

# Hydraulischer Schwungradspeicher – Simulation mit Standardelementen und Eingriff in den Quellcode

**Prof. Dr.-Ing. Marcus Geimer**

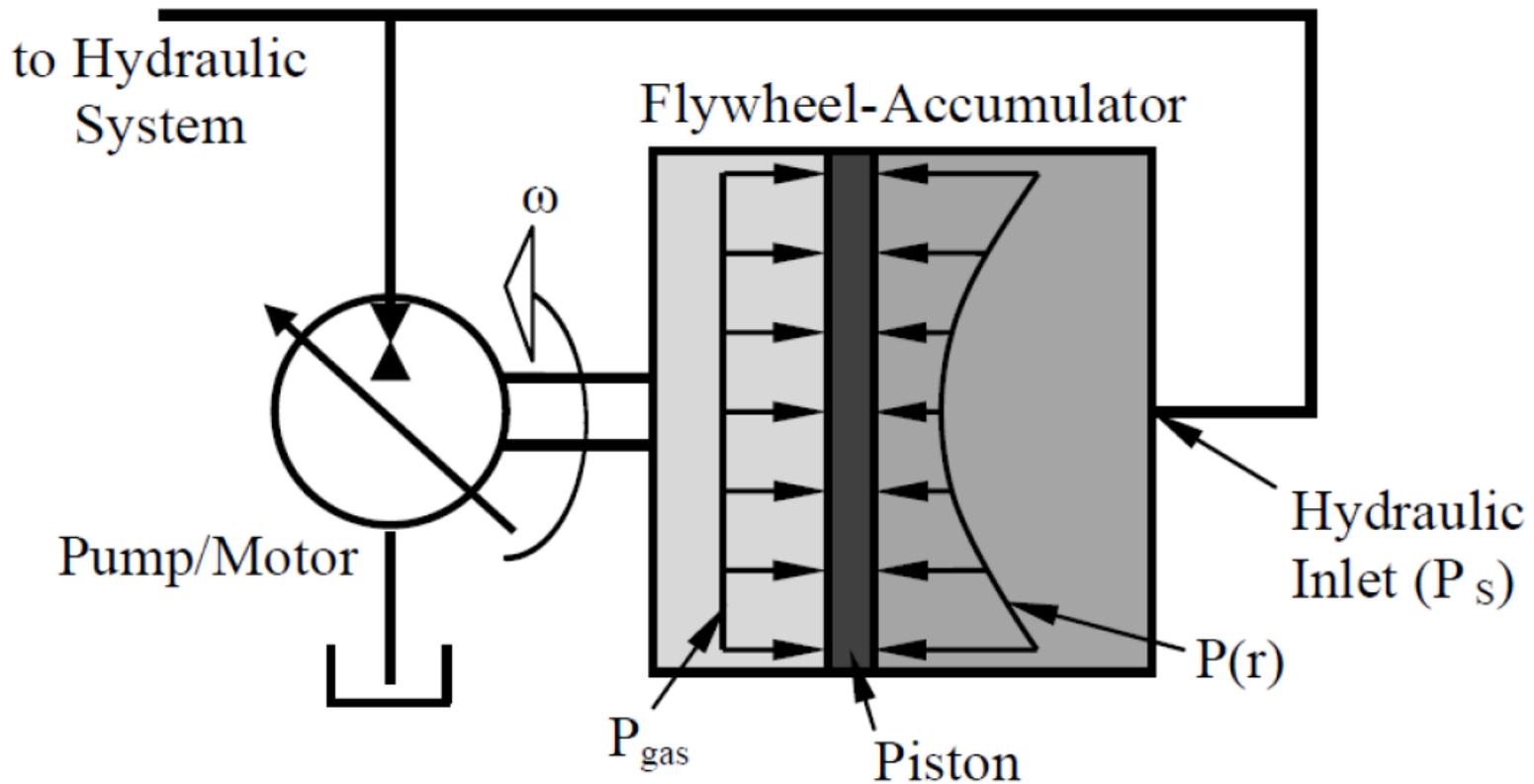
Institut für Fahrzeugsystemtechnik (FAST), Lehrstuhl für Mobile Arbeitsmaschinen (Mobima)  
Institutsleiter: Prof. Dr.-Ing. Marcus Geimer



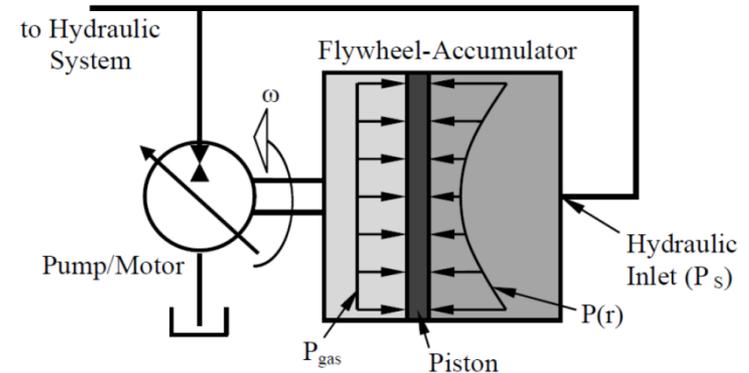
# Gliederung

- Einleitung
- Vorstellung des Systems
- Aufbau des Simulationsmodells
- Modifikationen im Quelltext
- Zusammenfassung

# Funktionsprinzip des hydraulischen Schwungradspeichers



Quelle: Strohmaier, K., Van de Ven, J.: Constrained multi-objective optimization of a hydraulic Flywheel accumulator, FPMC 2013



- lokaler Hydraulikdruck:

$$p(r) = p_s + \frac{1}{2} \rho_{\text{öl}} \cdot \omega^2 \cdot r^2$$

- Druckgleichgewicht im Speicher:

$$p_{\text{Gas}} \cdot A = (p_s + \bar{p}) \cdot A$$

mit:

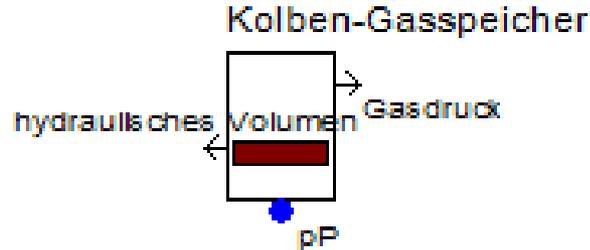
$$\bar{p} = \int (p(r) - p_s) \cdot dA$$

$$= \int_0^R (p(r) - p_s) \cdot 2\pi r \cdot dr$$

$$= \rho \cdot \omega^2 \cdot \frac{R^2}{4}$$

Quelle: In Anlehnung an Strohmaier, K., Van de Ven, J., FPMC 2013

# Simulation eines Kolbenspeichers



- Gasdruckberechnung:

$$p_G = f(x_K, p_{G,0}, \dots)$$

- Beschleunigung des Kolbenbodens:  $\ddot{x}_K = \frac{1}{m} \cdot (F_{res,aussen} - F_R)$

mit:

$$F_{res,aussen} = (1 - \Delta) \cdot A \cdot (p_P - p_G)$$

⇒ es fehlen: Druck durch Speicherrotation  $p(r)$ ,  $\bar{p}$   
 Abgriff  $p_s$

# Möglichkeiten zur Simulation

- Darstellung mittels der Signalbibliothek:
  - Sehr aufwändig
  - Vernachlässigung spezifischer Effekte (Reibung, Gewichtskräfte, ...)
  
- Programmierung eines eigenen Bauteils
  - Unterstützung durch die Softwarefirma notwendig  
=> Umsetzung erfordert Zeit
  - Bei Modifikationen hinzuziehen des Softwareherstellers notwendig
  
- Modifikation des Quelltextes
  - Einfach und schnell möglich
  - Keine weitere Hilfe notwendig
  - Rückgriff auf bewährte Modelle

=> wird hier gezeigt

# Simulationsmodell des hydraulischen Schwungrad-Kolbenspeichers

- Modifikation der Kraftberechnung:

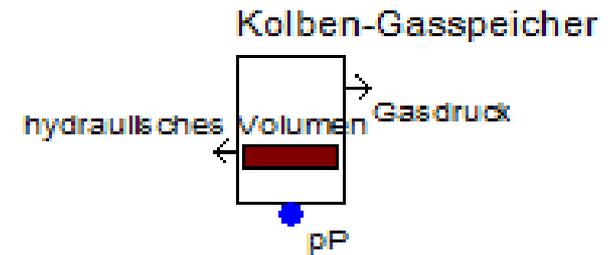
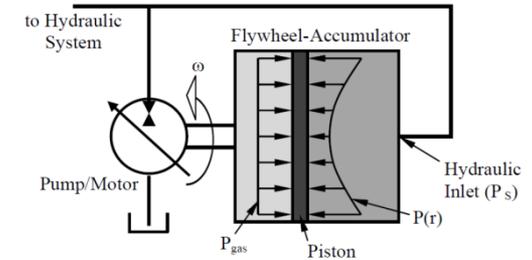
$$F_{res,aussen} = (1 - Reibverlust) \cdot A \cdot (p_P - p_G)$$

$$\Rightarrow F_{res,aussen} = (1 - Reibverlust) \cdot A \cdot ((p_S + \bar{p}) - p_G)$$

mit:

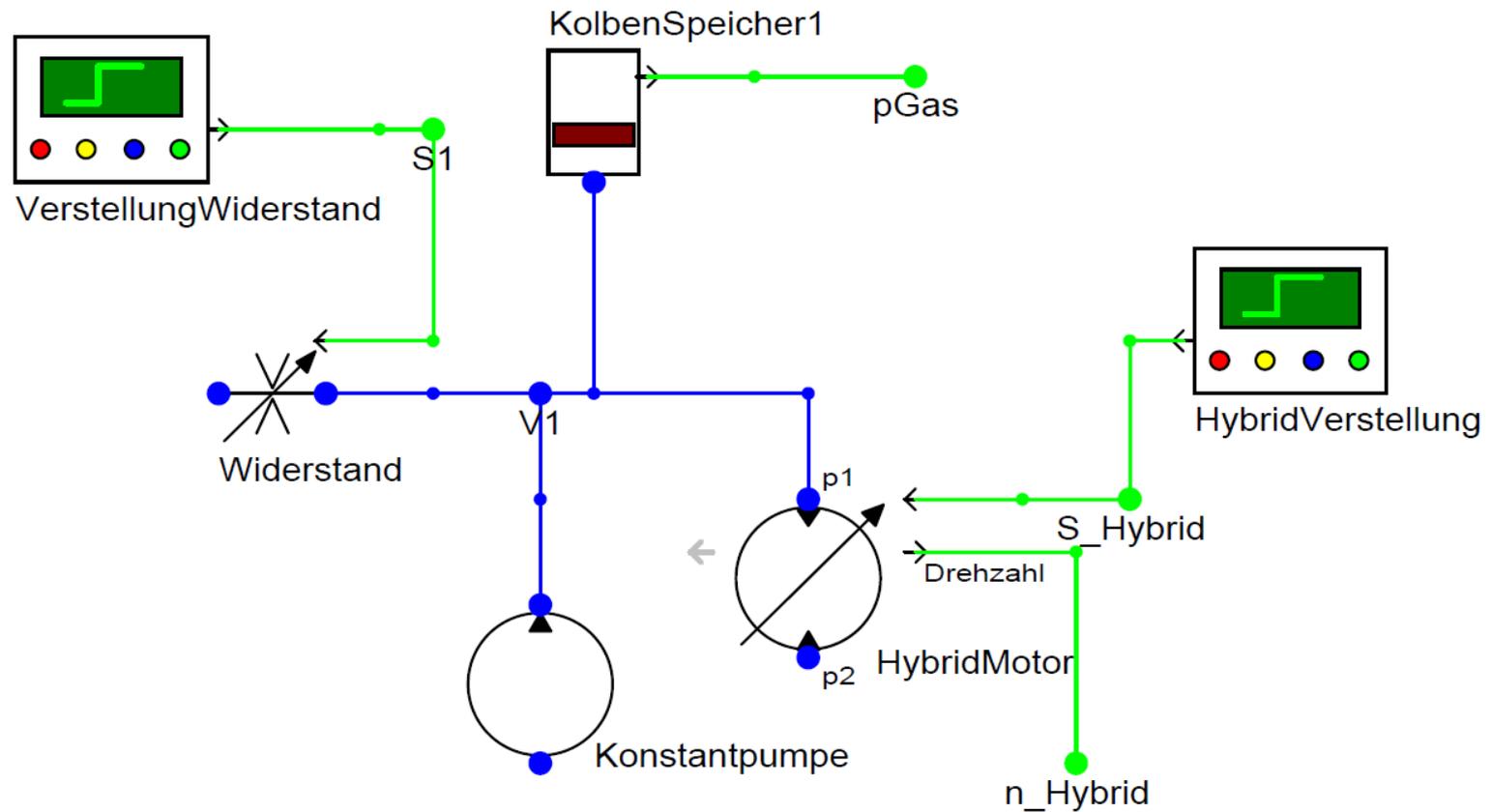
$$p_S + \bar{p} = p_P + \rho \cdot \omega^2 \cdot \frac{R^2}{4}$$

$$p_S = p_P$$



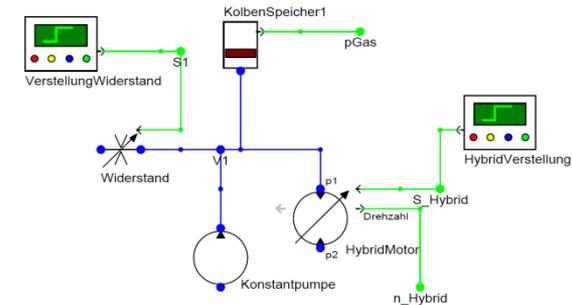
- Problem: Einbezug  $\omega$  /  $n$

# Simulationsmodell



# Notwendige Strukturmodifikationen

## ■ Bewegungsgleichung:



$$F_{res,aussen} = (1 - Reibverlust) \cdot A \cdot \left( (p_P + \rho \cdot \omega^2 \cdot \frac{R^2}{4}) - p_G \right)$$

```

File Edit Search View Tools Options Language Buffers Help
1 DSH_1_1.CPP
916
917 // AeussereKraft = (1. - Reibungsverlust) * (Flaeche * (*pP - DruckOffset - Gasdruck(S))
918 AeussereKraft = (1. - Reibungsverlust) * (Flaeche * (*pP + 10. * Rho * 0.01 * *drehzahl * *drehzahl - DruckOffset - Gasdruck(S))
919 - Gewichtskraft);
920
  
```

$$\rho \cdot \omega^2 \cdot \frac{R^2}{4} = \rho \cdot (2 \cdot \pi \cdot n)^2 \cdot \frac{R^2}{4} \approx 10 \cdot \rho \cdot n^2 \cdot R^2$$

## ■ Problem: Einbezug der Drehzahl

# Notwendige Strukturmodifikationen

- Drehzahl einbeziehen:

- Drehzahl als Variable im Bauteil deklarieren

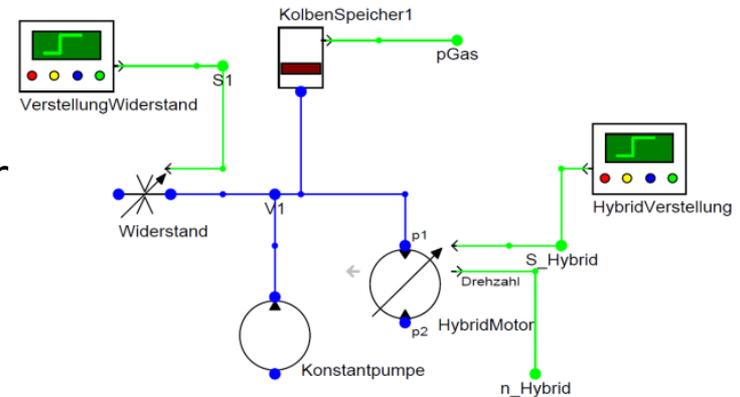
```

830 // Variablen
831 LDOUBLE *pP;
832 LDOUBLE *weg;
833 LDOUBLE *geschwindigkeit;
834 LDOUBLE *drehzahl;
  
```

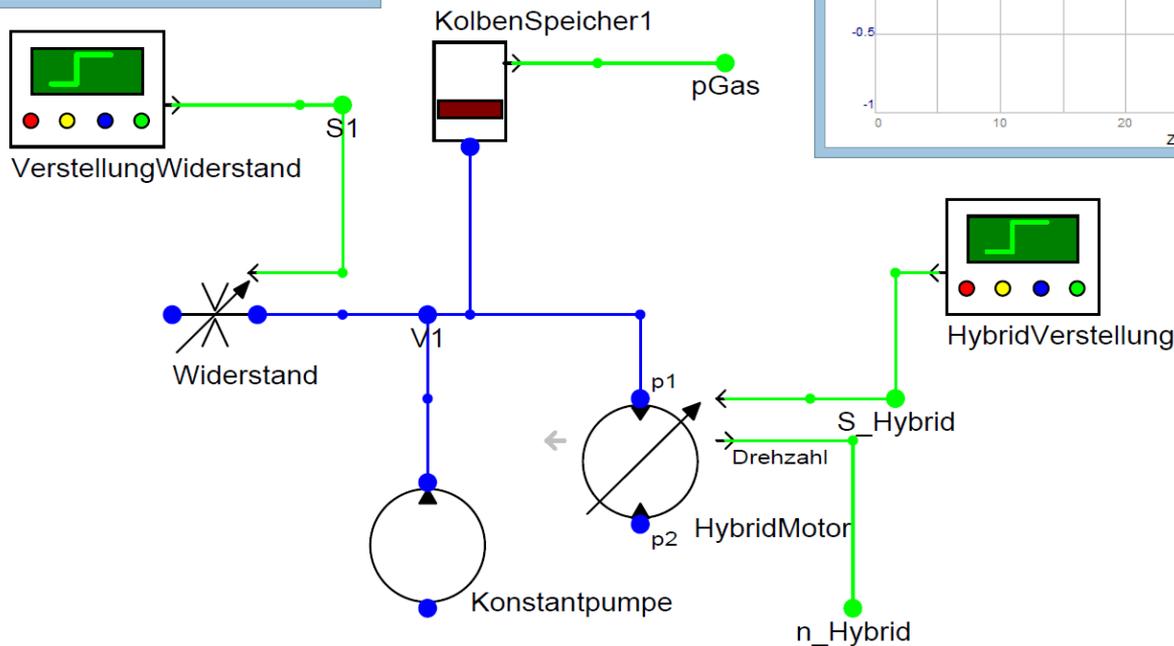
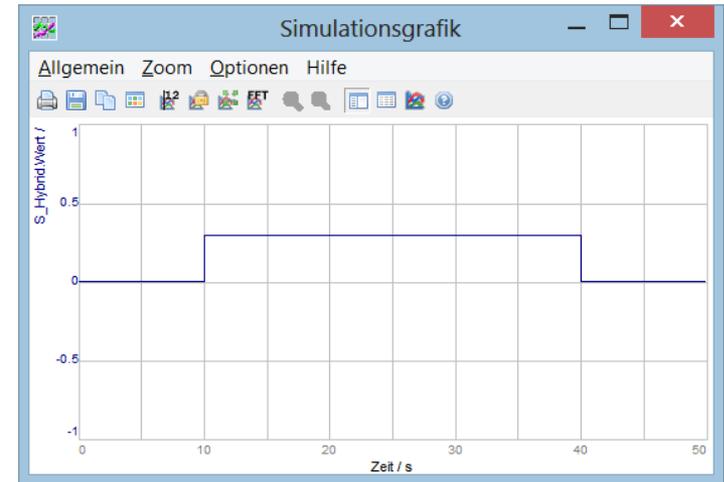
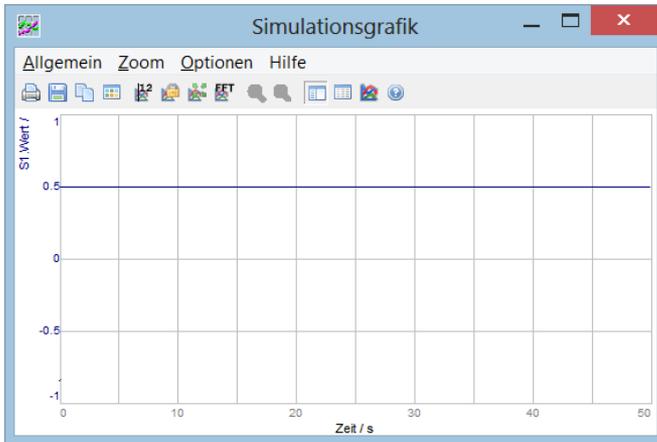
- Zuweisung zum Knoten:

```

1023 // Zuweisungen Knoten-Element / assignment node-element
1024 FunktionsGenerator2.Eingang = null;
1025 FunktionsGenerator2.FrequenzEingang = null;
1026 FunktionsGenerator2.PulsweitenEingang = null;
1027 HydroVerstellMotor1.p1 = Volumen1.Druck;
1028 HydroVerstellMotor1.Lastmoment = null;
1029 HydroVerstellMotor1.MechM = null;
1030 Pumpe1.pP = Volumen1.Druck;
1031 VerstellBlende1.p2 = Volumen1.Druck;
1032 KolbenGasSpeicher1.pP = Volumen1.Druck;
1033 KolbenGasSpeicher1.pPKnoten = &Volumen1;
1034 KolbenGasSpeicher1.drehzahl = Signal2.Wert;
1035 FunktionsGenerator1.Eingang = null;
1036 FunktionsGenerator1.FrequenzEingang = null;
1037 FunktionsGenerator1.PulsweitenEingang = null;
  
```

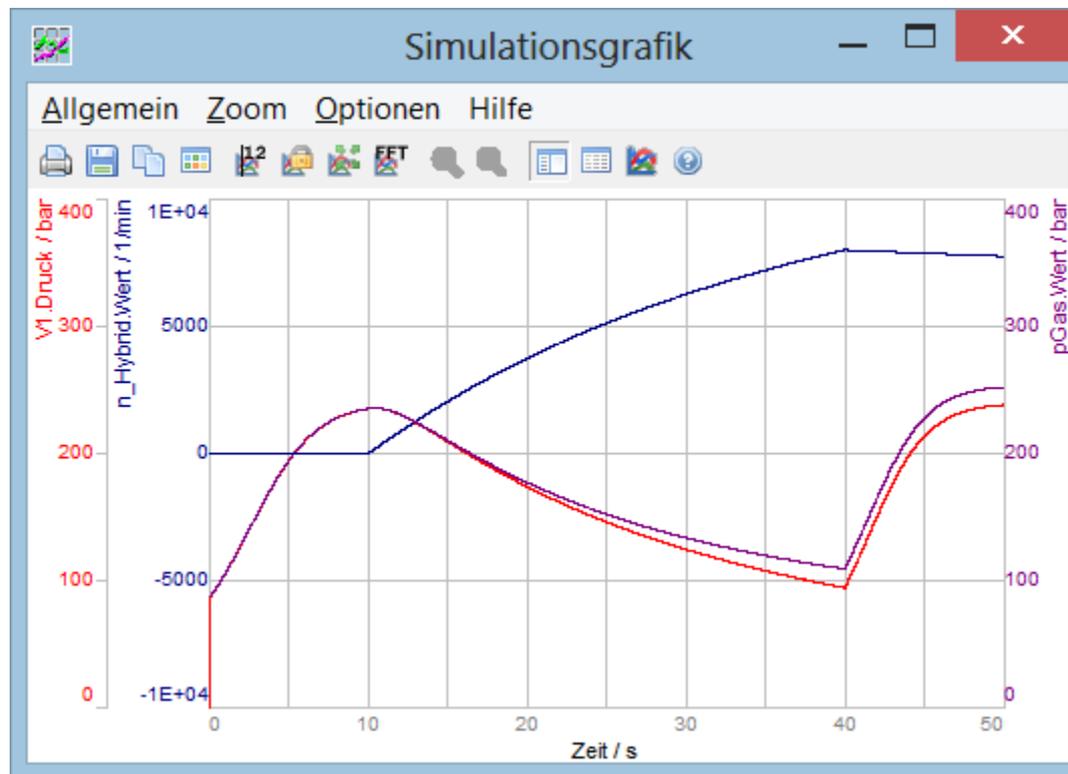


# Test 1: Speicher auf Drehzahl bringen

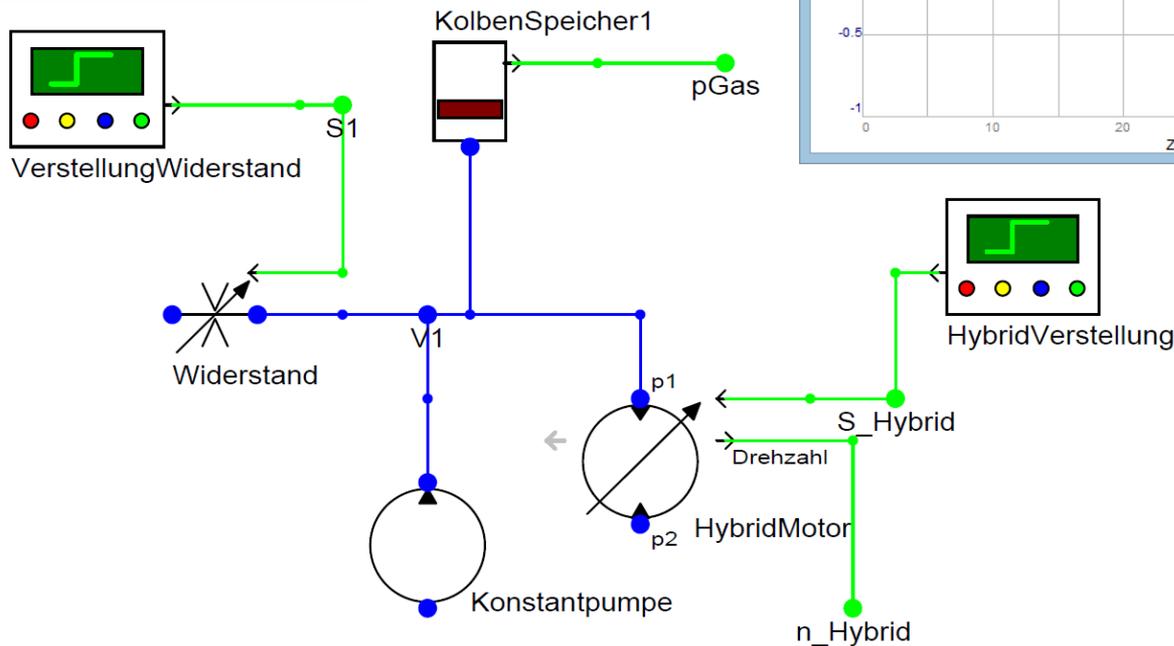
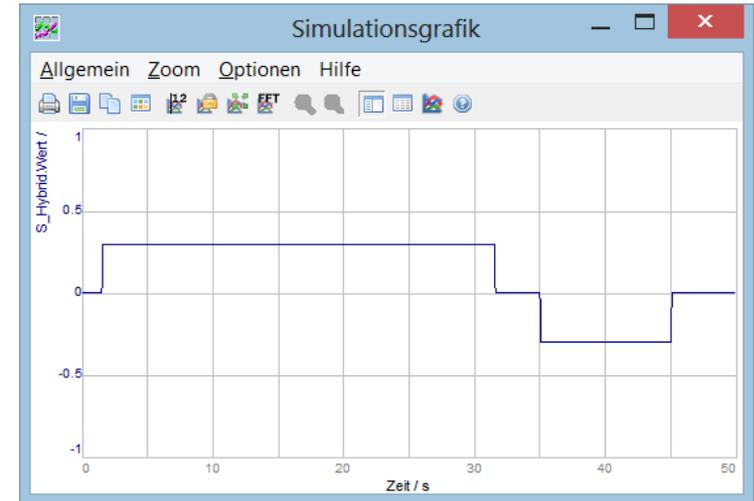
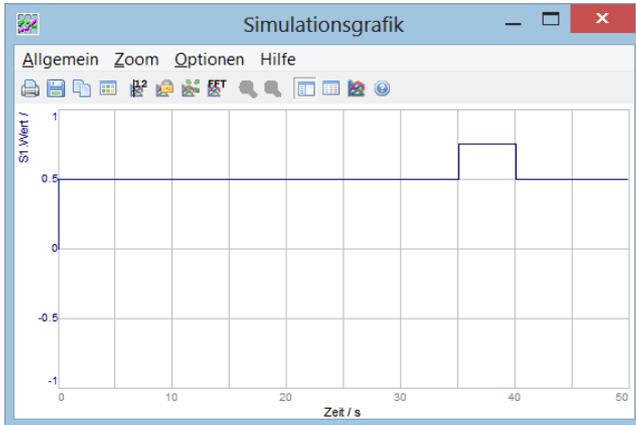


# Simulationsergebnisse, Speicher auf Drehzahl bringen

- 10 s: Ausschwenken des Hydromotors: 0 % -> 30 %
- 40 s: Rückschwenken des Hydromotors: 30 % -> 0 %

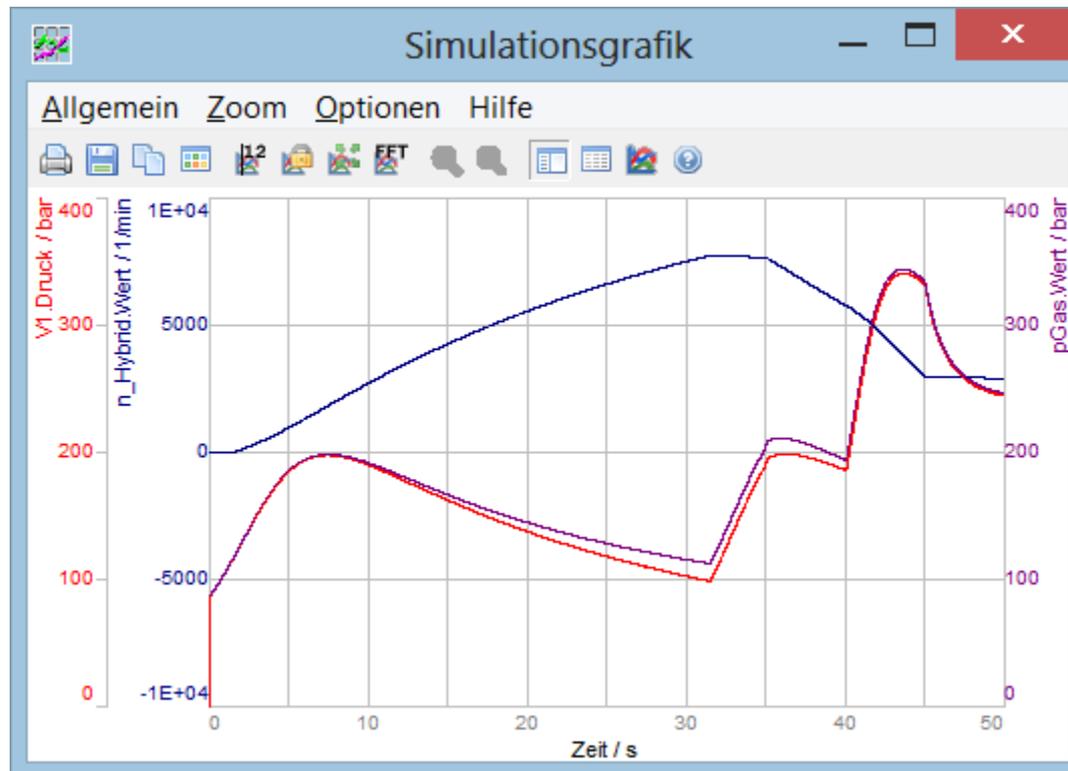


# Test 2: Speicher laden und entladen

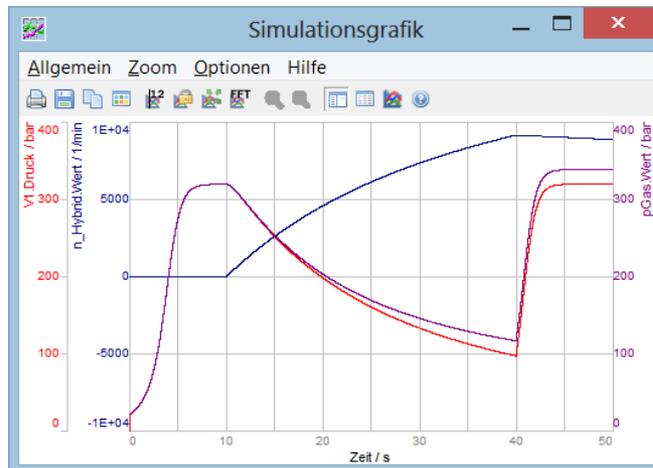
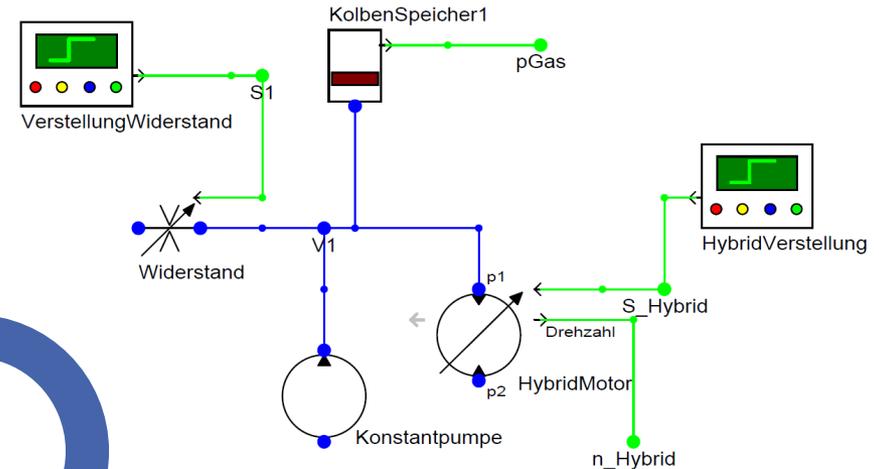
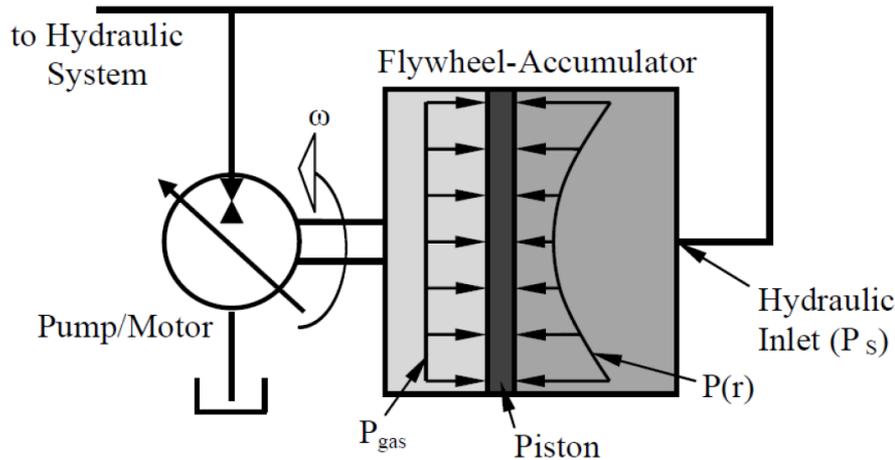


# Simulationsergebnisse, Speicher laden und entladen

- 0 .. 31,5 s: Speicher auf Drehzahl bringen (Hydromotor ausgeschwenkt)
- 35 .. 40 s: Verbraucher öffnen (Druck sinkt, Volumenstrom wird benötigt)
- 35 .. 45 s: Hydromotor abbremsen -> Energie zurück ins System



# Zusammenfassung



## Strukturmodifikation:

- Bewegungsgleichung
- Variable im Bauteil deklarieren
- Variable im Modell zuordnen