



Technische
Universität
Braunschweig

Institut für mobile
Maschinen und Nutzfahrzeuge



Kopplung von Planetengetrieben zum drehzahlvariablen Antrieb von hydrostatischen Pumpen

Hybride und energieeffiziente Antriebe für mobile Arbeitsmaschinen,
L. Roos, Karlsruhe, 15.02.2017

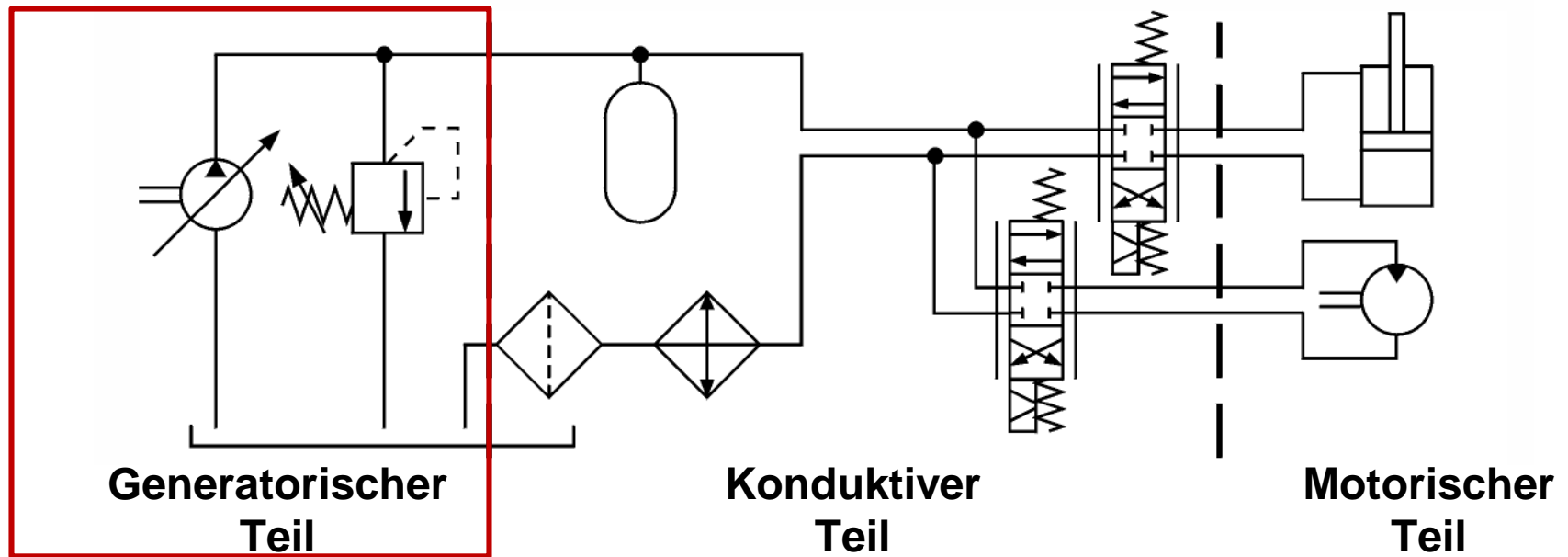


Agenda

- 1. Bedarfsorientierte Versorgung**
- 2. Drehzahlvariable Pumpenantriebe**
- 3. Einfache Konzepte mit Standard-Planetengerieben**
- 4. Konzepte mit gekoppelten Standard- Planetengerieben**
- 5. Fazit und Ausblick**

1. Bedarfsorientierte Versorgung

Mechanisch-hydraulische Energiewandlung im generatorischen Systemteil



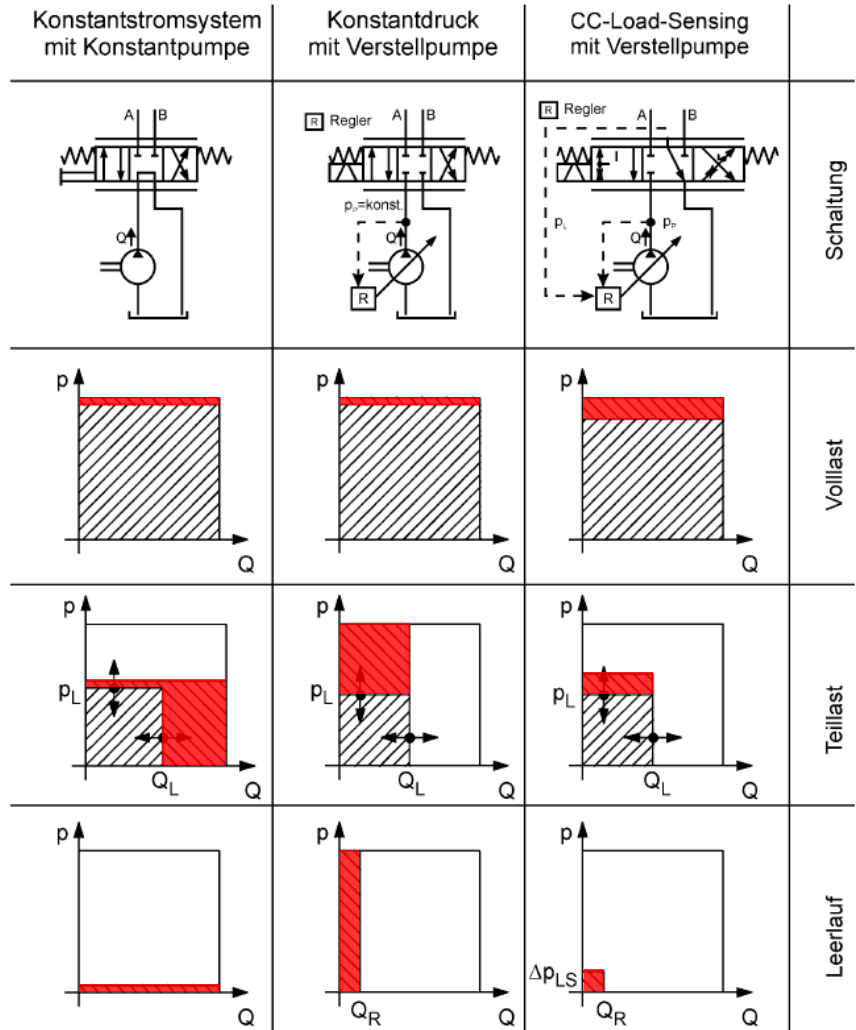
1. Bedarfsorientierte Versorgung

Versorgungseinheiten im generatorischen Systemteil:

- Einsatz von Konstantpumpen führt bei wechselnden Betriebspunkten im Mobilbereich zu Volumenstrom- und/oder Drucküberschuss und somit zu Energieverlusten
- Lösungsansätze:
Verstellpumpen, drehzahlvariable Pumpen, Digitalhydraulik, intermittierender Pumpenbetrieb



Verlustleistung



Quelle: nach [Fre16]

1. Bedarfsorientierte Versorgung

Beispiel Verstellpumpe - Regelungsmodi:

- Verstellpumpe in Schwenkwinkelregelung

$$Q_P = n_P \cdot V_P \cdot \eta_{P,vol} = n_P \cdot k_{konstr} \cdot \underset{\text{(Schrägscheibe)}}{\tan \varphi} \cdot \eta_{P,vol}$$

- Verstellpumpe in Druckregelung

$$p_P = \int \frac{1}{C_H} \cdot \Delta Q \cdot dt + p_{stat} = \int \frac{1}{C_H} \cdot [Q_P - Q_{Sys}] \cdot dt + p_{stat}$$



Exakte Förderstromregelung ist für bedarfsgerechte hydraulische Leistungsbereitstellung essentiell!

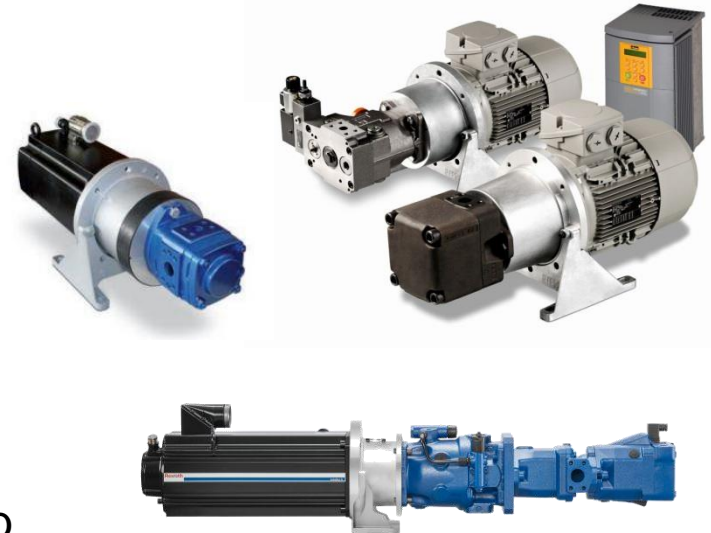
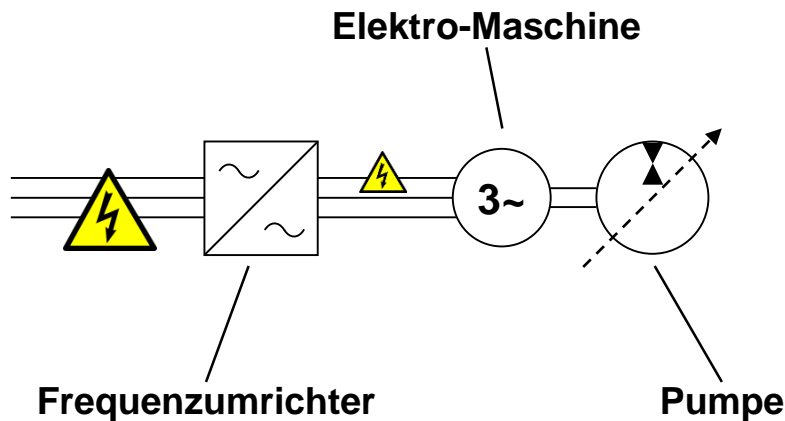
Agenda

1. Bedarfsorientierte Versorgung
2. Drehzahlvariable Pumpenantriebe
3. Einfache Konzepte mit Standard-Planetengerieben
4. Konzepte mit gekoppelten Standard- Planetengerieben
5. Fazit und Ausblick

2. Drehzahlvariable Pumpenantriebe

Effizienzsteigerung durch Bedarfsorientierte Versorgung:

- ✓ Zyklusabhängige Dynamik-/Effizienzvorteile gegenüber Verstellpumpen möglich
- ✓ Bei stufenloser Volumenstrombereitstellung Einsatz günstiger oder effizienter Konstantpumpen möglich
- ✓ Geringes Geräuschniveau durch Drehzahlabsenkung

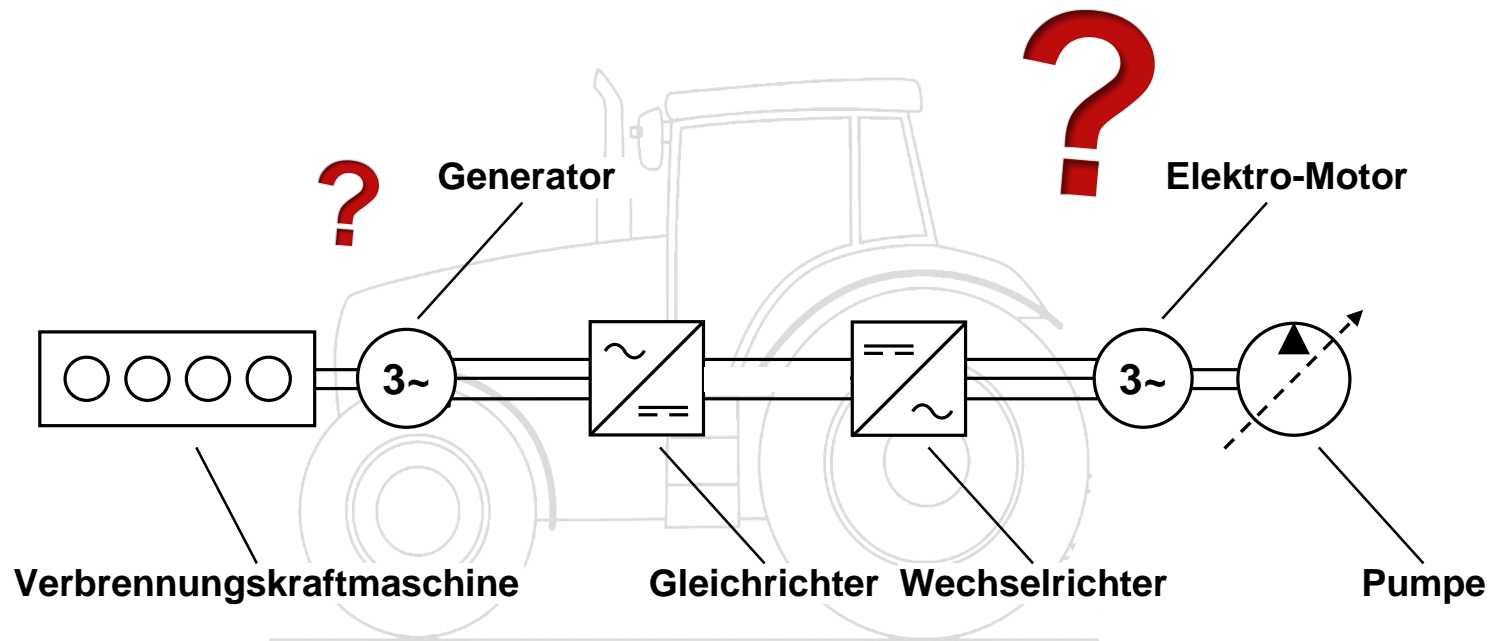


- ✗ Hohe Komponentenkosten pro Pumpenantrieb
- ✗ Geringe Dynamik bei Einsatz von Konstantpumpen und großer Rotorträgheit

2. Drehzahlvariable Pumpenantriebe

Applikation:

- Serieneinsatz in der Stationärhydraulik
- Bislang kein Einsatz in Mobilanwendungen zum Antrieb der Hauptarbeitspumpen (zwei zusätzliche Leistungswandlungen)



Agenda

1. Bedarfsorientierte Versorgung
2. Drehzahlvariable Pumpenantriebe
3. Einfache Konzepte mit Standard-Planetengerieben
4. Konzepte mit gekoppelten Standard-Planetengerieben
5. Fazit und Ausblick

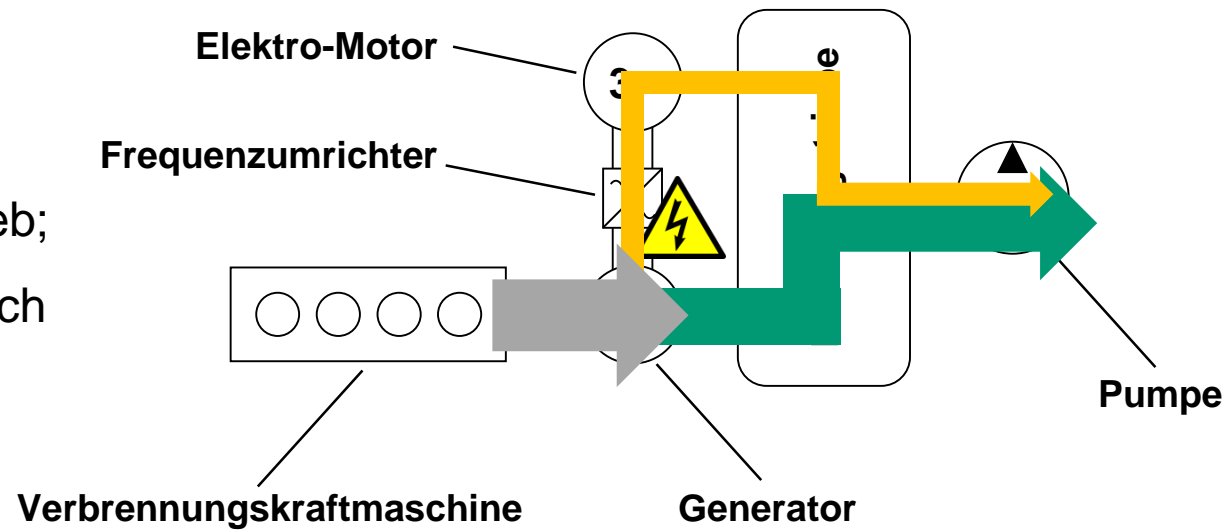
3. Einfache Konzepte mit Standard-Planetengetrieben

Prämissen, Rahmenbedingungen zur Konzeptstudie:

- VKM als einziger Primärenergiewandler auf mobilen Arbeitsmaschinen
- Einsatz einer Konstantpumpe anstelle einer Verstellpumpe
- Stufenlose Volumenstrombereitstellung aus Null heraus wünschenswert
- Drehzahlüberlagerung von VKM und EM durch Planetengetriebe
- Keine weiteren Maschinenelemente (Kupplungen, Bremsen, etc.)

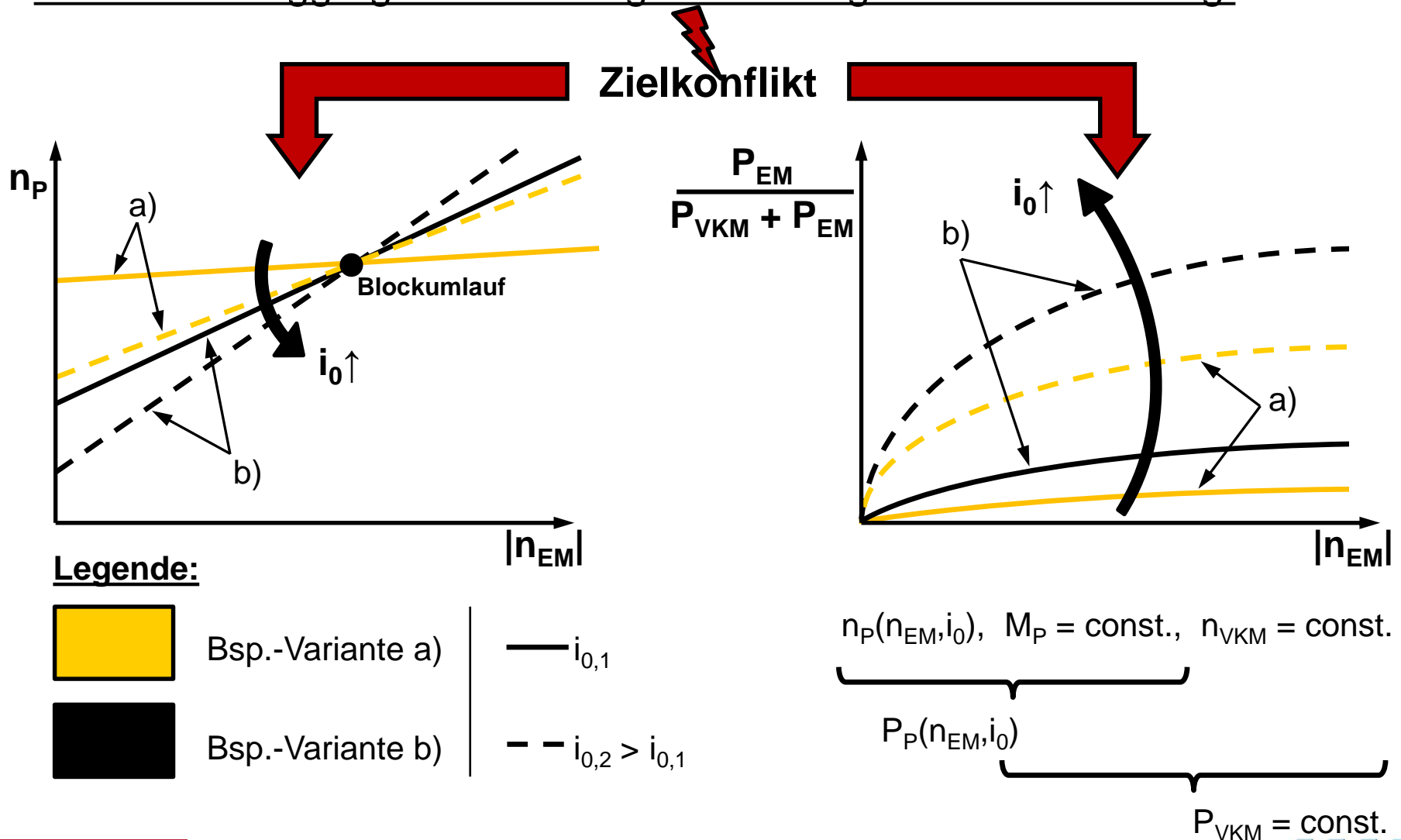
Basis-Konzept:

Elektrisch-mechanischer
leistungsverzweigter Antrieb;
Drehzahlüberlagerung durch
einfaches dreiwelliges
Planetengetriebe



3. Einfache Konzepte mit Standard-Planetengetrieben

Einfluss der Aggregateanordnung und Standgetriebeübersetzung:



3. Einfache Konzepte mit Standard-Planetengetrieben

Eigenschaften der Beispielvariante

- Drehzahlvariabler Antrieb der Pumpe bei üblichen Drehzahlen möglich
- Ein kleines i_0 senkt den elektrischen Leistungsanteil
- Ein großes i_0 senkt die Standby-Drehzahl
- Exemplarische Zielfunktion



(Abweichung von der Volumenstromtrajektorie einer Verstellpumpe):

$$\psi_K = \int_0^{Q_{\text{soll,max}}} |Q_{\text{soll}} - Q_{\text{ist}}(\mathbf{n}_{\text{VKM}}, \mathbf{n}_{\text{EM}}, V_{\text{P1}}, \mathbf{k}_{\text{konstr}})| dQ_{\text{soll}}$$

$$\psi_{K,\text{Bsp.}} = 572,3 \frac{l}{\text{min}}, \quad \left[\frac{P_{EM}}{P_{EM} + P_{VKM}} \right]_{\text{max}} = 0,63$$

- Geringer elektrischer Leistungsanteil bei hoher VKM-Drehzahl



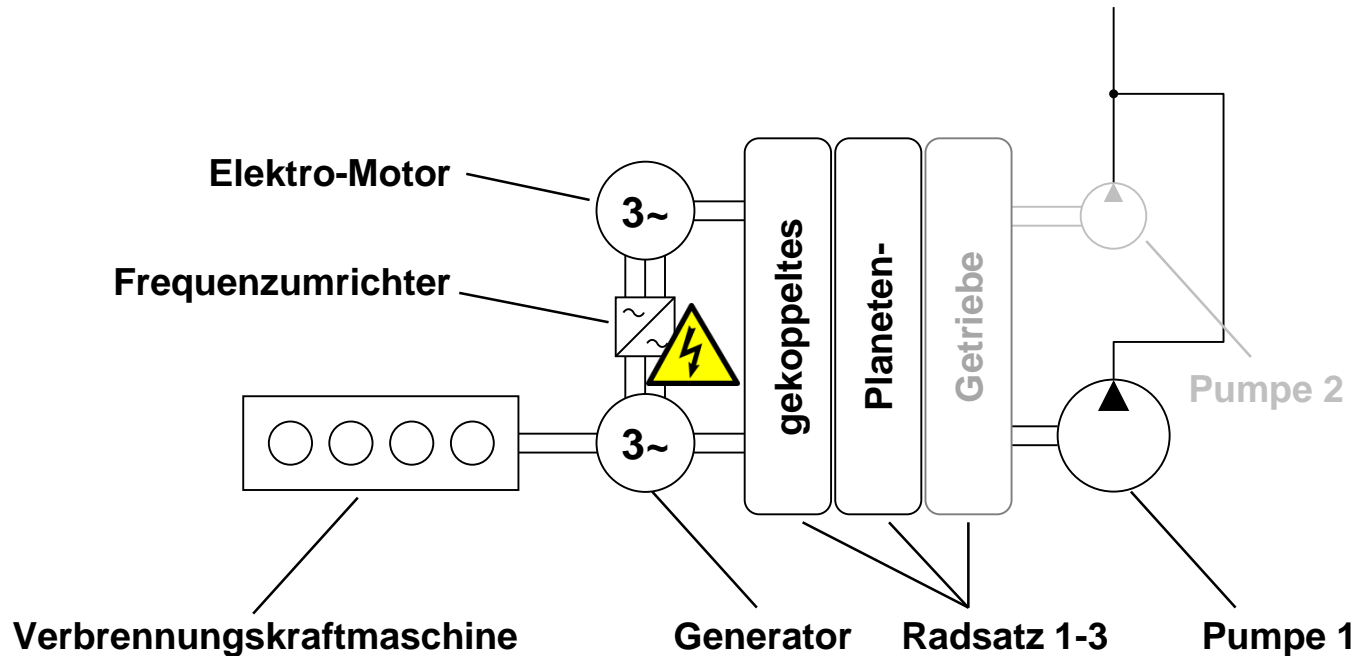
Agenda

1. Bedarfsorientierte Versorgung
2. Drehzahlvariable Pumpenantriebe
3. Einfache Konzepte mit Standard-Planetengerieben
4. Konzepte mit gekoppelten Standard-Planetengerieben
5. Fazit und Ausblick

4. Konzepte mit gekoppelten Standard-Planetengetrieben

Basis-Konzept:

- Zielkonflikt zwischen Standby-Drehzahl und Leistungsanteil entschärfen
- Großer(!) Lösungsraum durch Koppelung mehrerer Radsätze
- Weitere Pumpe in Parallelschaltung integrierbar



4. Konzepte mit gekoppelten Standard-Planetengetrieben

Auslegung mittels Meta-Heuristik:



- Erweiterung der Zielfunktion um V_{P2}

$$\psi_K = \int_0^{Q_{soll,max}} |Q_{soll} - Q_{ist}(n_{VKM}, n_{EM}, V_{P1}, \boxed{V_{P2}}, k_{konstr})| dQ_{soll}$$

- Der Lösungsraum Ω umfasst alle Vektoren \vec{x} , die eine spezifische Parameterkonstellation aus acht Parametern umfasst:
 1. Anzahl der Planetenradsätze
 2. Bauform (Minus- oder Plusgetriebe)
 3. Kopplung der Radsätze makroskopisch
 4. Anzahl der Kopplungen unter den Radsätzen
 5. Kopplung der Radsätze mikroskopisch
 6. Zuordnung der Zentralwellen zu den Aggregaten
 7. Wahl der Zähnezahlen
 8. Wahl der Fördervolumina

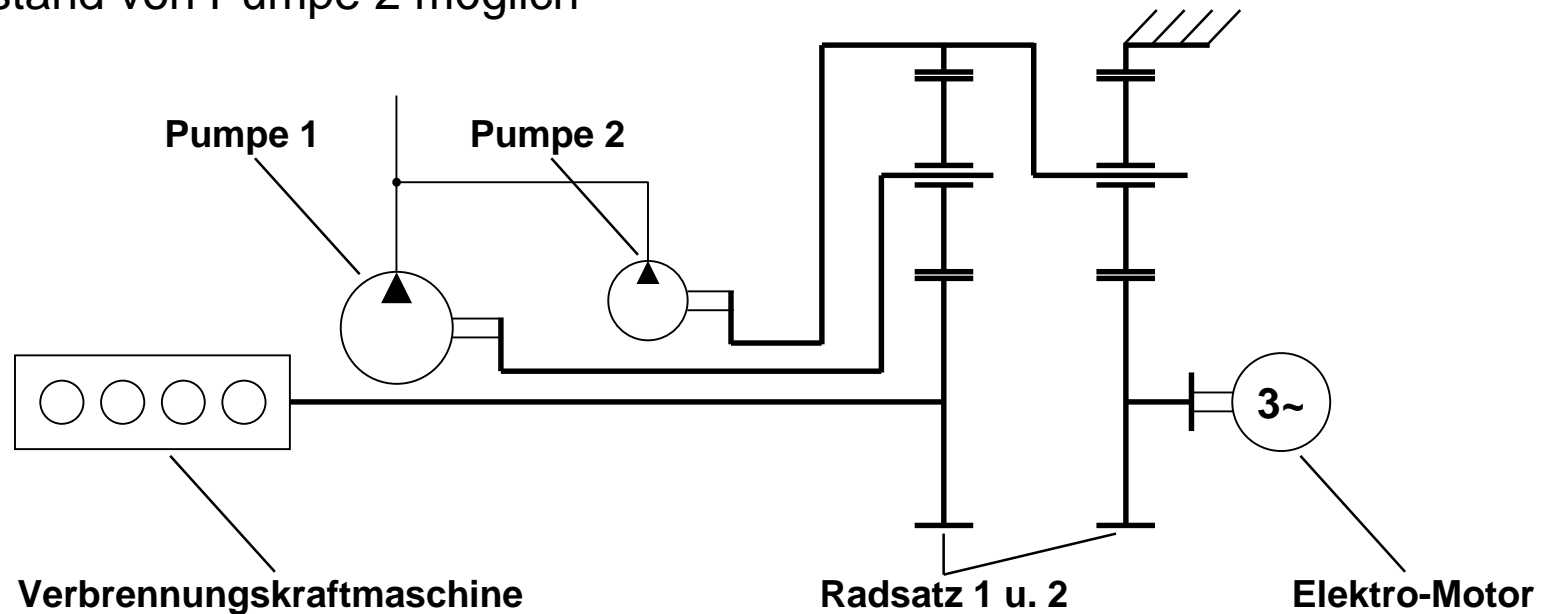
$$\min\{ \psi(\vec{x}) \mid \vec{x} \in \Omega \}$$



4. Konzepte mit gekoppelten Standard-Planetengetrieben

Beispielvariante:

- Einsatz von zwei Pumpen mit unterschiedlichen Fördervolumina
- Einsatz von zwei Radsätzen, Radsatz 2 arbeitet nur im 2-Wellenbetrieb
- Stillstand von Pumpe 2 möglich



7. $z_{So,1} = 56$; $z_{Ho,1} = -146$; $z_{So,2} = 84$; $z_{Ho,2} = -208$

8. $V_{P1} = 44 \text{ cm}^3$; $V_{P2} = 19 \text{ cm}^3$

4. Konzepte mit gekoppelten Standard-Planetengetrieben

Eigenschaften der Beispielvariante

- Standby-Drehzahl und somit Standby-Volumenstrom weiterhin vorhanden
- Zielfunktionswert von Leistungsverhältnis von

$$\psi_{K,Bsp.} = 420 \frac{l}{min} \quad \left[\frac{P_{EM}}{P_{EM} + P_{VKM}} \right]_{max} = 0,41$$


- Volumenstrom von Pumpe 2 ist aus Null heraus stufenlos wählbar
- Zielfunktionswert ψ_K kann durch eine Vergrößerung von V_{P2}/V_{P1} zu Lasten des Leistungsverhältnisses gesteigert werden



Agenda

1. Bedarfsorientierte Versorgung
2. Drehzahlvariable Pumpenantriebe
3. Einfache Konzepte mit Standard-Planetengeräten
4. Konzepte mit gekoppelten Standard-Planetengeräten
5. Fazit und Ausblick

5. Fazit und Ausblick

- ✔ Drehzahlvariable Pumpen stellen in der Stationärhydraulik effiziente Versorgungseinheiten dar
 - ✔ Elektrisch-mechanische leistungsverzweigte Konzepte ermöglichen drehzahlvariable Pumpenantriebe mit reduziertem elektrischem Leistungsfluss
 - ✘ Es zeigt sich ein Zielkonflikt zwischen stufenloser Volumenstromtrajektorie mit geringem Standby-Volumenstrom und geringem elektrischem Leistungsanteil
 - ✘ Konzepte mit gekoppelten Planetengetrieben können den Zielkonflikt entschärfen, jedoch nicht lösen 
-
- Variation der Algorithmusparameter
 - Berücksichtigung von weiteren passiven Maschinenelementen (Freiläufe, Fliehkraftkupplungen)

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Versuchsstand Traktorhydraulik

Technische Universität Braunschweig
Institut für mobile Maschinen und
Nutzfahrzeuge

Langer Kamp 19a
38106 Braunschweig

Tel.: +49 (0) 531 391-2670

Fax: +49 (0) 531 391-5951

imn@tu-braunschweig.de

www.tu-braunschweig.de/imn

Literatur

- [Bog13] Bogon, T.: Agentenbasierte Schwarmintelligenz. Dissertation.. Springer Vieweg, Wiesbaden, 2013.
- [Chi09] Chiong, R.: Nature-Inspired Algorithms for Optimisation. ISBN 978-3-642-00266-3. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2009.
- [Dom06] Domschke W.: Heuristische Verfahren. Jenaer Schriften zur Wirtschaftswissenschaft. Arbeits- und Diskussionspapiere der Wirtschafts-wissenschaftlichen Fakultät der Friedrich-Schiller-Universität Jena. ISSN 1611-1311. Jena, 2006.
- [Gum07] Gumpoltsberger, G.: Systematische Synthese und Bewertung von mehrgängigen Planetengetrieben. Dissertation. TU Chemnitz. 2007.
- [Hel07] Helbig, A.: Energieeffizientes elektrisch-hydrostatisches Antriebssystem am Beispiel der Kunststoff-Spritzgießmaschine. Dissertation. TU Dresden. Shaker Verlag, Aachen, 2007.
- [Lab15] Labenda, P.: Synergetic utilization of hydraulic, electric and electrohydraulic drive and control systems in agricultural vehicles. VDI-MEG LAND.Technik AgEng2015, Hannover, 2015
- [Mül98] Müller, W.: Die Umlaufgetriebe – Auslegung und vielseitige Anwendungen. 2. Auflage. ISBN: 978-3-642-63698-1. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1998.
- [Nag96] Nagel, G.: Variabler Förderstrom mit Konstantpumpen. Ölhydraulik + Pneumatik, Nr.4, 1996
- [Neu02] Neubert, T.: Untersuchungen von drehzahlveränderbaren Pumpen. Dissertation. TU Dresden. Shaker Verlag Aachen, 2002.
- [Rex16] N.N.: Sytronix – drehzahlvariable Pumpenantriebe. Produktbroschüre. Bosch Rexroth AG, Lohr, 2016
- [Rüh97] Rühlicke, I.: Elektrohydraulische Antriebssysteme mit drehzahlveränderbarer Pumpe. Dissertation. TU Dresden. Shaker Verlag Aachen, 1997.
- [Sta07] Stangl, M.: Methodik zur kinematischen und kinetischen Berechnung mehrwelliger Planeten-Koppelgetriebe. Dissertation. TU München. (<https://mediatum.ub.tum.de/doc/1169581/1169581.pdf>), 23.10.2016.
- [Voi16] N.N.: Die Zukunft – intelligente Servopumpenantriebe. Produktbroschüre. Voith Turbo H + L Hydraulic GmbH & Co. KG, Rutesheim, 2016
- [Wil14] Willkomm, J.: Model Predictive Control of Speed-Variable Variable-Displacement Pumps to Optimize Energy Efficiency. 9. Internationales Fluidtechnisches Kolloquium, Aachen, 2014
- [Wil16] Willkomm, J.: Modellprädiktive Optimierung drehzahlvariabler Pumpen. Dissertation. TU Dresden. Shaker Verlag Aachen, 2016.