Wenn die Hydraulik „mitfühlt“

Load-Sensing liefert mehr Hydraulik-Leistung bei weniger Verlusten. Wie es funktioniert, wie man auch angehängte Geräte damit steuert und was dabei schief gehen kann, erklärt Landmaschinenmechaniker-Meister Reinhard Timpe.

Load-Sensing (LS) ist ein Hydrauliksystem mit Gefühl. Es fühlt – wörtlich – die Last. Das System regelt also ganz nach Bedarf Fördermenge und Druck. Deshalb wird es auch als PFC, Power-Flow-Control, bezeichnet. Eine Load-Sensing-Hydraulik ist bei vielen Schleppern ab 140 PS Standard. Als Option gibt es das System heute bereits ab 90 PS.

Die LS-Hydraulik ist keine technische Spielerei. Notwendig wird die Entwicklung durch den immer höheren Bedarf an hydraulischer Leistung bei Schleppern und Geräten. Ölmotoren und große Zylinder brauchen hohe Förderströme. Das Problem: Die volle Hydraulikleistung wird beim Schlepper nicht permanent abgerufen, der Bedarf schwankt. Bei der normalen Arbeit reichen oft kleine Fördermengen, um z.B. den Spurreißer einzuklappen oder den Schieber vom Düngerstreuer zu schließen. Geht es um Frontladerarbeiten, angehängte Geräte mit hydrostatischen Antrieben oder große Kipper, erwartet der Fahrer die volle Leistung, sobald er am Ventilhebel zieht.

Natürlich kann man hohe Leistungen auch mit einer klassischen Konstantstrom-Hydraulik erreichen. Man baut „nur“ eine größere Pumpe ein. Wird kein Öl gebraucht, sind auch die Verluste dieser Anlage kaum höher. Das Öl wird ohne nennenswerten Widerstand im Kreis gepumpt.

Große Erwärmung bei kleinen Fördermengen

Schwierig wird es, wenn man nur kleine Ölmengen abnimmt. Denn die klassische Konstantstrom-Hydraulik kennt nur „ganz“ oder „gar nicht“. Die große, überschüssige Ölmenge muss komplett durch das Druckbegrenzungsventil (DBV) abfließen. Das kostet Leistung und damit Diesel. Die wertvolle Energie wird elegant in eine große Wärmemenge umgesetzt, die aufwändig wieder heruntergekühlt werden muss. Und nicht nur die Wärmeverluste sind ärgerlich. Die „verbrannte“ Leistung fehlt dem Schlepper auch bei der Traktion. Denn moderne Traktoren sind neben der Hydraulik ohnehin mit ihren vielen Verbrauchern gut ausgelastet: Großer Lüfter, Klimaanlage, Druckluftbremse, leistungsfähige Lichtmaschine. Sie alle gehen auf Kosten der Zugleistung.

Bei der LS-Hydraulik fühlen spezielle Ventile, die so genannten Druckwaagen, die nötige Ölmenge und den Druck und regeln den Ölstrom automatisch. Vorteil: Bei Bedarf steht die volle Hydraulikleistung zur Verfügung. Geringe Mengen werden ohne den hohen Blindleistungsbedarf der klassischen Konstantstromhydraulik zur Verfügung gestellt. Das System arbeitet besser mit kleinen Ölmotoren, die permanent laufen, z.B. bei Gebläsen von Drillmaschinen oder den Pumpen von Feldspritzen. Bei der klassischen Hydraulik würde hier ein großer Teil des Öls permanent über das DBV fließen oder die Schleppermotordrehzahl und damit die Ölfördermenge müssten abgestimmt werden. Das ist teils gar nicht möglich, wenn der Schlepper ziehen muss.

LS-Hydraulik gibt es in den Schleppern in zwei Varianten: Als LS-Steuerung von Konstantstrom-Pumpen und als aus-

Die Anforderungen an die Hydraulikleistung steigen. Nicht nur bei aufwändigen Maschinen wie Ladewagen, sondern auch bei zügigen Frontladerarbeiten.
Fotos: Heil, Höner (2), Timpe, Wilmer

gewachsene Load-Sensing-Hydraulik mit einer Verstellpumpe. Die Variante mit den Konstantstrompumpen ist der günstigere Einstieg in die LS-Technik (z.B. „Eco-LS“). Das System wird meist als Option bei kompakten Schleppern angeboten. Der Aufpreis im Vergleich zur klassischen Hydraulik liegt im Bereich von ca.1 500 bis 2 500 €. In diesem System sind meistens zwei Konstantstrompumpen miteinander kombiniert, oft eine kleinere und eine größere.

Die Pumpen fördern permanent. Das Öl fließt über eine Druckwaage gegen einen Steuerdruck von 15 bis 20 bar wieder in den Tank. Der Blindleistungsbedarf ist sogar etwas höher als bei der klassischen Konstantstrom-Hydraulik. Die kleine Pumpe deckt den „täglichen“ Bedarf. Sobald das Steuergerät bedient wird, fließt die gewünschte Menge zum Verbraucher und der Rest über das DBV in den Tank. Zwar entstehen auch hier im DBV Verluste, die halten sich aber wegen der geringen Förderleistung der ersten Pumpe in Grenzen.

Die zweite Pumpe arbeitet derweil im „eigenen Saft“. Sie fördert nur die Umlaufmenge und produziert keine nennenswerten Verluste. Sobald aber größere Ölmengen angefordert werden, schlägt die Stunde der zweiten Pumpe: Sie wird lastabhängig über die Druckwaage zugeschaltet, und die volle Förderleistung beider Pumpen steht jetzt zur Verfügung. Etwas Ähnliches gab es schon früher, nur mussten die beiden Pumpen über ein Ventil noch von Hand zusammengeschaltet werden.

Pumpen mit verstellbarem Förderstrom

Beim „richtigen“ LS ersetzen Pumpen mit variablem Förderstrom die Konstantstrom-Pumpen. Gängig sind hier Axialkolbenpumpen. Radialkolbenpumpen werden nur relativ selten eingebaut.

Das Funktionsprinzip der Axialpumpen ist relativ einfach. Die Kolben sind wie die Patronenkammern in der Trommel eines Revolvers angeordnet. Die Tommel rotiert. Die Stößel der einzelnen Kolben gleiten dabei über eine Schwenkscheibe. Steht die Scheibe gerade, werden die Kolben nicht auf und ab bewegt, die Pumpe fördert kein Öl, hält aber den Druck im System aufrecht. Schwenkt die Scheibe, gleiten die Kolben entlang der schräg gestellten Führung und bewegen sich dabei auf und ab, die Pumpe fördert Öl. Die Fördermenge lässt sich über den Schwenkwinkel verstellen. Je größer der Schwenkwinkel der Scheibe, desto größer ist auch der Weg, den die Kolben machen, und die Fördermenge steigt.

Ein Stellzylinder bewegt die Schwenkscheibe. Eine im Zylinder eingebaute Feder sorgt dafür, dass die Scheibe bei abgeschaltetem Motor maximal schräg steht und die Pumpe die maximale Menge fördert. Startet man den Schleppermotor, baut die Pumpe in Sekundenbruchteilen einen Druck auf, den Niedrigbereitschaftsdruck. Der Zylinder fährt dadurch aus und stellt die Scheibe gerade. Die Pumpe fördert kaum noch Öl, hält aber den Druck. Sobald Öl abgerufen wird, drückt die eingebaute Feder den Zylinder wieder ein, die Scheibe schwenkt und die Pumpe fördert Öl. Wenn dann z.B. der Kipperzylinder komplett ausgefahren ist, stoppt der Ölstrom, die Pumpe hält aber den hohen Druck (Hochdruckbereitschaft).

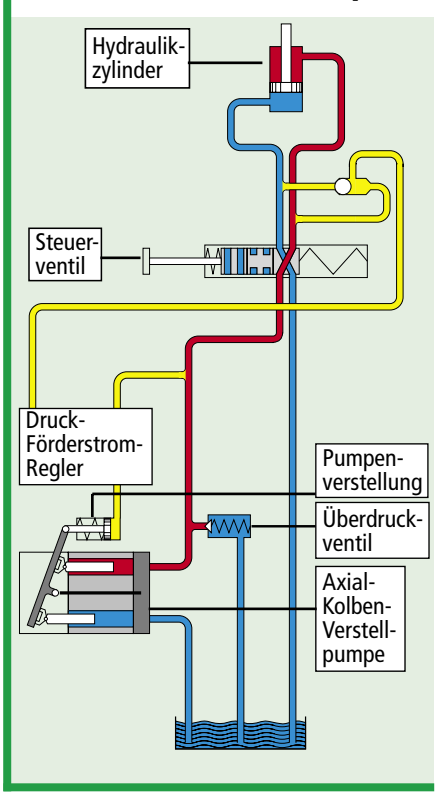
Die lebensnotwendigen Hydraulikfunktionen sind übrigens unabhängig von der LS-Steuerung. Beim Konstantstrom-System mit LS gibt es meist eine weitere Pumpe, die das Lenksystem und die Getriebesteuerung (Pilotdruck) versorgt.

Die Axialkolbenpumpe wird von einer Speise-Ölpumpe versorgt, die gleichzeitig auch die Schmierung des Getriebes übernimmt. An der Axialkolbenpumpe gibt es wiederum Prioritätsventile. Die sorgen dafür, dass Funktionen wie z.B. Lenkung, Anhängerbremse (falls vorhanden) und Getriebesteuerung zuerst versorgt werden. Erst dann steht Öl für die EHR und die Zusatzsteuerventile zur Verfügung.

Mit der LS-Hydraulik sind auch zügige, parallele Aktionen möglich. Die leistungsfähige Pumpe legt dafür den Grundstein, sie fördert genug Öl. Ob man wirklich mehrere Funktionen gleichzeitig ausführen kann, hängt letztlich von den eingebauten Steuerventilen ab. Besonders anspruchsvoll sind z.B. ein leicht drehender Ölmotor im Dauerbetrieb und dann das Ausfahren eines schwergängigen Zylinders (z.B. Einzelkorndrillmaschine mit hydraulischem Gebläseantrieb plus Schlepperhubwerk). Trotz LS läuft meistens das Gebläse weiter, das Hubwerk hebt aber nicht. Oder der Ölmotor läuft beim Anheben der EHR deutlich schneller, weil der Druck im System steigt.

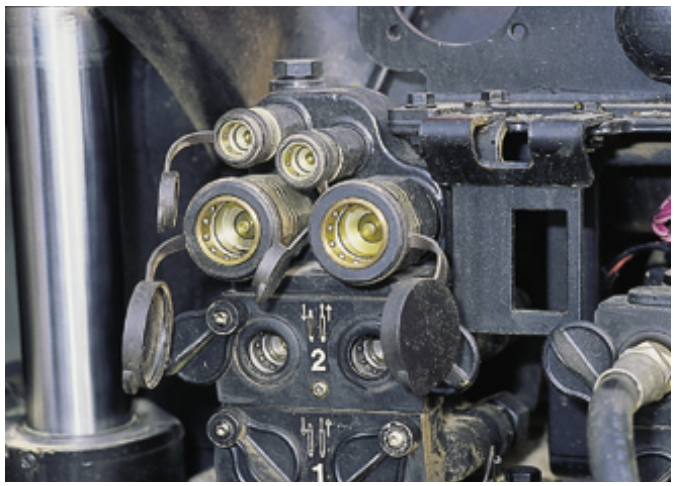
Die Lösung dafür ist ein Prioritäts-Steuerventil, dieses Steuergerät hat immer Vorrang vor den anderen (welches das ist, steht leider meistens nicht in der Betriebsanleitung des Schleppers). In unserem Beispiel wird der Ölmotor an dieses Steuergerät angeschlossen. Die im Steuergerät einbaute Druckwaage sorgt dafür, dass der Ölmotor

Übersicht: **Menge und Druck steuern Pumpe**



Bei der „echten“ LS-Hydraulik wird die Förderleistung der Axialkolbenpumpe aktiv über Steuerzylinder und Schwenkscheibe verstellt.

So sollte es nicht sein: Anschluss einer Umlaufhydraulik über einen doppelt wirkenden Anschluss.



Power-Beyond: Unten die beiden Anschlüsse für die Ölversorgung. Eine der oberen Kupplungen ist für die LS-Leitung belegt.

die notwendige Ölmenge bekommt. Der restliche Förderstrom steht dann z.B. für das Hubwerk zur Verfügung.

Auch an Ladewagen oder anderen Maschinen nutzen!

Werden angebaute Geräte direkt an den Schleppersteuergeräten angeschlossen, kann man die Vorteile des LS voll nutzen. Schwieriger wird es, wenn die Maschinen einen eigenen Hydraulik-Steuerblock haben. Gängig ist das z.B. bei den meisten Ladewagen, bei vielen Anhängespritzen, bei aufwändig ausgestatteten Güllefässern oder bei Press-Wickel-Kombinationen. Bei allen Maschinen werden stark schwankende Mengen angefordert. Beim Ladewagen z.B. kleine Mengen, wenn die Pickup aushebt und große Mengen für den Kratzbodenantrieb beim Entladen.

In der Praxis versorgt der Schlepper die Maschinen meistens über einen einfach wirkenden Hydraulikanschluss plus drucklosen Rücklauf. Das ist das Mindeste. Denn der Anschluss über ein doppelt wirkendes Steuergerät erwärmt noch stärker, speziell bei Steuergeräten mit einem Sperrblockventil im Rücklauf (das ist bei vielen modernen Steuergeräten der Fall).

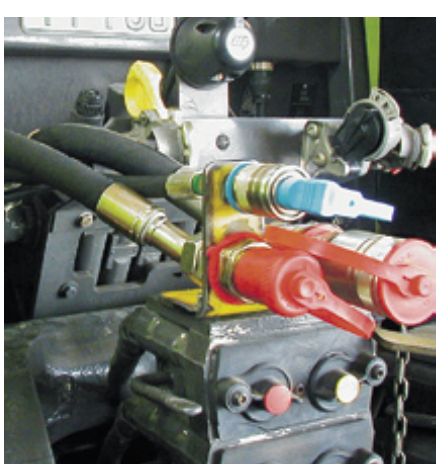
Beim Anschluss mit drucklosem Rücklauf läuft das Öl um, und die LS-Hydraulik fördert mit voller Leistung (wenn die Durchflussmenge nicht am Steuergerät reduziert wird). Sobald man jetzt eine Funktion am Ladewagen ausführt, muss wie bei einer „alten“ Konstantstromhydraulik das überschüssige Öl über ein DBV im Block des Ladewagens fließen: Wärme entsteht, Leistung geht verloren.

Die Vorteile der LS-Hydraulik verrauchen ungenutzt. Im schlimmsten Fall erwärmt sich das Öl sehr stark, wenn z.B. eine hydraulische Lenkachse bei Straßenfahrten aktiv ist, aber permanent nur kleine Ölmengen anfordert. Nicht selten kann es dadurch zu Schäden an der Schlepperhydraulik oder sogar dem Getriebe kommen.

Dabei sind die Steuerblöcke vieler moderner Maschinen heute schon in der Lage, die LS-Hydraulik des Schleppers anzusteuern. Dazu gibt es meist am Block Anschlussmöglichkeiten für die notwendigen Leitungen. Aber auch der Schlepper muss vorbereitet werden. Das Stichwort heißt „Power-Beyond“, was übersetzt so viel wie „mehr als Kraft“ heißt.

Unter dem Begriff werden drei Anschlüsse zusammengefasst: Eine Druckleitung zur Maschine (meist als „P“ gekennzeichnet), eine Rücklaufleitung („T“ oder „R“) und eine Meldeleitung („LS“ oder „X“). Die meisten Schlepper werden nicht direkt mit Power-Beyond-Anschlüssen geliefert. Doch bei den meisten modernen Maschinen ist eine Nachrüstung möglich. Dazu muss die Endplatte des Steuergeräteblocks Power-Beyond-fähig sein. Die Kosten für die Nachrüstung liegen zwischen 300 bis 500 €.

Wichtig sind besonders große Leitungsquerschnitte bei den beiden Leitungen „P“ und „T“ (meist 18 mm und mehr). Je größer der Querschnitt, desto geringer sind die Verluste. Natürlich müssen dazu auch die Steckergrößen passen. Während die meisten Zusatzsteuerventile mit Steckern der Größe 2 auskommen, sind bei den beiden Leitungen „P“ und „T“ die Standardgrößen 3 bzw. 4 sinnvoll. Damit nichts vertauscht wird, wählt man unterschiedliche Stecker, z.B. den Druckanschluss als „Vaterstück“ und den Rücklauf als „Mutterstück“. Bei der Meldeleitung sollte der Querschnitt extra klein sein (6 oder 8 mm, Kupplung Größe 1). Je kleiner der Querschnitt und je kürzer die Leitung, desto schneller kommen die Steuerimpulse vom Gerätesteuerblock in der Schlepperhydraulik an.



Mustergültig: Power-Beyond mit unterschiedlichen Kupplungen.

Was schief gehen kann

Wenn Geräte, die über Power-Beyond angeschlossen sind, nur verzögert reagieren, ist wahrscheinlich der Querschnitt der Steuerleitung zu groß. Der Meldedruck kommt also verzögert an. Eine andere Fehlerursache ist auch möglich: Der Steuerdruck im Block der angehängten Maschine wird nur teilweise freigegeben, die Ölförderung läuft auf halber Kraft. Wenn die Geräte nicht schnell genug arbeiten, kann auch der Niedrigbereitschaftsdruck am Schlepper falsch eingestellt sein. Die Fördermenge nimmt mit steigendem Druck ab. Mit einem Durchflussmengenmesser kann die Fachwerkstatt die Hydraulik wieder richtig justieren.

Der LS-Anschluss der Geräte ist ausgereift. Trotzdem kann es auch hier zu Störungen kommen. Zum Power-Beyond-Anschluss gehört ein so genanntes Meldewechselventil. Das Ventil sieht wie ein T-Stück aus und wird in die LS-Leitung eingebaut – was gerne falsch gemacht wird. Meist fällt dann die komplette Hydraulik aus, weil die Pumpe nicht fördert. Oder die externen Verbraucher laufen nicht an. Das Problem lässt sich aber ohne Schäden lösen, wenn das Ventil richtig eingebaut wird.

Vor allem steigt die Schmutzanfälligkeit des Systems. Denn anders als bei einem System mit einfachem drucklosem Rücklauf, gelangt Schmutz direkt in das Hydrauliksystem, ohne erst den Hydraulikfilter des Schleppers zu passieren (meist Rücklauffilter).

Schmutz ist deshalb die häufigste Störungsursache im LS-System. Meistens trifft es hier als erstes das Meldewechselventil am Power-Beyond. Sobald es nicht mehr sauber schaltet, wird die komplette Schlepperhydraulik gestört. Schmutz kann aber auch andere Meldewechselventile im System lahm legen, denn die Ventile sind auch vor den anderen Steuergeräten montiert. Dort treiben Störungen mitunter seltsame Blüten: So hebt die EHR erst, wenn ein bestimmtes Steuergerät bedient wird. Denn erst dann fördert die Pumpe Öl. Meist ist das Meldewechselventil des Steuergerätes defekt, das als einziges noch funktioniert.

Vor dem Kuppeln müssen also die Stecker peinlich sauber abgewischt werden. Theoretisch könnte man zwar einen druckfesten Leitungsfilter in die LS-Meldeleitung einbauen. Doch diese Filter sind relativ schwer zu bekommen. Außerdem verzögern sich dann die Steuerzeiten deutlich – und viele Vorteile des LS wären dahin.

Wir halten fest

■ LS gibt es heute schon in den unteren Leistungsbereichen. Vor allem Schlepper mit hohem hydraulischem Leistungsbedarf sollten damit ausgestattet werden. Das gilt auch für den Hof- und Pflegeschlepper mit Frontlader. Durch die hohe Förderleistung kann man damit deutlich schneller arbeiten. Schlepper, die überwiegend ziehen oder mit der Zapfwelle arbeiten, kommen auch ohne LS-Hydraulik klar.

■ Auch eine Konstantstrom-Hydraulik ist in der Lage, große Fördermengen abzuliefern. Weil die volle Leistung bei der normalen Arbeit nur selten abgerufen wird, produziert diese Hydraulik im Teillastbereich höhere Verluste.

■ Immer mehr angebaute oder angehängte Maschinen haben eine eigene Bordhydraulik. Durch einen LS-fähigen Steuerblock können die Maschinen bedarfsgerecht vom Schlepper mit Öl versorgt werden. Der Traktor muss dazu mit einem Power-Beyond-Anschluss ausgerüstet werden.

■ Der externe LS-Anschluss zwingt zu mehr Sauberkeit beim Kuppeln. Denn vor allem über die Meldeleitung gelangt Schmutz direkt in das System. Dieser Schmutz kann unter Umständen sogar die Steuerung der Axialkolbenpumpe stören, der Druck steigt dann unkontrolliert bis zum Bersten einer Leitung bzw. Totalschaden der Pumpe. G. Höner