Topmotors Webinar Nr. 15

Neue Konzepte für effiziente Hydraulikantriebe

25. November 2020, 10:00 - 11:00

Moderation: Sabine Marbet, Energie Zukunft Schweiz

Referent: Prof. Dr. Johann Lodewyks, Hochschule Luzern

Referent: Prof. Dr. Johann Lodewyks

- Ausbildung:
  - Maschinenbaustudium an RWTH Aachen
  - 1994: Promotion am Institut für Hydraulik und Pneumatik Aachen
- Berufliche Tätigkeit:
  - 1994-2000: Technischer Leiter, OHE Ebikon
  - 2000-2004: Dozent für Mechatronik, HSR Rapperswil
  - 2004-2011: Bereichsleiter Mobilhydraulik und Leiter der Trainingscenter weltweit, BUCHER HYDRAULICS Neuheim
  - seit 2011: Dozent für Maschinentechnik, Hochschule Luzern
  - seit 2013: Dozent für fluidische Antriebstechnik, ETH Zürich

Lucerne University of
Applied Sciences and Arts
HOCHSCHULE
LUZERN
Technik & Architektur

Neue energieeffiziente hydraulische Antriebssysteme

Webinar 2020

Hochschule Luzern

Prof. Dr.-Ing. Johann Lodewyks
Lecturer Machine Technology

T direct +41 41 349 32 45
johann.lodewyks@hslu.ch

Horw 04.10.2020

Stand der Technik

Energieverluste

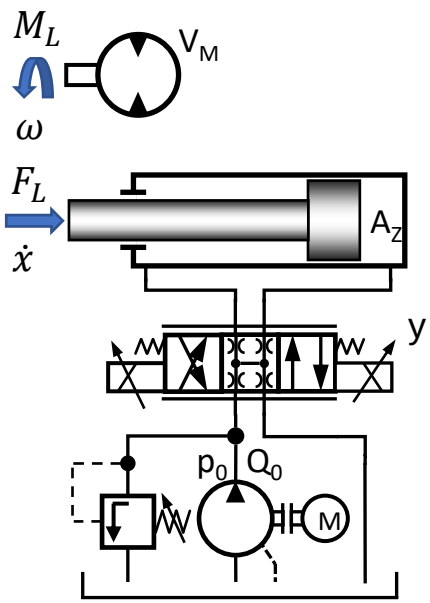
Optimierungsstrategien

Abdrosselung treibender Lasten
→ Energierückgewinnung

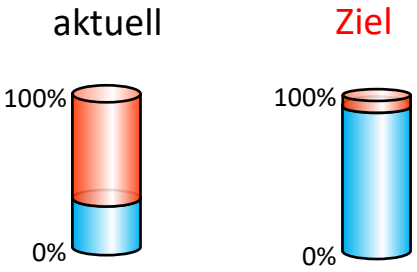
Drosselverluste an Steuerkanten
→ Drosselverluste vermeiden

Konstante Leistungsproduktion
→ Bedarfsgesteuerte Leistungsproduktion

Hydraulischer Servoantrieb



Energieeffizienz



Energieeffizienz einer Drosselsteuerung mit Konstantdruckversorgung

Nutzbare mechanische Leistung

$$P_L = Q_L \cdot p_L$$

Ventildrosselverluste

$$P_V = Q_L \cdot \Delta p$$

Konstantpumpe

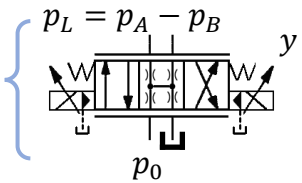
hydraulische Leistung

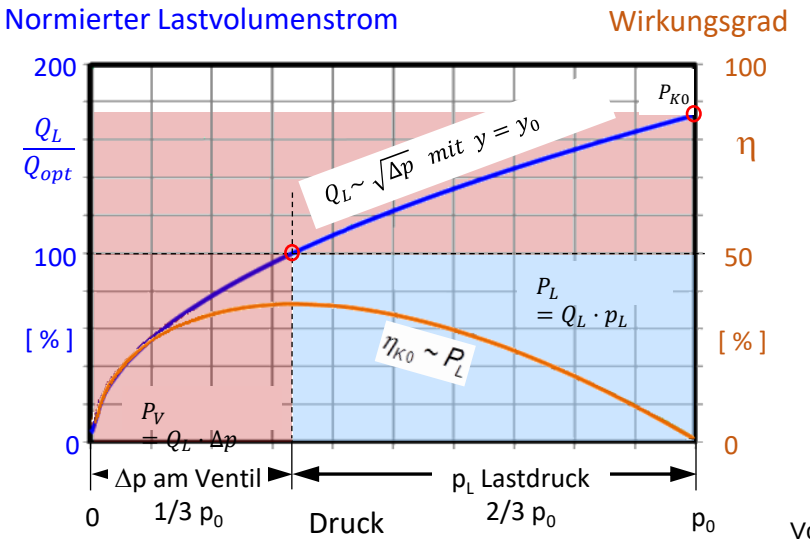
$$P_{K0} = Q_0 \cdot p_0$$

Wirkungsgrad

$$\eta_{K0} = \frac{P_L}{P_{K0}} = \frac{Q_L \cdot p_L}{Q_0 \cdot p_0}$$

$$\Delta p = p_0 - p_L$$





Volumenstrom am Punkt maximaler Effizienz	Q_{opt}	[l/min]
Pumpen Druck	p_0	[bar]
Eingangssteuersignal	y	[V]

Energieeffizienz einer Drosselsteuerung mit Konstantdruckversorgung

Nutzbare mechanische Leistung

$$P_L = Q_L \cdot p_L$$

Ventildrosselverluste

$$P_V = Q_L \cdot \Delta p$$

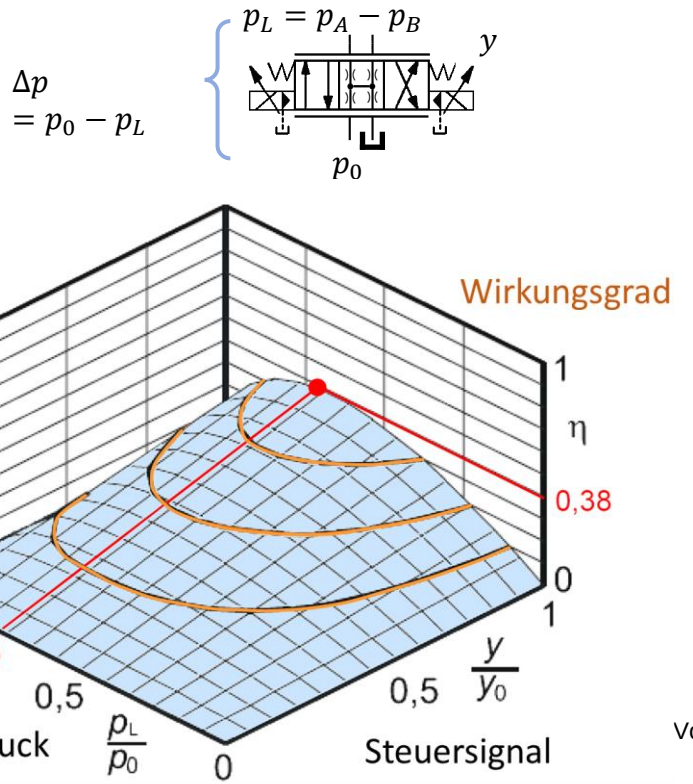
Konstantpumpe

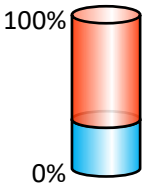
hydraulische Leistung

$$P_{K0} = Q_0 \cdot p_0$$

Wirkungsgrad

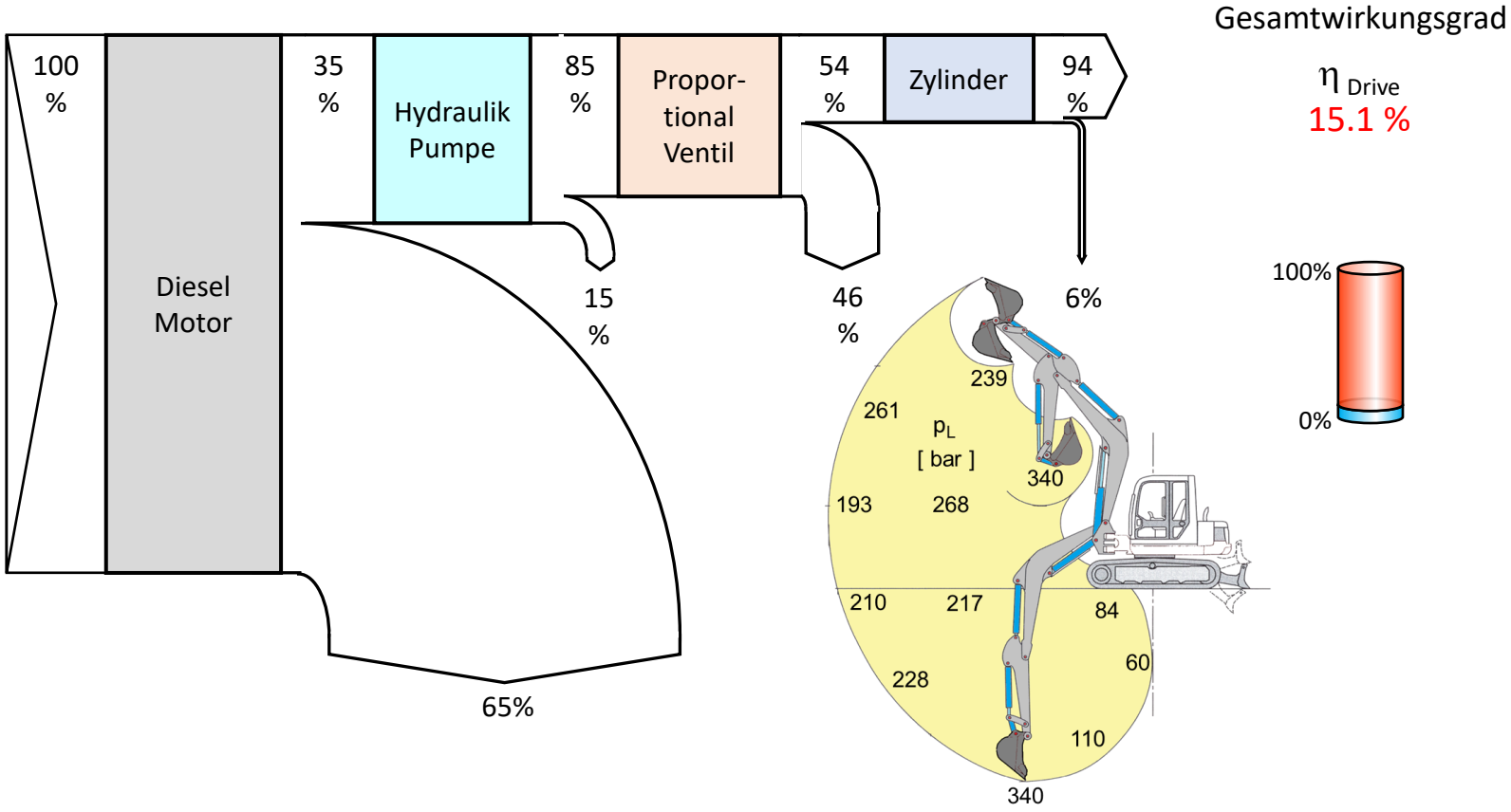
$$\eta_{K0} = \frac{P_L}{P_{K0}} = \frac{Q_L \cdot p_L}{Q_0 \cdot p_0}$$



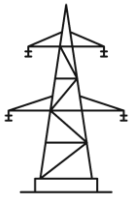
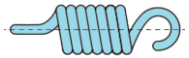
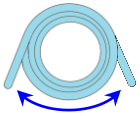


Volumenstrom am Punkt maximaler Effizienz	Q_{opt}	[l/min]
Pumpen Druck	p_0	[bar]
Eingangssteuersignal	y	[V]

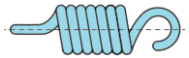
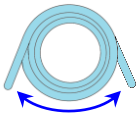
Energieflussdiagramm eines Baggers



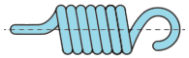
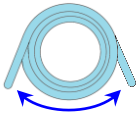
Analogie von Leistung, Widerstand und Induktion

	Leistung	=	Potential	x	Fluss	[W]
	Elektrik		Spannung		Strom	[V · A]
	Hydraulik		Druck		Volumen-strom	$[\frac{\text{bar} \cdot \text{lpm}}{0.6}]$
	Mechanik linear		Kraft		Geschwindigkeit	[N · m/s]
	Mechanik rotation		Moment		Winkel-geschwindigkeit	[Nm · rad/s]

Analogie von Leistung, Widerstand und Induktion

	Widerstand	=	Potential	/	Fluss	
	Elektrik		Spannung		Strom	$[\frac{V}{A}]$
	Hydraulik		Druck		Volumen-strom	$[\frac{bar}{lpm}]$
	Mechanik linear		Kraft		Geschwindigkeit	$[\frac{N}{m/s}]$
	Mechanik rotation		Moment		Winkel-geschwindigkeit	$[\frac{Nm}{rad/s}]$

Analogie von Leistung, Widerstand und Induktion

	Induktion	=	Potential	/	Fluss	pro Zeit
	Elektrik		Spannung		Strom	$[\frac{V}{A/s}] = [H]$
	Hydraulik		Druck		Volumen-strom	$[\frac{bar}{lpm/s}]$
	Mechanik linear		Kraft		Geschwindigkeit	[kg]
	Mechanik rotation		Moment		Winkel-geschwindigkeit	$[kg \cdot m^2]$

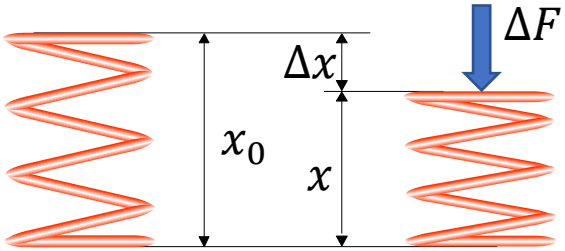
Analogie der Kapazität

C	Kapazität	=	Fluss	/	Potential	pro Zeit
	Elektrik		Strom		Spannung	$[\frac{A}{V/s}] = [F]$
	Hydraulik		Volumen-strom		Druck	$[\frac{l}{bar}] = [C_h]$
	Mechanik linear		Geschwindigkeit		Kraft	$[\frac{m}{N}] = [\frac{1}{C}]$
	Mechanik rotativ		Winkelge-schwindigkeit		Moment	$[\frac{rad}{Nm}]$

Analogie zur mechanischen Feder

Steifigkeit der mechanischen Feder

Federkonstante $$C = \frac{\Delta F}{\Delta x}$$

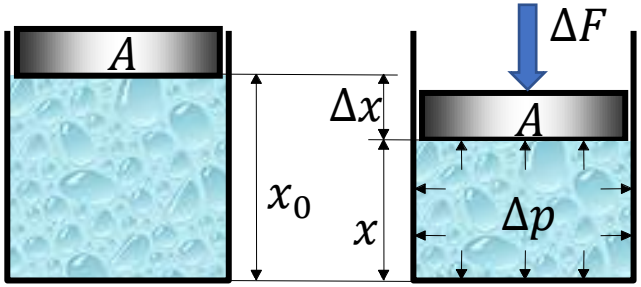


Hydraulische Federanalogie

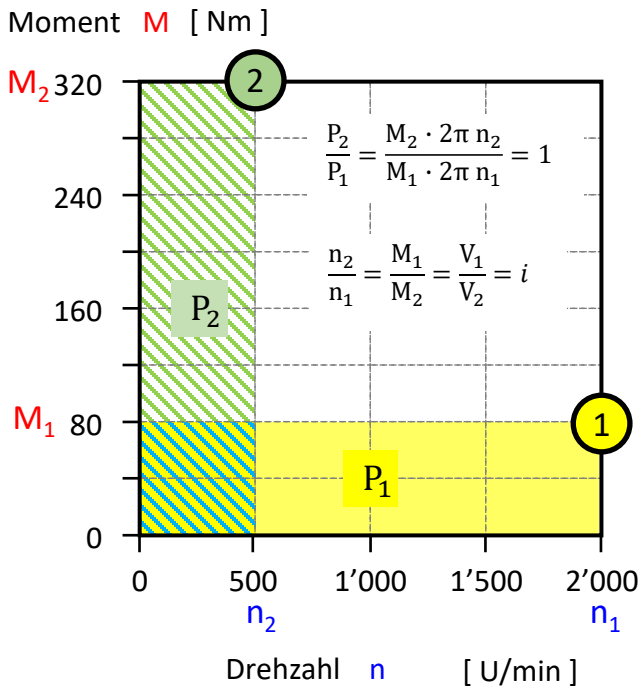
Kraftgleichgewicht $$\Delta F = \Delta p \cdot A$$

Kompressionsgleichung $$\Delta x = \frac{\Delta p}{E} \cdot x$$

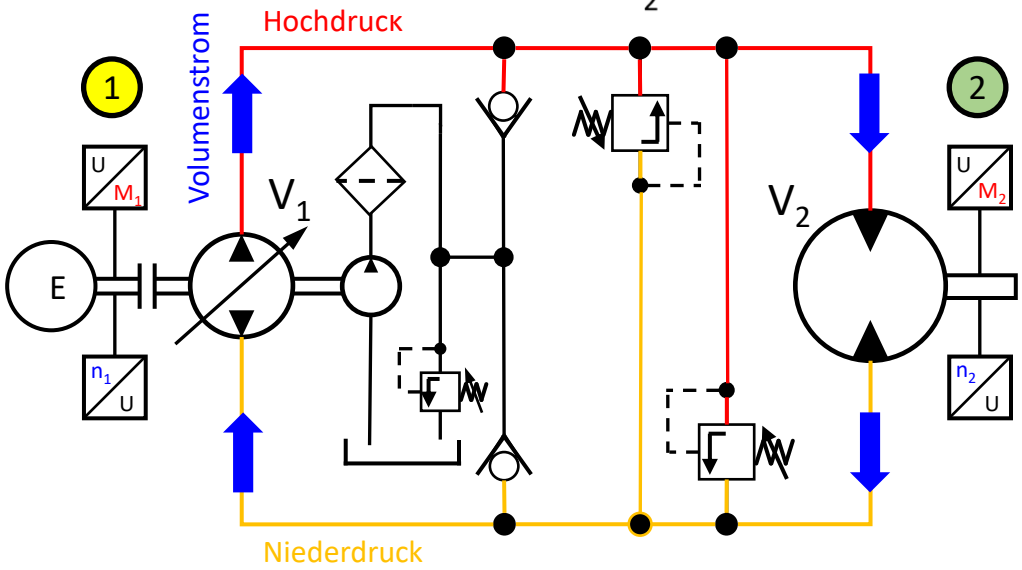
Hydraulische Federkonstante $$\boxed{C = \frac{E \cdot A}{x}}$$



Getriebefunktion hydraulischer Antriebe



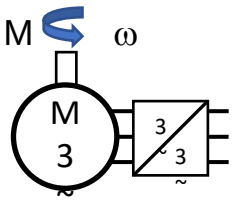
Getriebe Übersetzung : $= \frac{V_1}{V_2}$

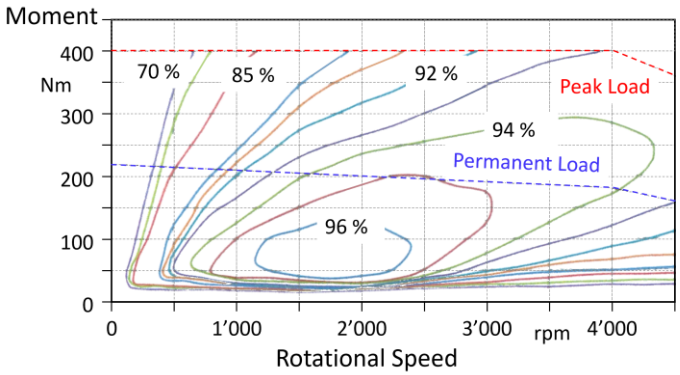


Leistung	P	[W]
Drehzahl	n	[rpm]
Moment	M	[Nm]
Schluckvolumen	V	[cm^3 pr]

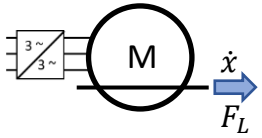
Kennlinien elektrischer und hydraulischer Aktoren

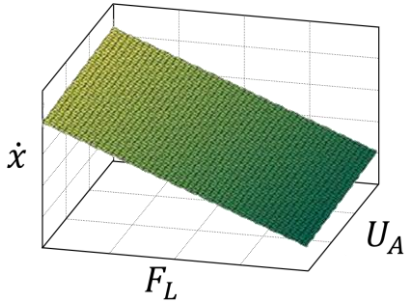
Elektrischer Servomotor



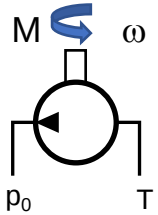


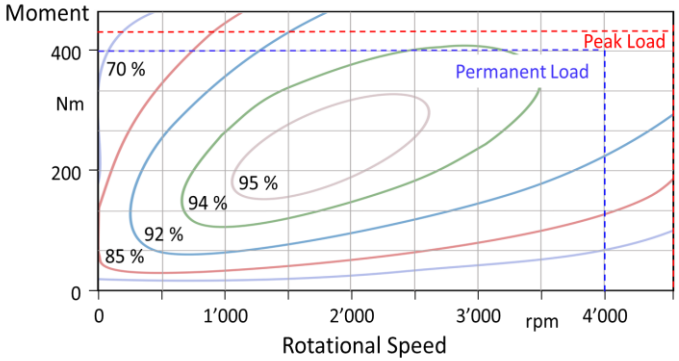
Elektrischer Linearmotor



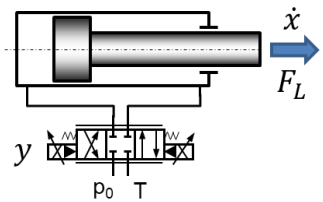


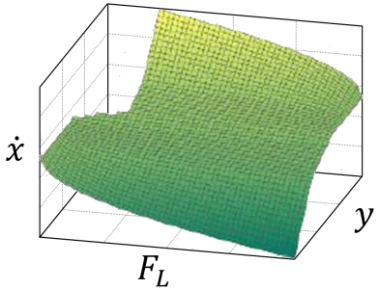
Hydraulische Axialkolbenpumpe





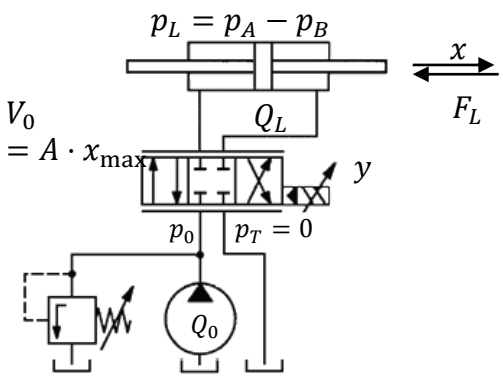
Hydraulischer Servoventilantrieb

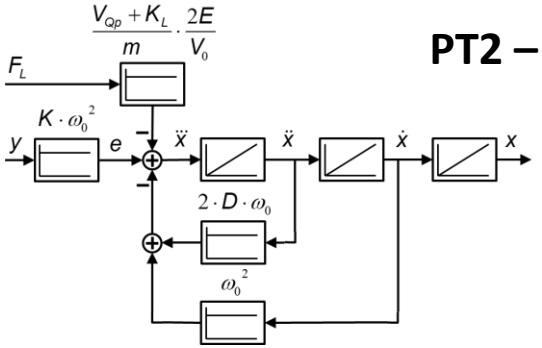




Dynamisches Modell des hydraulischen Servoventilantriebs

Servoventil-antrieb





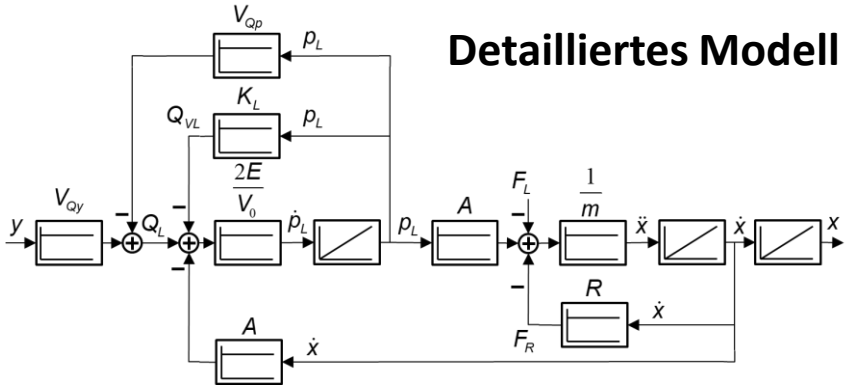
PT2 – I - System

Verstärkung $K = \frac{V_{Qy}}{A}$

Eigenkreis-frequenz $\omega_0 = A \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot E}{m \cdot V_0}}$

D << 0.1

Dämpfungs-faktor $D = \frac{1}{2 \cdot A} \cdot \left[(V_{Qp} + K_L) \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot m \cdot E}{V_0}} + R \cdot \sqrt{\frac{V_0}{2 \cdot m \cdot E}} \right]$

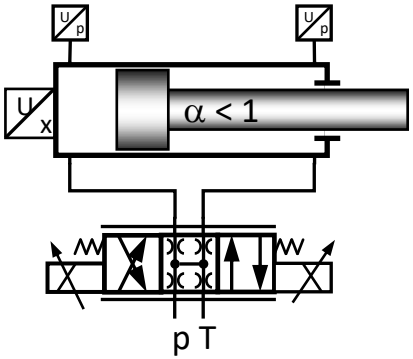


Detailliertes Modell

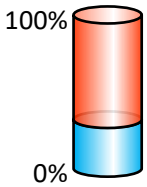
Optimierter Servoventilantrieb mit Doppelventilsteuerung

Servoventilantrieb

- Differential Zylinder
- optionale Sensorik
- Proportionale Ventilsteuerung



4/3 Wegeventil



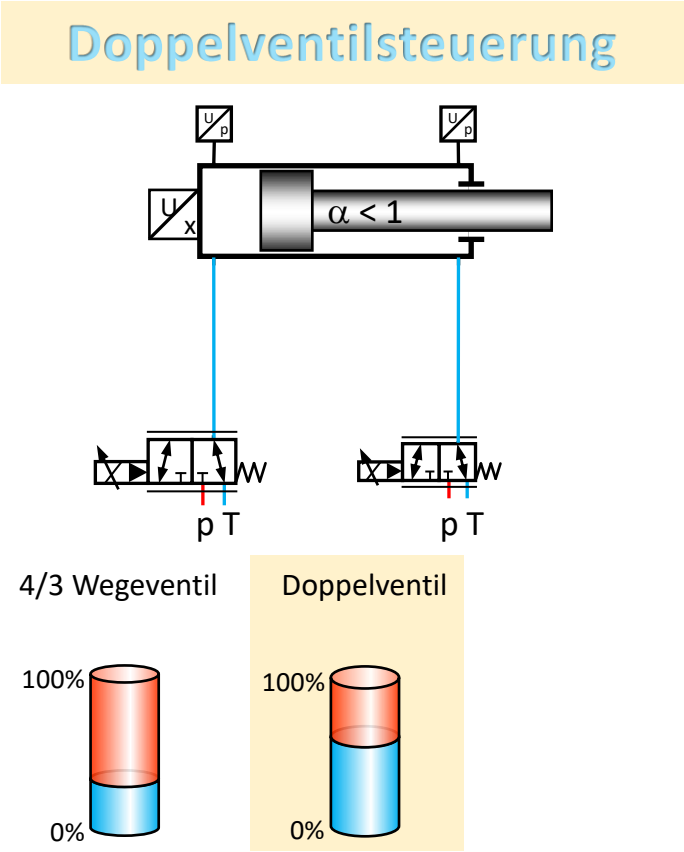
Optimierter Servoventilantrieb mit Doppelventilsteuerung

Servoventilantrieb

- Differential Zylinder
- optionale Sensorik
- Proportionale Ventilsteuerung

Doppelventilsteuerung

- Entkoppelung der Steuerkanten
- Einzelkontrolle jeder Zylinderkammer
- Aus einzelne Zylinderfläche angepasste Ventilgrösse
- Ventile in vielen Betriebspunkten vollständig geöffnet
- Regeneration bei treibender Last ist möglich
- Halbierung der Drosselverluste



Optimierter Servoventilantrieb mit Doppelventilsteuerung

Servoventilantrieb

- Differential Zylinder
- optionale Sensorik
- Proportionale Ventilsteuerung

Doppelventilsteuerung

- Entkoppelung der Steuerkanten
- Einzelkontrolle jeder Zylinderkammer
- Aus einzelne Zylinderfläche angepasste Ventilgrösse
- Ventile in vielen Betriebspunkten vollständig geöffnet
- Regeneration bei treibender Last ist möglich
- Halbierung der Drosselverluste

Optionaler Ventilblock

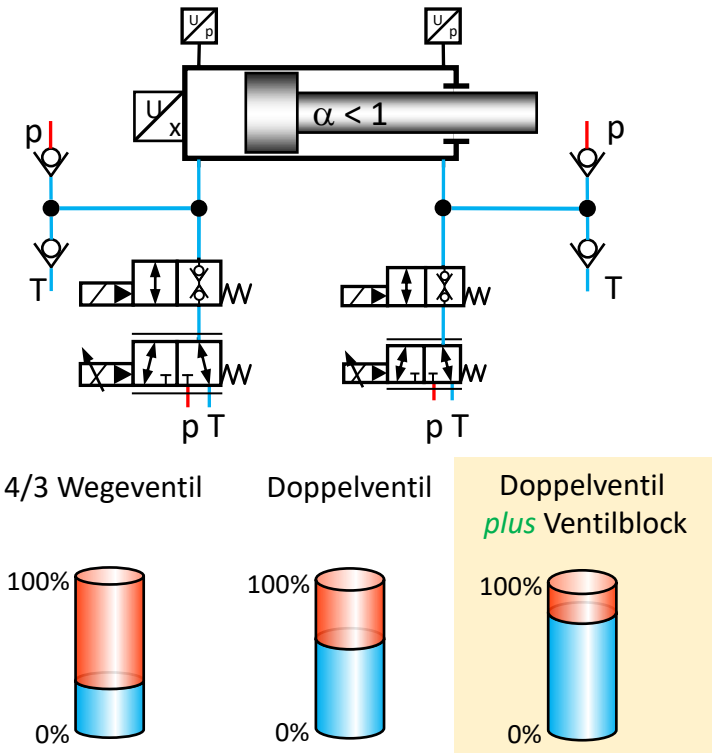
Sitzventile

- Leckage freies Halten von Lasten
- Not-Halt Funktion
- Endlagendämpfung möglich

Rückschlagventile

- Nachsaugung und Regeneration bei geringer Druckdifferenz
- Beste Energieeffizienz bei minimalen Drosselverlusten

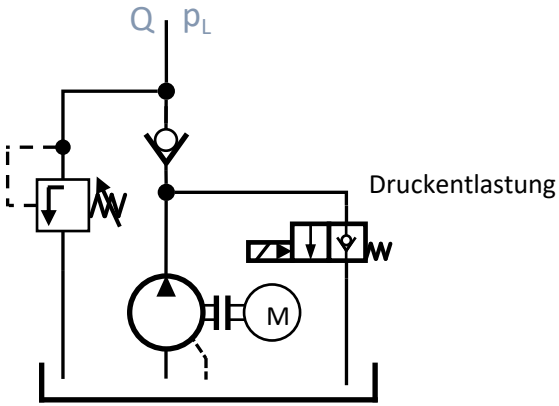
Doppelventilsteuerung



Bedarfsgerechte Leistungssteuerung

Schaltungsbeispiele

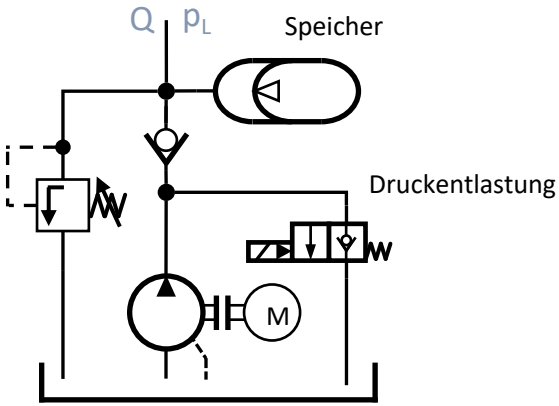
- druckloser Umlauf



Bedarfsgerechte Leistungssteuerung

Schaltungsbeispiele

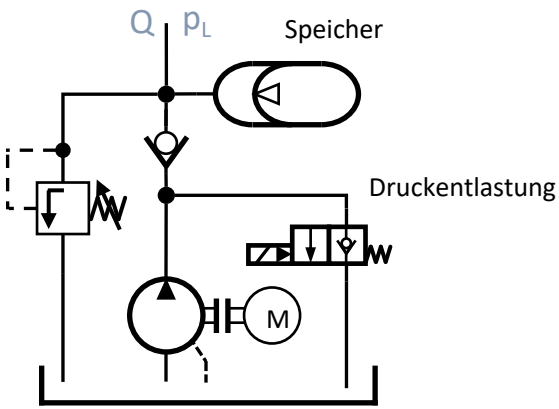
- druckloser Umlauf
- Speicherladeschaltung

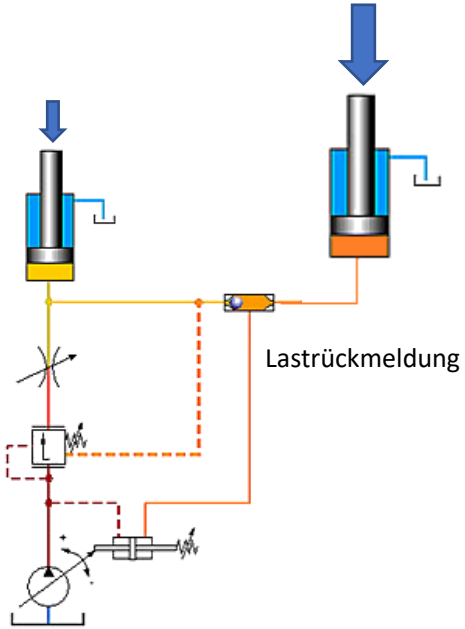


Bedarfsgerechte Leistungssteuerung

Schaltungsbeispiele

- druckloser Umlauf
- Speicherladeschaltung
- Load Sensing Steuerung

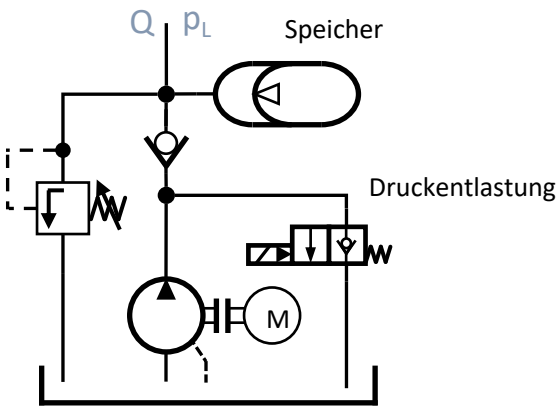


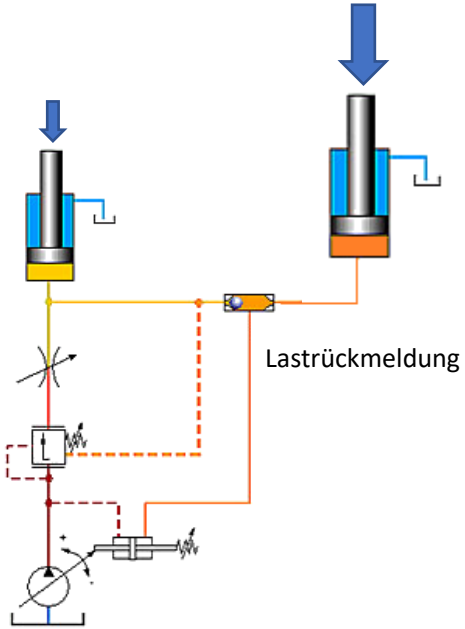


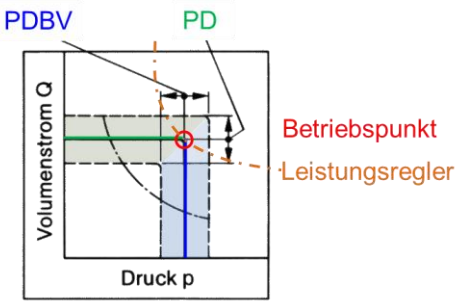
Bedarfsgerechte Leistungssteuerung

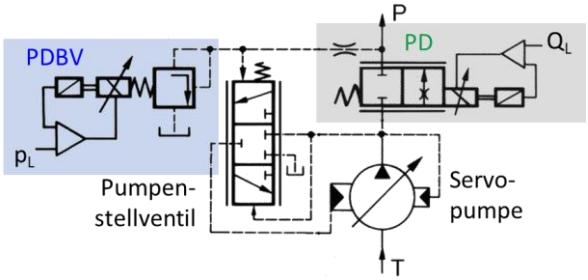
Schaltungsbeispiele

- druckloser Umlauf
- Speicherladeschaltung
- Load Sensing Steuerung
- druck- und förderstrom-geregelte Verstellpumpe





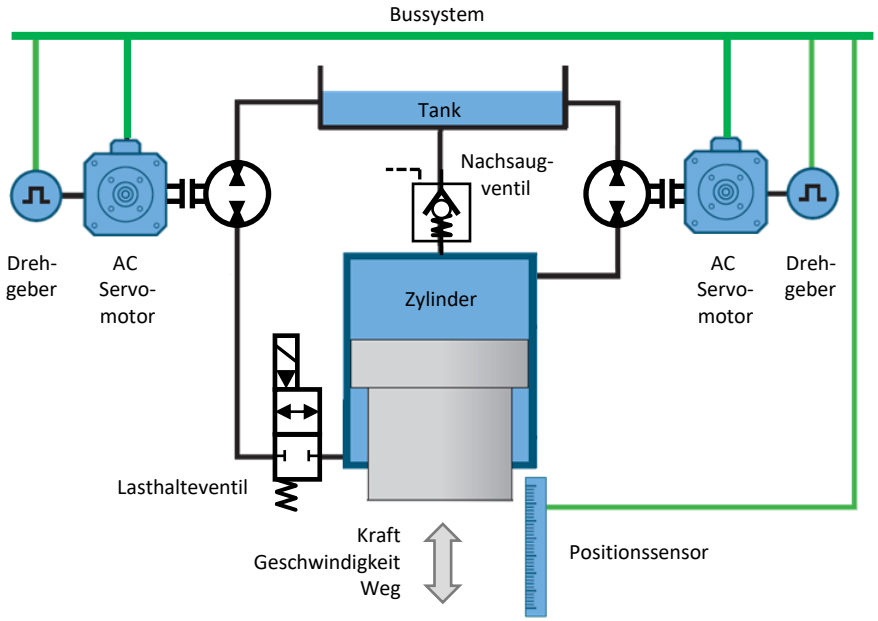




Anwendungsbeispiel einer Verdrängersteuerung

Servomotor Pressensteuerung

- Konstantpumpen
- AC Servomotorsteuerung
- Lage- oder Druckregelung
- des Zylinders
- Kontrollierte Kompression
- und Dekompression
- Energierückgewinnung
- Energielose Lasthaltung



Quelle: Voith Turbo H+L Hydraulic

Hydraulische Kompaktantriebe mit drosselfreier Steuerung

Konstantpumpe mit DC Motor

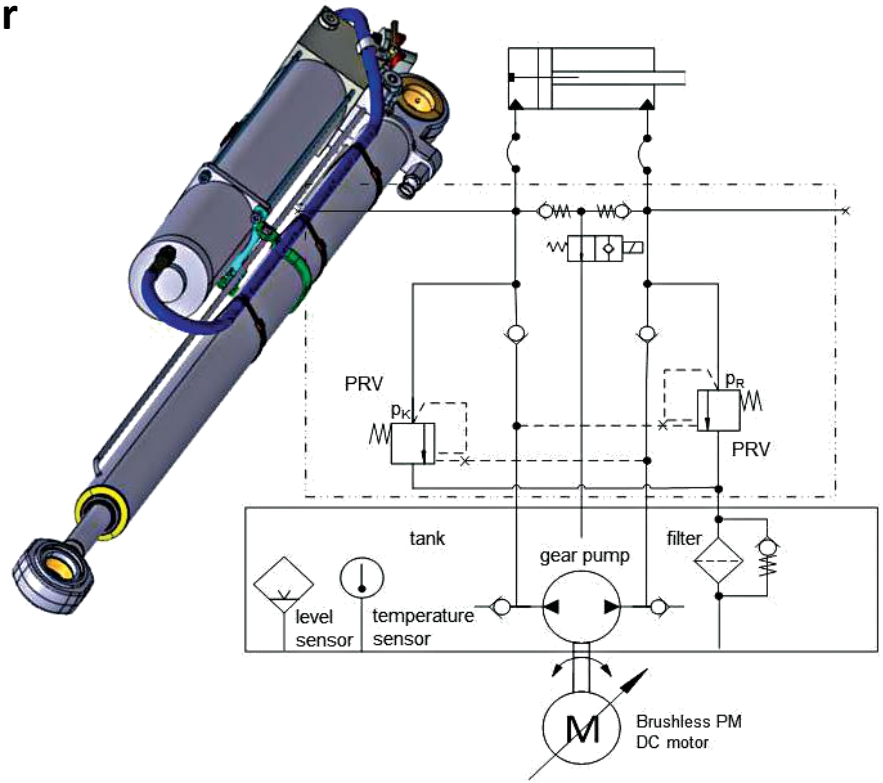
Drehzahlgeregelter E-Motor

Konstantpumpe

dezentrale Druckversorgung

elektro-hydraulische Lenkung
- Leistung 1 kW
- Genauigkeit 0.1mm
- Geschwindigkeit 20 mm/s

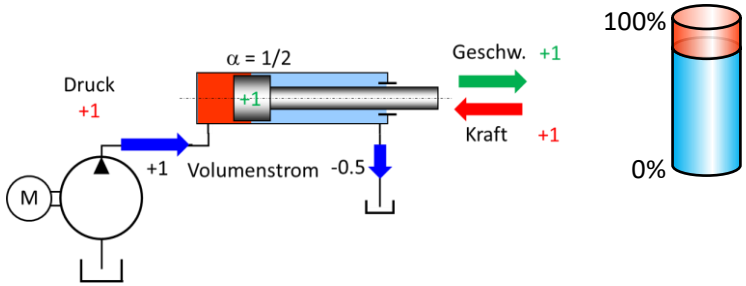
Einsatz in Gabelstaplern
von Jungheinrich



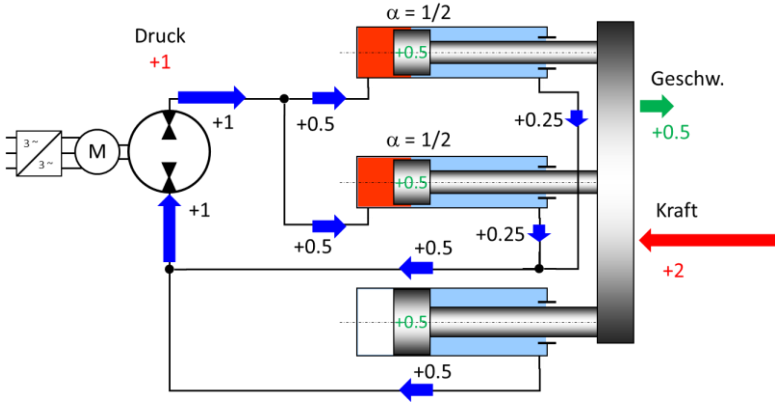
Quelle: Weber Hydraulik

Kompakter Pumpenantrieb

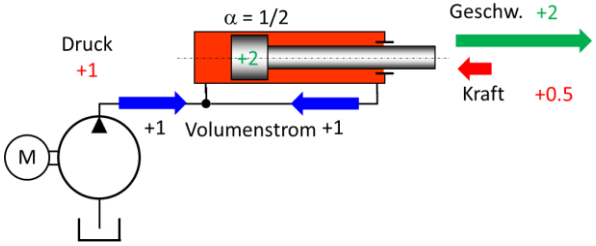
Offener Kreislauf mit Differentialzylinderschaltung



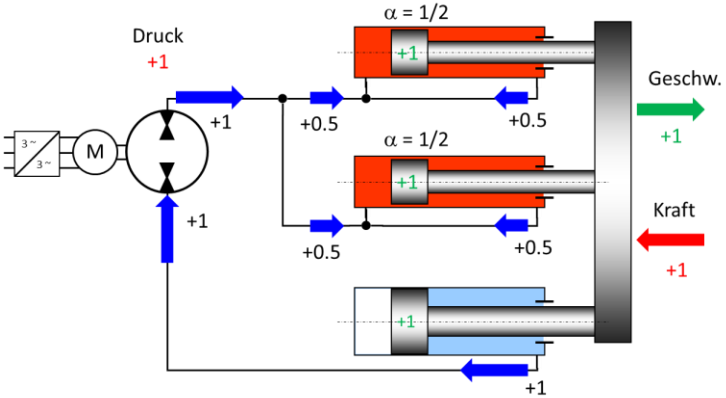
Geschlossener Kreislauf mit Multizylinderantrieb



Differentialzylinderschaltung im Eilgang

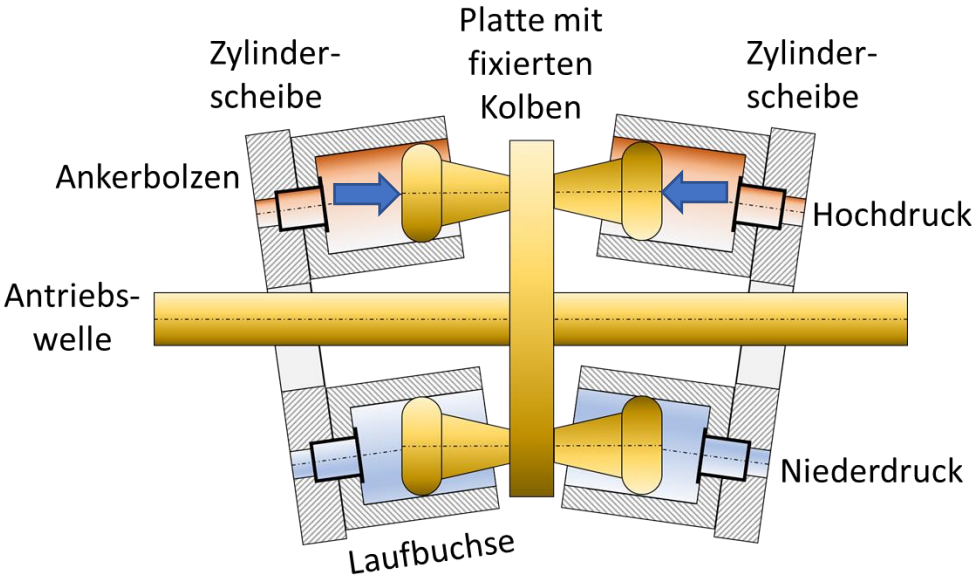


Multizylinderantrieb im Eilgang



“Floating Cup” Prinzip

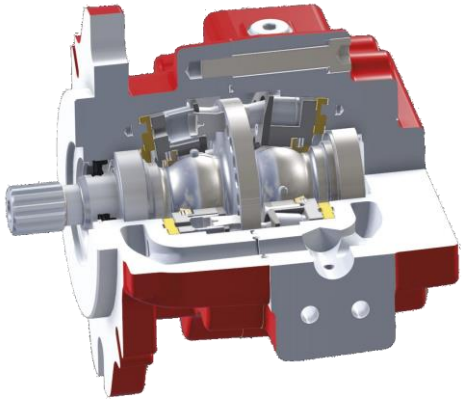
- Symmetrische Konstruktion
- Kraftausgleich
- Geringste Lagerbelastung
- Hohe Kolbenanzahl
- Kurze Hübe
- Keine Gelenke notwendig
- Geringe Reibung
- Durchtrieb für Sekundärantrieb
- Geringste interne Verluste



Optimierte Pumpentechnologie

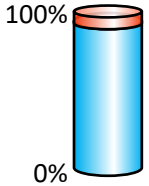
- Optimierter Stellwinkel
- Hydrostatische Lagerung
- Geringste Geräuschentwicklung
- Anfahren unter maximalem Lastmoment
- CFD strömungsoptimierte Geometrien
- Testphase von vier Jahren

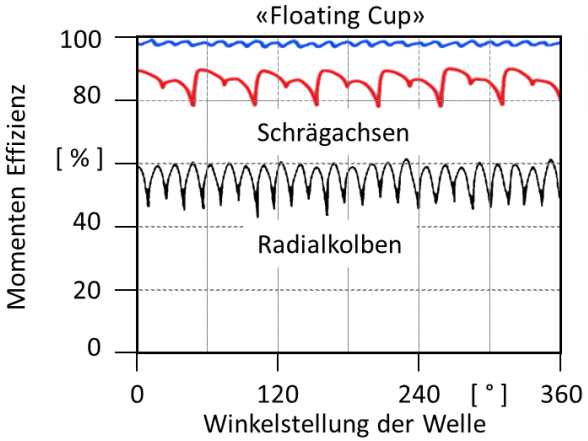
- Maximaler Arbeitsdruck 500 bar
- Mechanischer Wirkungsgrad 99 %
- Gesamtwirkungsgrad bis 93 %
- Minimale Drehzahl kleiner 1 rpm

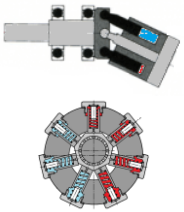


Bucher Hydraulics AX

Gesamtwirkungsgrad

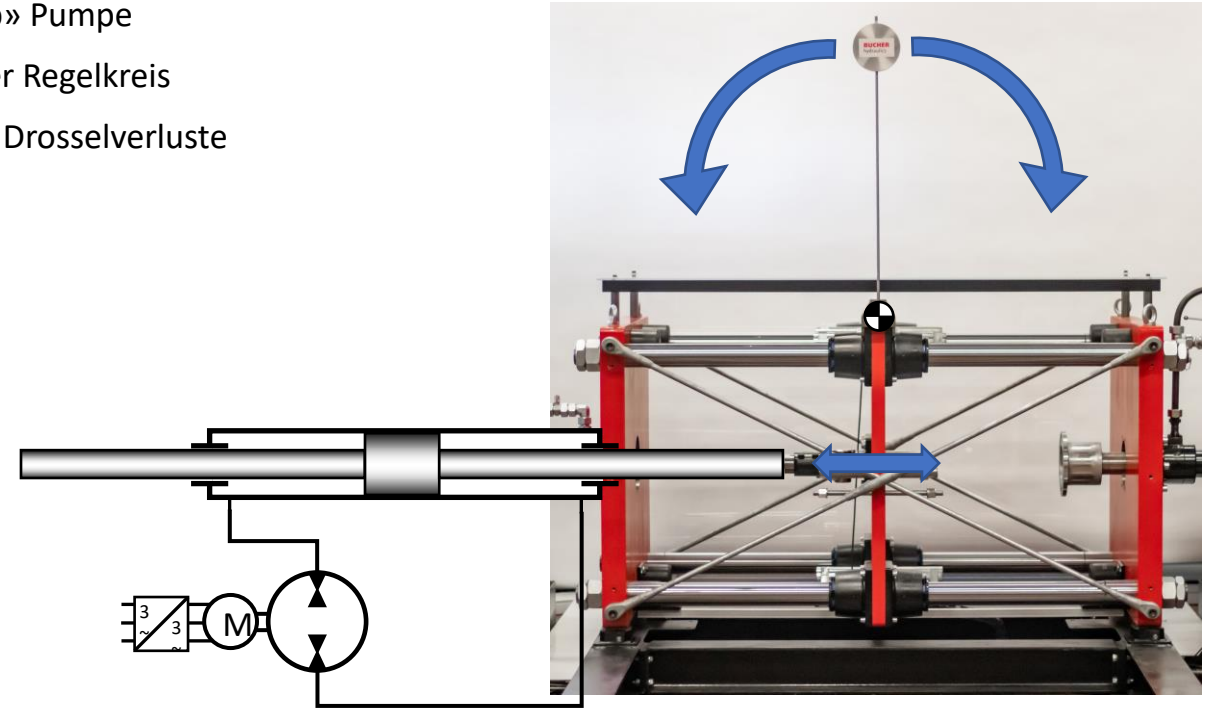




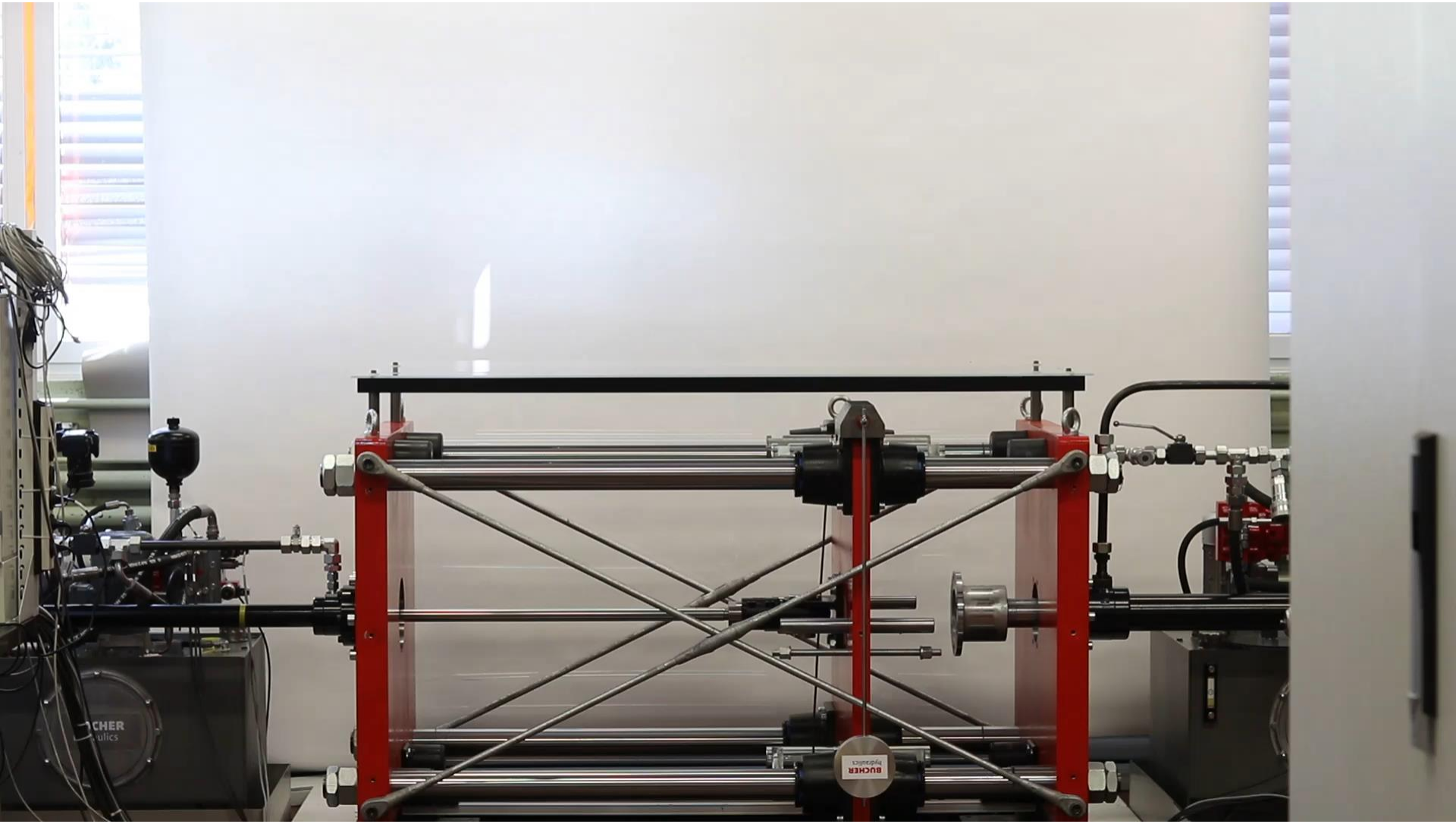


Inverses Pendel mit direktem Pumpenantrieb

- «Floating Cup» Pumpe
- Geschlossener Regelkreis
- Antrieb ohne Drosselverluste



Inverses Pendel mit direktem Pumpenantrieb

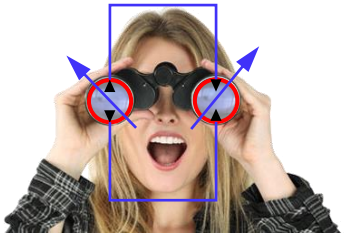


Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

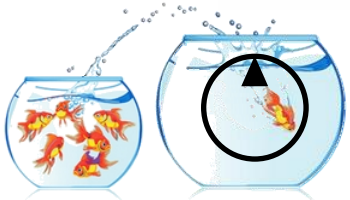
Lucerne University of Applied Sciences and Arts
HOCHSCHULE LUZERN
Technik & Architektur

Moderne Hydraulik ist…

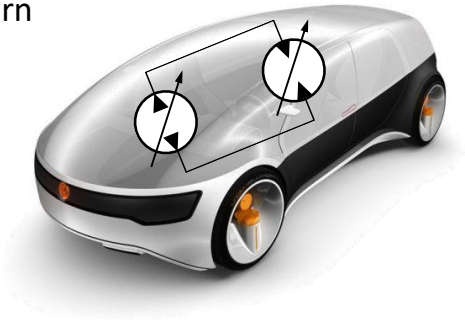
innovativ



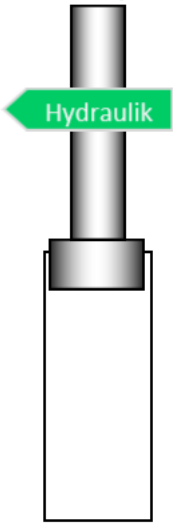
umwelt-freundlich



modern



energie-effizient



Frage- und Diskussionsrunde:

Stellen Sie jetzt Ihre Fragen an Prof. Lodewyks

Topmotors Events 2021

- **Topmotors Workshop Nr. 18 (deutsch)**
  «Instandhaltung als Chance zur Effizienzsteigerung»

  im Rahmen der Fachmesse «maintenance Schweiz 2021»
  10. & 11. Februar 2021
  Zürich

  www.topmotors.ch/de/workshops

- **Topmotors Workshop Nr. 19 (französisch)**
  «Table Ronde: Optimisation du processus de production et des infrastructures dans l'industrie»

  im Rahmen der Fachmesse «energissima 2021»
  11. Bis 14. März 2021
  Espace Gruyère, Bulle

  www.topmotors.ch/fr/workshops

Vielen Dank!

Haben Sie Fragen oder Anregungen zu unseren Webinaren?

- Organisation:

  Márton Varga
  Energie Zukunft Schweiz
  marton.varga@ezs.ch

- Programmleitung:

  Rolf Tieben
  Impact Energy AG
  rolf.tieben@topmotors.ch