

Energetische Aspekte des Einsatzes von Stromventilen

Dr. sc. techn. E. Hlawitschka, KDT, Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Landtechnik

Verwendete Formelzeichen

A_{Dr}	Drosselquerschnitt
A_1	Kolbenfläche
F	Kraft
k_v	Ventilkonstante
Δp_{Dr}	Druckgefälle am Drosselventil
p_v	Druckverlust
p_{vD}	am Druckbegrenzungsventil eingestellter Druck
Δp_{vSb}	Druckgefälle am Strombegrenzungsventil
p_1	Nutzdruck im Arbeitszylinder
P_{An}	Antriebsleistung
P_M	Leistung des Hydraulikmotors
P_{Nutz}	Nutzleistung
P_v	Verlustleistung
v_A	Arbeitsgeschwindigkeit
\dot{V}_M	dem Hydraulikmotor zugeführter Flüssigkeitsstrom
\dot{V}_p	Förderstrom der Pumpe
\dot{V}_{Dr}	gedrosselter Flüssigkeitsstrom
η_{AZ}	Wirkungsgrad des Arbeitszylinders
η_{ges}	Gesamtwirkungsgrad des Systems
η_p	Wirkungsgrad der Pumpe

1. Einleitung

Hydraulikanlagen in Landmaschinen und landtechnischen Anlagen finden wegen ihrer Vorteile gegenüber anderen Lösungen immer häufigere Anwendung. Ihr Einsatz ist dann besonders effektiv, wenn diese Vorteile zielgerichtet genutzt werden. Als besonders günstig erweist sich die Möglichkeit der stufenlosen und lastunabhängigen Änderung der Arbeitsgeschwindigkeit der Hydraulikmotoren. Damit ist eine Anpassung des Antriebs von Arbeitsorganen an die aus dem technologischen Prozeß resultierenden Bedingungen zur Sicherung einer hohen Produktivität und Qualität der Arbeit möglich.

Die stufenlose Verstellung der Arbeitsgeschwindigkeit von Hydraulikmotoren (als solche werden auch Arbeitszylinder verstanden) läßt sich im wesentlichen auf folgenden Wegen erreichen:

- Verwendung einer Hydraulikpumpe mit verstellbarem Verdrängungsvolumen
- Einsatz von Hydraulikpumpen mit konstantem Verdrängungsvolumen und Kombination derselben mit Stromventilen, zu denen einfache Drosselventile, aber auch Strombegrenzungsventile zu rechnen sind. Diese Lösung wird als sog. Drosselregelung bezeichnet.

Im ersten Fall ergibt sich der Vorteil, daß bei stufenlos arbeitenden Hydraulikanlagen die Pumpe nur die Leistung aufbringen muß, die der Hydraulikmotor tatsächlich benötigt. Nachteilig sind jedoch die hohen Anschaffungskosten, die für verstellbare Kolbenpumpen etwa fünfmal so hoch sind wie für konstant fördernde Zahnradpumpen, so daß solche Geräte nur in großen Hydraulikanlagen zweckmäßigerweise zum Einsatz kommen. Eine andere Lösung zur Beeinflussung der Arbeitsgeschwindigkeit von Hydraulikmotoren ergibt sich durch die Verwendung einer Zahnradpumpe und eines Stromventils. Diese Ausführung ist wesentlich billiger und hat nur etwa $\frac{1}{3}$ der Masse der Ausführung mit Verstellpumpe. Bei dieser zweiten Variante wird nur ein bestimmter einstellbarer Teil des Pumpenförderstroms infolge der Drosselwirkung eines Ventils dem Hydraulikmotor zugeführt. Der nicht benötigte Reststrom verläßt den Kreislauf und stellt somit einen Verluststrom dar.

Die bei der Drosselung entstehenden Verluste äußern sich in einer mehr oder weniger großen Wärmeentwicklung. Diese Verluste schränken die Anwendung auf niedrige Leistungen ein. Wegen der geringen Anlagenkosten wird die zweite Variante in der Praxis häufig benutzt. Hierbei kommt es jedoch darauf an, die Leistungsverluste infolge der Drosselung des Flüssigkeitsstroms auf ein Minimum zu beschränken, um energetisch zweckmäßige Lösungen zu erhalten. Die nachfolgenden Betrachtungen enthalten besonders für die Leser Hinweise zur Projektierung von Hydraulikkreisläufen mit Stromventilen, die wie viele Praktiker bei der Ausarbeitung von Rationalisierungslösungen noch wenig Erfahrungen auf diesem Arbeitsgebiet haben. Diesbezügliche vergleichende Betrachtungen und zweckmäßige Lösungsvorschläge findet man auch bei Ströhl [1, 2].

2. Einsatz von Drosselventilen

Drosselventile haben die Aufgabe, die Größe eines Flüssigkeitsstroms durch Veränderung des Durchflußquerschnitts (Drosselquerschnitt) zu beeinflussen. Infolge der Drosselung wird die Druckenergie reduziert. Über

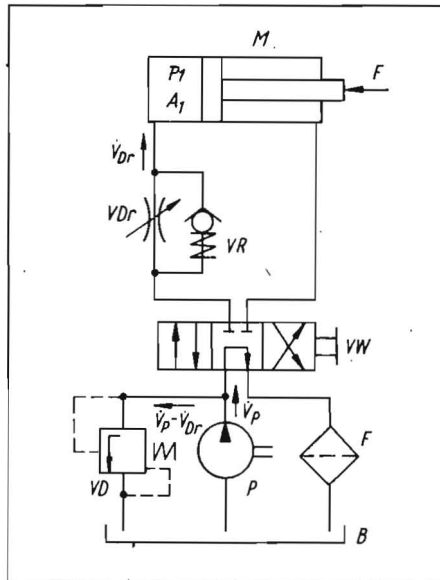
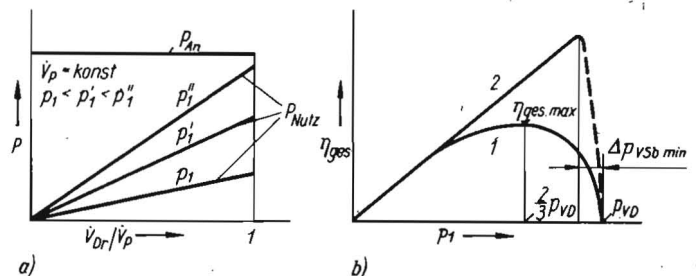


Bild 1. Kreislauf mit Drosselventil in Zumeßschaltung

Bild 2. Kennlinien einer Hydraulikschaltung nach Bild 1;

- Antriebs- und Nutzleistung als Funktion des Flüssigkeitsstroms bei der Zumeßschaltung durch ein Drosselventil
 - Beziehung zwischen Gesamtwirkungsgrad und Druck
- Kurve 1: Drosselventil in Zumeß- oder Hemmschaltung
Kurve 2: Zweirwege-Strombegrenzungsventil in Zumeß- oder Hemmschaltung



der Drosselstelle entsteht eine Druckdifferenz Δp_{Dr} . Bei turbulenter Strömung ist der über der Drosselstelle fließende Strom dann:

$$\dot{V}_{Dr} = k_v \cdot A_{Dr} \sqrt{\Delta p_{Dr}} \quad (1)$$

Der durch ein Drosselventil fließende Strom ist nicht konstant. Er ist vom Druck vor und hinter der Drossel und von der Belastung des Hydraulikmotors abhängig. Auch die temperaturabhängige Viskosität beeinflusst den Flüssigkeitsstrom. Durch die Drosselung entsteht ein Verlust. Die Verlustleistung beträgt:

$$P_v = \dot{V}_{Dr} \Delta p_{Dr} \quad (2)$$

In Hydraulikkreisläufen können Drosselventile in verschiedener Weise angeordnet werden. Man kennt folgende Grundschaltungen:

- Reihenschaltung vor dem Hydraulikmotor (Zumeßschaltung)
- Reihenschaltung nach dem Hydraulikmotor (Hemmschaltung)
- Parallelschaltung zum Hydraulikmotor (Bypass-Schaltung).

Im Bild 1 ist das Drosselventil V_{Dr} in Zumeßschaltung angeordnet. In Abhängigkeit von der Größe des Drosselquerschnitts und der am Arbeitszylinder M anliegenden Belastung F wird dem Arbeitszylinder ein mehr oder weniger großer Flüssigkeitsstrom zugeführt. Durch Veränderung des Drosselquerschnitts ist die Ausfahrbewegung des Kolbens in weiten Grenzen einstellbar. Die vom Arbeitskolben verdrängte Flüssigkeit fließt nahezu drucklos in den Behälter B. Wegen des parallel zum Drosselventil V_{Dr} geschalteten Rückschlagventils VR erfolgt bei entsprechender Stellung des Wegeventils VW das Einfahren des Kolbens ohne Drosselwirkung.

Dem Arbeitszylinder M fließt nur der gedrosselte Strom \dot{V}_{Dr} zu. Der Reststrom ($\dot{V}_p - \dot{V}_{Dr}$) verläßt über das Druckbegrenzungsventil VD ungenutzt den Kreislauf. Während der Arbeitsbewegung des Kolbens fördert deshalb die Pumpe P unabhängig von der Belastung des Arbeitszylinders stets gegen den Öffnungsdruck des Druckbegrenzungsventils. Damit berechnet sich die Antriebsleistung der Pumpe zu:

$$P_{An} = \dot{V}_p p_{vD} / \eta_p \quad (3)$$

Die maximale Verlustleistung stellt sich bei

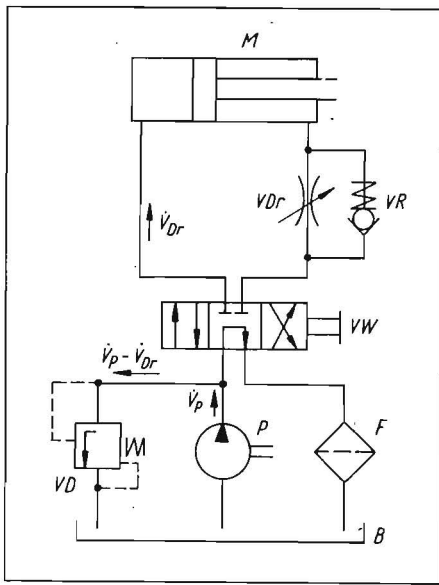


Bild 3. Kreislauf mit Drosselventil in Hemmschaltung

kleinster Belastung F_{\min} und bei der minimalen Arbeitsgeschwindigkeit $v_{A\min}$ ein. Dann herrscht im Arbeitszylinder auch der niedrigste Druck $p_{1\min}$. Daher ergibt sich die maximale Verlustleistung aus folgender Beziehung:

$$P_{V\max} = \dot{V}_P p_{VD} / \eta_P - A_1 v_{A\min} p_{1\min} \eta_{AZ} \quad (4)$$

Diese Verlustleistung ist eine Ursache für die Erwärmung der Hydraulikanlage [3].

Im Bild 2a sind die Antriebsleistung der Pumpe P_{An} und die Nutzleistung P_{Nutz} als Funktion des Nutzstroms \dot{V}_{Dr} mit dem Nutzdruck p_1 als Parameter schematisch dargestellt. Man erkennt, daß die Energieausnutzung mit wachsendem \dot{V}_{Dr} und p_1 ansteigt.

Zur Einschätzung der Energieausnutzung dient der Gesamtwirkungsgrad η_{ges} des Systems.

Er ist gleichzeitig auch Vergleichskriterium zu anderen möglichen Schaltungen. Für den vorliegenden Fall kann er aus folgender Beziehung errechnet werden:

$$\eta_{ges} = \frac{A_1 v_A p_1 \eta_{AZ}}{\dot{V}_P p_{VD} / \eta_P} \quad (5)$$

Setzt man näherungsweise

$$\dot{V}_P = A_1 v_{A\max} \quad (6)$$

dann wird

$$\eta_{ges} = \frac{p_1}{p_{VD}} \frac{v_A}{v_{A\max}} \eta_P \eta_{AZ} \quad (7)$$

Gl. (7) sagt aus, daß der Gesamtwirkungsgrad bei Zumeßschaltung im wesentlichen vom Verhältnis der Drücke vor und hinter dem Drosselventil und dem Verhältnis der Kolbengeschwindigkeiten abhängt. Es läßt sich zeigen, daß der Wirkungsgrad η_{ges} in Abhängigkeit vom Druck p_1 im Arbeitszylinder den im Bild 2b qualitativ dargestellten Verlauf hat. Sein Maximum wird bei $p_1 = \frac{2}{3} p_{VD}$ erreicht. Die Zumeßschaltung weist folgende Nachteile auf:

- Die Pumpe arbeitet unabhängig von der Arbeitsgeschwindigkeit des Zylinders immer mit voller Belastung. Die ständige hohe Belastung reduziert die Grenznutzungsdauer der Pumpe.
- Die Arbeitsgeschwindigkeit des Hydraulikmotors ist lastabhängig.

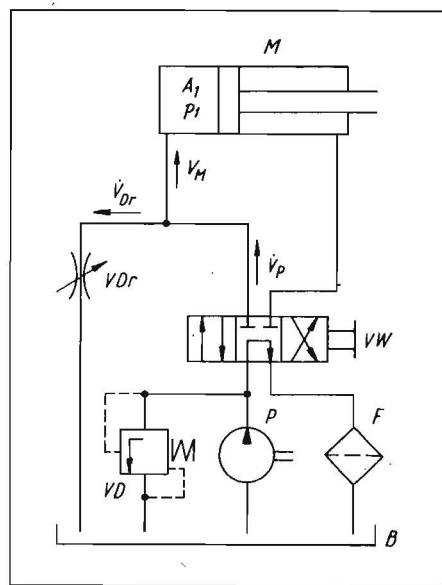


Bild 4. Kreislauf mit Drosselventil in Bypass-Schaltung

— Der in Wärme umgewandelte Teil der Antriebsleistung ist hoch. Daraus resultiert ein niedriger Gesamtwirkungsgrad dieser Schaltung.

— Die ständige hohe Belastung ist mit starken Betriebsgeräuschen verbunden.

— Für stark schwankende Kräfte am Arbeitszylinder ist diese Schaltung nicht geeignet, da der Kolben des Arbeitszylinders kolbenstangenseitig keinen Widerstand hat.

Eine zweite Variante bei der Verwendung von Drosselventilen stellt die Hemmschaltung (Bild 3) dar. In diesem Fall wird beim Ausfahren des Kolbens das aus dem Arbeitszylinder M abfließende Öl gedrosselt. Der Reststrom ($\dot{V}_P - \dot{V}_{Dr}$) muß über das Druckbegrenzungsventil VD in den Behälter B abfließen. Zum Einziehen des Kolbens steht der volle Pumpenförderstrom zur Verfügung, da das zum Drosselventil VDr parallel geschaltete Rückschlagventil VR freien Durchlaß gewährt.

Zur Ermittlung der Verlustleistung und des Gesamtwirkungsgrades können die Gln. (4), (5) und (7) benutzt werden. Auch die im Bild 2 dargestellten Leistungs- und Wirkungsgradverhältnisse gelten sinngemäß. Es ergeben sich jedoch quantitative Unterschiede zur ersten Variante, da folgende Umstände zu berücksichtigen sind:

— Bei gleichen äußeren Kräften erfordert die

Hemmschaltung infolge des auf die kolbenstangenseitige Kolbenfläche wirkenden Staudrucks ggf. einen größeren Durchmesser des Arbeitszylinders

- Infolge des hohen Drucks im kolbenstangenseitigen Zylinderraum wird die Dichtlippe der Kolbenstangendichtung stärker angepreßt, woraus eine größere Reibkraft und damit ein geringerer Wirkungsgrad des Arbeitszylinders resultiert.

Die Hemmschaltung ist durch folgende Merkmale gekennzeichnet:

- Vorteilhaft wirkt sich die hydraulische Einspannung des Kolbens des Arbeitszylinders aus, so daß sich ein ruhiger Lauf auch bei stark pulsierenden äußeren Kräften einstellt.
- Nachteilig ist der schlechte Wirkungsgrad dieser Schaltung, der noch unter dem der Zumeßschaltung liegt.
- Die Pumpe erzeugt ständig den am Druckbegrenzungsventil eingestellten Druck, und die Arbeitsgeschwindigkeit ist lastabhängig.

Eine dritte Möglichkeit zur Beeinflussung des Nutzstroms bietet die Anordnung des Drosselventils in Bypass-Schaltung (Bild 4). Bei dieser Schaltung ist das Drosselventil VDr parallel zum Arbeitszylinder M geschaltet, so daß sich auch in diesem Fall mit den gleichen Geräten die Arbeitsgeschwindigkeit durch eine Drosselquerschnittsänderung verstellen läßt.

Bei dieser Variante muß die Pumpe P nur den Druck erzeugen, der zur Überwindung der am Arbeitszylinder M wirkenden Belastung und der Druckverluste in der Anlage erforderlich ist. Im Gegensatz zu den ersten beiden Varianten muß damit die Pumpe nicht ständig gegen den am Druckbegrenzungsventil VD eingestellten Druck arbeiten. Dieses hat nur noch die Aufgabe eines Sicherheitsventils zu erfüllen.

Bei der Bypass-Schaltung des Drosselventils stellt sich die erforderliche Antriebsleistung der Pumpe auf die am Arbeitszylinder wirkende Belastung ein. Zur Bestimmung des Gesamtwirkungsgrades des Systems geht man von der am Hydraulikmotor abgegebenen Leistung

$$P_M = \dot{V}_M p_1 \eta_{AZ} = F v_A \quad (8)$$

und der zum Pumpenantrieb erforderlichen Leistung

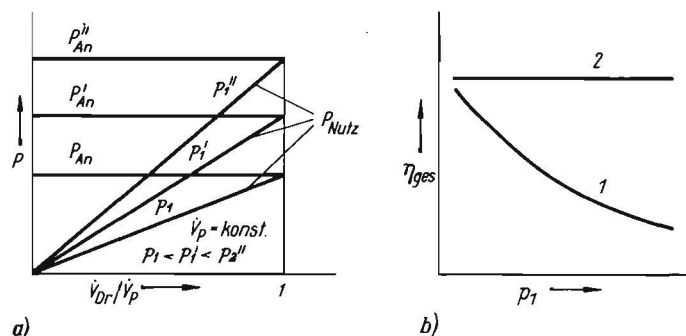
$$P_{An} = (p_1 + p_v) \dot{V}_P / \eta_P$$

aus. Damit ergibt sich der Gesamtwirkungsgrad der Anlage aus:

$$\eta_{ges} = \dot{V}_M p_1 \eta_{AZ} \eta_P / \dot{V}_P (p_1 + p_v) \quad (10)$$

Bild 5. Kennlinien einer Hydraulikschaltung nach Bild 4

- Antriebs- und Nutzleistung als Funktion des Flüssigkeitsstroms bei der Bypass-Schaltung eines Drosselventils
 - Beziehung zwischen Gesamtwirkungsgrad und Druck
- Kurve 1: Drosselventil in Bypass-Schaltung
Kurve 2: Dreiwege-Strombegrenzungsventil



Setzt man wieder näherungsweise

$$\dot{V}_P = A_I v_{A \max}$$

und

$$\dot{V}_M = A_I v_A,$$

dann erhält man

$$\eta_{ges} = \frac{p_1}{p_1 + p_v} \frac{v_A}{v_{A \max}} \eta_P \eta_{AZ} \quad (11)$$

Ebenso wie bei den ersten beiden Varianten ist auch bei der Bypass-Schaltung wegen der veränderlichen Druckdifferenz über dem Drosselventil der gedrosselte Flüssigkeitsstrom \dot{V}_{Dr} nicht konstant, und damit ändert sich mit der Belastung des Arbeitszylinders auch dessen Arbeitsgeschwindigkeit. Unter Berücksichtigung dieser Tatsachen erhält man die im Bild 5a schematisch dargestellten Leistungsverhältnisse und den im Bild 5b gezeigten Wirkungsgradverlauf.

Folgende Merkmale kennzeichnen die Bypass-Schaltung des Drosselventils:

- Die Hydraulikpumpe muß nicht ständig gegen den maximalen Systemdruck arbeiten, so daß sich die erforderliche Antriebsleistung nach der Belastung des Hydraulikmotors richtet.
- Die Arbeitsgeschwindigkeit des Hydraulikmotors ist belastungsabhängig.
- Der Gesamtwirkungsgrad solcher Anlagen ist nur dann besser als bei den ersten beiden Varianten, wenn die Belastung gering ist. Er wird sehr niedrig, wenn $v_A \ll v_{A \max}$.
- Die Schaltung ist für pulsierende Belastungen ungeeignet.

3. Einsatz von Strombegrenzungsventilen

Strombegrenzungsventile realisieren die Aufgabe, den Nutzstrom unabhängig von der anliegenden Druckdifferenz und der Fluidtemperatur auf einen einstellbaren Wert zu begrenzen und konstant zu halten. Die Belastungsunabhängigkeit des Nutzstroms wird dadurch erreicht, daß an einer den Nutzstrom bestimmenden Drosselstelle durch eine Regeleinrichtung (Druckdifferenzventil) das Druckgefälle konstant gehalten wird, was einen konstanten Durchflußstrom zur Folge hat.

Drossel- und Druckdifferenzventile können innerhalb eines Gehäuses in Reihe und auch parallel zueinander angeordnet werden. Im ersten Fall entsteht ein Zweizeige-Strombegrenzungsventil. Hier fehlt ein besonderer Rückfluß, so daß der Reststrom über ein zusätzliches Druckbegrenzungsventil in den Ölbehälter abgeführt werden muß. Der zweite Fall ergibt ein Dreizeige-Strombegrenzungsventil. Dieses hat einen gesonderten Anschluß für den Rücklauf des nicht nutzbaren Teilstroms, der unmittelbar in den Ölbehälter abfließen kann. Damit muß die Pumpe nur den Druck erzeugen, der für die Überwindung der Arbeitswiderstände am Arbeitszylinder notwendig ist.

Zweizeige-Strombegrenzungsventile können sowohl in Zumeß- als auch in Hemmschaltung eingesetzt werden. Im Bild 6 ist ein Zweizeige-Strombegrenzungsventil VSb in Zumeßschaltung dargestellt. Das Ersetzen des Drosselventils durch ein Zweizeige-Strombegrenzungsventil ergibt eine belastungsunabhängige Geschwindigkeit des Kolbens des Arbeitszylinders. Die Pumpe muß aber ständig den am Druckbegrenzungsventil eingestellten Druck p_{VD} überwinden. Dieses arbeitet in

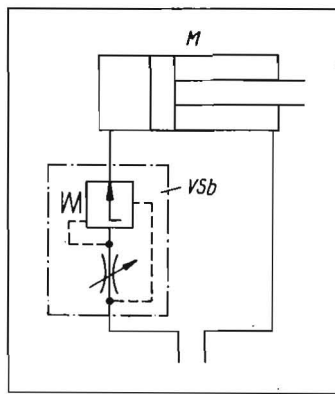


Bild 6
Zweizeige-Strombegrenzungsventil in Zumeßschaltung zur Veränderung der Arbeitsgeschwindigkeit

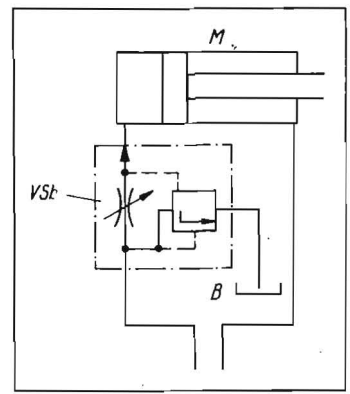


Bild 7
Dreizeige-Strombegrenzungsventil zur Veränderung der Arbeitsgeschwindigkeit

diesem Fall als Überströmventil und führt den nicht nutzbaren Teilstrom in den Behälter ab. Das Einfahren des Kolbens erfolgt mit vollem Pumpenförderstrom, da nach Umkehr der Durchflußrichtung das Zweizeige-Strombegrenzungsventil eine Rückschlagventilfunktion hat.

Zur Berechnung der Antriebsleistung, der Verlustleistung und des Wirkungsgrades können die Gln. (3) bis (7) verwendet werden. Antriebs- und Nutzleistung haben das im Bild 2a schematisch dargestellte Verhalten. Es ist zu beachten, daß wegen der zur Gewährleistung der Funktion des Zweizeige-Strombegrenzungsventils erforderlichen Mindestdruckdifferenz $\Delta p_{VSb \min}$ am Hydraulikmotor nur der Druck p_1 zur Verfügung steht. Dieser ist:

$$p_1 = p_{VD} - \Delta p_{VSb \min} \quad (12)$$

Solange gilt

$$\Delta p_{VSb \min} = p_{VD} - p_1,$$

steigt der Wirkungsgrad η_{ges} proportional mit dem Druck p_1 an (Bild 2b).

Erst wenn diese Bedingung nicht mehr erfüllt wird, fällt er rasch auf Null ab. Ein Vergleich anhand von Bild 2 zeigt, daß die Verwendung von Zweizeige-Strombegrenzungsventilen anstelle von Drosselventilen vor allem im Bereich höherer Drücke eine energetisch günstigere Lösung zur Realisierung unterschiedlicher Flüssigkeitsströme darstellt. Weil dieses Ventil aber ständig mit konstanter Eingangsleistung arbeitet, treten beim Leerlauf des Verbrauchers hohe Leistungsverluste auf, so daß der Einsatz von Zweizeige-Strombegrenzungsventilen nur bei Hydraulikanlagen mit geringem Leerlaufanteil zu empfehlen ist. Im übrigen weisen diese Ventile mit Ausnahme der Lastunabhängigkeit des Flüssigkeitsstroms die Merkmale der Drosselventile (Vor- und Nachteile) auf.

Das Dreizeige-Strombegrenzungsventil teilt den Förderstrom der Pumpe \dot{V}_P in den Nutzstrom \dot{V}_{Dr} und den Verluststrom ($\dot{V}_P - \dot{V}_{Dr}$) auf. Während der Nutzstrom den Hydraulikmotor beaufschlagt, fließt der Verluststrom nahezu drucklos in den Behälter ab. Damit braucht die Pumpe stets nur einen Druck zu erzeugen, der wegen der Druckverluste nur wenig größer als der vom Hydraulikmotor aufgrund der Belastung wirksame Druck ist. Deshalb sind die Verluste durch die Umsetzung hydraulischer Energie in Wärme geringer als beim Zweizeige-Strombegrenzungsventil, so daß sich ein höherer Wirkungsgrad ergibt. Dreizeige-Strombegrenzungsventile gewährlei-

sten ihre Funktion nur dann, wenn sie im Zulauf zum Hydraulikmotor angeordnet werden. Eine entsprechende Schaltung ist im Bild 7 dargestellt. Hier ist der dem Arbeitszylinder zugeführte Strom belastungsunabhängig, und damit bleibt die Arbeitsgeschwindigkeit für eine bestimmte Ventileinstellung konstant. Somit ist auch der Wirkungsgrad η_{ges} nach Gl. (11) für den meist zutreffenden Fall, daß $p_v \ll p_1$ ist, näherungsweise konstant (Bild 5b). Er ist nur vom Verhältnis $v_A/v_{A \max}$ abhängig. Er ist besonders dann niedrig, wenn $v_A \ll v_{A \max}$. Dennoch hat das Dreizeige-Strombegrenzungsventil einen besseren Wirkungsgrad als das Zweizeige-Strombegrenzungsventil und das Drosselventil, und die Erwärmung der Anlage ist geringer. Außerdem kann bei dieser Schaltungsvariante auf ein zusätzliches Druckbegrenzungsventil verzichtet werden. Dreizeige-Strombegrenzungsventile werden deshalb vorteilhaft dann eingesetzt, wenn Hydraulikanlagen intermittierend betrieben werden müssen und der Leerlaufanteil sehr hoch ist. Verlustsenkend wirkt auch eine gute Abstimmung zwischen Druckstromerzeuger und -verbraucher, durch die der Reststrom, der über das Strombegrenzungsventil abfließt, gering gehalten wird.

4. Zusammenfassung

In kleineren Hydraulikanlagen werden zur Veränderung der Arbeitsgeschwindigkeit von Hydraulikmotoren aus Wirtschaftlichkeitsgründen meist Stromventile benutzt. Je nach Art und Anordnung der Stromventile im Kreislauf ergeben sich unterschiedliche Antriebs- und Nutzleistungen, und auch der erreichbare Wirkungsgrad ist differenziert zu betrachten. Für grundlegende Schaltungen von Drossel-, Zwei- und Dreizeige-Strombegrenzungsventilen werden Gleichungen zur Berechnung der Leistungsanteile und des Gesamtwirkungsgrades angegeben und das qualitative Verhalten dieser Größen in Diagrammform dargestellt. Ein Vergleich verschiedener Varianten aus energetischer Sicht wird vorgenommen.

Literatur

- [1] Ströhl, H.: Erhöhung der Energieökonomie bei hydraulischen Drosselkreisläufen mit gestuften Strömen. 2. Fachtagung Hydraulik und Pneumatik, Magdeburg 1977, Teil 1, S. 43—59.
- [2] Ströhl, H.: Kreislaufvarianten zur Verminderung von Energieverlusten bei der hydraulischen Drosselregelung. 3. Fachtagung Hydraulik und Pneumatik, Dresden 1979, Teil 1, S. 70—75.
- [3] Hlawitschka, E.: Zum Temperaturverhalten von Hydraulikanlagen. agrartechnik 29 (1979) H. 2, S. 86—88.

A 3184