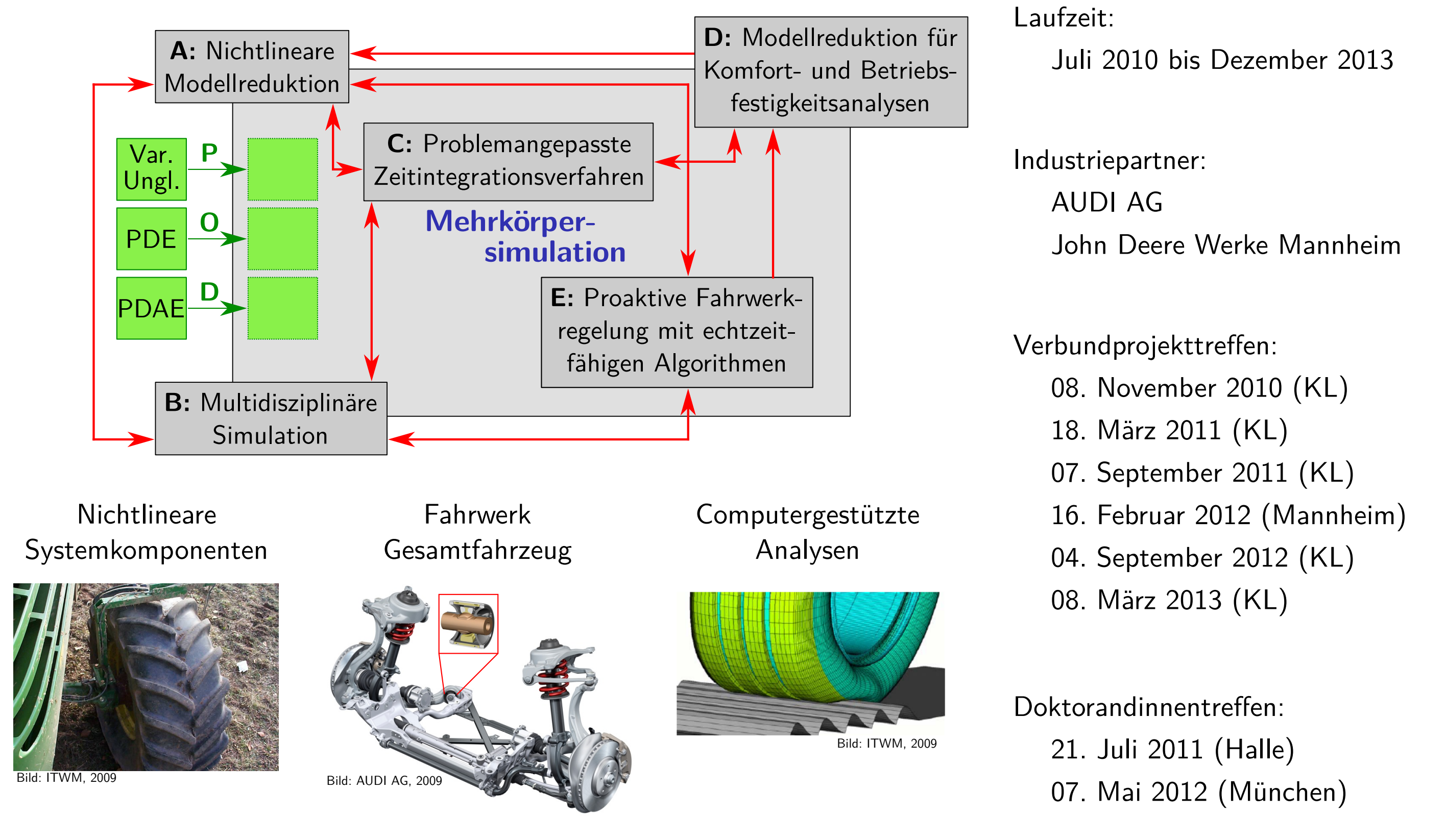


## Verbundprojekt



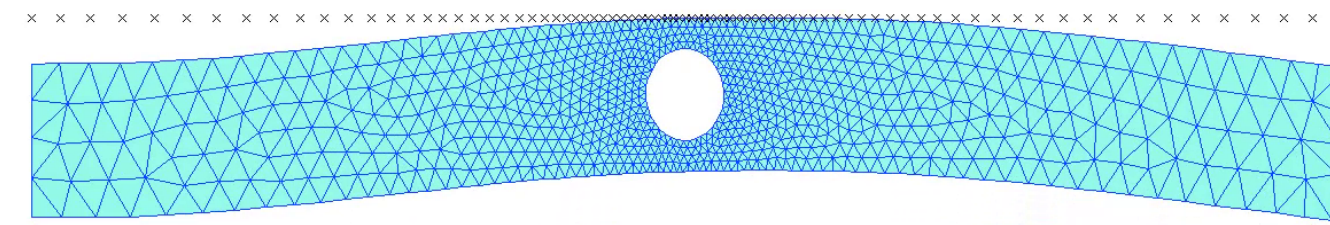
## A: Nichtlineare Modellreduktion

Dynamisches Signorini Kontaktproblem in schwacher Form:  
Bestimme  $u: [0, T] \rightarrow V_C$  so, dass

$$\int_{\Omega} \rho \ddot{u} \cdot (v - u) dx + \int_{\Omega} \sigma(u) : \epsilon(v - u) dx \geq F(v - u) \text{ für alle } v \in V_C$$

- FE-Diskretisierung  $\Rightarrow$  pro Zeitschritt 1 quadratisches Programm
- Projektion auf POD Unterraum, aber Kontaktbedingung in vollem Raum

Eingespannter Balken mit Kontakt

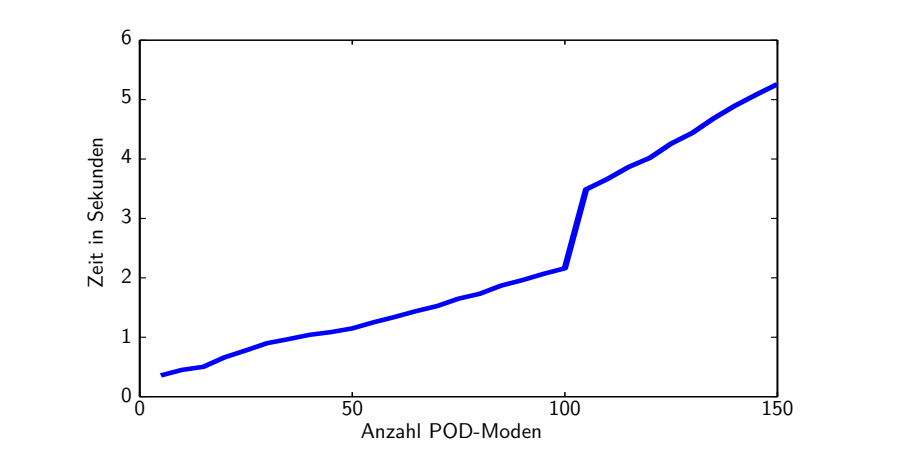
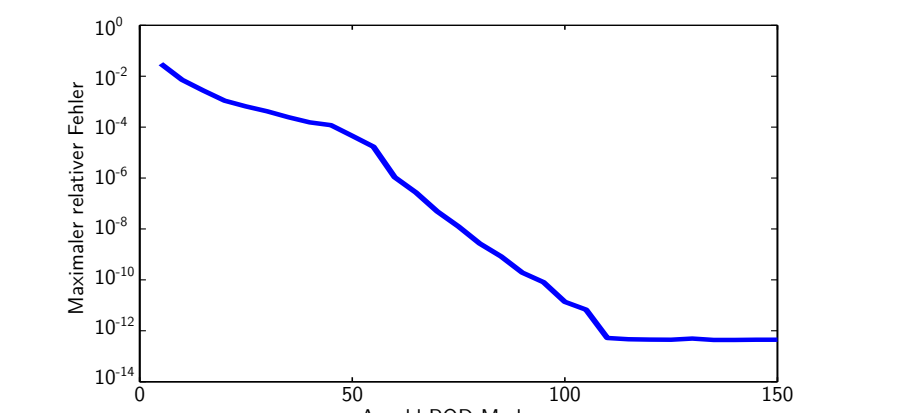


Moreau-Yosida-Regularisierung (Hintermüller, Hinze 2009)

$$a(u_\epsilon, \phi, \mu) + \langle F_\epsilon(u_\epsilon), \phi \rangle = \langle f, \phi \rangle \text{ für alle } \phi \in V$$

Fehlerabschätzung des reduzierten Problems:

$$\int_I \|u_\epsilon^d - u_\epsilon\|^2 d\mu \leq 2 \left( 1 + \left( \frac{c_1}{c_0} + \frac{1}{\epsilon c_0} \right)^2 \right) \sum_{i=d+1}^{\infty} \sigma_i^2$$



Ergebnisse:

- Sehr gute Anwendbarkeit für Probleme mit Kontakt auf Rand
- A-priori-Fehlerschranken für regularisiertes Problem

(Kahlbacher, Volkwein 2010, Haasdonk, Salomon, Wohlmut 2011)

## B: Multidisziplinäre Simulation

Fluid-Struktur Interaktion

Nicht-lineare Elastizität in  $\Omega_s^t$

$$\rho_s \ddot{d} - \text{div} P(d, p_s) = f_s$$

$$g(d, p_s) = 0$$

Navier-Stokes Gleichungen in  $\Omega_f^t$

$$\text{div} u = 0$$

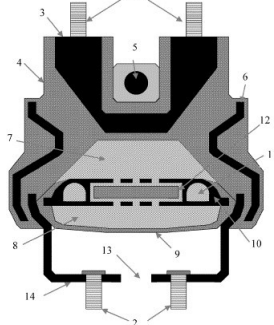
$$\rho_f \dot{u} + \rho_f u \cdot \nabla u - \text{div} \sigma = \rho_f f_f$$

Kopplungsbedingungen auf  $\Gamma_f^t$

$$P(d, p_s) \cdot n_s = \sigma \cdot n_f$$

$$d = u$$

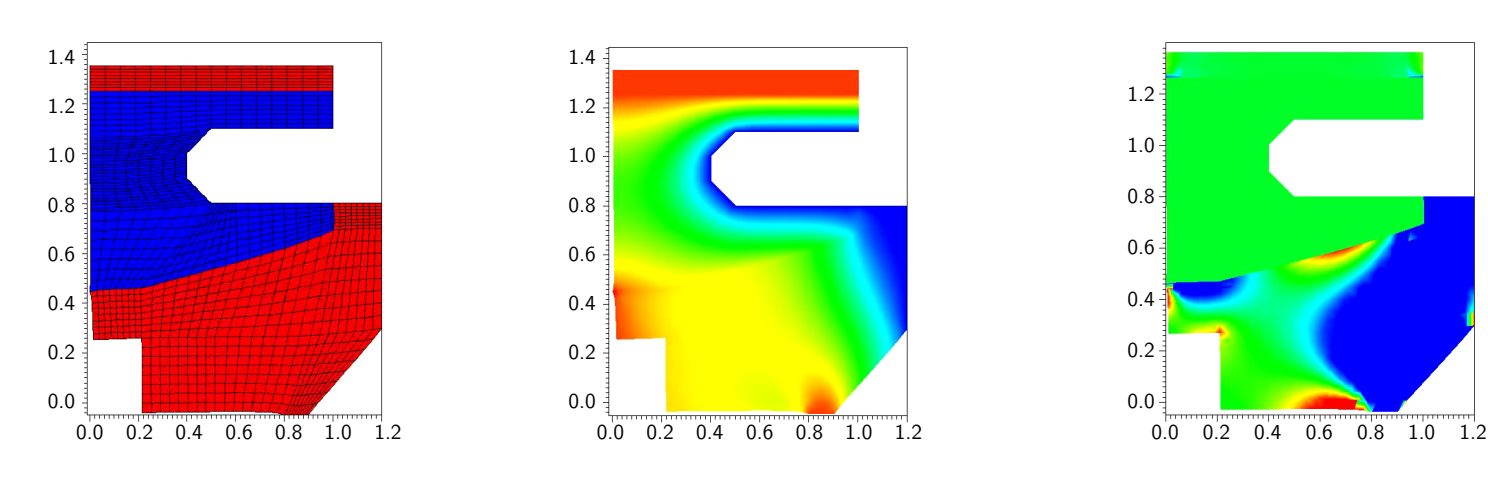
Vereinfachtes Modell



System gewöhnlicher Differentialgleichungen: 6 Freiheitsgrade

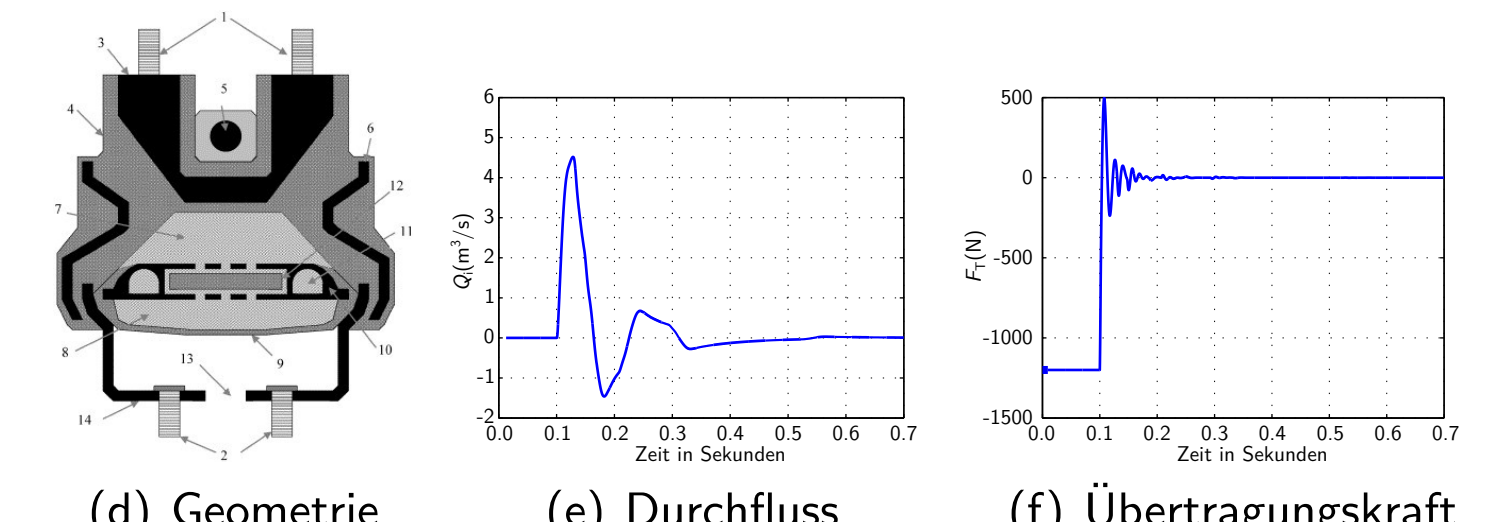
$$\dot{y}(t) = f(y(t), t)$$

FEM-Simulation eines Hydrolagers



Fluid-Struktur Interaktion (FEM-Simulation in deal.II, vgl. Turek 2010)

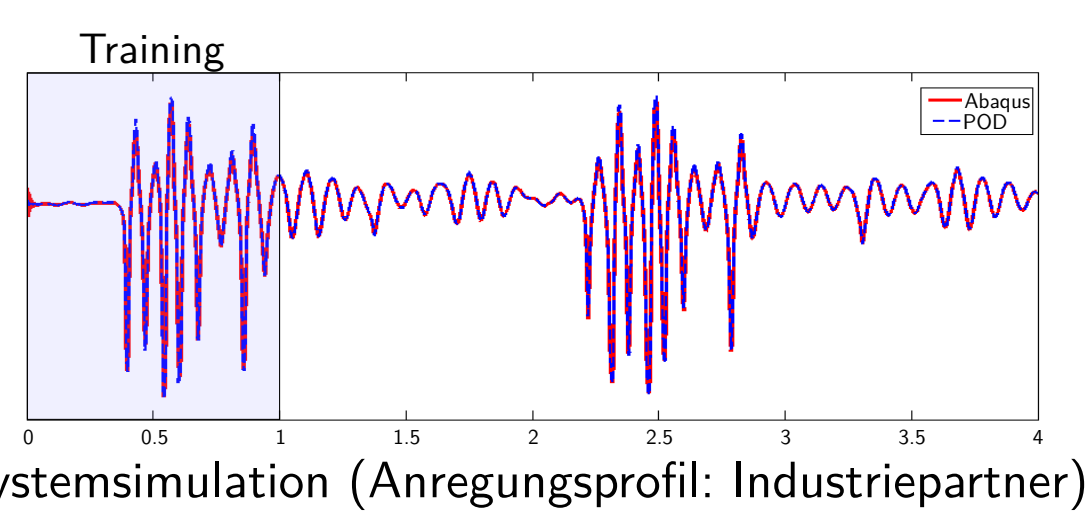
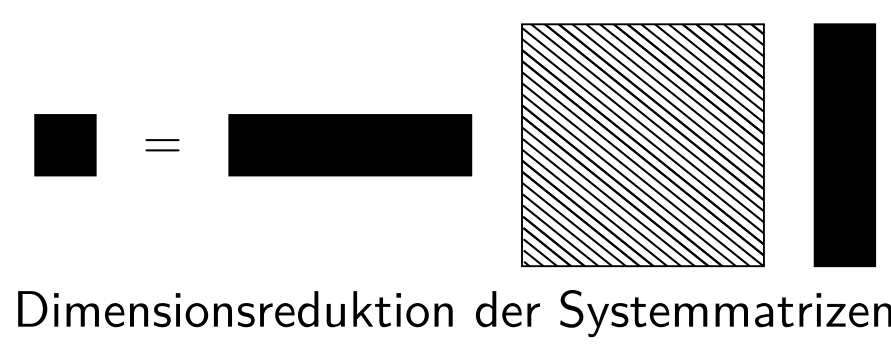
Hydrolagermodell mit konzentrierten Parametern



Vereinfachtes Modell (Simulation in MATLAB, vgl. Singh 2003)

## D: Modellreduktion: Anwendung

- Ziel: Verbesserte Modellierung und Simulation nichtlinearer Systemkomponenten zur Betriebsfestigkeitsanalyse
- Vorgehen: Ableitung von reduzierten Detail-Modellen durch proper orthogonal decomposition (POD)
- Reduktion der Rechenzeiten durch Lookup-Verfahren: discrete empirical interpolation method (DEIM), trajectory piecewise linear approximation (TPWL)



POD mit Lookup-Ansatz für nichtlineare Modelle

<b>Löse volles System (Training)</b> Erstelle Snapshots aus 1 Sekunde Berechnung: $u, K$ und $R$	25 h
<b>Konstruiere POD-Basis und Lookup-Table</b> Einlesen der Matrizen aus Textfiles in Matlab	3 h
<b>Löse reduziertes System</b> POD mit Lookup-Table, 4s Berechnung	2 min
<b>Löse volles System in Abaqus (4 CPUs)</b> Zum Vergleich	47 h

Neue Ansätze zur Materialmodellierung

- Große Deformationen
- Nichtlineare Materialgesetze
- Amplituden- und frequenzabhängiges Verhalten

## E: Proaktive Fahrwerkregelung

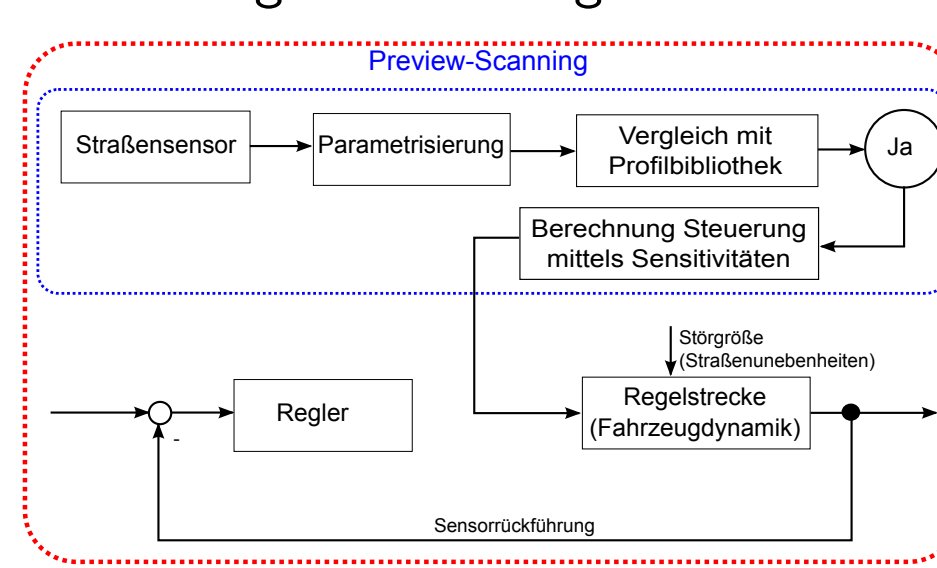
Optimierung von Handling und Komfort

$$\min J(x, u) = \min \left( \mu_h \int_{t_0}^{t_f} F_h(t)^2 dt + \mu_c \int_{t_0}^{t_f} F_c(t)^2 dt \right)$$

$$F_h(t) = (c_H \cdot (r(t) - x(t)) + d_H \cdot (\dot{r}(t) - \dot{x}(t)))^2$$

$$F_c(t) = m_{c,1} \ddot{x}(t)^2 + m_{c,2} \dot{\ddot{x}}(t)^2$$

Parametrisierung des Fahrwegs  $r$  mittels Fourierreihe

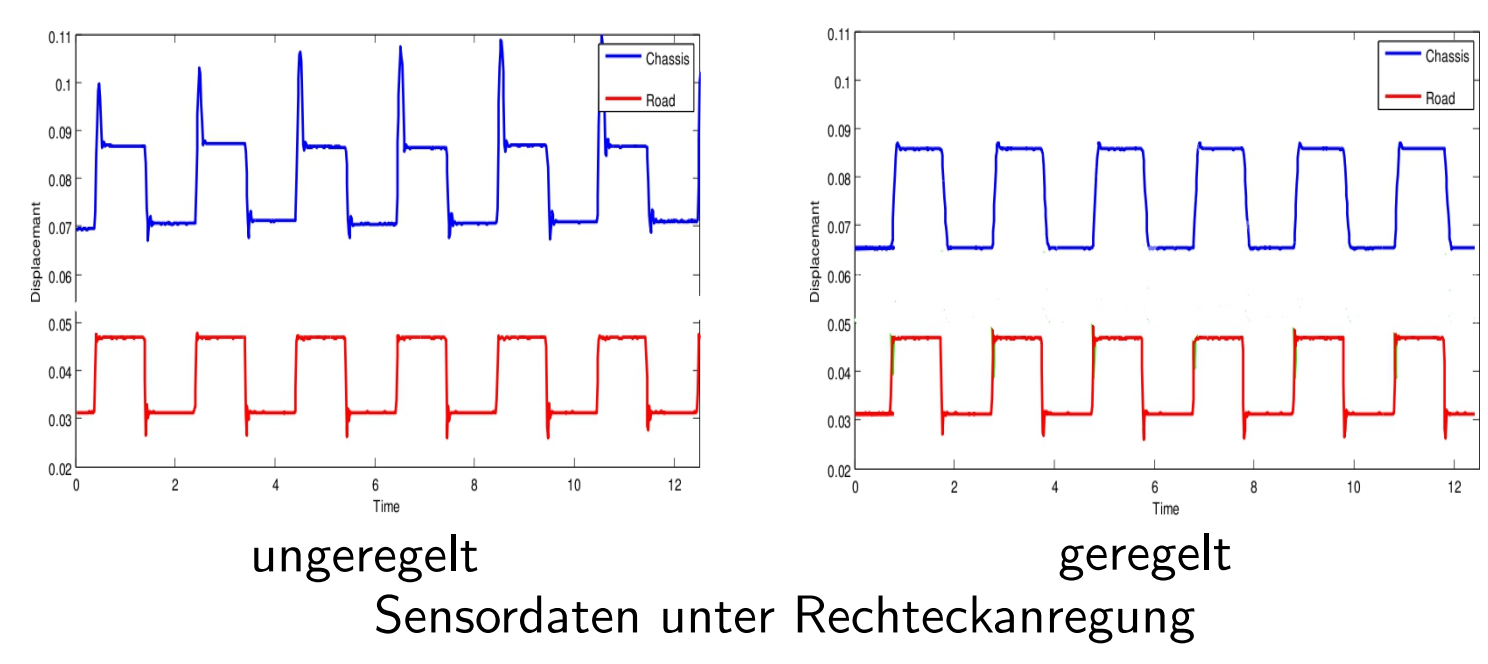
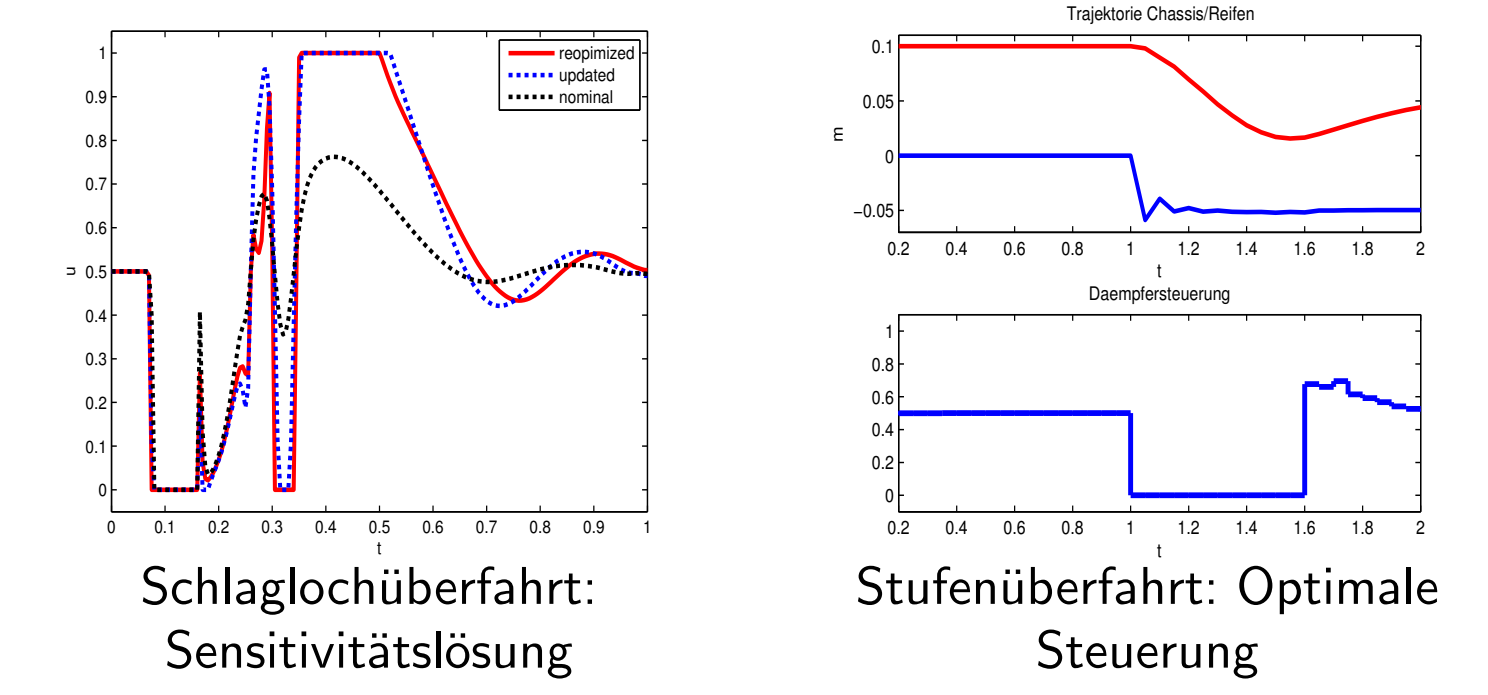


Parametrische Optimierung (offline):

- Berechnung einer optimalen Steuerung für Nominalparameter  $p_0$
- Berechnung der Sensitivität der Steuerung  $\frac{du^*}{dp}(\rho_0)$
- Online-Berechnung: lineare Updateformel

$$u(\rho) \approx u^*(\rho_0) + \frac{du^*}{dp}(\rho_0) \cdot (\rho - \rho_0)$$

Viertelfahrzeug



## Qualifikationen

- U. Becker: Efficient time integration and nonlinear model reduction for incompressible hyperelastic materials (Dissertation, TU Kaiserslautern)
- M. Köbis: Anwendung heterogener Mehrskalungsverfahren mit Straffunktion zur Lösung differentiell-algebraischer Gleichungen in der Mehrkörpersimulation (Masterarbeit, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg)

## Tagungen

- European Conference on Mathematics for Industry (ECMI 2012, Lund, 3 Vorträge)
- Numerical Solution of Differential and Differential-Algebraic Equations (NUMDIFF-13, Halle, 3 Vorträge)
- International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics (ICNAAM 10, Kos, 1 Vortrag)

GEFÖRDERT VOM

