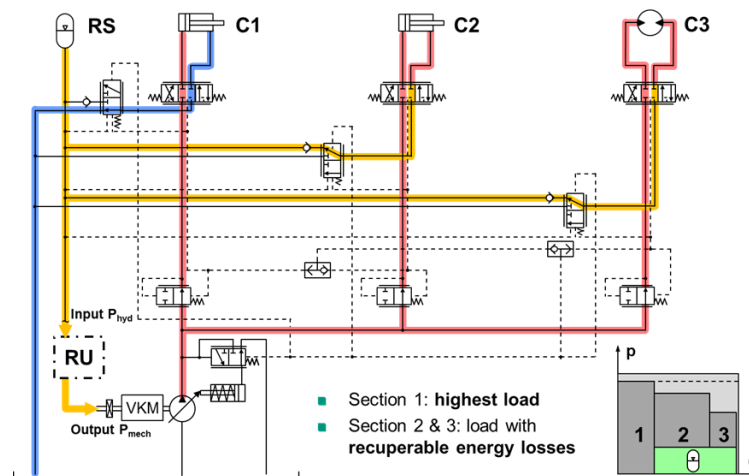


Entwicklung eines effizienzgesteigerten Load-Sensing-Systems für mobile Arbeitsmaschinen durch Reduzierung systembedingter Druckverluste

Dipl.-Ing. Jan Siebert

INSTITUT FÜR FAHRZEUGSYSTEMTECHNIK | TEILINSTITUT MOBILE ARBEITSMASCHINEN
Institutsleiter: Prof. Dr.-Ing. Marcus Geimer



Gliederung

- Verluste in Load-Sensing(LS)-Systemen
- Vorstellung des optimierten Systems
- Potentialuntersuchung der Schaltung
- Zusammenfassung

Verluste in Load-Sensing(LS)-Systemen

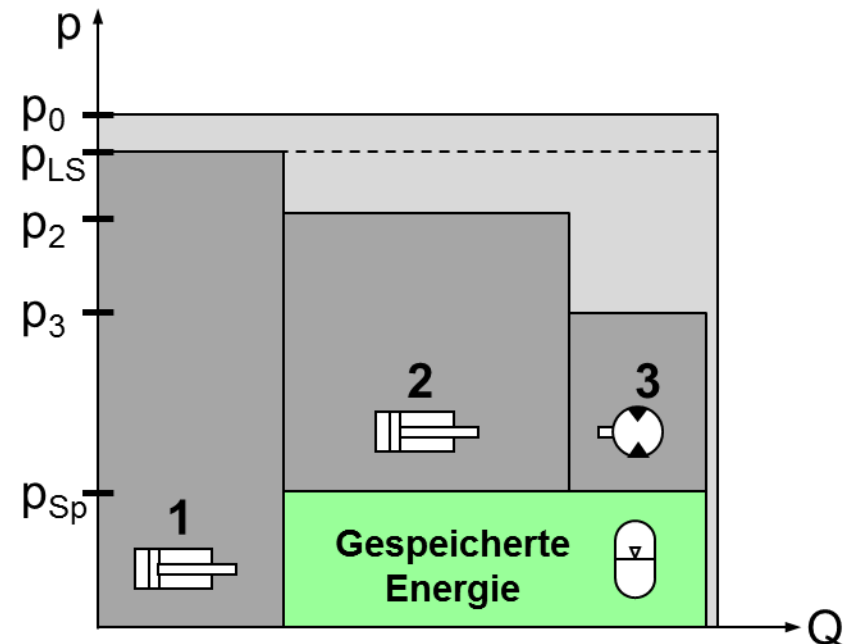
Die Effizienz hydraulischer Systeme wird reduziert durch

- volumetrische Verluste
 - Leckage z.B. in Komponenten oder zur Dämpfung
- Druckverluste
 - Reibungsverluste durch Fluid
 - Drosselverluste an Steuerkanten

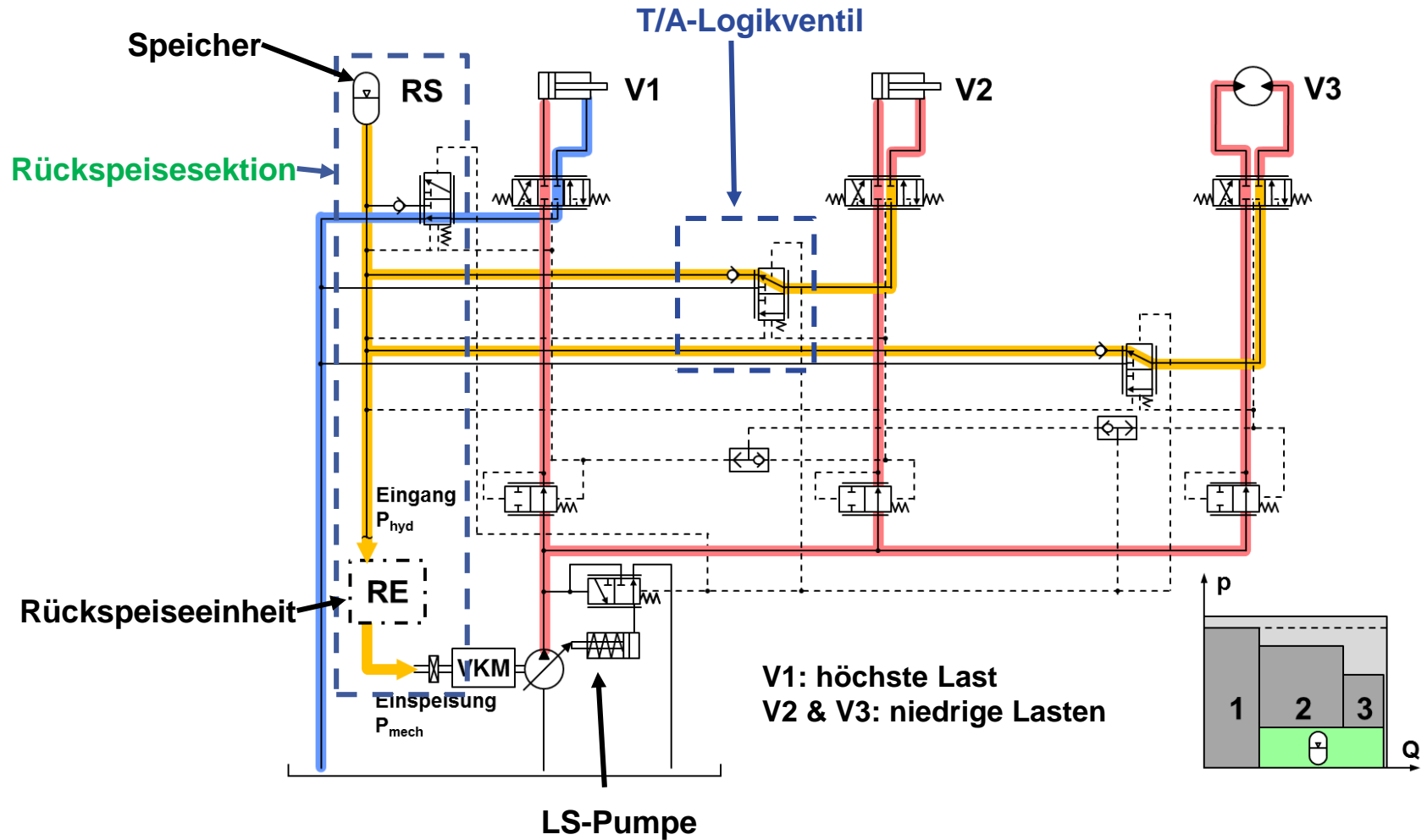
Drosselverluste an den Druckwaagen sind systembedingte Druckverluste

Systembedingte Druckverluste sind

- zyklusabhängig ($p \sim F$, $Q \sim v$)
- notwendig für die Funktion eines LS-Systems



Das optimierte LS-System



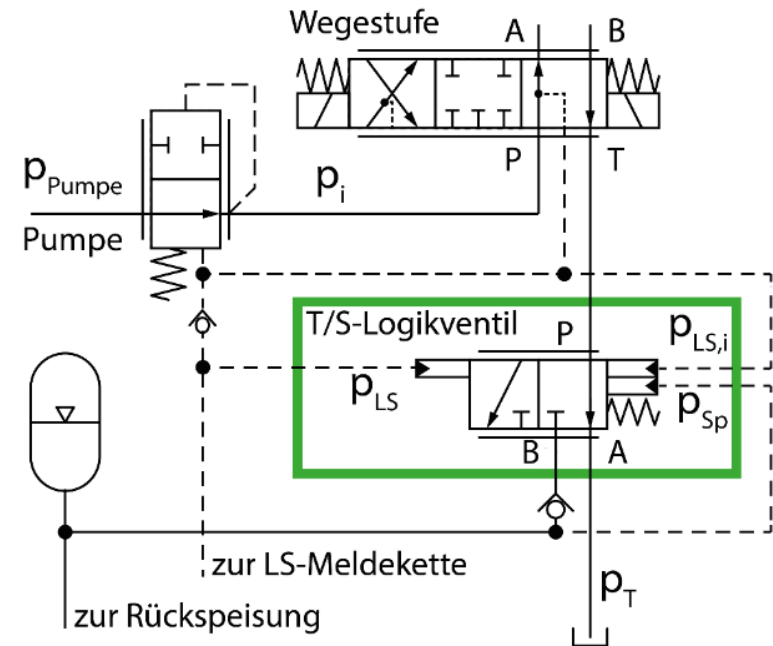
Die Schaltung im Detail

Schaltungskomponenten

- Tank-/Speicher-Logikventil (T/A-LV)
- Rückschlagventil
- Hydraulischer Speicher
- Rückspeiseeinheit

Komponente Tank-/Speicher-Logikventil

- identifiziert Belastung d. Verbrauchers und verbindet Rückleitung bei
 - hoher / höchster Last mit dem Tank
 - niedriger / niedrigster Last mit dem Speicher



Schaltbedingung des Ventils als Basis des Vergleichs

$$p_{LS} \cdot A > p_{Sp} \cdot A \cdot x_A + p_{LS,i} \cdot A + F_{Spring} \quad \text{mit } x_A = \frac{A_{Kolben}}{A_{Ring}}$$

p_{LS} = LS – Systemdruck; p_{Sp} = Druck im Speicher; $p_{LS,i}$ = Lastdruck in Sektion i;

x_A = Kolbenflächenverhältnis eines Differentialzylinders; A = Steuerfläche am Ventilschieber

Analyse der Schaltbedingung

$$p_{LS} * A > p_{Sp} * A * x_A + p_{LS,i} * A + F_{Feder} \quad \text{mit } x_A = \frac{A_{Kolben}}{A_{Ring}}$$

p_{LS} = LS – Systemdruck; p_{Sp} = Druck im Speicher; $p_{LS,i}$ = Lastdruck in Sektion i;
 x_A = Kolbenflächenverhältnis eines Differentialzylinders; A = Steuerfläche am Ventilschieber

Fall Nr.	Verbraucher	Verluste reduzierbar?
Fall 1: $p_{LS} < p_{Sp} \cdot x_A + p_{LS,i} + \frac{F_{Feder}}{A}$	<ul style="list-style-type: none"> Definiert LS-Druck Hohe / höchste Last 	Nicht möglich
Fall 2: $p_{LS} = p_{Sp} \cdot x_A + p_{LS,i} + \frac{F_{Feder}}{A}$	<ul style="list-style-type: none"> Last im Grenzbereich Theoretischer Fall 	Nicht möglich
Fall 3: $p_{LS} > p_{Sp} \cdot x_A + p_{LS,i} + \frac{F_{Feder}}{A}$	<ul style="list-style-type: none"> Niedrige / niedrigste Last Zusatzlast kann aufgeprägt werden 	Möglich!

Gliederung

- Verluste in Load-Sensing(LS)-Systemen
- Vorstellung des optimierten Systems
- Potentialuntersuchung der Schaltung
- Zusammenfassung

Definition der verwendeten Energiegrößen

- Von der LS-Pumpe eingebrachte **Gesamtenergie**:

$$E_{S,Ges} = \int P_{hydr} dt = \int \sum_1^n Q_{V,i} \cdot p_0 dt$$

- Von Verbrauchern angeforderte **Nutzenergie**:

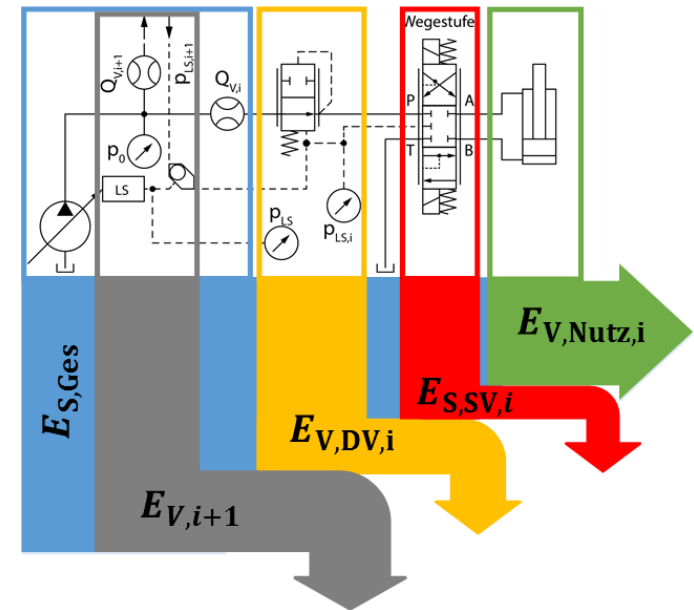
$$E_{V,Nutz,i} = \int P_{hydr,i} dt = \int Q_{V,i} \cdot p_{LS,i} dt$$

- **Energie der systembedingten Druckverluste**

$$E_{V,DV,i} = \int P_{DV,hydr,i} dt = \int Q_{V,i} \cdot (p_{LS} - p_{LS,i}) dt$$

- **Energie sonstiger Verluste**

$$E_{S,SV} = E_{S,Ges} - \sum_1^n (E_{V,Nutz,i} + E_{V,DV,i})$$



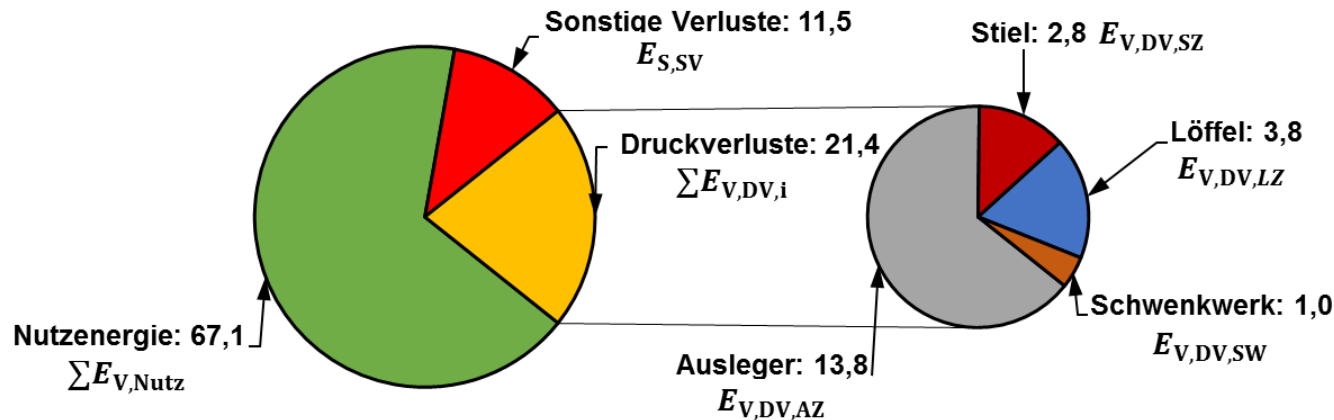
Potentialuntersuchung mit CoSimulation

Effizienzanalyse des konventionellen Systems

Simulation

- Datengrundlage: skaliertes 90°-Arbeitsspiel eines Hydraulikbaggers
- CoSimulation zwischen hydraulischem und MKS-Modell

Energieverteilung im konv. LS-System / CoSim, [E] = %



Ergebnis

- ca. 32 % der eingebrachten Energie treten als Verluste auf,
- ca. 21 % davon als **systembedingte Druckverluste**

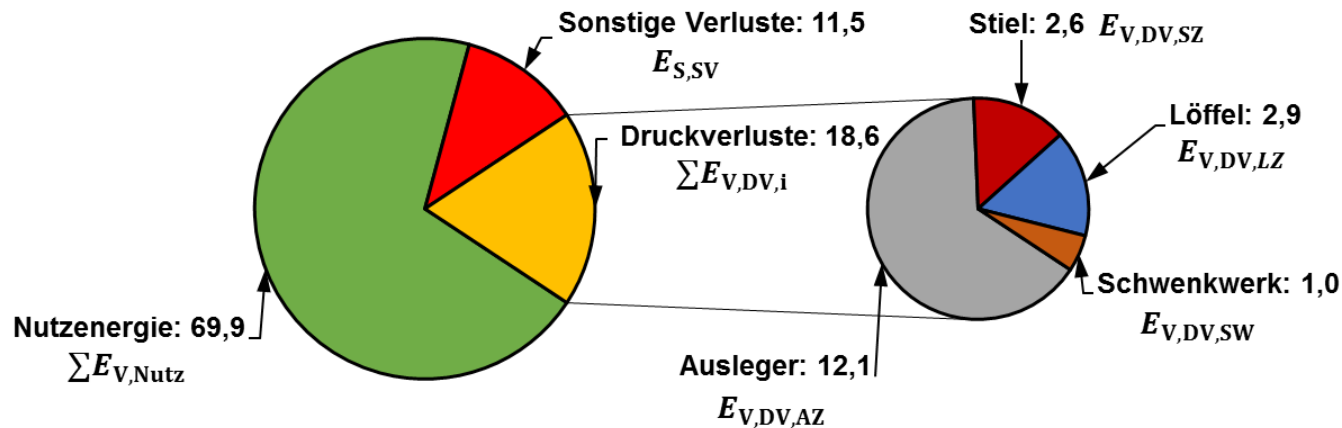
Potentialuntersuchung mit CoSimulation

Effizienzanalyse des optimierten Systems

Simulation

- Hydrauliksystem erweitert um T/S-LV und Rückspeisesektion

Energieverteilung im konv. LS-System / CoSim, [E] = %



Ergebnis

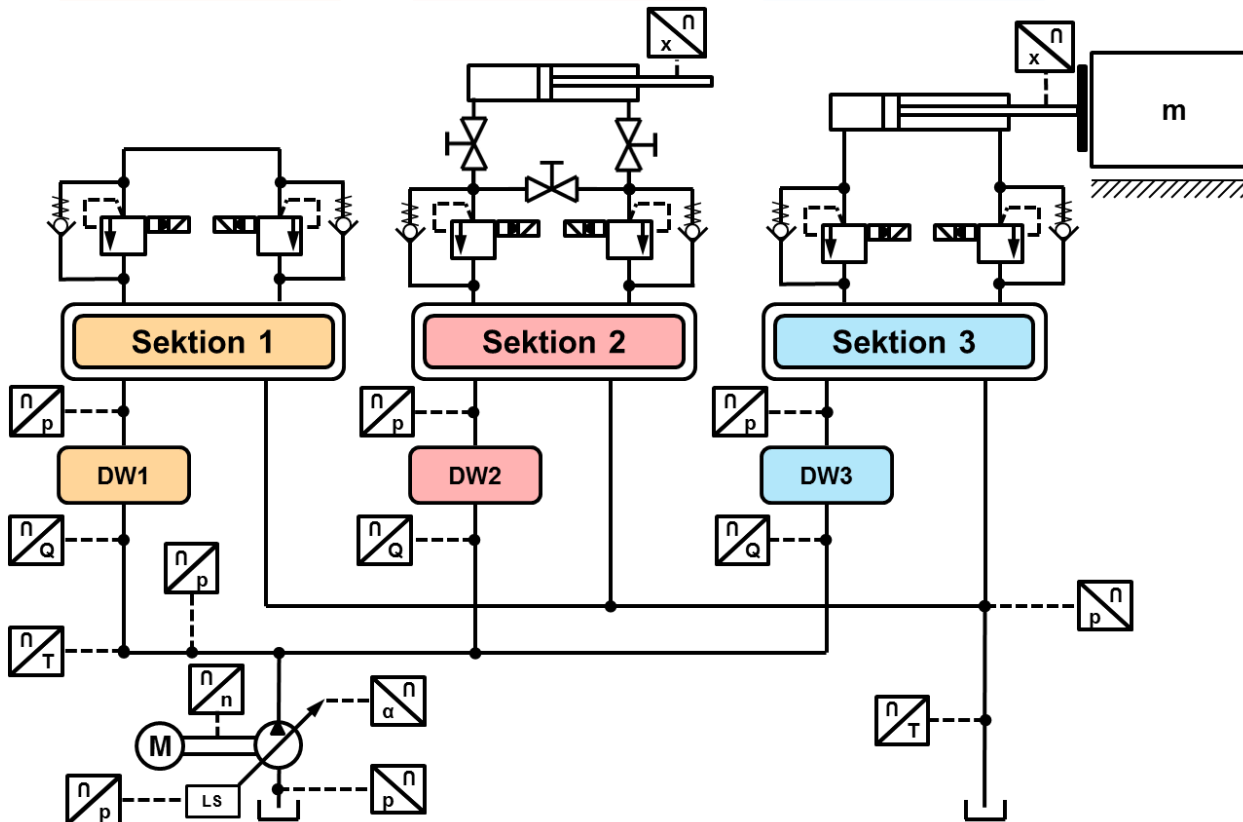
- Reduzierung der Druckverluste um ca. 13 %
- Rückspeisepotential: 6,9 % bezogen auf Gesamtenergie

Potentialuntersuchung mittels Prüfstand

Sektion 1:
Q: 0-160 l/min
p: 0-350 bar
passiv

Sektion 2:
Q: 0 – 100 l/min
p: 0 – 300 bar
passiv

Sektion 3:
Q: 0 – 100 l/min
p: 0 – 300 bar
aktiv / passiv



Funktionsprototyp Tank-/Speicher-Logikventil

Prototyp mit getrennten Steuerkanten

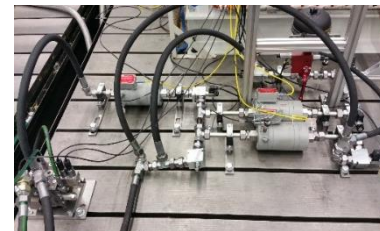
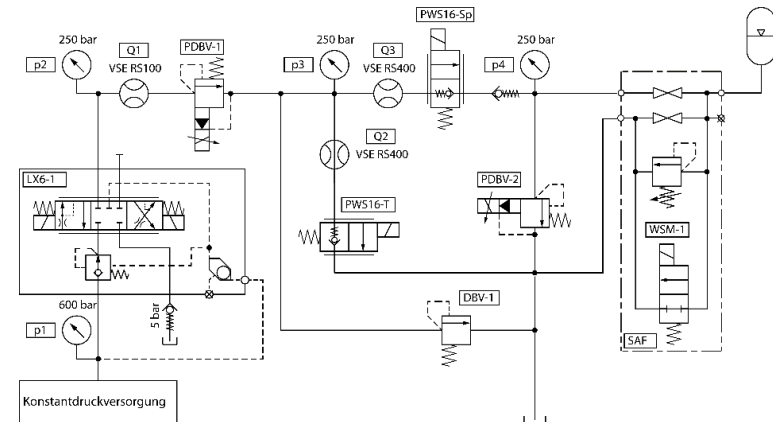
- Proportionaldrosselventile als Steuerkanten (PWS16-Sp, PWS16-T)
- Ventilsteuerung durch Rapid Prototyping Hardware (Autobox, dSpace)

Virtueller Steuerschieber

- Schaltendes / proportionales Verhalten
- Parametrierbare Steuerflächen
- Drucksensoren zur Signalaufnahme

Ergebnis:

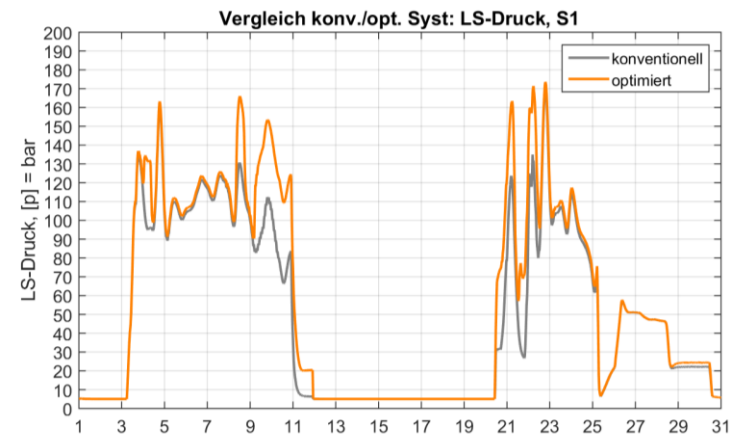
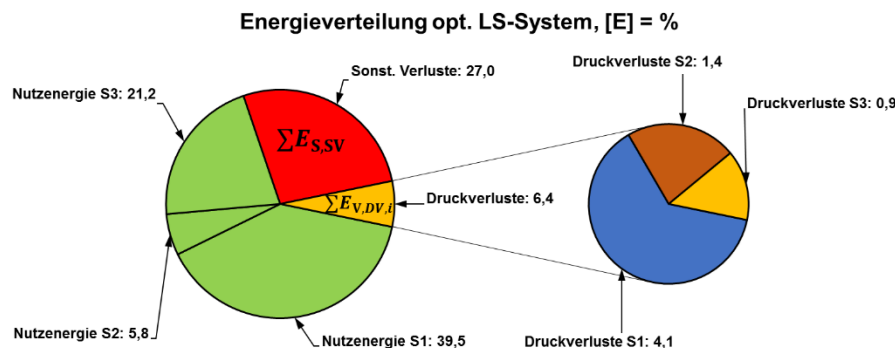
- **Ventilsteuerung funktioniert grundsätzlich**
- **Regelung muss noch optimiert werden**



Ergebnis der Validierung

Effizienzsteigerung in der Simulation untersucht

- Aus realem 90°-Arbeitsspiel-Datensatz abgeleiteter Referenzzyklus
- Validiertes Simulationsmodell des Prüfstands
- Validiertes Simulationsmodell des T/S-LV-Prototyps



Ergebnis:

- **Reduzierung der Druckverluste in der Simulation um 38 %. Dies entspricht einer Steigerung der Nutzenenergie um 4 %.**

Zusammenfassung

- Die **Reduzierung systembedingter Druckverluste** ist eine **neue** Möglichkeit, die **Effizienz** mobilhydraulischer **LS-Systeme** zu **steigern**

- Die **Effizienzsteigerung** hängt stark **ab** von
 - den verwendeten **Komponenten**
 - den aufgeprägten **Lasten & Zyklen**

- **Ergebnisse des Projekts**
 - An einem validierten Simulationsmodell konnten die systembedingten Druckverluste **um 38 %** reduziert werden, was einem **Effizienzsteigerungspotential** von **ca. 4 %** entspricht.
 - Ein Funktionsprototyp des Tank-/Speicher-Logikventils
 - Ein funktionsfähiger Prüfstand eines mobilhydraulischen LS-Systems als Validierungsgrundlage

Entwicklung eines effizienzgesteigerten Load-Sensing-Systems für mobile Arbeitsmaschinen durch Reduzierung systembedingter Druckverluste

Dipl.-Ing. Jan Siebert

INSTITUT FÜR FAHRZEUGSYSTEMTECHNIK | TEILINSTITUT MOBILE ARBEITSMASCHINEN
Institutsleiter: Prof. Dr.-Ing. Marcus Geimer

