

Konrad Steindorff und Hans-Heinrich Harms

Antriebsenergie sparen durch rückfließenden Ölstrom

Herkömmlich aufgebaute hydraulische Antriebe im offenen Kreis haben den Nachteil, dass im Falle ziehender Belastungen die vom Verbraucher dabei abgegebene Energie dem System nicht mehr zur Verfügung steht. Mit dem hier vorgestellten regenerationsfähigen System wird ein Verfahren aufgezeigt, diese Energie dennoch wieder nutzbar zu machen. Dabei wird der rückfließende Ölstrom zu einem hydrostatischen Verstellmotor geleitet, welcher sein Moment an die Antriebswelle der Hydropumpe abgibt und somit den Gesamtenergiebedarf des Systems verringert. Dabei kann je nach Situation eine sofortige Nutzung der Energie oder eine Speicherung sinnvoller sein.

Schlüsselwörter:

Regenerative Hydrauliksysteme, Energierückgewinnung, Energierückgewinnung

Keywords:

Regenerative hydraulics, recuperation, energy recovering

Abstract

Steindorff, Konrad and Harms, Hans-Heinrich

Backflowing oil to save propulsion energy

Landtechnik 64 (2009), no. 2, pp. 138 - 140,
4 figures, 1 table, 2 references

Conventionally designed hydraulic drives in an open circuit have the disadvantage that the energy used by the actuator under pulling loads is no longer available to the system. The system presented here, which is capable of regeneration, is shown as a technique which nevertheless allows this energy to be recovered. In this system, the oil backflow is directed to a hydrostatic variable displacement motor which delivers its torque to the drive shaft of the hydraulic pump and thus reduces the total energy consumption of the system. Depending on the situation, the immediate use of the energy or its storage can be more efficient.

■ Grundsätzlich können an einem Verbraucher, translatorisch oder rotatorisch, vier unterschiedliche Lastfälle auftreten. Dieser 4-Quadranten-Betrieb ist in **Bild 1** gezeigt. In den Fällen 1 und 4 herrscht eine drückende Last vor, das heißt, die Last wirkt entgegen der gewünschten Bewegungsrichtung des Verbrauchers. In den Fällen 2 und 3 wirkt die Last zie-

hend in die gleiche Richtung wie die gewünschte Bewegungsrichtung. Hier kann also – theoretisch – Energie zurück gewonnen und wieder nutzbar gemacht werden, da potenzielle oder kinetische Energie abgebaut wird, die ansonsten in Form von Wärme ins System eingetragen und über entsprechende Kühleinrichtungen abgeführt werden muss.

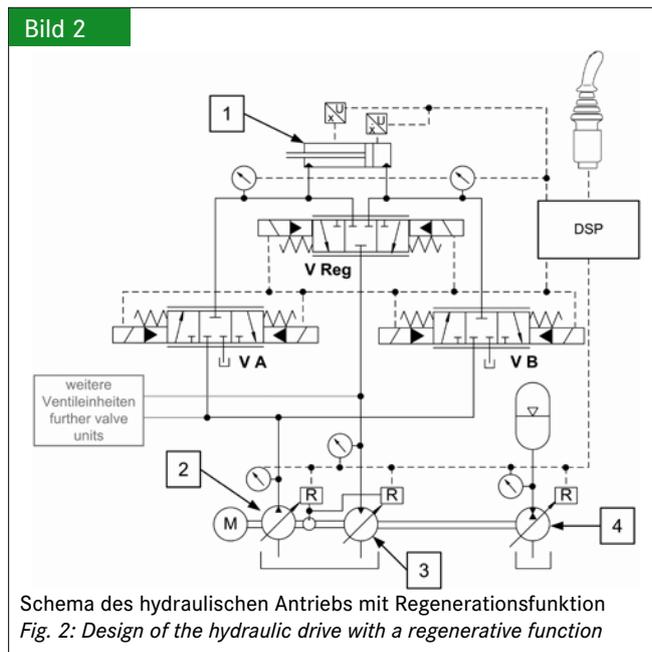
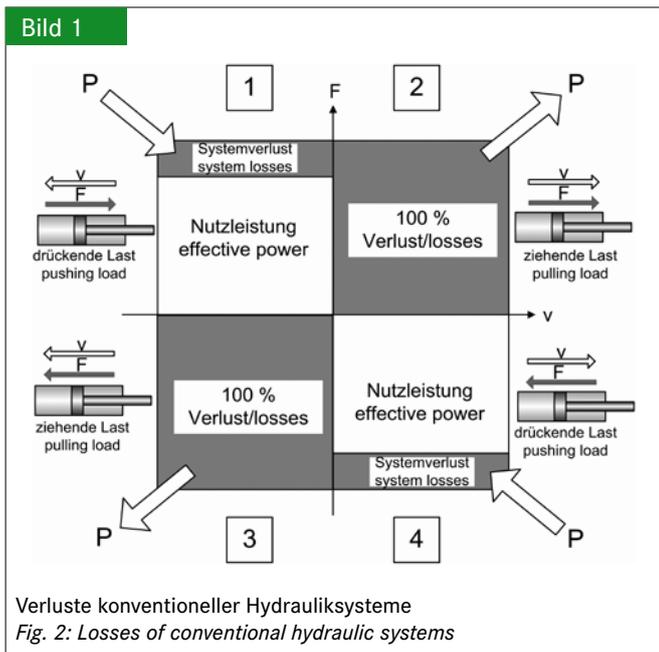
Stand der Technik

Es gibt heute sowohl in der Stationärhydraulik als auch in der Mobilhydraulik zahlreiche Entwicklungen, welche darauf abzielen, durch Rückgewinnung der von einem Verbraucher abgegebenen Leistung den Gesamtwirkungsgrad eines Hydrauliksystems zu verbessern. In den heute in Traktoren und vielen anderen mobilen Arbeitsmaschinen üblicherweise eingesetzten Hydrauliksystemen ist jedoch eine Energierückgewinnung nicht ohne weiteres möglich. Um die Geschwindigkeit des abzusenkenden oder abzubremsenden Verbrauchers kontrollieren zu können, muss die ablaufende Seite ange-drosselt und somit die Energie, die der Verbraucher abzugeben hat, in Wärme umgewandelt werden. Dabei entstehen hohe Verluste, da die vom Verbraucher abgegebene Energie zu 100% in Form von Wärme in der Drosselstelle abgeführt werden muss und dem System somit nicht mehr zur Verfügung steht.

Aufbau des hydraulischen Antriebs

Das hydraulische Energierückgewinnungssystem wurde an der TU Braunschweig zunächst in einer Simulation aufgebaut. Das Projekt wird gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG).

Der grundsätzliche Aufbau des Systems ist in **Bild 2** dargestellt und wurde auch schon in [1] und [2] vorgestellt. Dabei sind jedem Verbraucher (im Bild nur ein Verbraucher (1) dargestellt) drei 3/3-Wegeventile, V_A , V_B und V_{Reg} , zugeordnet. Darüber hi-



naus ist für das gesamte System zusätzlich zur Pumpe (2) ein hydrostatischer Verstellmotor (3), im folgenden Regenerationshydrostat genannt, vorhanden sowie eine weitere Pumpe/Motor-Einheit (4) mit Hydrospeicher zur Energiespeicherung.

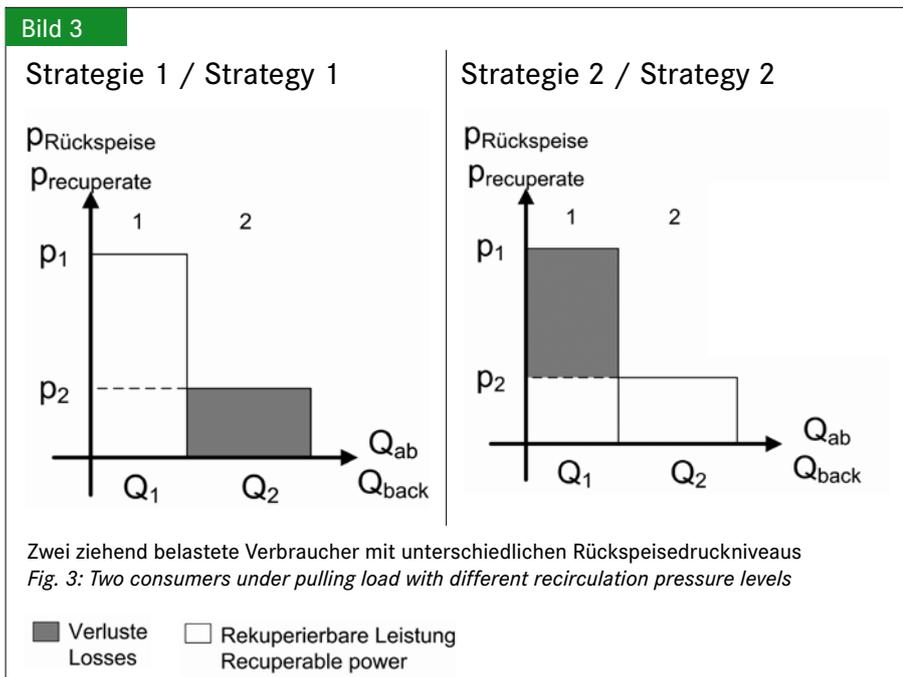
Um bei ziehenden Belastungen die Absenkgeschwindigkeit kontrollieren zu können, muss der ablaufende Volumenstrom begrenzt werden. Dies kann durch Androsseln (keine Energierückgewinnung) oder durch eine kontrollierte Leistungsabnahme durch den Regenerationshydrostaten vonstatten gehen. Dazu wird dessen Schluckvolumen summenstromgesteuert variiert. Die Steuerlogik für zwei Verbraucher ist dazu für den einfachsten Fall nach dem in **Tabelle 1** gezeigten Schema aufgebaut. Da bei dieser ablaufseitigen Summenstromsteuerung bei unterschiedlich stark ziehend belasteten Verbrauchern, zur Ener-

gierückgewinnung gleiche Rückspeisedruckniveaus notwendig sind, ist auch hier ein zusätzlicher Ventileingriff notwendig. Der vom höher ziehend belasteten Verbraucher abfließende Volumenstrom wird über das Ventil V_{Reg} soweit gedrosselt, dass sich der Druck in der Rückspeiseleitung auf dem Niveau des Rückspeisedruckes des geringer ziehend belasteten Verbrauchers befindet.

Betriebsstrategien

Um den Gesamteinsatz an Energie zu minimieren, ist es wichtig, die richtigen Betriebsstrategien für den Mehrverbraucherbetrieb zu wählen. Dazu sind einige grundsätzliche Gedanken notwendig:

Bei einem System mit zwei Verbrauchern können beide Verbraucher drückend belastet sein, es ist keine Energierückgewinnung möglich. Ist ein Verbraucher ziehend belastet, während der andere drückend belastet ist, ist es grundsätzlich denkbar, die von dem einen Verbraucher abgegebene Energie dem drückend belasteten zuzuführen (Regeneration). In dem Fall, dass beide Verbraucher ziehend belastet sind, kann ebenfalls theoretisch Energie zurück gewonnen werden, welche dann allerdings zwischengespeichert werden muss, um sie später für einen anderen Arbeitsvorgang abrufen zu können (Rekuperation).



Um diese Fälle voneinander unterscheiden zu können, muss zunächst für jeden Verbraucher der entsprechende Lastfall gemäß der Quadranten aus **Bild 1** ermittelt werden.

Dann muss unterschieden werden,

Tab. 1

Steuerungslogik Regenerationshydrostat
 Table 1: Control logic of the regeneration hydrostat

Belastungszustand	Sollvolumenstrom des Regenerationshydrostaten
Verbraucher 1 drückend oder unbelastet	$Q_{\text{Motor}} = 0$
Verbraucher 2 drückend oder unbelastet	
Verbraucher 1 ziehend	$Q_{\text{Motor}} = Q_{\text{ab},1} + Q_{\text{ab},2}$
Verbraucher 2 ziehend	
Verbraucher 1 ziehend	$Q_{\text{Motor}} = Q_{\text{ab},1}$
Verbraucher 2 drückend oder unbelastet	
Verbraucher 1 drückend oder unbelastet	$Q_{\text{Motor}} = Q_{\text{ab},2}$
Verbraucher 2 ziehend	

welche Lastfallkombination vorliegt. Sind beide ziehend belastet, so muss geklärt werden, ob die Speichereinheit genügend Aufnahmekapazität bietet, um eine Rekuperation durchzuführen. Wenn ja, wird unterschieden, durch welche Strategie der Rekuperation die größte Energiemenge zurück gewonnen werden kann und diese wird dann angewendet. Die Wahl der Strategie hängt maßgeblich ab von dem Unterschied der Rückspeisedruckniveaus der ziehend belasteten Verbraucher. In **Bild 3** sind zwei unterschiedlich ziehend belastete Verbraucher gezeigt. Da es zur Energierückgewinnung notwendig ist, dass der Rückspeisedruck beider Verbraucher auf demselben Niveau liegt, muss zunächst berechnet werden, ob es energetisch sinnvoller ist, den höher Belasteten (1) auf das Niveau des geringer Belasteten (2) zu drosseln oder nur einen Verbraucher rückspeisen zu lassen. Dazu müssen die erzielbaren Leistungen berechnet werden. Wird nur Verbraucher 1 rekuperiert (**Strategie 1 in Bild 3**), dann ergibt sich die theoretisch gewinnbare Leistung zu

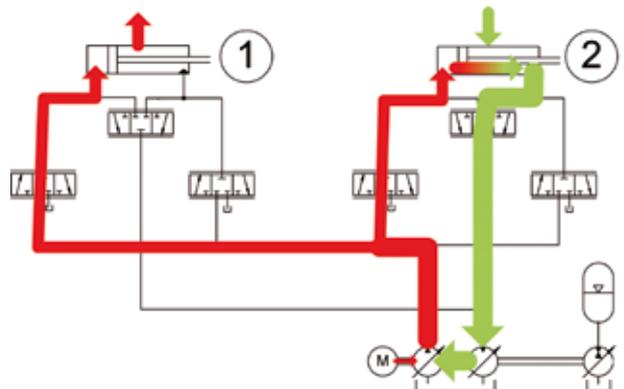
$$P_1 = p_1 \cdot Q_1 \quad (1)$$

Sollen beide Verbraucher Energie zurückspeisen, dann muss der Druck von Verbraucher 1 auf das Druckniveau p_2 gedrosselt werden (**Strategie 2 in Bild 3**). Damit ergibt sich die theoretisch erzielbare Leistung aus beiden rückspeisenden Verbrauchern zu

$$P_{1+2} = p_2 \cdot (Q_1 + Q_2) \quad (2)$$

Daraus kann dann die passende Strategie gewählt werden. Für den Fall eines drückend und eines ziehend belasteten Verbrauchers treten zusätzliche Probleme auf. Da im Zulauf der Druck von der Last des drückenden Verbrauchers (**1 in Bild 3**) bestimmt wird, wird der zum Auffüllen der Vorlaufseite benötigte Volumenstrom des ziehend belasteten Verbrauchers (**2 in Bild 3**) mit eben diesem Druck geliefert. Das hat zur Folge, dass

Bild 4



Blindleistungsproblematik bei einem ziehend und einem drückend belasteten Verbraucher

Fig. 4: Reactive power problems in consumers under pulling and pushing load

zusätzlich zu der von außen angreifenden Last diesem Verbraucher hydraulische Leistung zugeführt und ein Blindleistungsfluss verursacht wird.

Damit wird die zuvor in den Verbraucher eingebrachte hydraulische Leistung zwar (abzüglich der Verluste) über den Regenerationshydrostaten wieder zurückgeführt, das System muss aber in diesem Fall auf die Blindleistung hin ausgelegt werden.

Zusammenfassung und Ausblick

Das hier vorgestellte System zeigt Möglichkeiten auf, die bei ziehenden Lasten abzugebende Energie zurückzugewinnen und wieder nutzbar zu machen. Dabei wurden besonders die Betriebsstrategien beleuchtet, da sich – insbesondere im Mehrverbraucherbetrieb – gezeigt hat, dass mit der richtigen Wahl der Betriebsstrategie ein hohes Energieeinsparungspotenzial möglich ist. Der Einsatz dieses Systems auf einer mobilen Maschine verspricht zudem weitere Möglichkeiten der Energieeinsparung, da die regenerierte Leistung in mechanischer Form am Motorausgang anliegt und somit in Kombination mit einem Fahrtrieb beliebiger Bauart (hydraulisch, mechanisch, elektrisch) ein Gesamthybridkonzept denkbar erscheint, bei dem Leistung zwischen Arbeitshydraulik und Fahrtrieb hin- und her gereicht werden kann. Als kritisch anzusehen für den mobilen Betrieb ist jedoch der erhöhte Bedarf an Komponenten im Allgemeinen und insbesondere an Sensorik.

Literatur

- [1] Steindorff, K.; Harms, H.-H.: Ventilgesteuerter hydraulischer Antrieb mit Regenerationsfunktion, Landtechnik 63 (2008) H.4, S. 214 bis 215
- [2] Steindorff, K.; Lang, T.; Harms, H.-H.: Betriebsstrategien zur Energierückgewinnung an einem hydraulischen Antrieb. Tagungsband: Hybridantriebe für mobile Arbeitsmaschinen, 18.02.2009 in Karlsruhe

Autoren

Dipl.-Ing. Konrad Steindorff ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Landmaschinen und Fluidtechnik der TU Braunschweig (Leiter: Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. H.-H. Harms), Langer Kamp 19a, 38106 Braunschweig, E-Mail: k.steindorff@tu-bs.de - <http://www.tu-braunschweig.de/ilf>