

■ Forum „Energieeffizienz/Nachhaltigkeit“

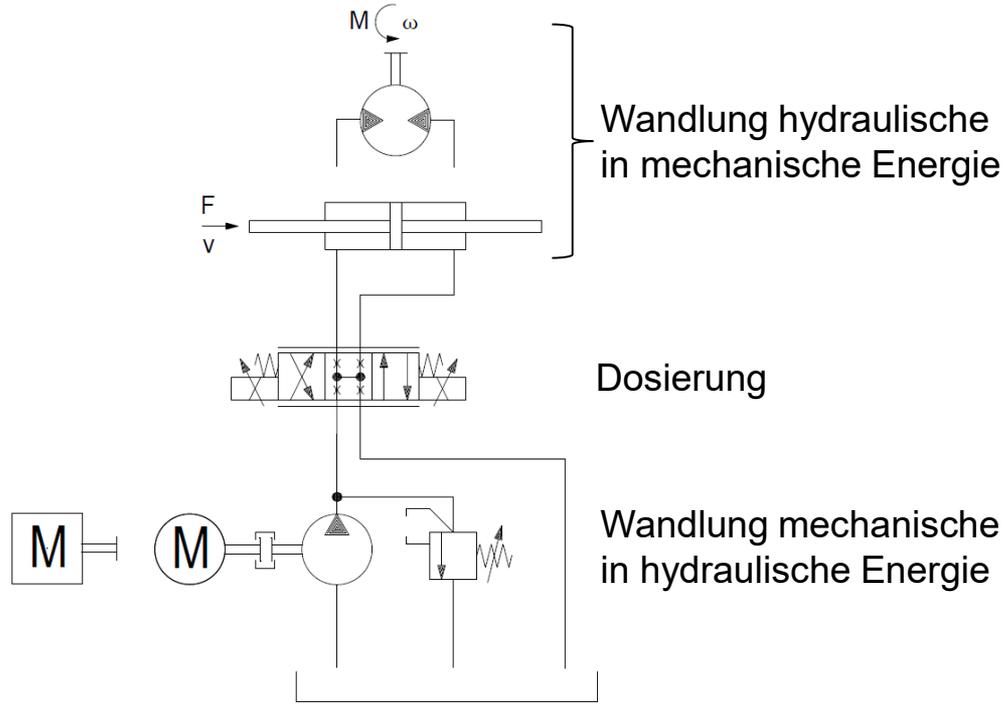
Resourcen schonen beim
Einsatz von Hydraulik

Dr. Edgar Weishaupt
Hydac Technology GmbH
05.04.2019



Darstellung Hydraulikkreislauf

Antriebsaufgabe: Hydromotor oder Zylinder



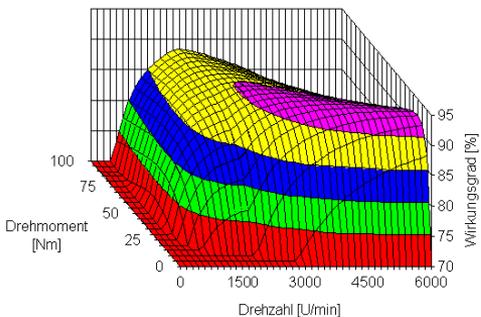
Definition Wirkungsgrad

$$\text{Wirkungsgrad allgemein: } \eta = \frac{\text{Nutzen}}{\text{Aufwand}}$$

Beispiele:

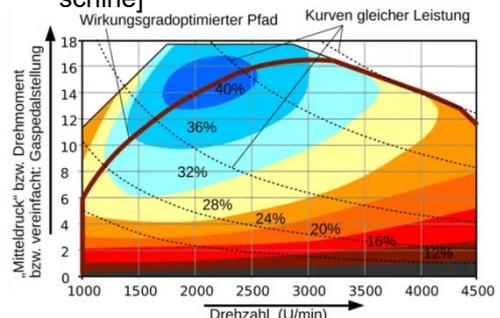
	Aufwand	Nutzen
E-Motor	P_{elektr}	P_{mech} (Drehmoment)
Pumpe	P_{mech} (Drehmoment)	P_{mech} (hydraulisch)

Antriebsmöglichkeiten der Pumpe und ihre typischen Wirkungsgrade



Wirkungsgradfeld einer 4-poligen streuarmlen 3 kW Asynchronmaschine mit einem Frequenzumrichter zwischen 0 und 200 Hz. [Quelle: <http://www.energie.ch/asynchronmaschine>]

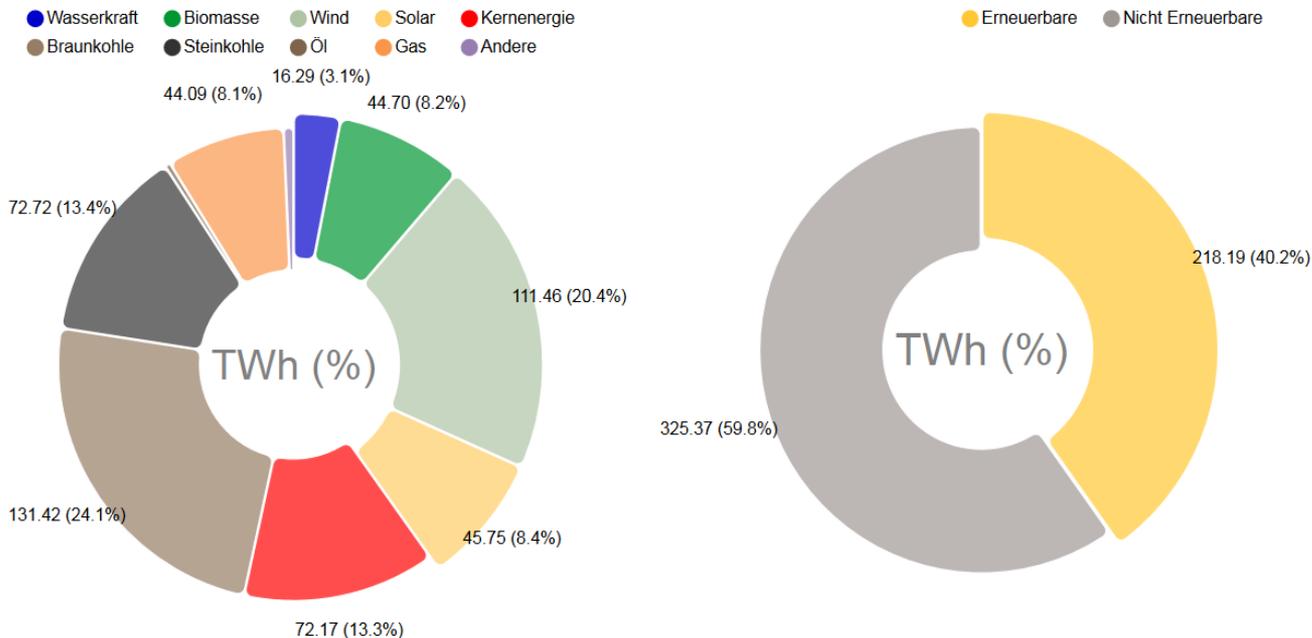
Elektromotor	Wirkungsgradbereich
Asynchronmotor	ca. 80 .. 95 %
Asynchronmotor mit Frequenzumrichter	ca. 70 .. 90 %
Servoantrieb mit Umrichter	ca. 75 .. 97 %



Muschediagramm (Grafik exemplarisch ohne konkreten Motor). [Bild: Ulrich Sommer]

Verbrennungskraftmotor	Wirkungsgradbereich
Ottomotor	ca. 25 .. 32 %
Dieselmotor	ca. 30 .. 40 %
Großer Dieselmotor (z.B. Schiffsantrieb)	bis ca. 50 %

Aufteilung Nettostromerzeugung in Deutschland (2018)



Nettostromerzeugung von Kraftwerken zur öffentlichen Stromversorgung.
 Datenquelle: 50 Hertz, Amprion, Tennet, TransnetBW, Destatis, EEX
 letztes Update: 07 Feb 2019 13:50

Bildquelle: www.energy-charts.de, abgerufen am 22.02.2019

Typ. Wirkungsgrade der versch. Stromerzeugungsprozesse



Steag Kohlekraftwerk Weiher
 [Quelle:
<https://www.zfk.de/unternehmen/nachrichten/artikel/saar-steag-kraftwerke-unter-druck-2013-02-22/>]

Fossile Energie (nicht erneuerbar)*	Wirkungsgradbereich
Kohle	ca. 25 .. 50 %
Öl	ca. 35 .. 40 %
Gas (GuD)	ca. 50 .. 63 %

Kernenergie (nicht erneuerbar)*	Wirkungsgradbereich
Nuklear	ca. 35 %

*: Beschaffung der Energieträger nicht berücksichtigt

Typ. Wirkungsgrade der versch. Stromerzeugungsprozesse



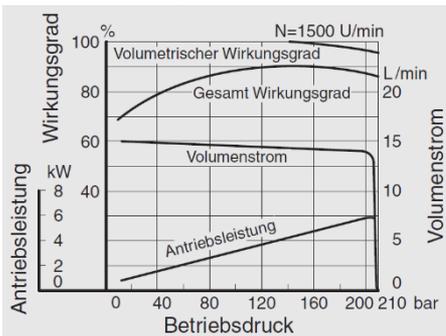
[Quelle: energieinitiative.org/so-funktioniert-ein-windkraftwerk-erneuerbare-energie-aus-wind/]



Solkraftwerk Götterborn [Quelle: Google Maps]

Erneuerbare Energie	Wirkungsgradbereich
Wasser	ca. 80 .. 95 %
Bio	ca. 30 .. 40 %
Wind	ca. 40 .. 50 %
Solar (Photovoltaik)	ca. 10 .. 45 %
Geothermie (Deutschland)	ca. 5 .. 15 %

Typische Wirkungsgrade hydraulischer Komponenten



Abbildungen HYDAC

Pumpen	Wirkungsgradbereich
Außenzahnradpumpe	ca. 80 .. 90 %
Innenzahnradpumpe	ca. 87 .. 93 %
Axialkolbenpumpe	ca. 89 .. 90 %
Radialkolbenpumpe	ca. 90 %
Schraubenpumpe	ca. 90 %
Flügelzellenpumpe	ca. 80 .. 85 %

jeweils Bestwirkungsgrade gesamt im optimalen Betriebspunkt

Quelle: Findeisen, Ölhydraulik, 6. Auflage

Typische Wirkungsgrade hydraulischer Komponenten



Zylinder	Wirkungsgradbereich
Arbeitszylinder (einfach-/doppeltwirkend)	ca. 84 .. 96 %
Teleskopzylinder	ca. 74 .. 86 %
Servozyylinder	ca. 95 .. 99 %

Hydromotoren	Wirkungsgradbereich
Außenzahnradmotor	ca. 80 %
Axialkolbenmotor	ca. 88 .. 95 %
Radialkolbenmotor	ca. 97 .. 98 %
Flügelzellenmotor	ca. 83 .. 86 %

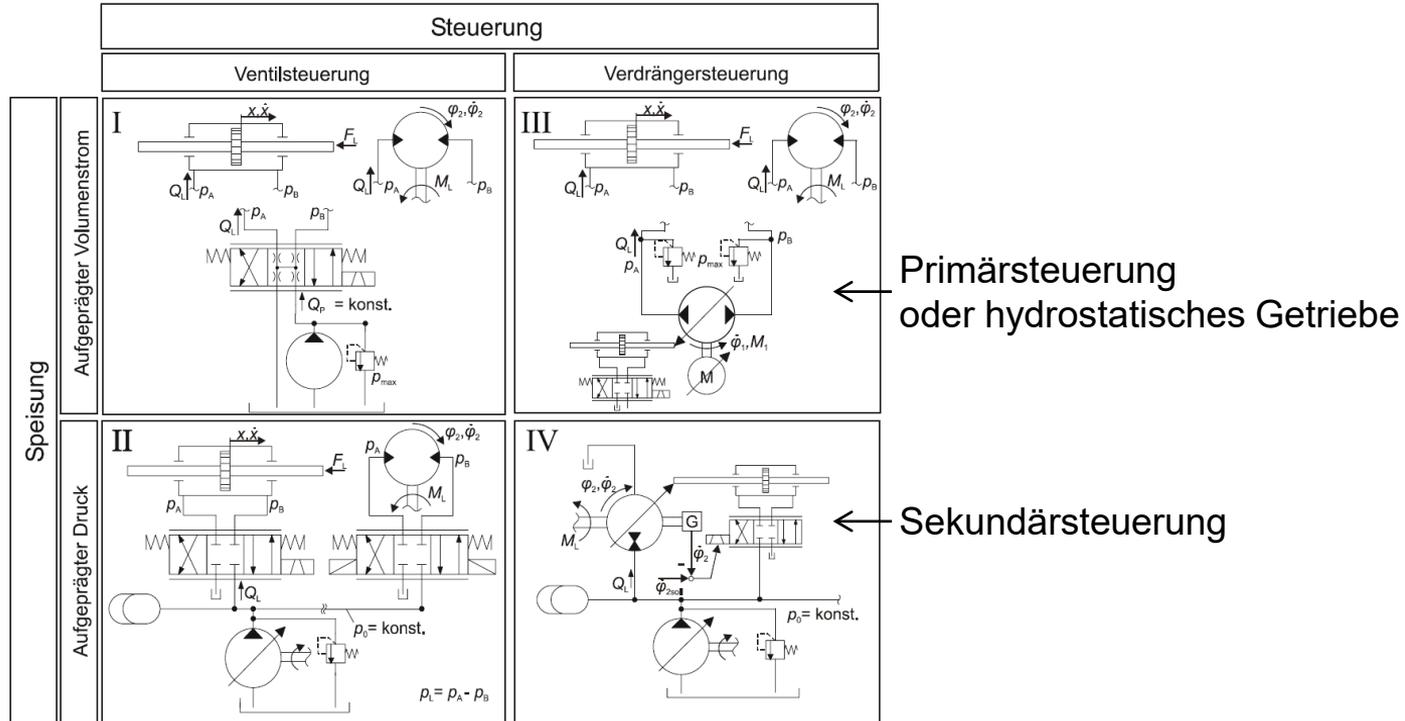
jeweils Bestwirkungsgrade gesamt im optimalen Betriebspunkt

Quelle: Findeisen, Ölhydraulik, 6. Auflage



Abbildungen HYDAC

Hydraulikkreisläufe - Übersicht

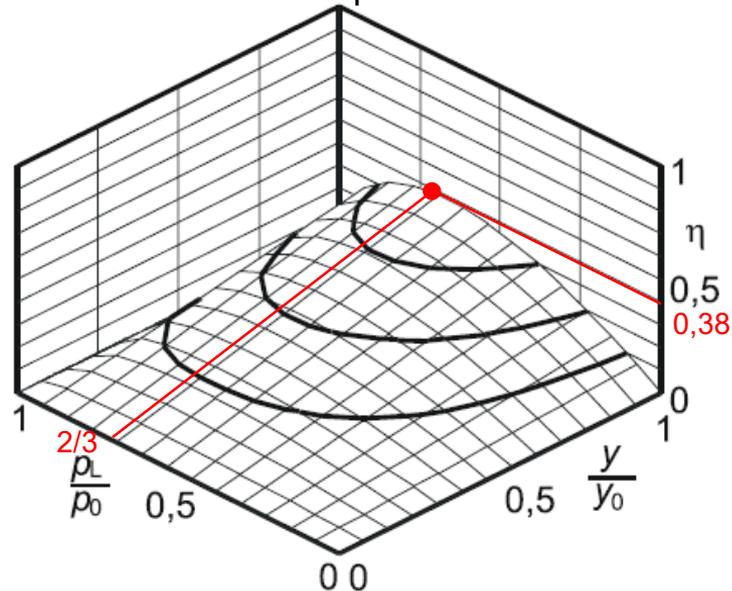
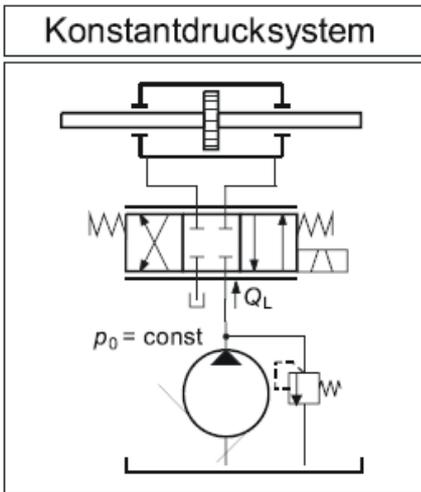


Bildquelle: Murrenhoff, Umdruck Servohydraulik, IFAS

Hydraulikkreisläufe - II

Aufgeprägter Druck – Ventilsteuerung:

Konstantpumpe und DBV (ohne Speicher): $\eta_{opt} = 38 \%$

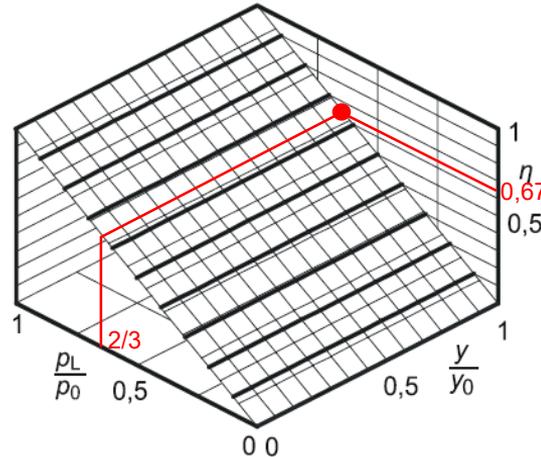
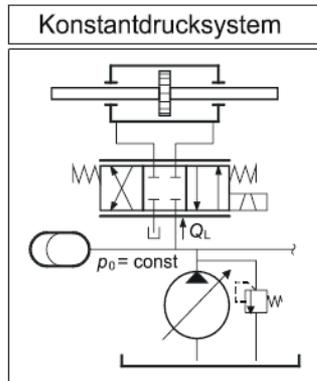


Bildquelle: Murrenhoff, Umdruck Servohydraulik, IFAS

Hydraulikkreisläufe - II

Aufgeprägter Druck – Ventilsteuerung:

Druckgeregelte Verstellpumpe oder großer Speicher: $\eta_{opt} = 67\%$



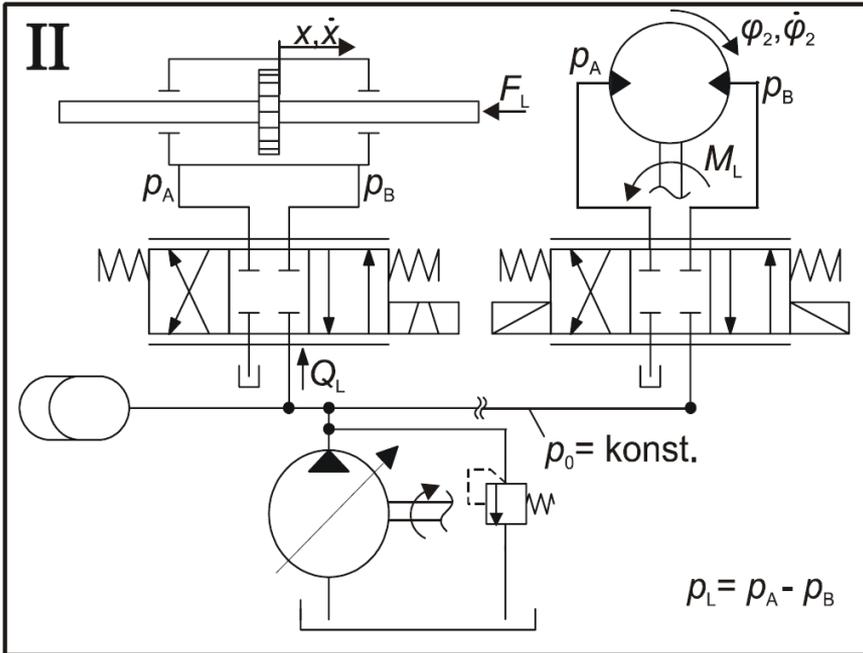
bei gleichem (optimalen) Lastdruck wie bei Konstantpumpe (= max. abgegebene Leistung)

Bildquelle: Murrenhoff, Umdruck Servohydraulik, IFAS

Hydraulikkreisläufe - II

Zusammenfassung

Aufgeprägter Druck – Ventilsteuerung:



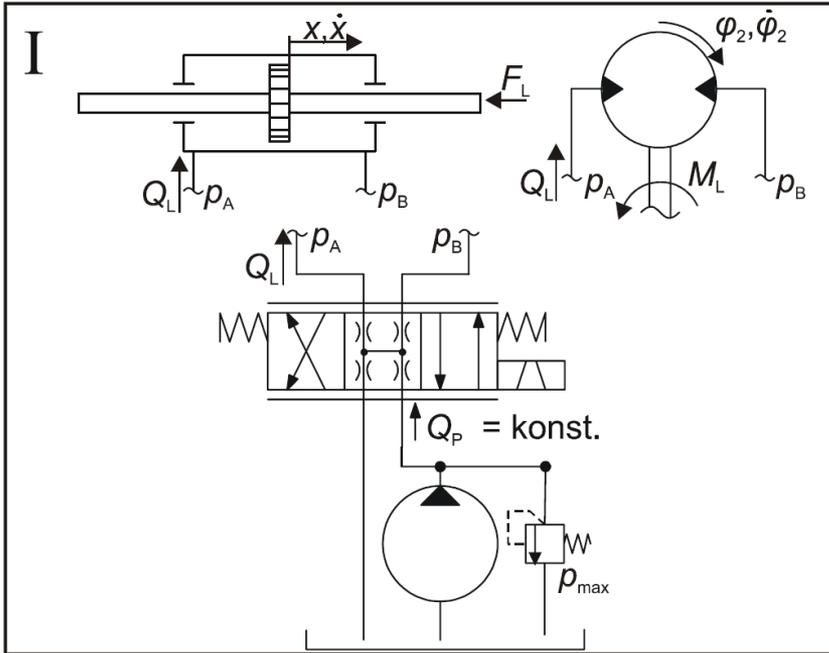
Zusammenfassung: optimale Wirkungsgrade

Konstantpumpe + DBV (ohne Speicher)	38 %
Konstantpumpe + DBV bei reduzierter Versorgungseckleistung (optimiert)	60,6 %
Druckgeregelte Verstellpumpe / großer Speicher	67 %

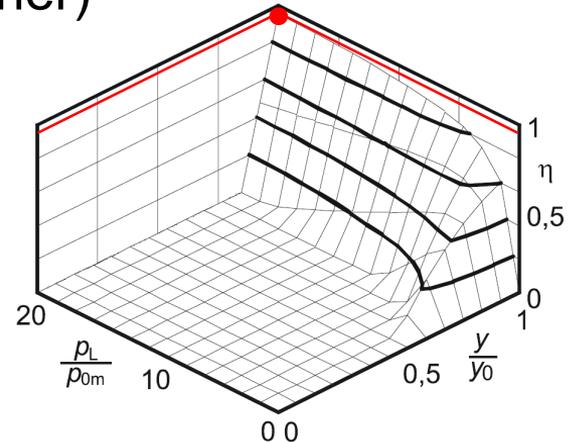
Bildquelle: Murrenhoff, Umdruck Servohydraulik, IFAS

Hydraulikkreisläufe - I

Aufgeprägter Volumenstrom – Ventilsteuerung:



Konstantpumpe und DBV (ohne Speicher)

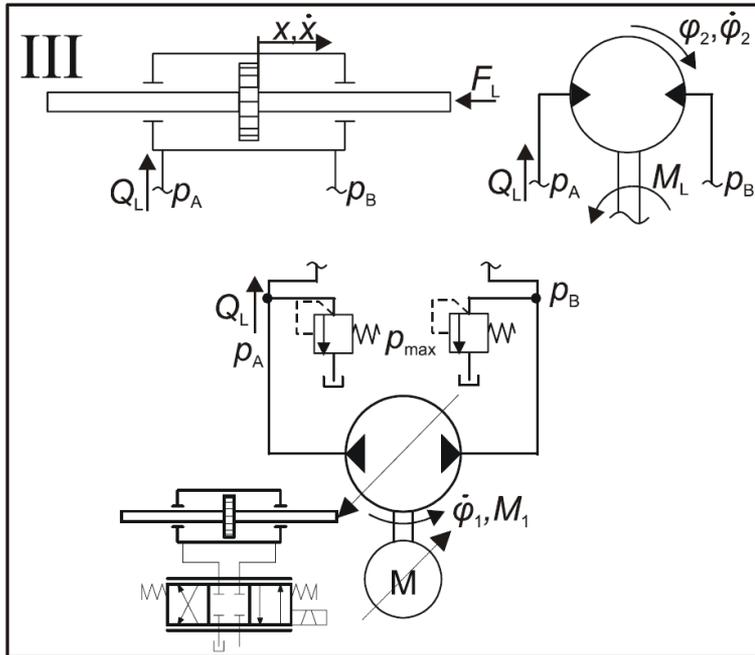


$\eta_{\text{opt}} \rightarrow 100\%$ für $y=y_0$ und für $p_L \rightarrow \infty$, d.h. p_{0m} sollte so klein wie möglich gehalten werden

Bildquelle: Murrenhoff, Umdruck Servohydraulik, IFAS

Hydraulikkreisläufe - III

Aufgeprägter Volumenstrom – Verdrängersteuerung:



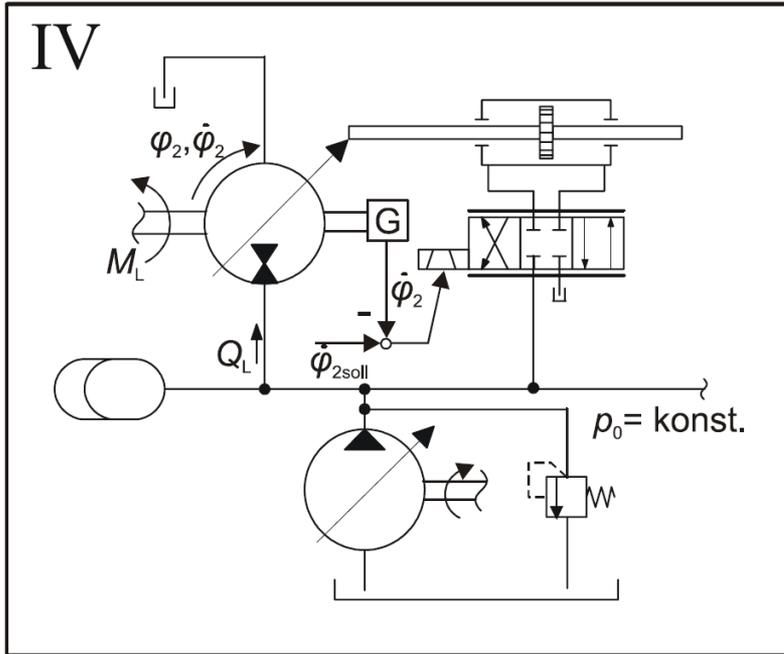
Primärsteuerung oder hydrostatisches Getriebe, ein Verbraucher pro Pumpe, geschlossener / offener Kreis möglich

Leistungssteuerung durch Anpassung Verdrängungsvolumen / Pumpendrehzahl an benötigten Lastvolumenstrom (auf Primärseite, Energiezufuhr, verstellbare Primäreinheit)

Bildquelle: Murrenhoff, Umdruck Servohydraulik, IFAS

Hydraulikkreisläufe - IV

Aufgeprägter Druck – Verdrängersteuerung:



Sekundärsteuerung, eine Druckversorgung für mehrere Antriebe möglich

Steuerung durch einen im Schluckvolumen veränderlichen Verbraucher am Konstantdrucknetz (ohne weiteres nur mit Rotationsmotoren möglich, auf Sekundärseite, Energieabfuhr)

Bildquelle: Murrenhoff, Umdruck Servohydraulik, IFAS

Optimale Wirkungsgrade durch Verdrängersteuerung

- **Keine prinzipbedingten Drosselverluste wie bei Ventilsteuerungen**
- **Unter Vernachlässigung hydr.-mech. & volumetr. Verluste muss nur tatsächlich benötigte Leistung aufgebracht werden**
- **Bei Primärsteuerung kann E-Motor und/oder Pumpe verstellbar ausgeführt werden (besser Wirkungs-grad über größeren Volumenstrombereich, jedoch eine Verstellmöglichkeit ausreichend)**

DVA-Achsen



- **Mögliche Anwendung im Quadranten III: Variation des Volumenstroms einer Konstantpumpe durch drehzahlgeregelten Antrieb des E-Motors**
- **Meist Drehstrommotor mit FU**
- **Kriterien für DVA:**
 - Dauerbetrieb unter Last bei kleinen Drehzahlen
 - Druckhaltebetrieb im Stillstand (Drehzahl Null)
 - Guter hydraulisch-mechanischer Wirkungsgrad bei kleinen Drehzahlen
 - Möglichkeit motorischer Betrieb für geschlossene Kreisläufe

Abbildung HYDAC KineSys

Bedarfsgerechte Leistungsentnahme durch Sekundärregelung

- Anwendungen in Quadrant IV
- Schluckvolumen Motor wird gewünschter Ausgangsgröße (Drehmoment, -winkel, -zahl) und anstehendem Lastfall angepasst
- Es wird immer nur genau die Energie dem Netz entnommen, die tatsächlich an Abtriebswelle abgenommen wird
- **Beispiel: Klappen im Hochauftriebssystem eines A380**

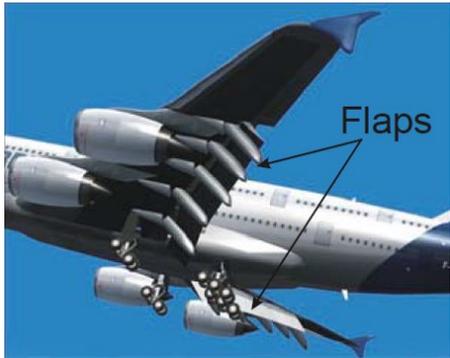


Abbildung Murrenhoff, Umdruck Servohydraulik, IFAS: Sekundärregelung für Hochauftriebssystem (A380 / Liebherr-Aerospace)

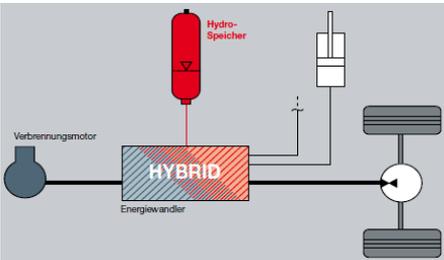
Hydraulikkreisläufe - Wirkungsgradbereiche

		Steuerung	
		Ventilsteuerung	Verdrängersteuerung
Speisung	Aufgeprägter Volumenstrom	I im Realfall über 85 % möglich	III reale Wirkungs- grad > 85 %
	Aufgeprägter Druck	II max. Wirkungs- grad 67 %	IV reale Wirkungs- grad > 85 %

Möglichkeiten Energierückgewinnung

- **Zusätzlicher Vorteil von Verdrängersteuerungen: Möglichkeit zur Aufnahme von Energie (Zurückgewinnung der am Verbraucher auftretenden Bremsenergie) durch Verschwenkung des verstellbaren Verdrängers über Null**
- Quadrant III: z.B. Zurückspeisung durch generatorischen Betrieb des E-Motors der Pumpe ins elektrische Netz
- Quadrant IV: z.B. durch Speicherung der Bremsenergie im Pumpenbetrieb in hydraulischen Druckspeichern

Anwendungsbeispiele zur Energierückgewinnung



Abbildungen HYDAC

- Energiepufferung im Hydraulikspeicher bei langhubigen Pressen
- Drehwerksantrieb Bagger mit Sekundärregelung und H-Speicher
- Busse im Stadtverkehr mit H-Speicher zur Bremsenergiepufferung
- Absenken der Hubvorrichtung eines Staplers durch Eigengewicht und Verwendung eines Rückspeisemoduls
- Rückspeisung über Hydromotor und Generator an einem Pumpenprüfstand
- Mechanisches Schwungrad am E-Motor zur Abdeckung von Leistungsspitzen

Ausblick: Wohin werden sich hydraulische Antriebe entwickeln?



Abbildung HYDAC

- Dezentrale ventilgesteuerte autarke Achsen (im Wettbewerb zu elektromechanischen):
 - Jeweils eigene Pumpe und eigenen Zylinder, sowie ggf. Sensoren und Steuerblock mit Ventiltechnik im autarken geschlossenen System
- Einbaufertige Module (Baugruppen) mit gewünschter Funktion
- Minimierung der Komplexität der Hydraulik (→ geringerer Planungsaufwand, einfache Montage und Inbetriebnahme)
- Weitere Vorteile: weniger Energieverbrauch (auch Rückgewinnung möglich), geringere Lärmemission, weniger Platzbedarf und höhere Produktivität

Integration dieser Achsen in Industrie 4.0-Konzepte



- Einsatz von vernetzten Sensoren zur Erfassung verschiedener Betriebszustände wie z.B. Ölqualität, Temperaturen, Vibrationen, Filterverschmutzung, (Vorfüll-)Drücke (von Speichern), Anzahl Ventilschaltzyklen und Ermittlung von Daten
- Ableitung von Analogien aus diesen Daten heraus
- Mögliche Vernetzung von Aktuatoren mit Peripherie über diverse Feldbusschnittstellen
- Weitere Optimierungspotenziale der Energieeffizienz erkennen
- Erhöhung der Baugruppenverfügbarkeit (Condition Monitoring und Predictive Maintenance)
- Intelligentes Bestellwesen für Ersatzteile

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!