



Präsentation der Bachelorarbeit

# Regelung und Identifikation eines Hydraulikventils

Präsentiert von:

Peter Ebetshuber



1. Einleitung
2. Modellbildung
3. Modellvalidation
4. Reglerentwurf
5. Zusammenfassung und Ausblick

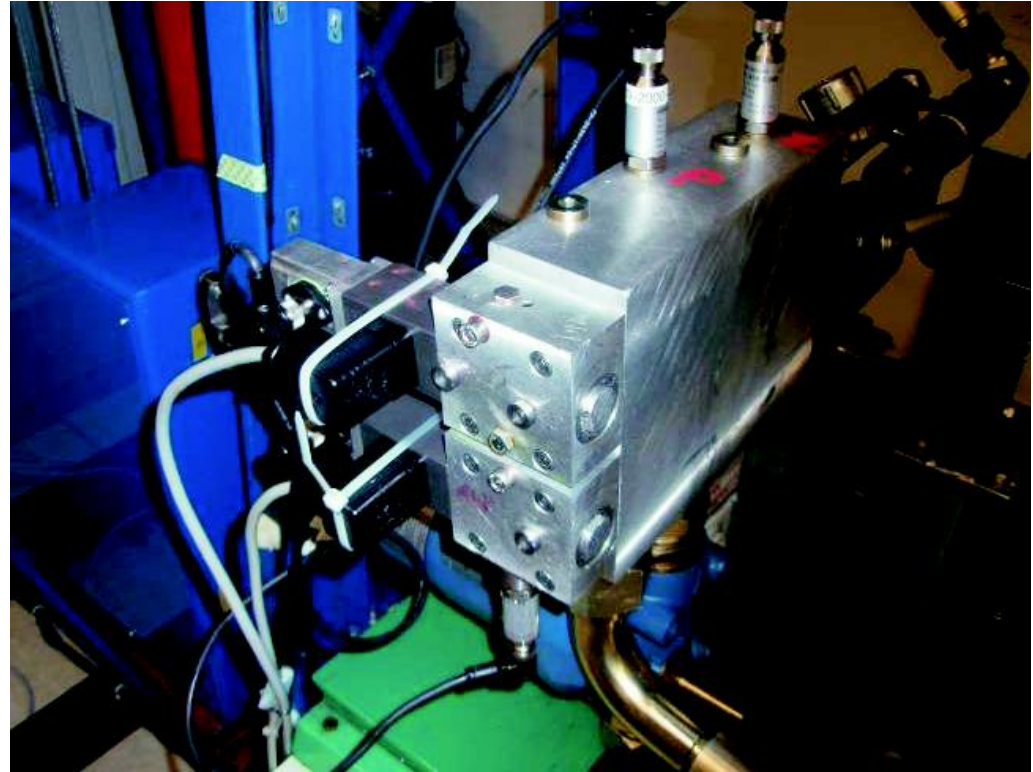


- Druck in einem Hydrauliksystem ist abhängig von den Volumenströmen
- Beschleunigung des Zylinders hängt vom Druck ab
- Mit einem Druckregler kann die Beschleunigung des Zylinders direkt vorgegeben werden

$$\dot{p} = \left( \underbrace{\sum_{i=1}^N Q_{e,i}}_{Q_e} - \underbrace{\sum_{j=1}^N Q_{a,j}}_{Q_a} \right) \frac{E_{oil}}{V}$$

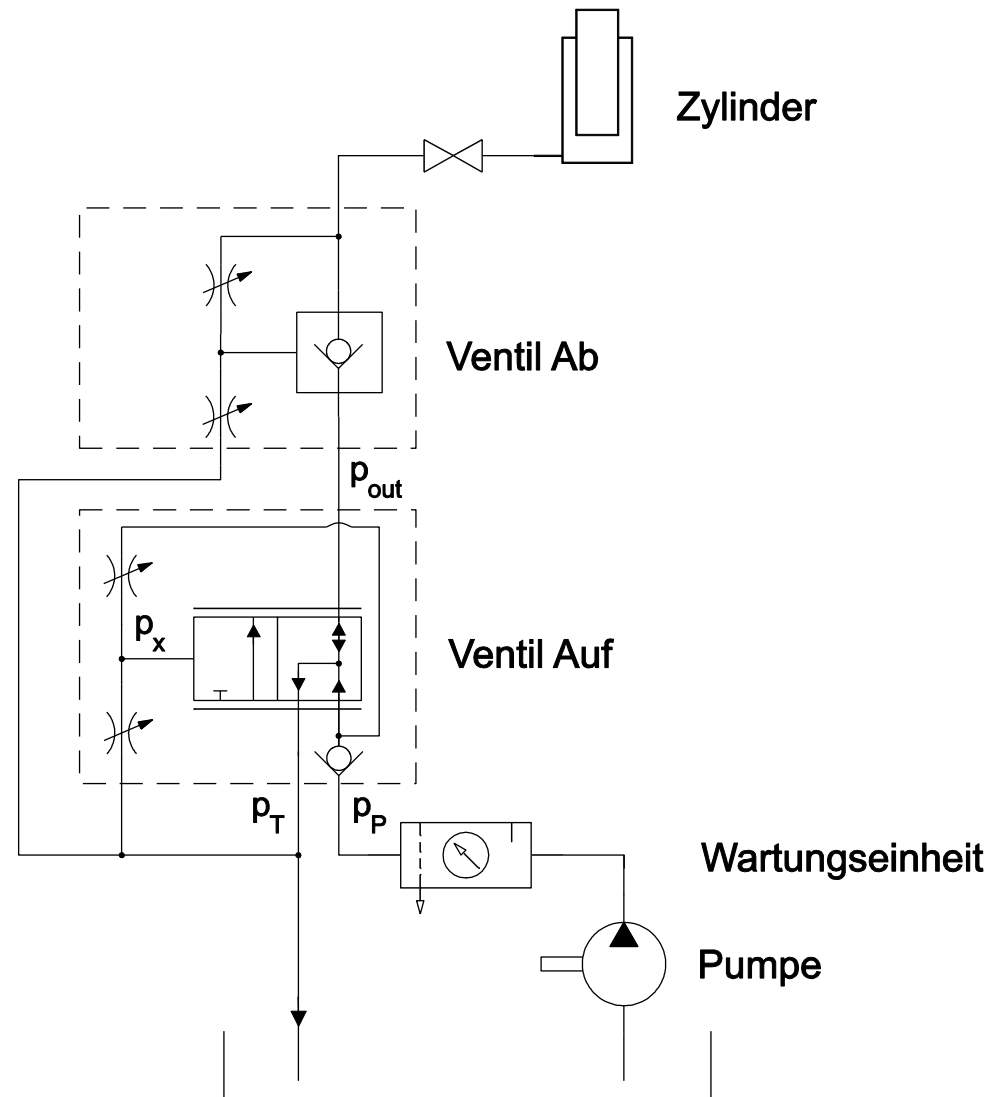
$$\ddot{x} = \frac{1}{m} F = \frac{1}{m} A p$$

- Druckregelung für das Ventil „auffahren“ implementieren
- Kompensation von Nichtlinearitäten und Totzeit





- Ventil Auf  
pilotbetätigtes  
Proportionalventil
- Ventil Ab  
pilotbetätigtes  
entsperrbares  
Rückschlagventil
- Einwegzylinder



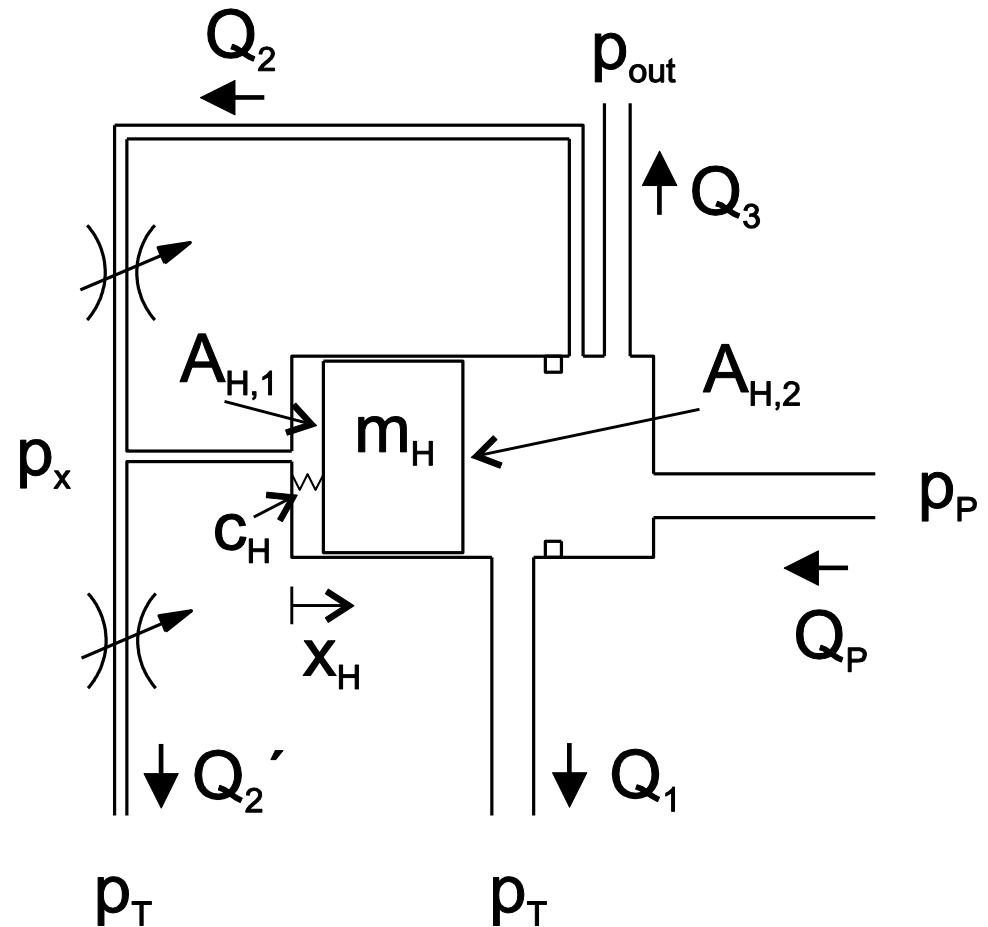


- Prinzipskizze des Hauptsteuerkolbens
- Messbar mit der dSpace Auto Box:

$p_{out}$  Zylinderdruck

$p_x$  Steuerdruck

$x_P$  Pilotposition





- Physikalische Beschreibung des Ventils soll gefunden werden
- Aufstellen der Gleichungen  
Blendengleichung, Massenerhaltung, Impulssatz
- Nichtlineare DGL 2. Ordnung
- Nur schwer lösbar, da Volumenströme und Position des Hauptsteuerkolbens unbekannt.
- Modellunsicherheiten, schwierige Parameteridentifikation

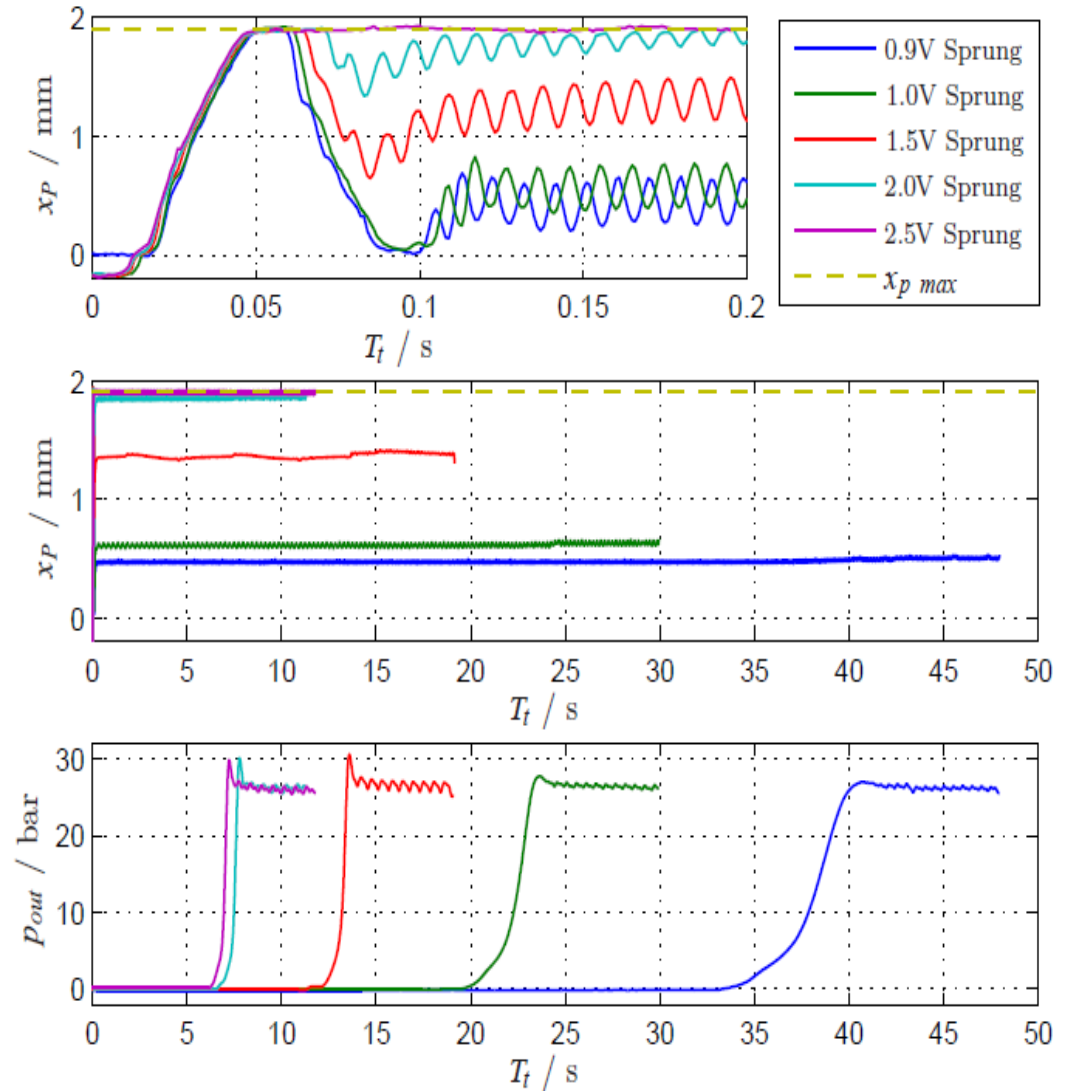


- Verhalten des Systems wird anhand von Messungen nachgebildet
  - Implementierung erfolgte als Gray-Box-Modell
- Dadurch kann auf die Physik Rücksicht genommen werden  
(Unterscheidung Druckauf- und -abbau, momentaner Ausgangsdruck)
- Dynamik als  $PT_2$  Glied
  - Parameteridentifikation



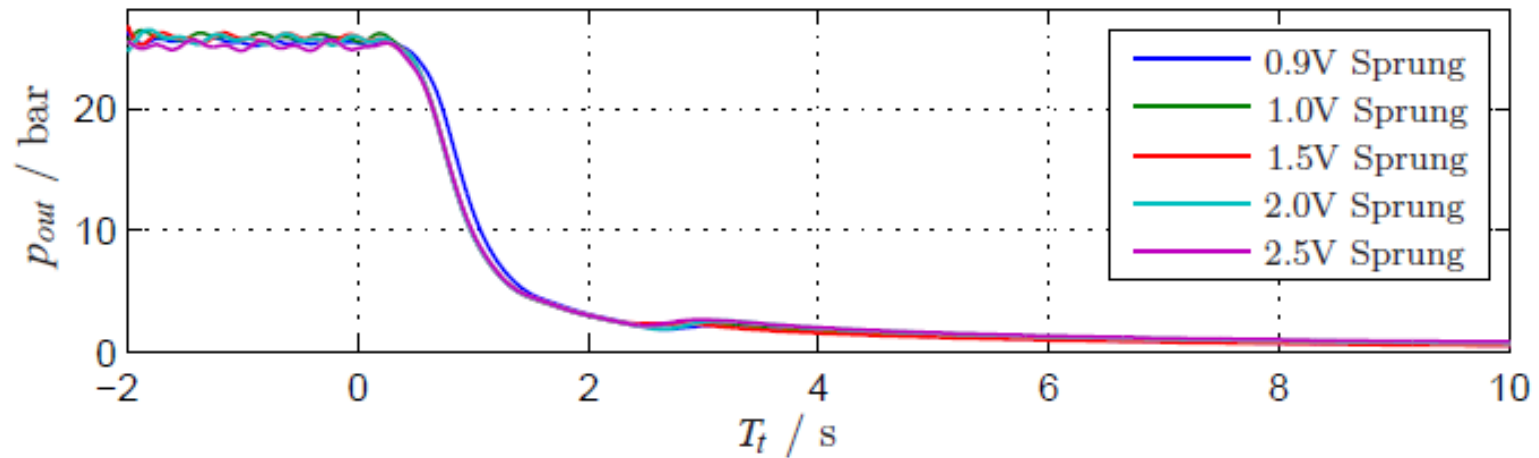


- Verschiedene Spannungssprünge bei geschlossenem Absperrhahn
- Pilot ist ab 2.5 V in der Endlage
- Lange Totzeit bei Druckaufbau
- Anstiegszeit und Dämpfung sind von der Spannung abhängig
- Enddruck ist ca. 27 bar, unabhängig von der Spannung



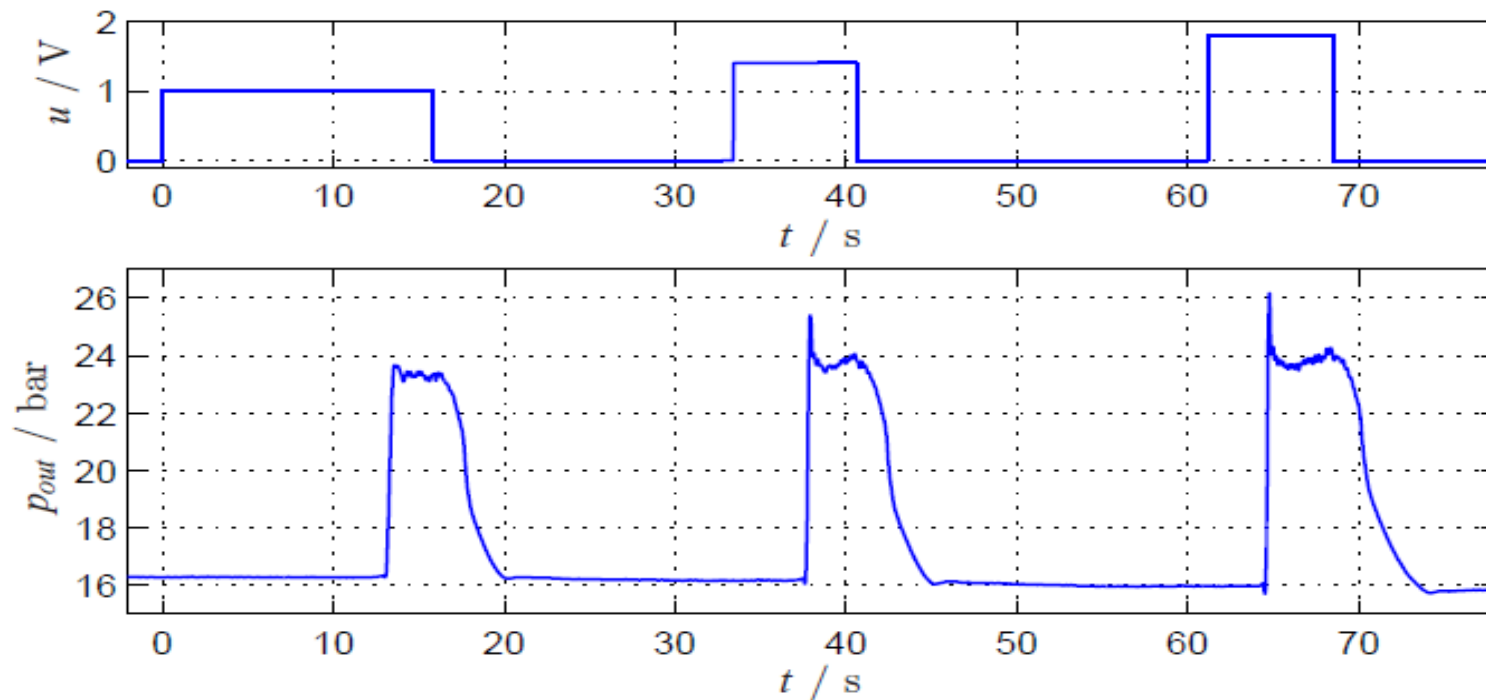


- Druckabbau verläuft immer gleich
- Totzeit ist konstant





- Sprungfolge mit offenem Absperrhahn aus einer Mittelstellung
- Verlauf wie  $PT_2$  Glied mit unterschiedlicher Dämpfung und Anstiegszeit

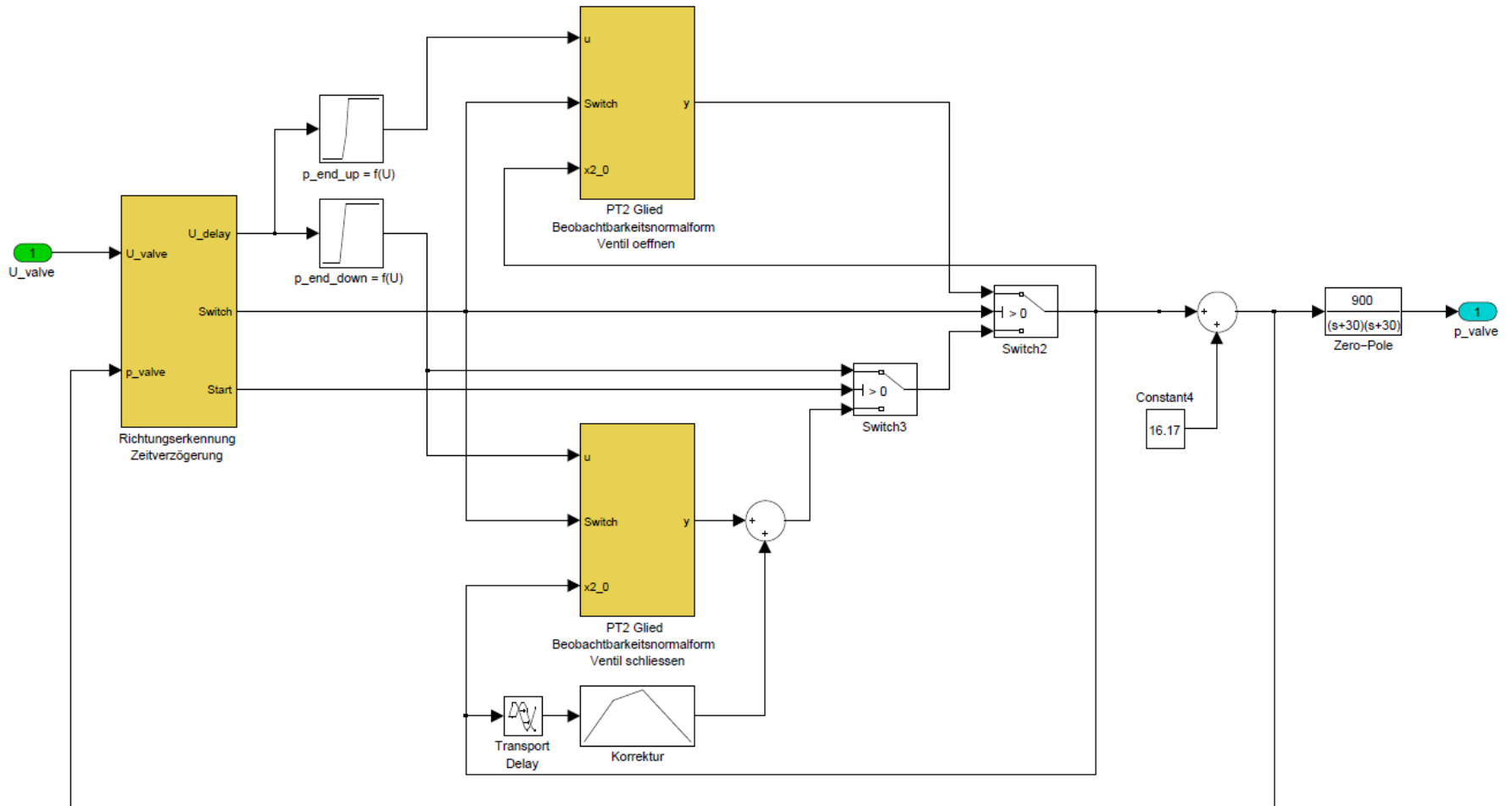




- Eingang ist die angelegte Spannung
- Ausgang ist der Druck am Ventilausgang
- Offener Absperrhahn und Start aus einer Mittelstellung
- Ausgangsdruck erreicht nach verstreichen der Totzeit, ab 0.9 V immer den Maximaldruck
- Vollständiger Druckabbau nach Unterschreiten von 0.9 V

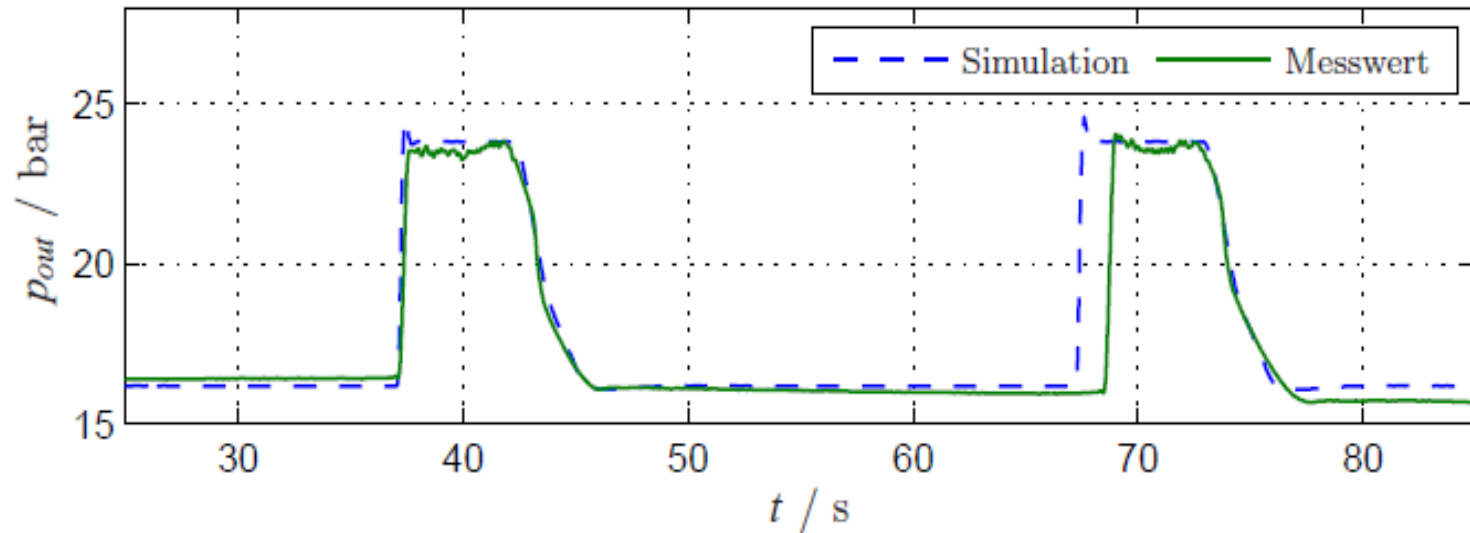
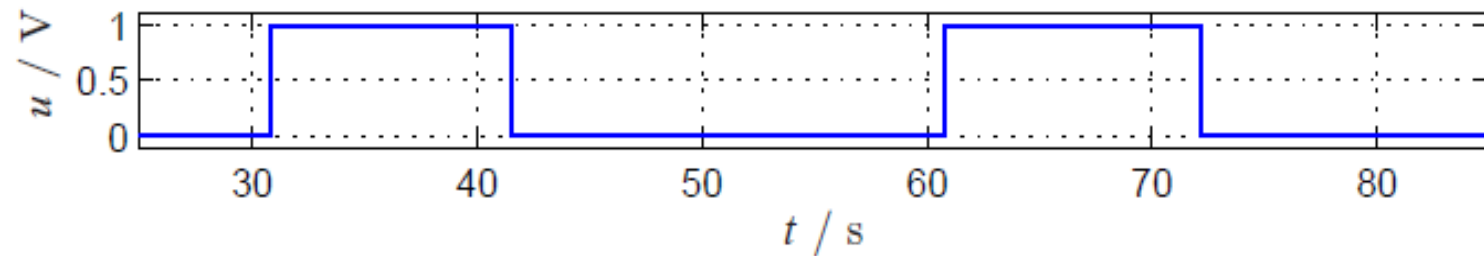


- Totzeit Druckaufbau ist von der Spannung und dem momentanen Ausgangsdruck abhängig
- Totzeit Druckabbau ist konstant
- Modellierung der Dynamik als  $PT_2$  Glied
- Anstiegszeit und Dämpfung sind richtungs- und spannungsabhängig  
Spannungsabhängigkeit wurde nicht implementiert



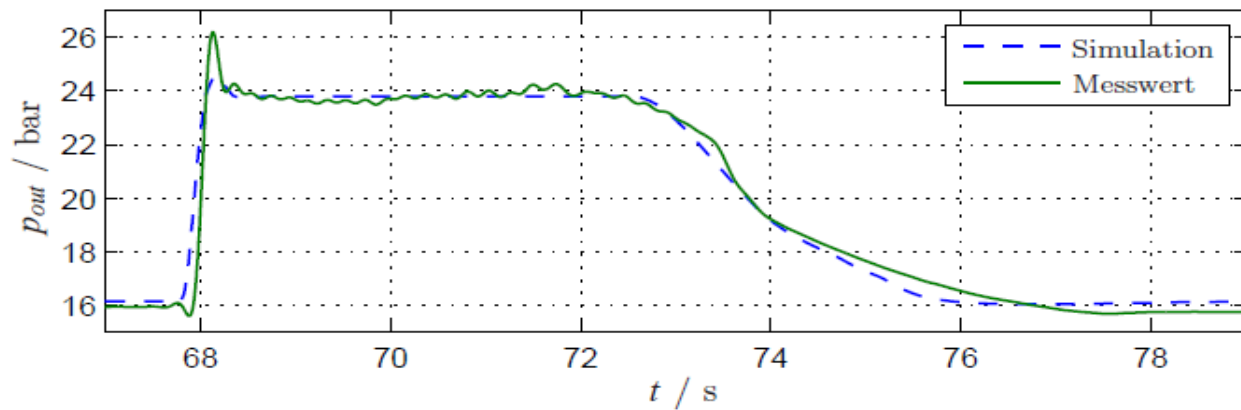
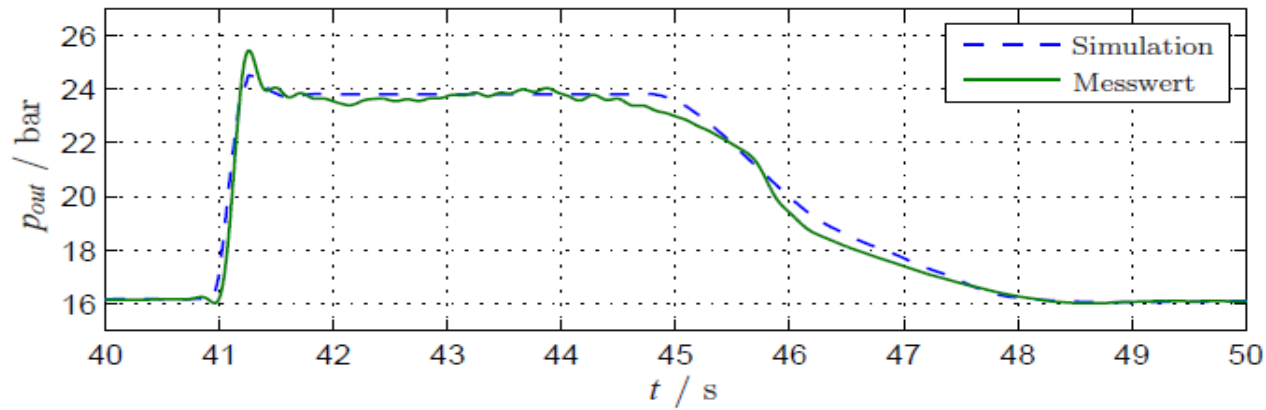


- Sprungfolge: Zwei 1 V Sprünge
- Totzeit ist unterschiedlich





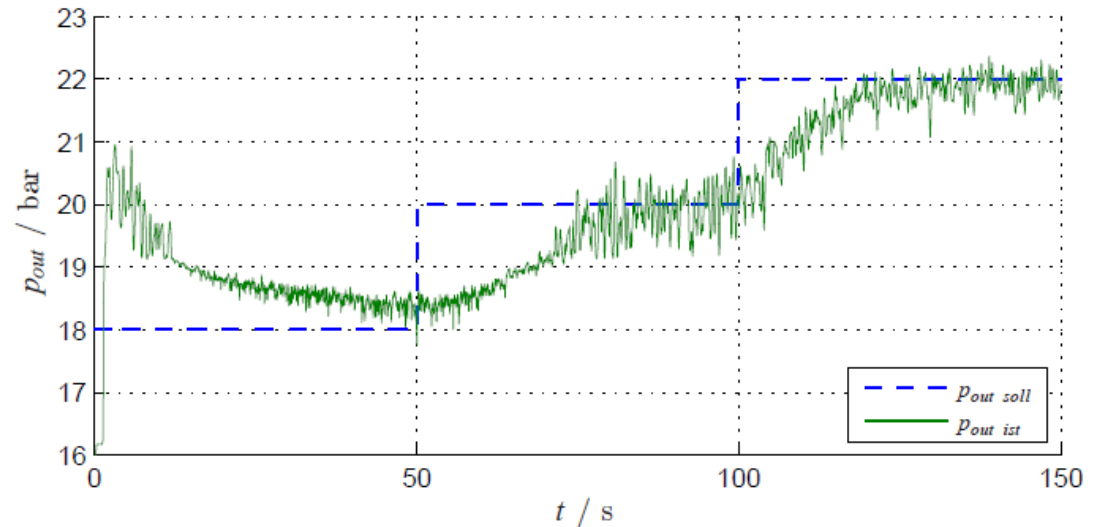
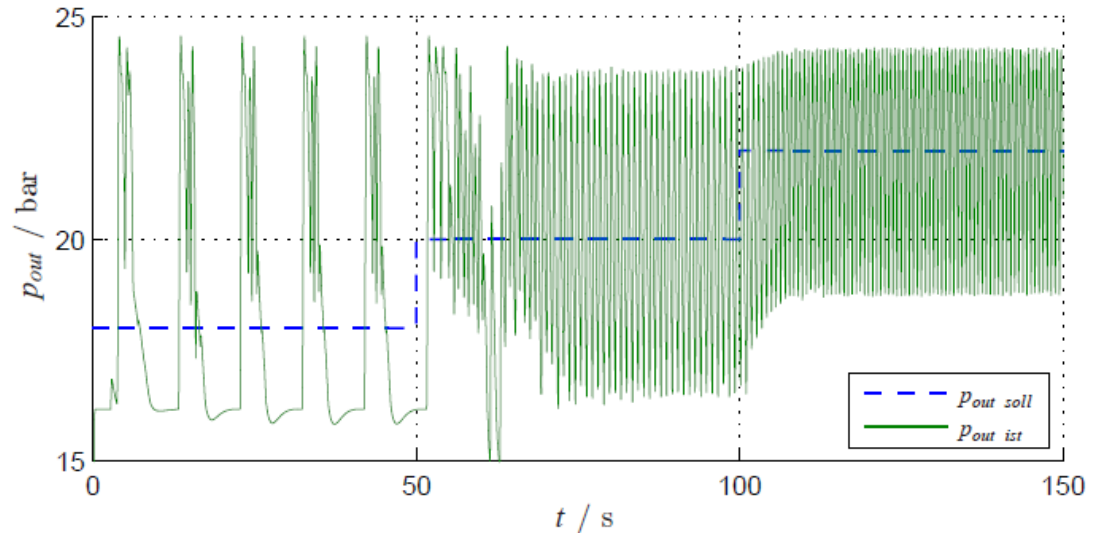
- Detailansicht 1.4 V und 1.8 V Sprung
- Parameter wurden für 1.4 V Sprung optimiert





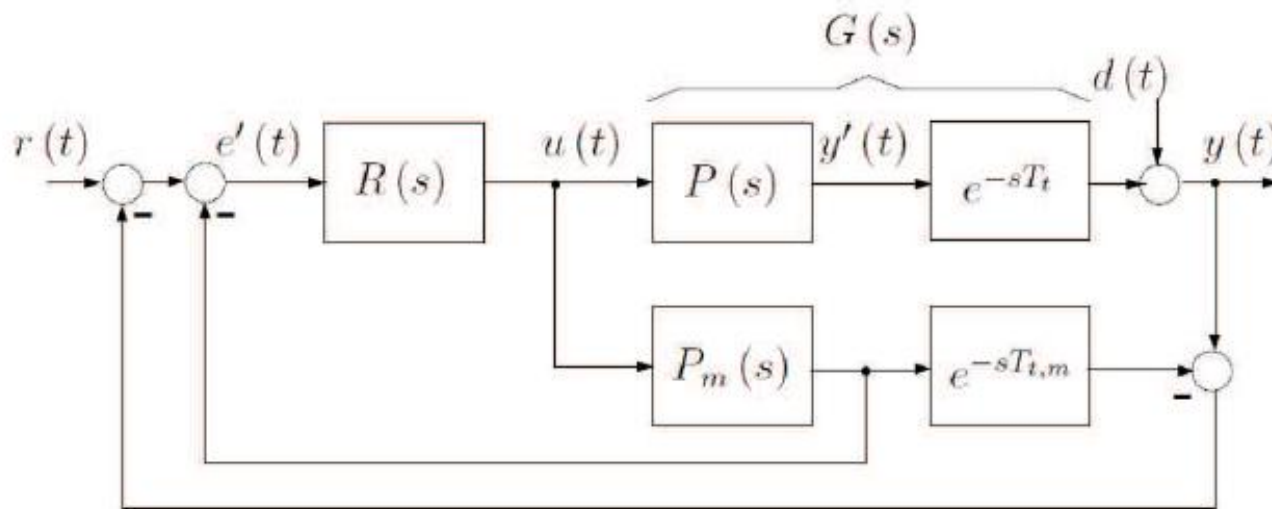


- Sprungfolge ohne und mit Messrauschen
- Der Solldruck wird nur sehr schlecht erreicht
- Durch hohe D-Verstärkung wird Regler mit Messrauschen besser





- System mit Totzeit:  $G(s) = e^{-sT_t} P(s)$
- Smith-Prädiktor ohne Zugriff auf  $y'$



- Totzeit der Strecke wird durch das Modell kompensiert



- Führungs- und Störungsübertragungsfunktion:

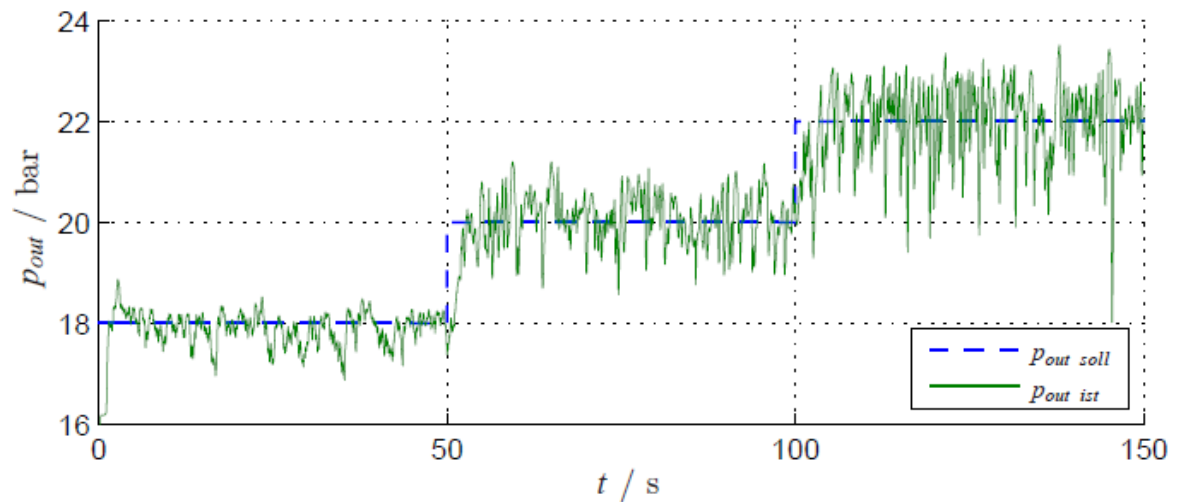
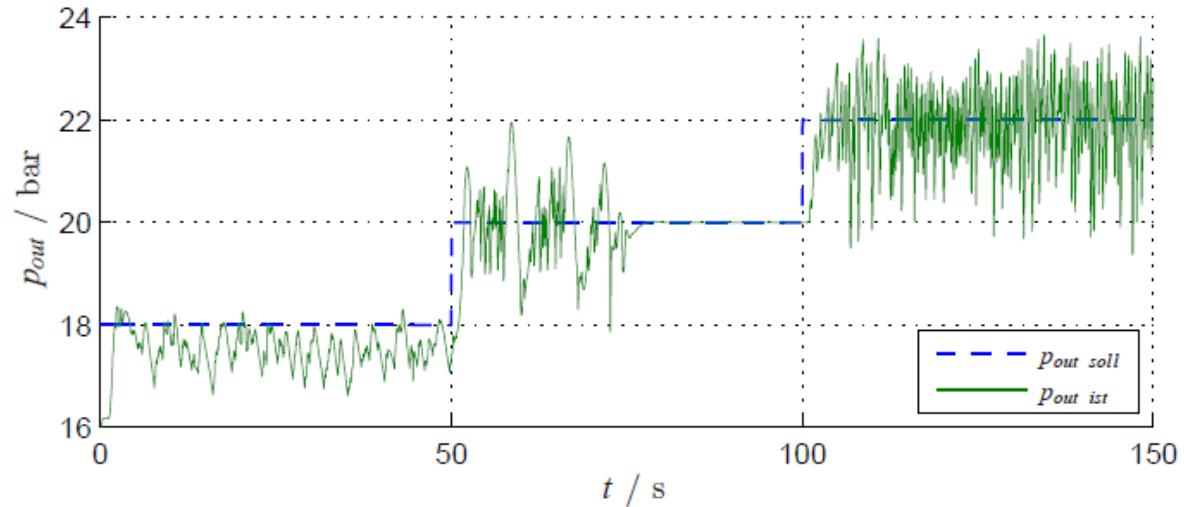
$$\hat{y} = \underbrace{\frac{R(s)P(s)}{1+R(s)P(s)} e^{-sT_t}}_{T_{y/r}} \hat{r} + \underbrace{\left(1 - \frac{R(s)P(s)}{1+R(s)P(s)} e^{-sT_t}\right)}_{T_{y/d}} \hat{d}$$

- Gilt bei Übereinstimmung von Modell und Strecke
- Führungsentwurf ist ohne Totzeit möglich
- Es wird ein PID-Regelglied verwendet

# Smith-Prädiktor



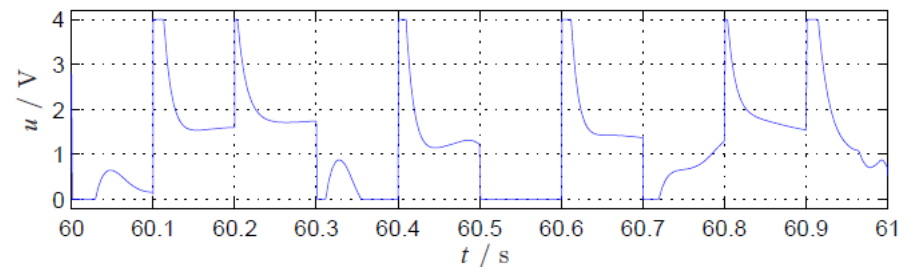
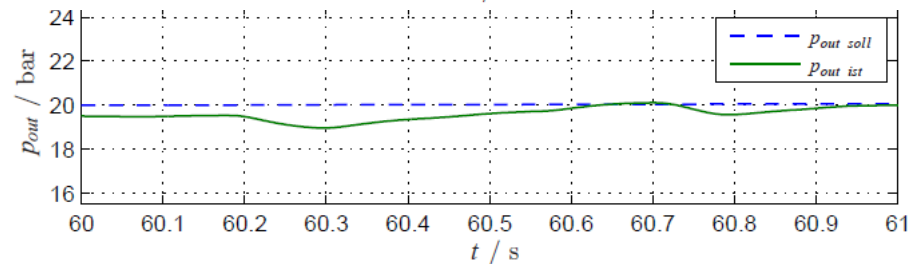
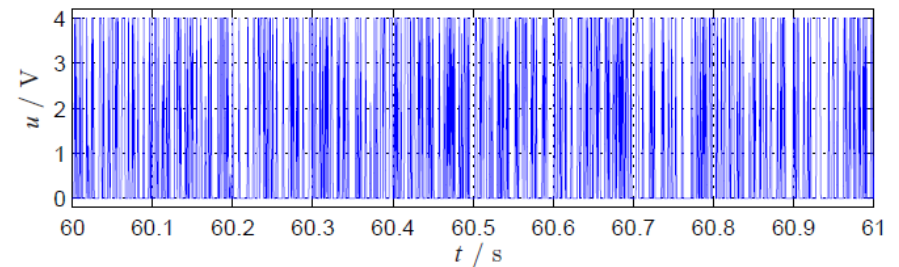
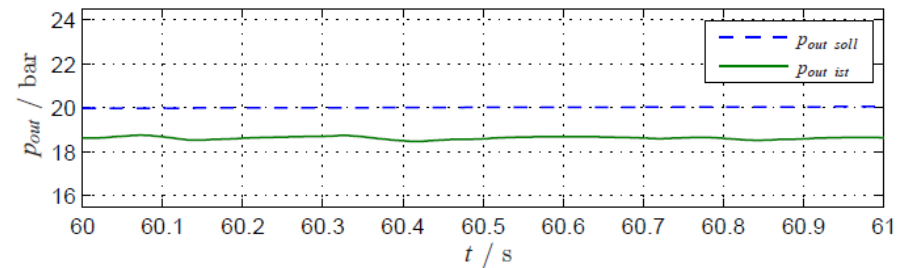
- Smith-Prädiktor ohne und mit Messrauschen
- System kann der Vorgabe besser folgen
- Verstärkungsfaktoren können deutlich kleiner gewählt werden



# Vergleich mit Messrauschen



- PID-Regler  
Spannung springt zwischen den Begrenzungen
- Ein-Aus-Regler bzw. Bang-Bang-Control
- Smith-Prädiktor  
Spannung wird nun viel exakter eingestellt

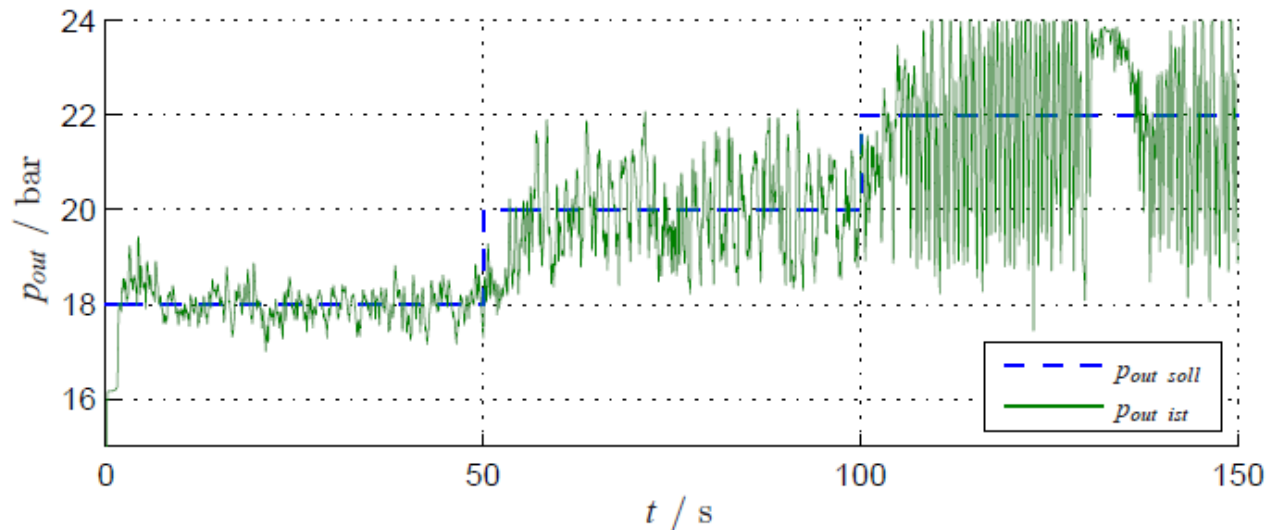




- Mit PID-Regler konnte Strecke nicht stabilisiert werden  
Ist nicht geeignet für Systeme mit erheblicher Totzeit
- Mit Smith-Prädiktor kann die Druckvorgabe deutlich besser erfüllt werden  
Totzeit konnte kompensiert werden



- Zur Simulation von Model-Plant-Mismatch wird die Totzeit des Modells auf konstanten Wert gestellt,  $T_t = 1.1$  s
- Simulation mit Messrauschen
- D-Verstärkung ist größer
- Auch bei Model-Plant-Mismatch ist Smith-Prädiktor deutlich besser als der PID-Regler





- Der Zeitaufwand ein Modell zu erstellen ist durchaus sinnvoll
- Mithilfe des Smith-Prädiktors kann die Totzeit kompensiert werden
- Die Strecke kann den Druckvorgaben folgen
  
- Regler konnte nicht getestet werden, weil Lift außer Betrieb war





- Regler am Lift testen
- Wenn nötig Anpassungen durchführen
- Druckregler für das Ventil „Ab“ implementieren
- Druckregler kann einem Positionsregler unterlagert werden, bei dem die Beschleunigung direkt vorgegeben werden kann



# FRAGEN



**DANKE FÜR IHRE  
AUFMERKSAMKEIT**