

# Energieeinsparung in der Hydraulik



**In Zeiten der knapper werdenden Energieresourcen ist der Wettbewerb der Antriebstechniken auch dadurch gekennzeichnet, dass der verlustarme Energietransport als Wettbewerbsvorteil besondere Beachtung findet. Diese Aspekte diskutieren ausgewiesene Experten in dieser Gesprächsrunde. Die Gesprächsleitung hatte Dr.-Ing. Wolfgang Hahmann, Technisch-Wissenschaftlicher Beirat von O+P.**

Hydraulische Antriebe transportieren Energie von einem Primärenergiewandler zu einem Verbraucher. Dieser Transport erfolgt durch eine mit Druck beaufschlagte strömende Flüssigkeit. Geht ein Teil des Flüssigkeitsstromes auf diesem Weg verloren, oder büßt der Flüssigkeitsstrom einen Teil des aufgeprägten Druckes ein, dann geht ein Teil der zu transportierenden Energie verloren. Auch die Wandler für die Umsetzung zwischen Mechanik und Hydraulik arbeiten mit Verlusten.

Spricht man also von Energieeinsparung in der Hydraulik, dann ist damit vorrangig die Reduzierung der auftretenden Wandlungs- und Transportverluste im Hydraulikkreislauf gemeint. Natürlich kann man auch dadurch Energie einsparen, dass man hydraulische statt mechanischer oder elektrischer

Antriebe für die Energieübertragung einsetzt, beispielsweise bei einem Hydraulikbagger, durch dessen Entwicklung sein Vorläufer, der mechanisch arbeitende Seilzugbagger, abgelöst wurde.

Betrachtet man die auftretenden Hauptverlustquellen, dann sind dies

- die Wandler mit ihren hydraulisch-mechanischen und volumetrischen Verlusten (Pumpen, Motoren, Zylinder),
- die Strömungsverluste in den Leitungen,
- die Steuerungsverluste durch Anpassung von Volumenstrom und Druck an den Verbraucherbedarf,
- der Leistungsbedarf von Hilfseinrichtungen: Steuerkreisläufe, Speisekreisläufe, Stellanrichtungen, Nebenstrom- oder Hauptstrombelastung durch Filtration und Kühlung.

## Die Teilnehmer:

**Dr. Dirk Becher**, MOOG GmbH,  
71034 Böblingen

**Dipl.-Ing. Bernd Bodenstein**, Dieffenbacher GmbH & Co, 75031 Eppingen

**Dipl.-Ing. Thomas Fedde**, Institut für Landmaschinen und Fluidtechnik, TU Braunschweig, 38106 Braunschweig

**Prof. Dr.-Ing. Alfred Feuser**, Bosch Rexroth AG, 97816 Lohr am Main

**Prof. Dr.-Ing. Marcus Geimer**, Universität Karlsruhe (TH), Lehrstuhl für Mobile Arbeitsmaschinen, 76128 Karlsruhe

**Dipl.-Ing. (FH) Erich Girstenbrei**, AGCO GmbH, 87616 Marktoberdorf

**Prof. Dr.-Ing. Hans-Heinrich Harms**, Institut für Landmaschinen und Fluidtechnik, TU Braunschweig, 38106 Braunschweig

**Dipl.-Ing. Henrik Heinemann**, FUCHS EUROPE SCHMIERSTOFFE GMBH, 68169 Mannheim

**Prof. Dr.-Ing. Siegfried Helduser**, TU Dresden – Institut für Fluidtechnik, 01069 Dresden

**Dr.-Ing. Christoph Kempermann**, Linde AG, Linde Hydraulics, 63741 Aschaffenburg

**Dr. Gerhard Keuper**, Bosch Rexroth AG, 70442 Stuttgart

**Dr.-Ing. Markus G. Kliffken**, Bosch Rexroth AG, 89275 Elchingen

**Dipl.-Ing. Matthias Liermann**, IFAS der RWTH Aachen, 52074 Aachen

**Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hubertus Murrenhoff**, IFAS der RWTH Aachen, 52074 Aachen

**Dipl.-Ing. (grad.) Günther Nagel**, Voith Turbo GmbH & Co, 89522 Heidenheim

**Dipl.-Ing. Andreas Nocker**, HAWE Hydraulik GmbH & Co. KG, 81673 München

**Winfried Rüb**, Bucher Hydraulics GmbH, 79771 Klettgau

**Dipl.-Ing. Udo Steinbrecher-Tendick**, Parker Hannifin GmbH & Co. KG, 41564 Kaarst

**Dipl.-Ing. Peter-Michael Synek**, Fachverband Fluidtechnik im VDMA, 60498 Frankfurt/Main

**Dr. Edgar Weishaupt**, HYDAC Technology GmbH, 66280 Sulzbach



Univ. Prof. Dr.-Ing. Siegfried Helduser:  
„Die hydraulische Antriebs- und  
Steuerungstechnik hier in Europa ist  
leistungsfähiger als in Japan und den  
USA“



Dr.-Ing. Wolfgang Hahmann: „Mit  
Loadsensing wird in Zukunft noch  
Einiges in punkto Energieeinsparung zu  
holen sein“

Es ist auch möglich, dass vor oder nach dem hydraulischen Antrieb liegende energiedurchströmte Einheiten durch den hydraulischen Antrieb in ihrer Verusterzeugung positiv beeinflusst werden können, Beispiel: Motormanagement eines Dieselantriebs oder der Freikolbenmotor.

Auch muss man beachten, wieviel Energie im Standby-Betrieb, also ohne jede Energieabgabe an den Verbraucher zur Aufrechterhaltung der kurzfristigen Verfügbarkeit aufzubringen ist. Und so mancher Energieverlust wird trotzdem geduldet, weil andere Aspekte stärker im Vordergrund stehen: Geräusch, Dynamik, Anschaffungskosten. Last but not least: Auch die Flüssigkeitseigenschaften, an der Spitze: Dichte, Viskosität und Kompressibilität, haben Einfluss auf die Verluste.

### Frage 1

Wo stehen wir heute mit den Wirkungsgraden unserer Pumpen und Motoren?

### Dr. C. Kempermann:

Es ist gar nicht viel, was sich in den letzten 40 Jahren an singulären Wirkungsgradverbesserungen getan hat. Dafür ist die Leistungsdichte wesentlich größer geworden. Messungen aus den 60er Jahren liegen nicht weit weg von dem, was man an heutigen Einheiten sieht. Was sicherlich immer entscheidender geworden ist und immer größere Akzeptanz findet, ist das Wegblicken vom singulären Wirkungsgrad hin zu der zyklischen Betrachtung: Was passiert im Arbeitszyklus, und wie kann man das gesamte

System tatsächlich effizient fahren mit den Möglichkeiten der Hydraulik? Wir haben aber noch viele Möglichkeiten, ganzheitlich das System zu betrachten. Nichts desto Trotz nimmt man natürlich an den Einheiten weitere Verbesserungen vor, durch immer kompaktere Bauformen. Aber das sind nur kleine Schritte im Vergleich zu den 5 oder 10 % die man im gesamten System herausholen kann. Typischerweise liegen Axialkolbeneinheiten bestenfalls bei Gesamtwirkungsgraden zwischen 90 bis 95 %, je nach dem wie man sie betreibt.

### Dr. D. Becher:

In einem großen Bereich liegen wir mit Radialkolbenpumpen über 90 % im Gesamtwirkungsgrad, es gibt Betriebspunkte wo wir

### Die Fragen

**1.** Wo stehen wir heute mit den Gesamtwirkungsgraden unserer Pumpen, Motore und Zylinder? Welche Spitzenwerte sind bei den Standardgeräten von Zahnrad-, Flügelzellen-, Schraubenspindel-, Axial- und Radialkolben-Pumpen sowie -Motoren zu erreichen? Wie hoch ist der Leistungsbedarf der Stelleinrichtungen einzuschätzen? Welche hydraulisch-mechanischen Verluste sind bei einem Zylinderantrieb zu erwarten (Standard-Zylinder, Servozylinder)? Zylinder mit verstellbarer Kolbenfläche gibt es zwar nicht, aber kombiniert mit einem Hydrotransformator könnte man diesen Nachteil vielleicht ausgleichen. Wie ist der Stand bei der Entwicklung dieser Elemente?

**2.** Welches sind die heute von Ihnen benutzten Auslegungskriterien für die Bemessung von Rohrleitungen? Gibt es Lösungsansätze, die Drosselverluste in Blö-

cken und Ventilanschlussplatten durch fertigungstechnisch akzeptable Lösungen zu verringern?

**3.** Die größten Energieeinsparpotentiale dürften wohl in den Steuerungen zu finden sein, weil Pumpenförderströme zu großzügig und Drücke gegenüber dem Kraft- bzw. Momentenbedarf zu hoch ausgelegt sind. Konstantdruckquellen werden auch bei Kreisläufen mit mehreren parallel arbeitenden Verbrauchern gerne eingesetzt. Wie sieht heute die Praxis aus? Wie ist die Verbreitung von LS-Systemen und Verdrängersteuerung wie von Drehzahlregelung bei Pumpen und Sekundärregelung? Wer verwendet in der täglichen Praxis Auslegungsprogramme für die Projektierung von Antrieben, und wie ist darin das Auslegungsziel Energieeinsparung integriert? Gibt es leistungsverzweigte Getriebe für die Stückzahl 1?

**4.** Der Standby-Modus kommt immer wieder bei fast allen Antrieben vor. Bei Hydraulikantrieben laufen die Pumpen fast immer durch, obwohl der Verbraucher keine Energie abnimmt. Welche energiesparenden Konzepte kommen hier zum Einsatz?

**5.** Hilfsantriebe sind das notwendige Beiwerk, damit der Hauptantrieb optimal arbeiten kann. Aber sie sollten auch nicht unnötig viel Energie schlucken. Gibt es Lösungen zur Minimierung der erforderlichen Energie bei den Hilfsfunktionen, insbesondere im Standby-Modus des Hauptantriebes?

**6.** Welche anderen Ansätze und Möglichkeiten (neue Komponenten, Antriebskonzepte, Schaltungen) sehen Sie, um den Energiebedarf mit Hilfe der hydraulischen Antriebstechnik zu senken?



**Prof. Dr.-Ing. Hans-Heinrich Harms:** „Wir reden viel zu wenig davon, dass wir aus dem Dieselmotor, gerade im mobilen Bereich, eigentlich viel zu wenig heraus holen“



**Dipl.-Ing. Andreas Nocker:** „Die Hersteller sollten gemeinsame Vorgaben machen, welche Druckverluste akzeptabel sind und welche nicht“



**Dipl.-Ing. (grad.) Günther Nagel:** „Hat man dieselben Wirkungsgrade z. B. bei halber Leistung, ergeben sich natürlich auch nur die halben Leistungsverluste“

95 % auch erreichen. Es gibt aber auch Bereiche, wo wir systembedingt bei der Kolbenpumpe nicht ganz so gut sind. Das ist gerade der Teillastbereich mit hohen Drücken und bei geringem Volumenstrom.

### E. Girstenbri:

Die Frage ist aber auch, wie groß die Einsatzzeit einer Antriebseinheit ist. Bei einem hydrostatischen Getriebe hat der Wirkungsgrad sehr viel Bedeutung: Da spielt es dann doch eine Rolle, ob ich hier und da noch 1 % Verbesserung erreichen kann. Hier konnte man durch Maßnahmen an den Pumpen und Motoren, wie man z. B. am Weitwinkelmotor bzw. der -pumpe sieht, weitere Wirkungsgradsteigerungen erreichen.

### G. Nagel:

Durch die Axial- und Radialspaltkompensation kann man schon einiges erreichen. Wichtig sind nicht nur die maximalen Wirkungsgrade, die bei optimalen Betriebsbedingungen erreicht werden (Drehzahl, Druck, Viskosität), sondern es geht um den gesamten Betriebsbereich. Das gilt im übrigen nicht nur für Verstell-, sondern auch für Konstantpumpen. Ein gute Maßnahme ist eben diese Spaltkompensierung. Das Andere ist bei Innenzahnradpumpen: Die Ritzelwelle mit der kleinen Zähnezahl dreht mit Antriebsdrehzahl und das Hohlrad mit der größeren Zähnezahl dreht mit niedrigerer Drehzahl. Damit reduziert man die Planschverluste.

### W. Rüb:

Zur Innenzahnradpumpe: am Zahn haben wir Planschverluste, die verringert werden können. Durch neue Materialpaarungen können wir die Tribokontakte verbessern. Ich kann jedoch die Verluste nicht nur dadurch reduzieren, indem ich die Spalte be-

liebig klein mache, sondern auch dadurch, dass die Dichtungslinie größer gemacht wird. Hierbei nimmt man allerdings einen Nachteil durch eine weniger kompakte Bauweise in Kauf. Man macht also den Spagat zwischen zwei unterschiedlichen Optimierungszielen, der zu Kompromissen zwingt. Am Ende der Entwicklung sind wir hier sicher nicht.

### U. Steinbrecher-Tendick:

Durch Vermeidung der Planschverluste kann man eine Menge erreichen. Durch gezielte Maßnahmen in unseren Hydraulikmotoren haben wir in Anwendungen mit Drehzahlen von 8 000 bis 10 000  $\text{min}^{-1}$  in bestimmten Betriebspunkten eine Verbesserung des Gesamtwirkungsgrades von 3 % erzielt. Das zeigt, dass „interne Planschverluste“ schon ein Thema sein sollten. Bei den volumetrischen Wirkungsgraden sind wir in einer Zwickmühle: Wir brauchen auch etwas Lecköl in den Einheiten. Ob wir da noch Spiel haben, halte ich für fragwürdig.

### Prof. A. Feuser:

Wenn es nur nach der Technik ginge, würden wir den Hydrotransformator bereits heute haben. Der Nachteil, und somit die vornehmliche Aufgabenstellung, ist jedoch die Geräuschentwicklung. Es gibt noch diese neue Entwicklung „Floating Cup“. Das ist im Prinzip eine Doppelpumpe. Diese bietet die Voraussetzung, relativ einfach einen Transformator zu machen, als Verstellpumpe und Konstantmotor in einem Gehäuse. Hier ist die Entwicklung relativ weit fortgeschritten.

### Frage 2

Verluste in Leitungen, Blöcken und Anschlussplatten

### Prof. S. Helduser:

Leitungen und Steuerblöcke sind in der Vergangenheit aus Kostengründen gelegentlich stiefmütterlich behandelt worden. Man wollte Steuerblöcke möglichst kompakt bauen, dann wurden die Ventile eine Nenngröße kleiner und die Bohrungen etwas enger gemacht. Auch bei Rohrleitungen und -verschraubungen sparte man. Das hat zu erheblichen Druckverlusten geführt. Im Rahmen eines Forschungsprojekts haben wir entsprechende Untersuchungen an Maschinen mit hydraulischen Antrieben durchgeführt, die das auch zeigen konnten.

### Dr. E. Weishaupt:

Unsere Systeme werden schon differenziert betrachtet. Sicherlich spielen bei einer großen Zentraldruckversorgung die Strömungsverluste in Leitungen im Verhältnis zur installierten Leistung eine untergeordnete Rolle. Bei Anwendungen mit weit verzweigten Verbrauchern, zudem noch im Außenbereich, muss auf jeden Fall eine Untersuchung bezüglich Strömungsverlusten durchgeführt werden. Bei kleineren Rohrleitungsnennweiten wie z. B. in Werkzeugmaschinen wird dieses Thema ebenfalls mit entsprechenden Auslegungstools betrachtet. Speziell in kleinen Nennweitenbereich (6 bis 12 mm) sind die Druckverluste nicht zu vernachlässigen.

### B. Bodenstein:

Da immense Kosten in der Verrohrung stecken, minimieren wir die Leitungsquerschnitte: Was kann man sich an Druckverlusten erlauben? Wie hoch sind die benötigten Kräfte und Geschwindigkeiten an der Presse? Bei der Dimensionierung der Rohrleitungen richten wir uns nach den Empfehlungen der Lehrbücher. Bei Speicherantrieben lassen wir z. B. Strömungsgeschwin-



Dipl.-Ing. Henrik Heinemann: „Es gibt nachgewiesene gute Methoden, über die Verwendung verschiedener Öle eine Energieeinsparung in der Hydraulik zu erzielen“



Dr. Gerhard Keuper: „Mit Hilfe elektrischer Signalverarbeitung und elektrohydraulischen Stellgliedern im LS-System eröffnen sich Möglichkeiten, energetisch besser zu werden“



Dipl.-Ing. Thomas Fedde: „Für die Mobilhydraulik brauchen wir vor allem eine Verstellpumpe für den offenen Kreislauf unter dem mechatronischen Gesichtspunkt“

digkeiten von bis 14 m/s zu. Bei speziellen Anwendungen rechnen wir jedoch die Druckabfälle von der Versorgung bis zum Verbraucher auch genau nach.

### Dr. G. Keuper:

Bei der Auslegung von Komponenten, wie z. B. Ventilen, spielen die Druckverluste eine große Rolle. Natürlich hat man auch bei der Konstruktion der Komponente einen Kompromiss zu schließen zwischen kompakter Bauweise und hinreichend großen Querschnitten. Man versucht die Leitungsquerschnitte in solchen Komponenten sicherlich möglichst groß, krümmungsfrei und damit druckverlustarm auszulegen. Diese Auslegung harmoniert auch mit der Forderung, ein Ventil-Gussgehäuse möglichst fertigungsgerecht darzustellen.

### Dr. W. Hahmann:

Im Stationärbereich gibt es NG6-Ventile, die ohne weiteres für Durchflüsse bis 90 L/min zugelassen sind. Wird darauf aufsetzend NG 6 konsequent durchgezogen, ist das eine Überforderung mit sehr hohen Verlusten. Ist da die Norm auch ein Hinderungsgrund?

### Prof. A. Feuser:

Ich würde sagen, ja! Es geht um eine gewisse Sorgfalt bei der Auslegung, mit der wir sicher 10 % und mehr Leistungsverlust vermeiden können. Da ist Potenzial in Ventilen aber vor allem bei der Projektierung von Steuerblöcken und Rohrleitungen.

### E. Girstenbrei:

An Kupplungsstellen haben wir das Problem, dass die Kupplungen bei einem Schlepper ursprünglich auf einen Durchfluss von 50 L/min ausgelegt wurden. Die Leistungen sind heute jedoch deutlich ge-

stiegen, wir sind inzwischen bei 80 bis 100 L/min. Das heißt, dass diese Schnittstelle nicht mehr passt.

### Prof. H.-H. Harms:

Wir haben rund 90 % Wirkungsgrad an der Pumpe, 90 % am Motor, und ca. 90 % auch in der Anlage, dann sind das rund 73 % maximaler Wirkungsgrad insgesamt. Ein Dieselmotor hat nur einen Wirkungsgrad von 38 bis 40 %. In der Hydraulik unterhalten wir uns über 90 % und mehr an den Komponenten. Wir reden viel zu wenig davon, dass wir aus dem Dieselmotor, gerade im mobilen Bereich, eigentlich viel zu wenig heraus holen. Da wäre viel mehr zu holen!

### Dr. M. Geimer:

Wir müssen Systeme entwickeln, die es uns erlauben, aus den ungünstigen Bereichen des Dieselmotors (z. B. Leerlauf) zukommen. Denn die meiste Leistung geht am Dieselmotor verloren. Der Wirkungsgrad beginnt eigentlich am Einfüllstutzen des Tanks. Das heißt, der Landwirt merkt am Abend, wie viel Diesel er nachfüllen muss, und was er letztendlich verbraucht hat. Das ist die entscheidende Größe für den Wirkungsgrad.

### Prof. H. Murrenhoff:

Wir bearbeiten ein Projekt des Forschungsfonds, in dem wir den gesamten Antriebsstrang betrachten. Dabei kann man die einzelnen Komponenten des Antriebsstranges im Wirkungsgradverhalten zunächst einzeln darstellen, danach zusammenfügen und im System unter Zugrundelegung eines bestimmten Arbeitszykluses berechnen. Dieses gesamte System beinhaltet auch den Dieselmotor. Ich kann ein System also hinsichtlich des Wirkungsgrades optimieren, oder aber in bestimmten Bereichen auch hinsichtlich Geräusch oder Bedienungskomfort.

## Frage 3

Energieeinsparung durch Steuerungen

### T. Fedde:

In der Mobilhydraulik hat sich das Load sensing (LS) als energieoptimale Technik durchgesetzt, bei allen noch vorhandenen Schwierigkeiten. 30 bar Regeldruckdifferenz bei 200 bar Nenndruck sind keine Seltenheit. Hier ist noch Optimierungspotenzial vorhanden, indem man die hydraulische Signalübertragung eliminiert und eine direkte Verstellung der Pumpe anstrebt. Dann arbeitet das System nur noch mit dem Ventilverlust, der für die Einstellung des gewünschten Volumenstroms benötigt wird. Wenn wir diese elektrische Verstellung der Pumpe und Ventile erreichen, haben wir auch die Möglichkeit, den Betrieb des Hydrauliksystems an den Verbraucher zu adaptieren. Das Ziel ist, dass die Maschine sich an die jeweiligen Bedingungen anpassen kann. Hiermit steht in Aussicht, die Regeldruckdifferenz auf unter 10 bar zu begrenzen, sie wird so nur noch am Ventil für die Volumenstromregelung benötigt. Auf diesem Weg können die systembedingten Druckverluste minimiert und die Stabilität des Hydrauliksystems erhöht werden.

### Prof. S. Helduser:

Im Rahmen eines Forschungsprojektes haben wir neue LS-Systeme untersucht. Man muss dahin kommen, rein theoretisch gar keine Regeldruckdifferenz zu haben. Das ist offensichtlich die vernünftigste Lösung. Man könnte das durch elektrische Sensoren erreichen, indem man die Signale aus dem System zurückführt und die Pumpe dann entsprechend ausschwenkt. Ganz verlustfrei wird auch das nicht arbeiten, aber von den genannten 30 bar Druckdifferenz wird man doch meilenweit entfernt sein.



Uni.-Prof. Dr.-Ing. Hubertus Murrenhoff: „In einem Projekt des Forschungsfonds Fluidtechnik betrachten wir den gesamten Antriebsstrang“



Dipl.-Ing. Peter-Michael Synek: „Neben den technischen Lösungen muss verstärkt auch das Umfeld für Mensch und Umwelt betrachtet werden“



Prof. Dr.-Ing. Marcus Geimer: „Die Hydraulik sollte vor allem das Thema Brennstoffzelle nicht verschlafen, hier bietet sich die Möglichkeit, Energie zurück zu gewinnen“

**W. Rüb:**

Hat man eine große Maschine, kann man verschiedene Verbraucher zusammenfassen, die ähnliche Volumenströme und Drücke brauchen. Die Anwender machen das auch, deshalb ich denke, dass das LS-System noch lange nicht am Ende ist, was die Energieeinsparung betrifft.

**Prof. S. Helduser:**

Wenn man mehrere Verbraucher gruppiert und mit verschiedenen Pumpen versorgt, also Mehrpumpensysteme aufbaut, steckt weiteres Potenzial drin. Die Ideen, die man heute verfolgt, sowohl in der Forschung als auch in der Praxis, gehen in die Richtung, die Druckdifferenz an dem am höchsten belasteten Verbraucher gegen Null zu bringen. Es sind dafür Lösungen vorgeschlagen worden, die auf Druckaufnehmer verzichten. Das muss sich in ähnlicher Weise auf die Stationärhydraulik übertragen lassen.

**H. Heinemann:**

Wir haben unterschieden zwischen Mobil- und Stationärhydraulik, aber ein Punkt trifft für alle zu, egal ob Baumaschinen- oder Industriekunde: der Wunsch nach möglichst kostengünstiger Umsetzung der eingesetzten Energie. Da spielt die Blackbox erstmal keine Rolle, den Endkunden interessiert nur das Ergebnis. Und das soll einerseits effektiv und andererseits günstig sein. Unsere Aufgabe muss es sein, die einzelnen Komponenten so auf einander abzustimmen, dass das erreicht wird. Das Signalmanagement ist da ein wichtiger Punkt.

**P.-M. Synek:**

Neben technischen Kriterien müssen, mit Blick auf die EU-Richtlinien und deren Umsetzung, zunehmend Anforderungen hinsichtlich der Sicherheit von Personen und

Ergonomiethemen beachtet werden. Am ILF der TU Braunschweig unter Leitung von Prof. Harms wurde ein Projekt „Baggermanagement“ durchgeführt. Es konnte unter anderem nachgewiesen werden, dass durch eine entsprechend den Anforderungen vorgenommene Veränderung der Drehzahl des Dieselmotors eine messbare Energieeinsparung erzielt werden kann. Die Veränderung der Frequenzen wird aber vom Maschinenbediener als störend empfunden, so dass für die Praxis über geeignete Sekundärmaßnahmen im Sinne Geräuschreduzierung nachzudenken ist.

**Frage 4**

Energieeinsparung auch im Standby-Modus

**G. Nagel:**

Mir hat in der Diskussion bisher gefehlt, dass man sagt, ich muss zuerst die Antriebsleistung minimieren. Wenn man dieselben Wirkungsgrade bei z. B halber Leistung hat, dann ergeben sich natürlich auch nur die halben Leistungsverluste. Wir versuchen auch bei den drehzahlgeregelten Antrieben, den Antrieb zunächst so zu gestalten, dass wir mit der kleinsten Antriebsleistung auskommen. Das geht in der Regel in Richtung kleinere Pumpen, höhere Drehzahl.

**Dr. M. Kliffken:**

Es gibt ein Fahrzeug, bei dem sind quasi alle zuvor genannten Ansätze schon heute realisiert – das Flugzeug. Es besitzt sowohl konstante als auch variable Druckversorgung. Darin finden wir Prinzipien von der Ventilsteuerung bis zur Sekundärregelung. Auch wurden elektrische und hydraulische Prinzipien gemischt. Und genau dieses Fahrzeug wird über Betriebskosten kalkuliert.

Weiter wurde sehr gewissenhaft betrachtet, unter welchen Betriebsfällen, welche Leistung tatsächlich benötigt wird, um die installierte Leistung zu minimieren. Übertragen möchte ich damit sagen, wir können nicht nur die technischen Möglichkeiten nutzen, sondern müssen uns ebenfalls intensiv Gedanken über die Ausnutzung der installierten Leistung machen.

**Dr. C. Kempermann:**

Wir hatten schon über Loadensing gesprochen. Dies war ein Ansatz, die Systeme einfacher zu machen. Man kam ursprünglich vom Mehrpumpensystem und hat versucht, dies mit einer Pumpe zu erledigen, und musste deshalb mehr Aufwand in der Ventiltechnik betreiben. Wir können die Leistung meistens relativ effizient in den Zylinder hineinbringen. Danach wird die Energie einfach in den Tank abgedrosselt. Es gibt Rekuperationssysteme, die nicht ausgereift sind, aber durchaus aufzeigen, dass man z. B. die installierte Leistung auf Baggern deutlich reduzieren kann, wenn man mehr Massen hin und her schiebt, statt einfach diese Energien wegzudrosseln.

**Dr. M. Geimer:**

Es gibt viele Zeitanteile, in denen der Bagger unter Vollast betrieben wird, also mit voller Leistung arbeitet. Aber dies ist nicht immer der Fall. Es gibt durchaus Arbeiten, bei denen ich mit reduzierter Leistung arbeiten kann. Transportarbeiten sind eine solche Tätigkeit und es gibt viele andere Beispiele. Heute gibt es schon Ansätze, z. B. über Mode-Stufen, die Leistung zu reduzieren und Kraftstoff zu sparen. Man sollte in diesem Rahmen auch überlegen, weitere Maßnahmen zu ergreifen. Kurzfristiges variieren der Drehzahl des Motors ist nicht die einzige Maßnahme. Man kann auch über längerfristige Perioden blicken, bzw. vor-



**Prof. Dr.-Ing. Alfred Feuser:** „Wir müssen Antriebstechnikstrukturen entwickeln, die prinzipbedingt bessere Wirkungsgrade haben“



**Dr. Edgar Weishaupt:** „Speziell in kleinen Nennweitenbereich, z. B. von 6 bis 12 mm, sind die Druckverluste nicht zu vernachlässigen“



**Dr.-Ing. Markus G. Kliffken:** „Wir müssen uns ebenfalls intensiv Gedanken über die Ausnutzung der installierten Leistung machen“

ausschauend. Der Bagger sollte „verstehen“ wann Transportarbeiten gemacht werden oder wann mit Volllast gebaggert wird und den Fahrer entsprechend beim Energiemanagement unterstützen.

### **Dr. E. Weishaupt:**

Wenn ich eine Großhydraulikanlage betrachte, wird dort in keinem Falle eine Konstantpumpe gegen ein Druckbegrenzungsventil fördern. Dort werden meist druckge-regelte Pumpen eingesetzt. Wenn wir zusätzlich den Prozess kennen, dann sehen wir schon genau hin: z. B. ob man einen Bereich hat, in dem ein großer Volumenstrom über einen entsprechenden Zeitraum benötigt wird. In diesem Falle scheidet eine Speicherlösung dann aus! Folglich muss eine entsprechend höhere Pumpenmenge installiert werden. Auf der anderen Seite ist man aber schon so schlau, dass man diese, in Zeiträumen, in denen sie nicht gebraucht wird, in diskreten Stufen zurückschaltet.

### **B. Bodenstein:**

Noch ein Beispiel aus der Stationärhydraulik: Zur Füllung der Speicher setzen wir statt einer großen mehrere kleine Pumpen ein. Die Anzahl der Pumpen bestimmt sich in der Regel nach der kürzesten Zykluszeit. Wenn die Maschine längere Zykluszeiten fahren soll, wählt die Steuerung eine entsprechende Anzahl der Pumpen ab. So ist dann auch wirklich eine Reduzierung der Energie im Standby-Betrieb möglich.

### **Prof. H. Murrenhoff:**

Schon vor etwa 25 Jahren, als ich meine Dissertation schrieb, haben wir am IFAS mit der Firma Linde einen Bagger ausgerüstet. Der Drehkranz wurde intermittierend hin und her bewegt, er hat also beim Abbremsen die Energie in den Speicher zurückge-

führt und beim Beschleunigen diesem wieder entnommen. Und woran ist die Umsetzung damals gescheitert? Am Speicher! Der muss regelmäßig vom TÜV abgenommen werden. Der Bagger sollte aber in die ganze Welt verkauft werden, diesen erhöhten Aufwand akzeptierte der Kunde nicht. Folglich hat sich die Innovation nicht durchgesetzt.

### **Prof. A. Feuser:**

Die Fluidtechnik ist leider zu spät mit diesem Thema beschäftigt. Der MAN-Bus ist zunächst mit Sekundärregelung ausgeführt worden. Dann kam ein mechanisches Schwungrad. Und mittlerweile ist das 20 Jahre her! Es hat dann niemanden mehr interessiert. Jetzt für den Moment oder für die nähere Zukunft werden die Themen wieder aufgegriffen. Die Fluidtechnik ist gut beraten, sich mit dem Thema wieder zu beschäftigen, denn ich sehe immer noch Möglichkeiten und Chancen für die Einführung dieser Systeme, vor allem bei den mobilen Arbeitsgeräten. Konstantdrucksysteme und Hydrotransformatoren in Verbindung mit dem Freikolbenmotor haben eindeutig Vorteile gegenüber dem drehenden Diesel. Diese Konzeption sollten wir von der Fluidtechnik her unterstützen. Denn wir müssen versuchen, von der Antriebsseite bis zum Verbraucher eine durchgängige Lösung herzustellen. Und das sowohl mobil wie auch in der stationären Antriebstechnik.

### **Prof. S. Helduser:**

Vielleicht noch ein Wort zur Energierückgewinnung. Bei einigen Kunststoff-Spritzgießmaschinen gibt es Hersteller, die einen E-Motor mit geringerer Eckleistung installieren als die Hydraulik benötigt. Leistungsspitzen deckt ein Schwungrad am Motor ab. Es wird in der hydraulischen Systemtechnik also gelegentlich gemacht, aber es sind Einzelfälle. Zu den elektrischen Vorschuban-

trieben: Die Elektromechanik propagiert verstärkt den elektrischen Linearantrieb. Sie hat auch den getriebelosen Linearantrieb entdeckt: Das modernste System ist nicht mehr der Drehstrommotor mit Kugellrollspindel, sondern der elektrische Linearantrieb. Man überlegt sogar den Einsatz in Kunststoff-Spritzgießmaschinen. Das Problem dieser Systeme ist nur, dass die Kraftdichte eines solchen elektrischen Linearantriebs einem Bar entspricht. Darüber muss man sich im Klaren sein. Ein Hydrauliksystem mit einer solchen Energiedichte würde wohl niemand akzeptieren.

### **B. Bodenstein:**

Rückgewinnung ist für uns ein Thema, besonders bei langhubigen Pressen. Im oberen Umkehrpunkt des Pressenstößels ist relativ viel Öl im Rückstellzylinder der Presse mit einem entsprechendem Druck vorgespannt. Zur Nutzung dieser potentiellen Energie setzen wir auf störungsunanfällige Technik: Kolbenspeicher mit Cartridgeventilsteuern. Damit kann diese Energie zumindestens teilweise „rückgewonnen“ werden, um sie bestimmten Antrieben wieder zu zuführen. Dadurch erreichen wir eine Verringerung der installierten Leistung um bis zu 50 %.

### **Prof. H.-H. Harms:**

Zum Thema Energierückgewinnung kann man auf die Konzepte einiger Baggerhersteller zurückgehen. Hier sind oft mehrere Pumpen auf einer Welle angeordnet. Die Hersteller behaupten, man kann mit diesem System Energie zurückgewinnen. Der Nachteil ist, dass man zum gleichen Zeitpunkt an anderer Stelle diese Energie z. B. zum Ausheben benötigen muss, um tatsächlich eine Energierückgewinnung zu realisieren. Eine Rückgewinnung der Energie ist ansonsten nur erreichbar, wenn man



Dipl.-Ing. Udo Steinbrecher-Tendick: „Durch die Vermeidung von Planschverlusten kann man eine Menge erreichen“



Dipl.-Ing. Matthias Liermann ist Mitarbeiter am IFAS der RWTH Aachen



Winfried Rüb: „Man kann verschiedene Verbraucher zu Verbraucherklassen zusammenfassen, die ähnliche Volumenströme und Drücke benötigen“

sie zwischenspeichert. Wenn man also einen Einsatzfall findet, bei dem man z. B. die Bremsenergie zum gleichen Zeitpunkt anderweitig nutzen kann, dann kann das interessant sein.

**Prof. H. Murrenhoff:**

Im Grund sind diejenigen Systeme nicht zu schlagen, die ich abschalten kann, die im Standby-Modus überhaupt keine elektrische Leistung aufnehmen. Ich denke da an innovative Konzepte wie z. B. die IPC von Voith.

**G. Nagel:**

Das System mit Pumpe im Motor ist nicht ganz unbekannt. Neu ist, dass es sich um eine integrierte Innenzahnradpumpe handelt. Das Aggregat ist primär für eine geringe Geräuschabstrahlung entwickelt worden; es ist bei gleichen Betriebsbedingungen ungefähr 12 dB(A) leiser als ein herkömmliches. Der zweite Vorteil ist, dass das Aggregat nur den halben Bauraum benötigt. Und was Sie ansprechen kommt dann zum Tragen, wenn die Drehzahlregelung eingesetzt wird. Ich kann diesen Elektromotor mit Frequenzumrichter ansteuern und die Fördermengen genau dem Lastzyklus anpassen. Wenn keine Energie benötigt wird, kann der Antrieb abgeschaltet werden.

**Prof. S. Helduser:**

In den letzten Jahren hat man in der Hydraulik erhebliche Fortschritte bei der Energieeinsparung erzielt. Man muss sich darüber im Klaren sein, dass in Japan 70 % der Spritzgießmaschinen elektromechanisch angetrieben sind und in den USA inzwischen 50 %. Nur in Europa halten wir die Stellung: Hier sind es weniger als 10 %. Das liegt nicht nur an der Energieeffizienz. Es

gibt sicherlich auch andere Faktoren. Aber ich glaube, dass die hydraulische Antriebs- und Steuerungstechnik hier in Europa leistungsfähiger ist als in Japan und den USA.

**Frage 5**

Energieverbrauch der Hilfsantriebe

**U. Steinbrecher-Tendick:**

Im Bereich der gesamten Anlagen versuchen wir mehr und mehr Konzepte zu entwickeln, die unterschiedliche Hydrauliksysteme kombiniert und gleichzeitig die Anzahl der Pumpen in diesem System minimiert. Weiterhin versuchen wir die Pumpen so an die Anwendungen anzupassen, dass möglichst viele Funktionen durch den Einsatz einer Pumpe abgedeckt werden kann. Dies erreichen wir auch durch den Einsatz entsprechender Sonderventile.

**E. Girstenbren:**

Der größte Energiespareffekt wäre ohne Speisepumpe möglich, sprich direkt anzusaugen, wie es teilweise in der Arbeitshydraulik getan wird. Hier wäre der Anspruch an die Pumpen, mehr Saugunterdruck zuzulassen und an eine entsprechende Rohrleitungsgestaltung. Im Kühlkreislauf kann man durch Einsatz von Thermostatventilen, die bei niedriger Öltemperatur in den Kurzschluss schalten, möglichst kurze Umlaufwege erhalten.

**Dr. C. Kempermann:**

Eine wichtige Aufgabe der Speisepumpe ist, die Menge für die Kühlung bereitzustellen. Die Austauschmenge, die aus dem Hydrosstat herausgeht ist das, was man zur Verfügung hat um die Leistung aus dem Hydrosstaten heraus zu ziehen. Wenn man also die einzelnen Komponenten und das System

vom Wirkungsgrad her verbessern kann, heißt das automatisch, dass man auch die Menge der Speisepumpe reduzieren kann.

**H. Heinemann:**

Für uns geht es um die Problematik Schaum-, Luftabscheidevermögen. Im Bereich der Mobilhydraulik aber auch Stationärhydraulik haben wir Standard-HLP-Öle, deren Qualität in großen Bereichen identisch ist. Wir haben allerdings festgestellt, dass wir mit Standardqualitäten oft gar nicht mehr klar kommen, weil das Luftabscheidevermögen zu gering ist und wir kaum noch Zeit finden, dass das Öl sich rein von der Temperatur mal erholen kann. Mit den Standard-Ölen sind wir sicher in 80 bis 90 % der Fälle noch relativ gut angesehen, aber in 10 bis 20 % der Fälle kommt man heutzutage ohne Mehrbereichsöle, synthetische Komponenten oder sehr hoch additivierten Mineralölen nicht mehr klar.

**E. Girstenbren:**

Wir haben in der Vergangenheit Einbereichsmotorenöle eingesetzt, setzen aber mittlerweile auch Mehrbereichsöle ein, sprich 10W40. Das ist sicherlich ein Thema, wobei uns bisher keine größeren Probleme in diesem Zusammenhang bekannt sind. Thema Scheerfestigkeit ist sicher kein so großes Thema in der Arbeitshydraulik. Luftabscheidevermögen ist vielleicht ein Thema, das man an manchen Stellen gar nicht als solches erkannt ist. Aber ich muss sagen, wir kommen soweit mit den Mehrbereichsölen zurecht, mir sind keine größeren Probleme bekannt.

**Frage 6**

Neue Komponenten und Konzepte



**Dr. Dirk Becher:** „Wir müssen noch einiges in Richtung Reibungsreduzierung machen – Stichwort: Beschichtung und neue Triebwerkskonzepte“



**Dipl.-Ing. Bernd Bodenstein:** „Bei der Dimensionierung der Rohrleitungen richten wir uns nach den Empfehlungen der Lehrbücher“

### A. Nocker:

Was meiner Meinung nach nicht zur Sprache kam, sind erstens das eigene Know-how der betrachteten Anwendung und zweitens die nötigen Informationen vom Anwender. Je genauer das definiert werden kann, was ich letztendlich mit diesem System machen will, das ja gefertigt werden soll, um so genauer und um so strenger kann ich rechnen und auslegen.

### Dr. M. Kliffken:

In Anlehnung an die Bauteile der Elektrotechnik denke ich an neue aktive hydraulische Komponenten: Die Freikolbenmaschine auf der Seite der Energieerzeugung und den Hydrotransformator auf der Lastseite. Eine weitere Frage für die Forschung könnte sein: Wie sieht ein hydrostatischer Transistor aus?

### Prof. A. Feuser:

In der Mobiltechnik sehe ich für den Freikolbenmotor Möglichkeiten, mit gewissen Modifizierungen. Im stationären Sektor müssen wir von der Elektromechanik lernen. Das ist banal aber wichtig, denn die Steuerungstechnikentwicklung müssen wir mitmachen. Die Hydraulik muss mehr nach draußen, muss sich mehr mit der Steuerungstechnik beschäftigen. Der Hinweis für die Antriebstechnik ist, mehr über die Verstellpumpe zu arbeiten, wo es von der Bewegung her geht. Zum einen also Drosselung vermeiden, zum anderen sollte man bei der Ventilentwicklung die Löcher größer machen, um die Druckverluste weiter zu reduzieren. Die Dynamik sollte außerdem verbessert werden, wo ich über das Ventil das Regelkreisverhalten beeinflussen kann. Das Ziel ist, die Steifigkeit des Regelkreises zu erhöhen, um so der Elektromechanik dynamisch gleichwertig zu sein. Vor allem bei

dynamisch wirkenden Gegenkräften („dynamische Laststeife“) sind noch Unterschiede vorhanden. In der Stationärhydraulik spielt die Regelungstechnik eine große Rolle, weil die Hydraulik stark nichtlinear ist. Stichwort Adaption. In der Mobilhydraulik haben wir den Freikolbenmotor, Potential außerdem über die Verstellpumpe/Verstellmotor, die Trennung zwischen Arbeits- und Fahrhydraulik. Bei der Arbeitshydraulik ist der Zylinder die wesentliche Größe, die die Leistung liefert, bei der Fahrhydraulik ist es halt der Motor.

### Dr. D. Becher:

Wir müssen noch Einiges in Richtung Reibungsreduzierung machen. Stichwort: Beschichtung und neue Triebwerkskonzepte. Beim Floating-Cup-Prinzip gibt es praktisch keine Querkräfte mehr auf die Kolben. Das bietet den Vorteil, dass die Reibung wesentlich reduziert ist und deshalb die Spalte kleiner gemacht werden können. Das müsste Vorteile für die Verdränger gerade im Teillastbereich bieten. Mein zweiter Punkt wäre, die Verdrängersteuerung mehr einzusetzen, wo es möglich ist. Wir sind bei den Pumpen schon recht schnell, was die Dynamik angeht. Von der Systemseite wäre es natürlich schön, wenn sich der Hydrotransformator durchsetzen würde.

### E. Girstenbri:

Es ist sehr wichtig, das Gesamtsystem unter Berücksichtigung der Randbedingungen zu sehen und das Thema Motormanagement, Traktormanagement mit einzubeziehen. Was vielleicht noch nicht angesprochen wurde, ist das Thema Kühlung/Lüfter. Lüfterleistung ist ja auch zusätzliche Verlustleistung. Hier haben wir die Möglichkeit, über entsprechende Steuerungen zu optimieren. Insgesamt ist es wichtig durch entsprechende intelligente Steuerungen, Elek-

tronik und Sensorik die hydraulischen System so zu optimieren, dass die Druckverluste möglichst gering gehalten werden können.

### Dr. C. Kempermann:

Über das genannte hinaus fällt mir noch ein Stichwort ein, über das wir heute morgen noch nicht geredet haben: Leistungszweigte Getriebe, Stufenlose Getriebe auf Fahrzeugen, die bisher gestuft fahren, sei es über rein mechanische Getriebe oder über Kombination mit Hydrostatik. Ich denke, da ist noch viel zu holen, nicht nur im Mobilbereich sondern auch in anderen Anwendungen.

### T. Fedde:

Ich glaube, für die Mobilhydraulik brauchen wir vor allem eine Verstellpumpe für den offenen Kreislauf unter dem mechatronischen Gesichtspunkt. Wie in der Industriehydraulik brauchen wir in der Mobilhydraulik eine Verstellpumpe, der wir einen Druck bzw. einen Volumenstrom per Datenbus abverlangen können. Dann können wir uns mit elektrisch ansteuerbaren Ventilen vom Loadensing lösen und einen wirklichen Schritt in Richtung besserer Effizienz machen.

### Dr. E. Weishaupt:

Wir haben heute viele Ansätze gehört, ich möchte sie nicht nochmals alle aufzählen. Für mich besteht die Herausforderung darin, die bekannten Konzepte zur Energieeinsparung schnell in industrielle Lösungen umzusetzen und somit den Wettbewerbsvorteil der Hydraulik zu sichern. Ich hoffe, dass wir vieles davon in Anlagen und in Systemen wiederfinden werden.





Dipl.-Ing. (FH) Erich Girstenbrei: „Es ist sehr wichtig, das Gesamtsystem unter Berücksichtigung der Randbedingungen zu sehen“



Dr.-Ing. Christoph Kempermann: „In den letzten 40 Jahren hat sich an singulären Wirkungsgradverbesserungen gar nicht viel getan“

**H. Heinemann:**

Ich möchte für das Thema Öl, das immer wieder stiefmütterlich behandelt wird, an dieser Stelle eine Lanze brechen. Es gibt nachgewiesene gute Methoden, über die Verwendung verschiedener Öle eine Energieeinsparung in diesem Bereich der Hydraulik zu erzielen. Das geht über die Wahl verschiedener Viskositäten, wo man dann wieder diskutieren kann, ob man den volumetrischen Wirkungsgrad erhöht, indem man die Viskosität erhöht. Vorhin kam wieder das Thema Reibungsreduzierung. Ein wichtiger Part spielt bei der Reibung sicherlich das Öl. Hier haben wir die Möglichkeit, Reibung durch Wahl verschiedener Öle zu reduzieren.

**Prof. H.-H. Harms:**

Wir beschäftigen uns seit vielen Jahren mit leistungsverzweigten Getrieben und dem Motormanagement bei Traktoren usw. - ich denke, dass ist die Tendenz, an die wir in Zukunft denken müssen. Damals war es bei Weitem nicht so relevant, in diese Richtung zu gehen, weil es den elektrisch verstellbaren Dieselmotor nicht gab. Die Abgasgesetzgebung wird ihn in der Zukunft mehr oder weniger vorschreiben. Die Gesamtbetrachtung vom Dieselmotor bis zum Antrieb wird mit Sicherheit immer interessanter.

**Dr. M. Geimer:**

Erstens: die Reduzierung der Druckdifferenz in LS-Systemen. Gerade bei Mehrverbraucher-Systemen habe ich hier prinzipbedingte Verluste. Der Hydrotransformator kann eine Lösung bieten, um die prinzipbedingten Verluste zu reduzieren. Zweitens: die Energierückgewinnung. Die Hydraulik sollte vor allem das Thema Brennstoffzelle nicht verschlafen. Hier bietet sich die Möglichkeit, Energie, ohne eine weitere Spei-

chermöglichkeit zu benötigen, zurück zu gewinnen.

**Prof. A. Feuser:**

Ich möchte zunächst einmal eine Lanze brechen für die Hydraulik. Ich glaube, es gibt wenige Antriebstechniken, wo sich so viele Gedanken gemacht werden um Energieeinsparung, um energetisch günstige Systeme. Wir sollten durchaus die Wirkungsgrade von Verdrängereinheiten nach wie vor anschauen. Im Mobilbereich denke ich, dass der drehzahlveränderbare Dieselmotor tatsächlich ein Potenzial auf tun kann, besonders hinsichtlich der Systemtechnik, wenn die nachfolgende Hydraulik leistungsoptimiert ist und eine intelligente Mikroelektronik die Bewegungen, die Arbeitsabläufe und den Energiebedarf optimal „abstimmt“. Wie das im Einzelnen aussieht, da muss man sicherlich noch dran arbeiten. Was die Stationärhydraulik angeht: Wir haben über die Hilfsantriebe diskutiert. Und ich glaube, dass gerade die Hilfsantriebe noch ein ganz wichtiger Punkt sind, die man beachten muss, um energetisch günstige Systeme zu bauen. Grundsätzlich gilt in allen Bereichen, Drosselstellen möglichst vermeiden, Mikroelektronik zum „Ausbügeln“ von nichtlinearem Verhalten offensiv einsetzen, Energierückgewinnung technisch vorsehen, wo es möglich ist.

**Prof. H. Murrenhoff:**

Ich denke, es ist alles gesagt worden, was in Bezug auf Energieeinsparung relevant ist. Ich werde für mich etwas daraus mitnehmen, und zwar eine Anforderung. Wir müssen als Hochschule ein System bereitstellen, wo jemand, der unbedarft ist, durchgeführt werden kann. Dieses System sollte den Entwickler begleiten und ihn bei den Schritten, die er zu einem energieoptimalen

System zu gehen hat, begleiten. So ein Projekt wird von Matthias Liermann, Mitarbeiter am IFAS, bearbeitet. Hier kann in der Zukunft vielleicht ein Tool entstehen, das möglicherweise auf das Projekt „Expertensystem Servohydraulik“ aufbauen kann.

**P.-M. Synek:**

Die konstruktive Auslegung von Maschinen und Anlagen wird zunehmend durch Anforderungen europäischer Richtlinien und deren Umsetzung in Form von EN-Normen „reglementiert“. Beispiele hierfür sind die Maschinenrichtlinie, die EMV-Richtlinie, die Druckgeräte-Richtlinie, die Richtlinie über umweltbelastende Geräuschemissionen von zur Verwendung im Freien vorgesehenen Geräten und Maschinen Life-cycle-Betrachtungen und Recycleanforderung und Verbote bestimmter Stoffe, wie z. B. Chrom6, stehen zunehmend im Fokus der Richtlinienrecherchen. Viele Themen, über die heute diskutiert wurde, sind vom Forschungsfonds Fluidtechnik im VDMA in Form von Forschungsvorhaben aufgegriffen worden: Vergleich von Antriebssystemen für Kunststoffspritzgießmaschinen, Keramik-Metall-Verbundsysteme, Untersuchung der Einsatzmöglichkeiten von Keramik in der Fluidtechnik, laserstrukturierte Oberflächen und Diagnosemöglichkeiten hydraulischer Systeme, um nur einige zu nennen. Hinweisen möchte ich noch auf das Verbundprojekt „Untersuchung und Weiterentwicklung von Antriebsstrangkonzzepten mobiler Arbeitsmaschinen“. Das Teilprojekt „Dieselmotor“, das Herr Prof. Geimer, Stiftungslehrstuhl für Mobile Arbeitsmaschinen der Universität Karlsruhe, zur Zeit aufplant, soll in das vorgenannte Verbundprojekt integriert werden.

# Resümee

Energieeinsparung ist ein Thema, mit dem sich alle, von der Hydraulik herstellenden Industrie über den hydraulische Antriebstechnik einsetzenden Maschinenhersteller bis zum Maschinenbetreiber, beschäftigen. Das zeigte auch das rege Interesse aller Beteiligten an diesem Gespräch. Gehen wir in die Details:

- Bei dem Gesamtwirkungsgrad eines hydraulischen Energiewandlers (Pumpe, Motor) interessiert weniger der Spitzenwert für den optimalen Betriebspunkt als vielmehr die Fähigkeit eines guten Wirkungsgrad in einem weiten Betriebsbereich, also auch in Teillastbereichen wie niedrigem Druck in Kombination mit hohem Volumenstrom bzw. bei hohem Druck und niedrigem Volumenstrom. Da geht es um Tribokontakte bei niedrigen und Planschverluste bei hohen Drehzahlen, um kompensierbare Leckspalte und deren Geometrie.
- Der Leistungsbedarf einer Stelleinrichtung mit vier bis fünf Prozent kann ein sehr positiver Beitrag zur Energieeinsparung sein, wenn dadurch in der Form einer Verdrängersteuerung die meist wesentlich höheren Verluste einer Drosselsteuerung vermieden werden können.

## Steuerungen bieten die meisten Ansätze zur Energieeinsparung

- Der Hydrotransformator als wesentliches Bindeglied, um den Zylinder aus einem Konstantdrucknetz effizient zu versorgen, hat noch Entwicklungsbedarf auf der Geräuschseite. Aber hier liegt ein Teil einer künftigen Energieeinsparmöglichkeit.
- Anwendungsspezifische Lösungsansätze werden zur Reduzierung der Drosselverluste in Rohrleitungen und Blöcken benötigt, denn es geht um Kosten: Materialkosten beim Hersteller gegen Energiekosten beim Endanwender. Stationäre Anlagen mit hohen Volumenströmen können oft besser prozessorientiert projektiert werden, als mobile, deren Lastkollektive sich je nach Einsatzfall sehr unterscheiden können. Aber, so wurde verdeutlicht, die Forderung nach krümmungsfreien großen Leitungsquerschnitten harmonisiert auch mit der fertigungsgerechten Gestaltung von Gussventilgehäusen: Man erhält einen stabilen Gusskern, gerade Leitungen und gute Entsandbarkeit. Auch einmal getroffene

Festlegungen, wenn sie im Anwendungsbereich gut eingeführt sind, können Hindernisse darstellen, z.B. die Kupplungsstellen am Traktor, die früher einmal für 50 L/min Durchfluss eingerichtet wurden, heute aber bis 100 L/min genutzt werden, oder im Stationärbereich die NG-6-Wegeventile, deren Fähigkeiten bezüglich Druck und Durchfluss bei Höherverketungen kaum voll ausschöpfbar sind.

- Die Steuerungen bieten die meisten Ansätze zur Energieeinsparung. Der Ansatz Load-Sensing hat sehr unterschiedliche Ausprägungen erfahren. Nebenwirkungen wie Schwingungsanfälligkeit und/oder hohe Regeldruckdifferenzen, aber auch die Frage nach dem Aufwand für die Differenzdruckregelung haben dazu beigetragen. Durch den verstärkten Einsatz elektrisch betätigter Ventile bietet es sich an, auch die Pumpe direkt anzusteuern und den am stärksten mit Druck beaufschlagten Verbraucher drosselfrei anzusteuern. Dann wird dieser Verbraucher verlustarm wie in einer Verdrängersteuerung betrieben. Mehrpumpensysteme kommen der Anpassung des Leistungsbedarfs ebenso entgegen wie in Druckstufen aufgeteilte Mehrfachspeichersysteme.
- Der Standby-Modus wird nur in wenigen Fällen zum Abschalten von Pumpen genutzt. Drehzahlreduzierung auf Leerlauf ist beim Diesel leicht machbar, in der Stationärhydraulik mit E-Motoren noch sehr selten. Dafür gibt es Beispiele für die Anpassung des Leistungsbedarfs bei Großanlagen, indem nur so viele Pumpen eingeschaltet sind, wie zur Deckung des Bedarfs erforderlich.
- Die Rekuperation, die Rückgewinnung von Energie aus dem Kreislauf ist ebenso noch wenig genutzt jedoch ein Erfolg versprechender Weg zur Energieersparnis. Dieser Weg kann sowohl bei kinetischer als auch potentieller im System gespeicherter Energie beschritten werden. Allerdings, so muss man festhalten, sind viele dieser erfolgreich erprobten Energiesparlösungen schon seit Jahren bekannt (Drehwerksantrieb des Baggers mit Sekundärregelung, Busse im Stadtverkehr mit Gyro- oder Hydraulikspeicher), kamen aber aus mangelndem Energie-Kostendruck nicht über das Erprobungsstadium hinaus zur Stückzahl-Realisierung.
- Auf Hilfsantriebe kann man nicht verzichten, aber, das zeigte die Diskussion, sie werden als Mehrzweckwaffe genutzt. Die Speisepumpe versorgt nicht nur den geschlossenen Kreislauf sondern auch für die Kühlung, Schmierung, Komforthyd-

raulik oder für eine selten benutzte Funktion wie das Ausfahren von Stützzylindern. Die Diskussion über die Speisepumpe führte zum Tank, seinem betriebsnotwendigen Volumen und zu seinem Inhalt, dem Öl, das ebenso Beiträge zur Energieeinsparung leisten kann. Insbesondere in den mobilen Maschinen mit ihrem oftmals sehr großen Temperaturbereich kann man durch Einsatz eines Mehrbereichsöles bei tiefen Temperaturen die viskose Reibung wie auch Füllungsverluste im Saugbereich vermindern, bei hohen Temperaturen die internen Leckverluste reduzieren.

## Hilfsantriebe werden als Mehrzweckwaffe genutzt

- Eine bessere Ausnutzung der eingesetzten Energie fordern, mehr oder weniger laut artikuliert, alle Maschinenbetreiber. Die Fähigkeit dazu ist in der hydraulischen Antriebstechnik gegeben. Auch sind schon viele Anläufe zur Realisierung unternommen worden. Wie bei vielen Entwicklungen ist es von Bedeutung, zum richtigen Zeitpunkt mit der nachgefragten Lösung auf dem Markt präsent zu sein. Life-Cycle-Cost oder Total Cost of Ownership (TCO) sowie Energy Saving sind die zur Zeit von der Automobilindustrie hinterfragten Aussagen zu Produkten der Werkzeugmaschinen-Industrie. Solche Fragen werden in Zukunft verstärkt gestellt, und die Hydraulik-Industrie tut gut daran passende Antworten parat zu haben.

## Downloaden

Dieser Beitrag stellt die komprimierte Fassung des O+P-Gesprächs mit seinen wichtigsten Aussagen dar. Das komplette Gespräch können Interessenten von der O+P-Homepage unter [www.industrie-service.de](http://www.industrie-service.de) als pdf-Datei downloaden.