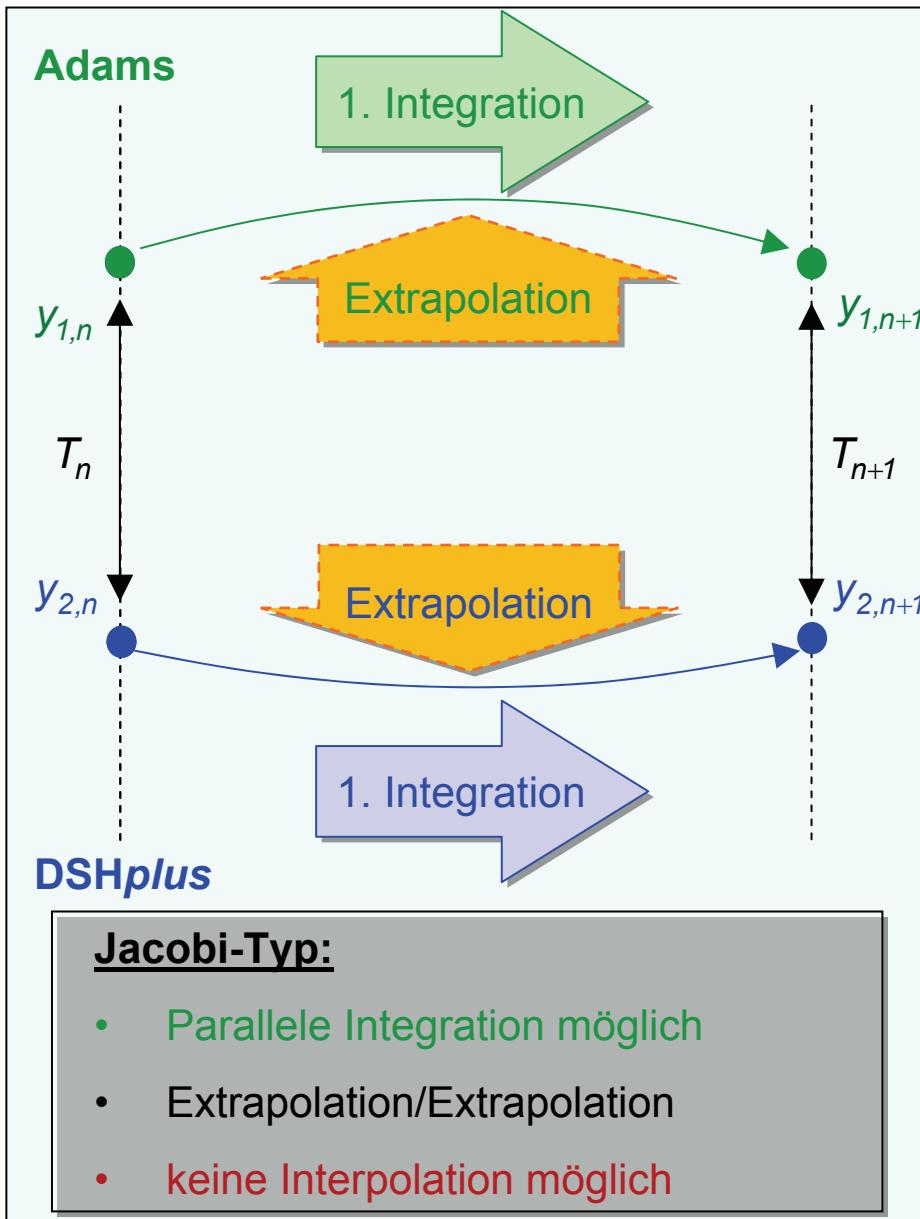
# Schnittstellen der Co-Simulation



# Realisierte Kopplungsarten – Gauss-Seidel-Typ, Master-Slave-Verfahren



# Realisierte Kopplungsarten – Jacobi-Typ, feste Makroschrittweite



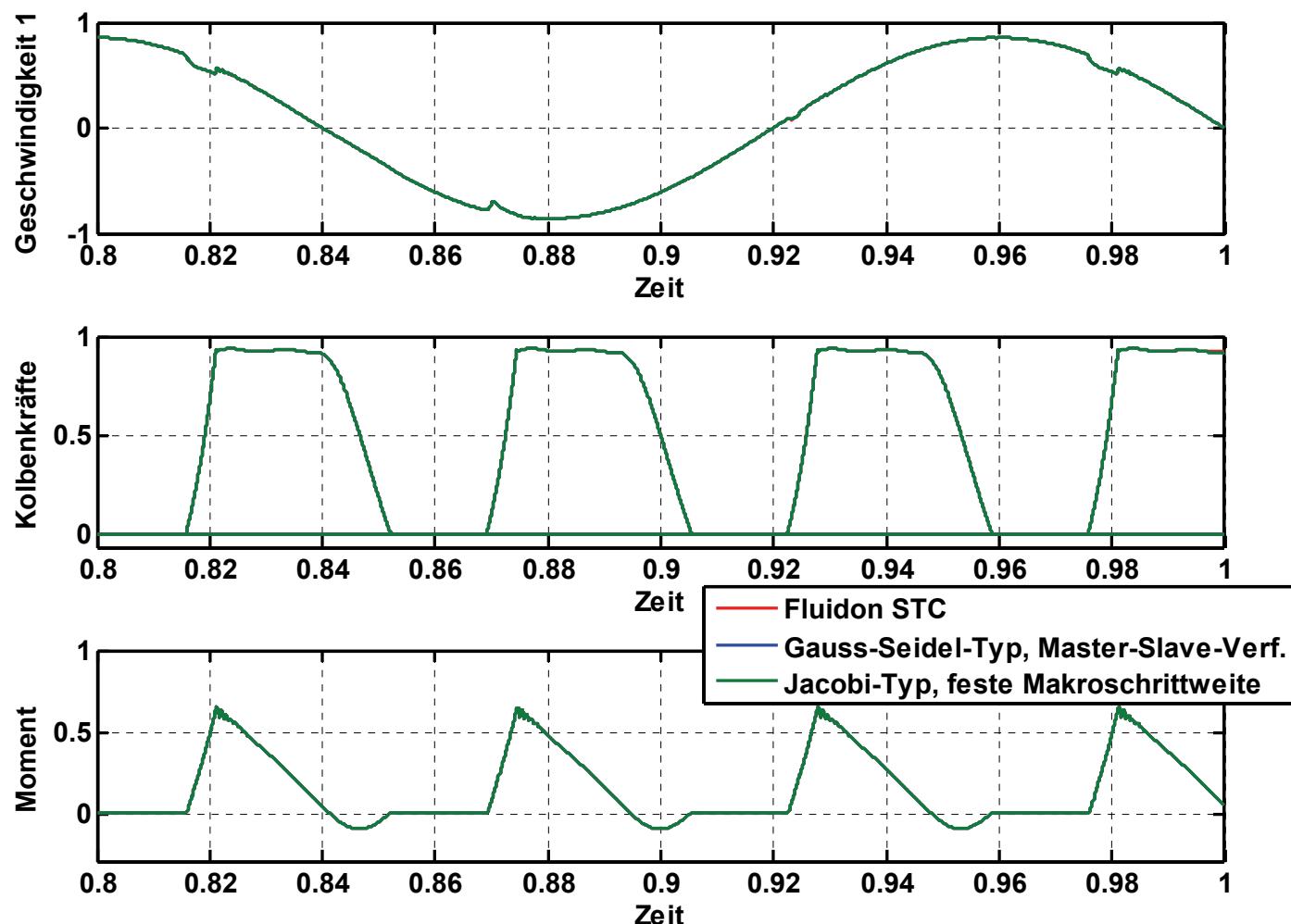
# Gliederung

---

- Einleitung
- Modellbildung Mechanik
- Modellbildung Hydraulik
- Kopplung
- Simulationsergebnisse
- Zusammenfassung und Ausblick

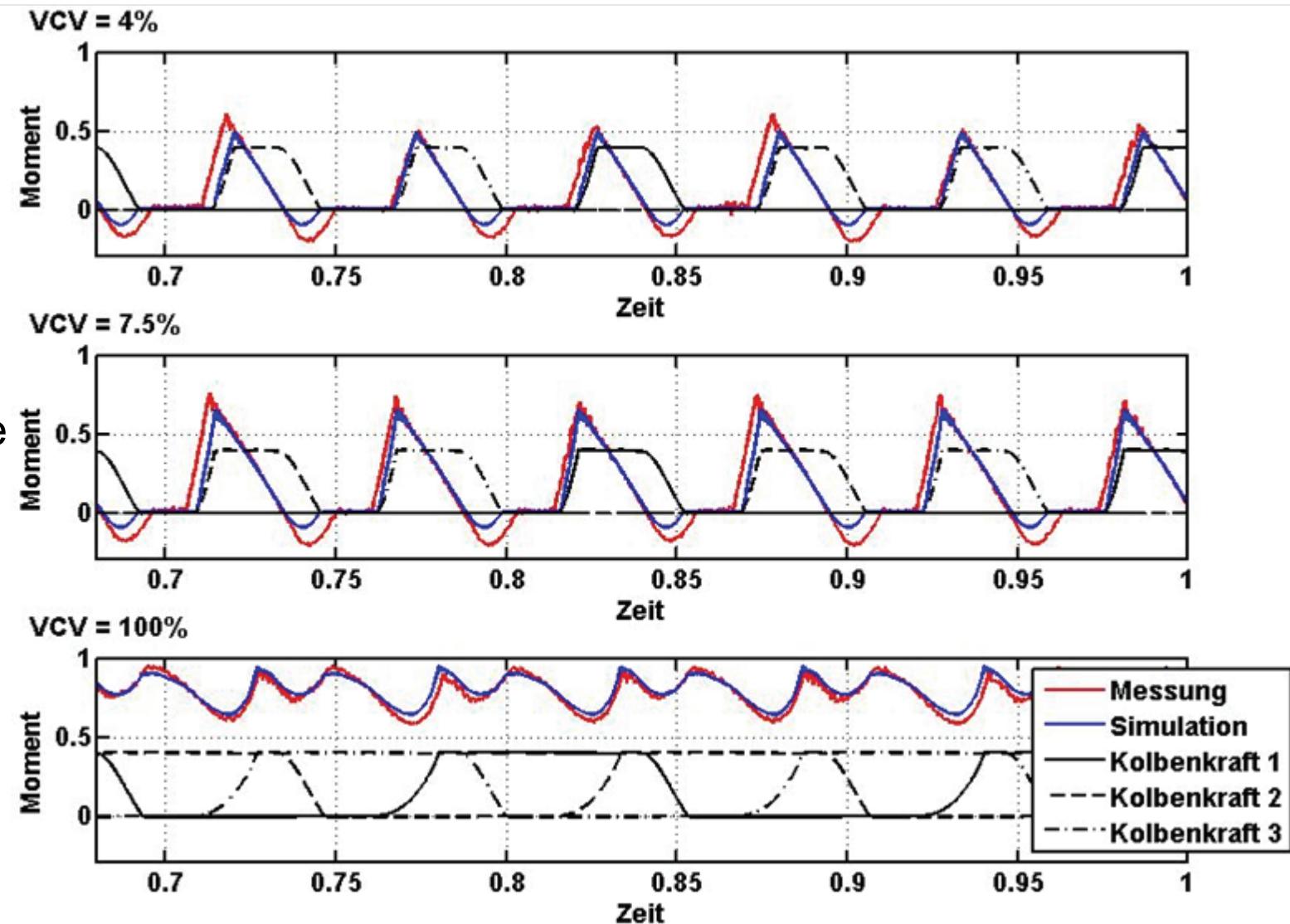
# Gekoppelte Simulation

- Schnittstellen liefern gute und weitgehend übereinstimmende Ergebnisse
- STC Schnittstelle (Fa. Fluidon) bedingt sehr kurze Schrittweite in ADAMS
  - Optimierungspotential
- Zugeschnittene Schnittstellen deutlich schnellere Rechenzeit
- Jacobi-Typ erlaubt paralleles Rechnen
- Rechenzeit (mit 2 CPU-Kernen)
  - STC: 134 min
  - GST: 24 min
  - JT: 19 min
- Arbeitspunkt
  - 50%  $n_{\max}$
  - 100%  $p_{\max}$
  - 7,5% VCV



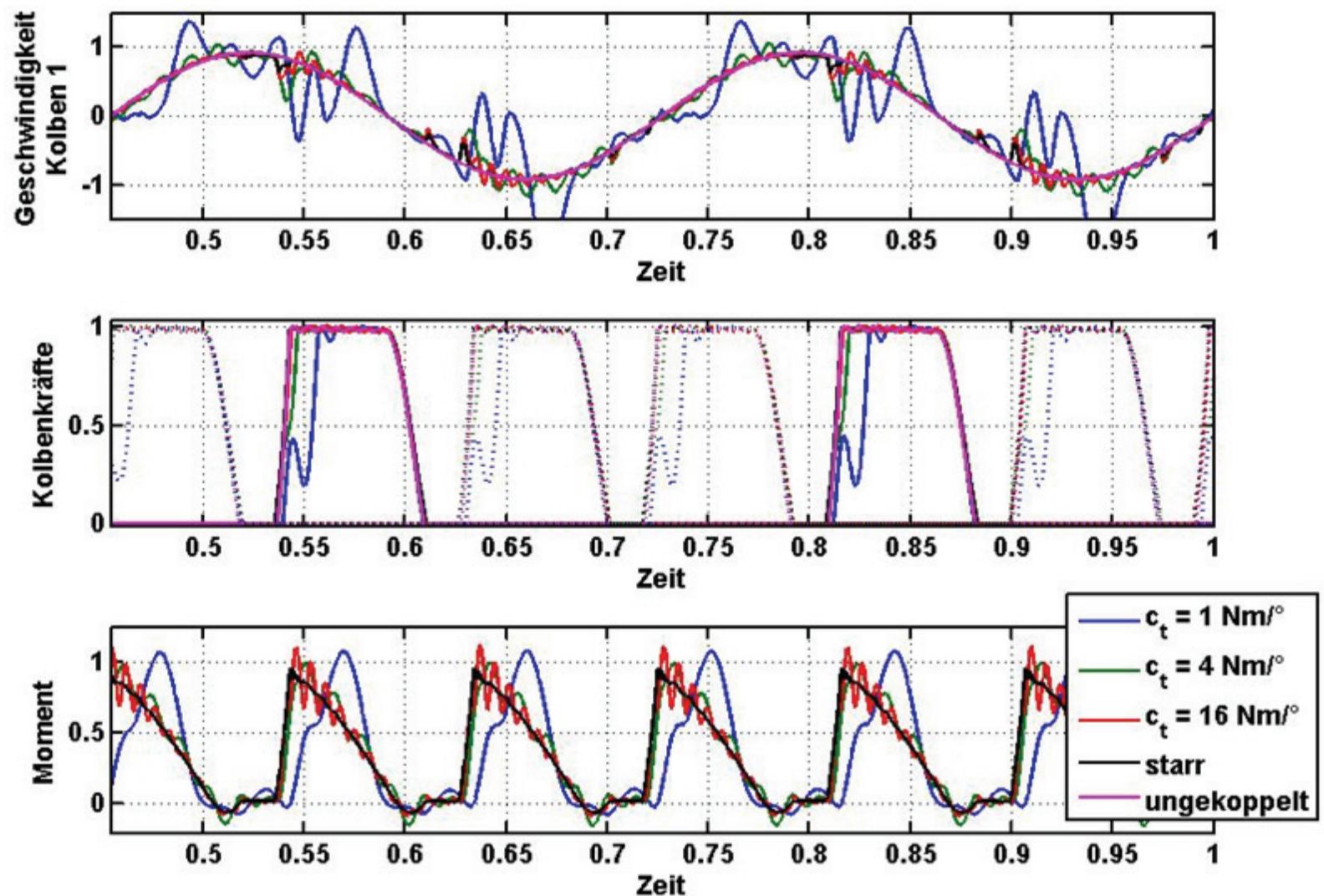
# Gekoppelte Simulation – Antriebsmoment bei versch. Saugdrosselung

- Arbeitspunkt
  - 50%  $n_{\max}$
  - 50%  $p_{\max}$
- Kalibration des Simulationsmodells erforderlich
  - Reibwerte der Lager
- Grundsätzlich gute Übereinstimmung zw. Messung und Simulation



# Gekoppelte Simulation – Variation der Antriebssteifigkeit

- Arbeitspunkt
  - 50%  $n_{\max}$
  - 50%  $p_{\max}$
  - 10% VCV
- Antriebssteifigkeit sehr stark reduziert  
(theoretische Untersuchung)



# Zusammenfassung und Ausblick

---

- Mechanisches und hydraulisches Simulationsmodell aufgebaut
- Kopplung ADAMS mit DSHplus, *Austausch von Zustandsgrößen*
- Co-Simulationsschnittstelle aufgesetzt
  - Ergebnisse zeigen weitgehende Übereinstimmung
  - Abstimmung der Schnittstelle zeigt deutliche Rechenzeitsparnis
  - Weitere Rechenzeitsparnis durch Parallelisierung
- Untersuchung an Fallstudien
  - Drehelastischer Antrieb der Hochdruckpumpe
  - Bei sehr niedriger Federsteifigkeit des Antriebs ausgeprägte Effekte
  - Extreme Betriebspunkte
- Ausblick:
  - Untersuchung von weiteren Effekten
  - Erweiterung Injektoren, Druckregelung durch VCV
  - Simulation von Einspritzsystemen
  - Optimierung der Schnittstelle

**Vielen Dank für Ihre  
Aufmerksamkeit.**

*Fragen & Anregungen?*



Institut für  
fluidtechnische  
Antriebe und  
Steuerungen