



7. LuK Kolloquium

11./12. April 2002



Herausgeber: LuK GmbH & Co.
Industriestrasse 3 • D -77815 Bühl/Baden
Telefon +49 (0) 7223 / 941 - 0 • Telefax +49 (0) 7223 / 2 69 50
Internet: www.LuK.de

Redaktion: Ralf Stopp, Christa Siefert

Layout: Vera Westermann

Druck: Konkordia GmbH, Bühl
Das Medienunternehmen

Printed in Germany

**Nachdruck, auch auszugsweise, ohne
Genehmigung des Herausgebers untersagt.**

Vorwort

Innovationen bestimmen unsere Zukunft. Experten sagen voraus, dass sich in den Bereichen Antrieb, Elektronik und Sicherheit von Fahrzeugen in den nächsten 15 Jahren mehr verändern wird als in den 50 Jahren zuvor. Diese Innovationsdynamik stellt Hersteller und Zulieferer vor immer neue Herausforderungen und wird unsere mobile Welt entscheidend verändern.

LuK stellt sich diesen Herausforderungen. Mit einer Vielzahl von Visionen und Entwicklungsleistungen stellen unsere Ingenieure einmal mehr ihre Innovationskraft unter Beweis.

Der vorliegende Band fasst die Vorträge des 7. LuK Kolloquiums zusammen und stellt unsere Sicht der technischen Entwicklungen dar.

Wir freuen uns auf einen interessanten Dialog mit Ihnen.



Bühl, im April 2002

A handwritten signature in black ink that reads "Helmut Beier". The script is cursive and fluid.

Helmut Beier

Vorsitzender
der Geschäftsführung LuK Gruppe

Inhalt

1	ZMS – nichts Neues?	5
2	Der Drehmomentwandler	15
3	Kupplungsausrückssysteme	27
4	Der Interne Kurbelwellendämpfer (ICD)	41
5	Neueste Ergebnisse der CVT-Entwicklung	51
6	Wirkungsgradoptimiertes CVT-Anpresssystem	61
7	Das 500 Nm CVT	75
8	Das Kurbel-CVT	89
9	Bedarfsorientiert ansteuerbare Pumpen	99
10	Die temperaturgeregelte Schmierölpumpe spart Sprit	113
11	Der CO2 Kompressor	123
12	Komponenten und Module für Getriebebeschaltungen	135
13	Die XSG Familie	145
14	Neue Chancen für die Kupplung?	161
15	Elektromechanische Aktorik	173
16	Denken in Systemen – Software von LuK	185
17	Das Parallel-Schalt-Getriebe PSG	199
18	Kleiner Startergenerator – große Wirkung	213
19	Codegenerierung contra Manufaktur	227

Die temperaturgeregelte Schmierölpumpe spart Sprit

Heiko Schulz-Andres
Dirk Kamarys

Einleitung

Die Reduzierung des Kraftstoffverbrauches bei Fahrzeugen wird auch in Zukunft ein zentraler Entwicklungsschwerpunkt in der Kfz-Industrie sein. Neben der Entwicklung von neuen Technologien (z. B. Direkteinspritzung) kommt der Optimierung von bestehenden Komponenten eine zunehmende Bedeutung zu. Hier sind nennenswerte Einsparpotenziale zu realisieren, ohne die immensen Kosten, die neue Systeme verursachen können. Das Schlagwort hierbei heißt „bedarfsorientierte Nebenaggregate“.

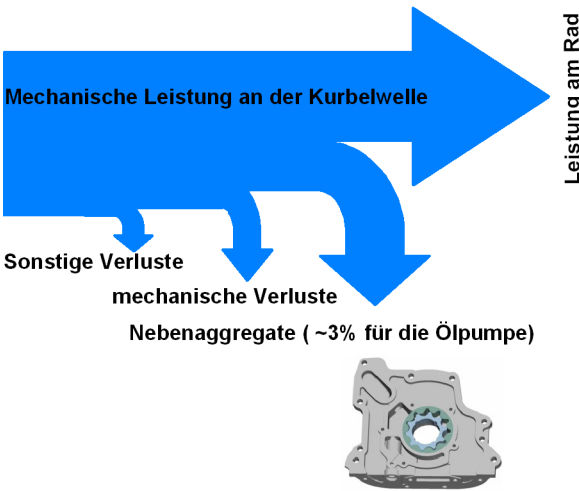


Bild 1: Energiebilanz im NEFZ

In Bild 1 ist die Energiebilanz eines Mittelklassefahrzeuges im neuen europäischen Fahrzyklus (NEFZ) dargestellt. Dass die Nebenaggregate den zweitgrößten Verbrauchsanteil haben, ist angesichts der Anzahl der angebundenen Verbraucher nachvollziehbar [6]. Auffallend ist jedoch der hohe Anteil der Ölpumpe mit bis zu 3% der mechanischen Leistung. Die Vermutung liegt nahe, dass eine Anpassung der Ölpumpe an den Bedarf zu einer Reduzierung der Verlustleistung führt. LuK hat sich dieser Aufgabe angenommen und stellt mit dem vorliegenden Beitrag eine Ölpumpen-Neuentwicklung vor, die zu beachtlichen Verbrauchseinsparungen führen wird.

Grundlagen

Die Ölpumpe ist ein wichtiger Bestandteil des Motors. Ein Ausfall der Pumpe führt innerhalb kürzester Zeit zum Versagen des kompletten Motoraggregates.

Die Ölpumpe hat drei Aufgaben zu bewältigen:

- **Schmierung**
An allen Lagerstellen muss ein ausreichender Schmierfilm sichergestellt werden. Dies betrifft insbesondere die hoch belasteten Kurbelwellen- und Pleuellagerstellen.
- **Kühlung**
Die anfallende Wärme muss abgeführt werden. Dies betrifft die Reibungswärme in den Lagerstellen ebenso wie das, durch den Verbrennungsprozess erwärmte Öl im Bereich der Kolbschmierung.
- **Steuerung**
Im Motor sind verschiedene hydraulische Stellelemente, wie Hydrostößel, Nockenwellenversteller etc. Diese Verstellelemente werden von der Motorsteuerung aus betätigt. Der hierfür notwendige Druck ist von der Ölpumpe bereitzustellen.

Zusammenfassend ist die Hauptaufgabe der Ölpumpe, die Bereitstellung eines notwendigen Druckes [1], [2].

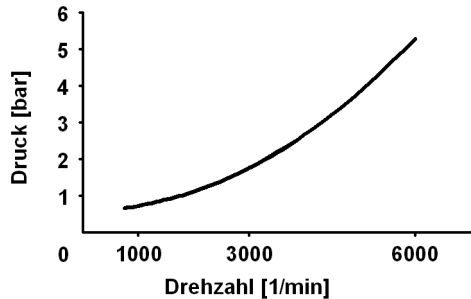


Bild 2: Öldruckbedarf des Motors

In Bild 2 ist der Öldruckbedarf des Motors über der Motordrehzahl dargestellt. Dieser Öldruckanstieg ist notwendig, um den erforderlichen Schmierfilm an den einzelnen Lagerstellen zu gewährleisten.

Hydraulisch gesehen ist der Ölkreislauf des Motors eine Kombination aus Drosseln und Spalten, die für die Pumpenauslegung durch eine Ersatzdrossel ersetzt werden können. Hiermit lässt sich der zum Druckaufbau benötigte Volumenstrom berechnen.

Weiterhin ist allgemein bekannt, dass die Viskosität von Ölen mit zunehmender Temperatur stark abfällt. Die Konsequenz daraus ist eine entsprechende Vergrößerung des notwendigen Volumenstromes bei ansteigender Temperatur, um den Aufbau des benötigten Druckes zu ermöglichen.

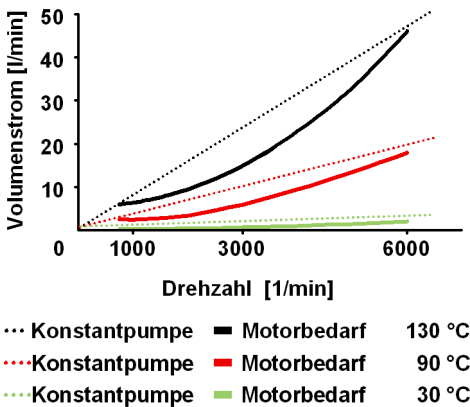


Bild 3: Temperaturabhängiger Volumenstrombedarf

Bild 3 zeigt den so hergeleiteten Volumenstrombedarf des Motors für verschiedene Temperaturen. Neben der Drehzahlabhängigkeit ergibt sich eine starke Zunahme des erforderlichen Volumenstroms mit zunehmender Temperatur. Bei einer Konstantpumpe steigt der Volumenstrom linear mit der Drehzahl an. Für eine konstante Temperatur ergibt sich also eine gute Annäherung an den Bedarf.

Gesucht wird deshalb zusätzlich eine geeignete Temperaturregelung.

Die Auslegung der heute in Serie eingesetzten Konstantpumpen ist in Bild 4 dargestellt. Maßgeblich für die Pumpenauslegung ist der sogenannte Heißleerlauf. Hierbei handelt es

sich um den Betriebspunkt mit der höchsten Öltemperatur im Leerlauf. Dieser Zustand wird in der Regel nur bei Fahrten mit hohem Leistungsbedarf und niedrigen Geschwindigkeiten erreicht (z. B. Bergfahrten mit Anhänger). Wenn der Motor nach einer solchen Belastung anschließend im Leerlauf betrieben wird, stellt sich der genannte Heißleerlauf ein. In diesem Betriebspunkt ist jetzt noch der Mindestdruck zur Versorgung der Lagerstellen und der Steuerstellen zu gewährleisten. Dieser beträgt im Allgemeinen 0,7 - 0,8 bar. Bei höheren Drehzahlen ist die ausreichende Versorgung durch die Konstantpumpe dann immer gewährleistet.

Im Allgemeinen wird der Motor jedoch bei Öltemperaturen bis 90 °C betrieben. Dies führt zu einem ungewollten Ansteigen des Öl-drucks, der durch das Druckbegrenzungsventil abgeregelt wird. Dadurch wird ein großer Teil der Ölmenge nutzlos im Umlauf gefördert. Diese Verlustleistung wird um so größer, je niedriger die Motortemperatur ist.

Normalerweise werden viele Fahrzeuge im Kurzstreckenbetrieb eingesetzt. Die Betriebstemperatur wird selten erreicht. Um diesem Vorgang gerecht zu werden, wird der neue europäische Fahrzyklus NEFZ kalt gestartet. Der Motor erwärmt sich dann im Laufe des Zyklus auf die Betriebstemperatur.

Bild 5 zeigt den Anstieg der Öltemperatur über der Betriebszeit des NEFZ. Da dieser Zyklus zum einen die Realität sehr gut abbildet und zum anderen auch zu Vergleichszwecken herangezogen wird, ist es sinnvoll, neue Konzepte für die Ölschmierung im NEFZ zu bewerten.

Bild 6 zeigt den Unterschied in der Leistungsaufnahme zwischen einer Serienpumpe und der Leistung, die sich aus dem eigentlichen Ölbedarf im NEFZ für eine optimale Pumpe ergeben würde. Es ist zu erkennen, dass eine temperaturangepasste Reduzierung des Volumenstromes den Leistungsbedarf der Ölpumpe deutlich reduzieren könnte.

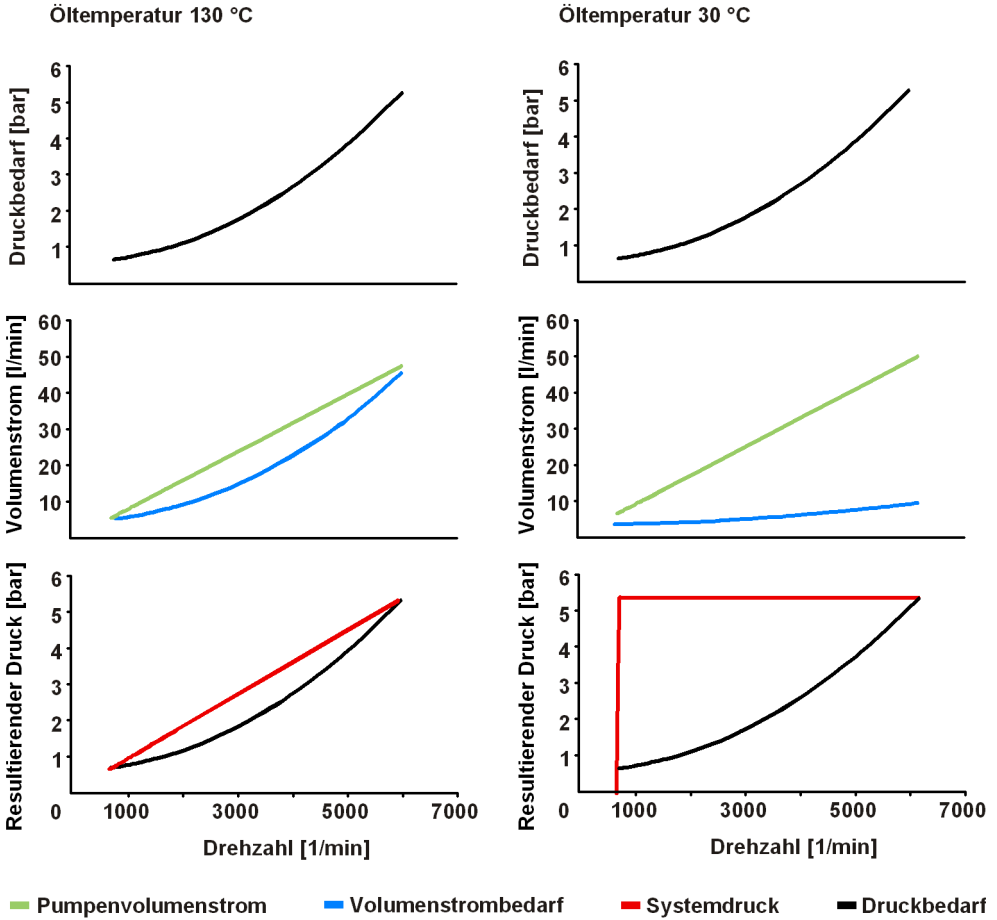


Bild 4: Auslegung einer Konstantpumpe

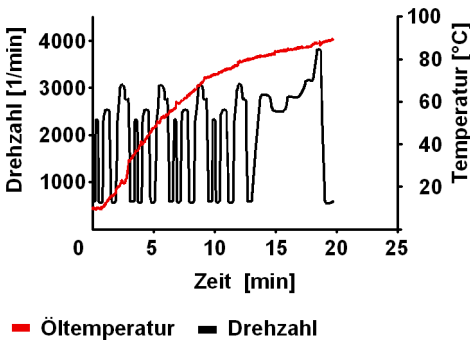


Bild 5: Erwärmung des Motoröls während des NEFZ

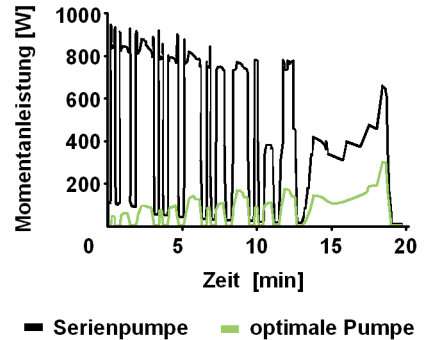


Bild 6: Leistungsaufnahme im NEFZ

Lösungsansätze

Um einen Volumenstrom in Abhängigkeit von der Temperatur verändern zu können, gibt es prinzipiell zwei verschiedene Lösungswege. Entweder wird die Drehzahl oder das Fördervolumen der Pumpe in Abhängigkeit der Temperatur geregelt (Bild 7).

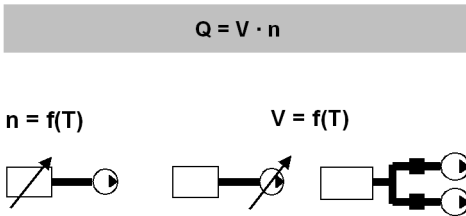


Bild 7: Verstellprinzipien

Variable Drehzahl

Um eine Konstantpumpe mit einer variablen Drehzahl zu betreiben, bieten sich sogenannte Power-Packs, also elektrisch angetriebene Pumpen, an.

Der Vorteil dieses Konzeptes ist, dass die Pumpe z. B. kennfeldgesteuert im optimalen Betriebspunkt betrieben werden kann. Hierbei ist es möglich, den notwendigen Druck bereits vor dem Start zur Verfügung zu stellen, um damit den Verschleiß der Lagerstellen in der Startphase zu vermeiden. Die Pumpe könnte bei eventuell zusätzlichem Druckbedarf über die Regelung entsprechend reagieren.

Die genannten Vorteile werden jedoch durch den Wirkungsgrad der elektrischen Antriebskette, die nun zusätzlich zu berücksichtigen ist, zum Teil wieder aufgehoben. Ebenso ist der benötigte Bauraum deutlich größer als bei den heutigen, vom Motor direkt angetriebenen Ausführungen. Als besonders gravierend sind jedoch die Zusatzkosten für die elektrische Maschine und die Elektronik zu nennen. Auch das Thema Betriebssicherheit ist hierbei als kritisch einzustufen, da ein Ausfall des Elektromotors einen Totalschaden des Verbrennungsmotors zur Folge hat.

Variabes Fördervolumen

Ein weiterer Lösungsansatz ist die Veränderung des Fördervolumens in Abhängigkeit der Temperatur. Verstellpumpen gibt es in den unterschiedlichsten Ausführungen (Bild 7 Mitte).

Aufgrund ihres Aufbaus sind Flügelzellenpumpen prädestiniert für eine variable Verstellung des Fördervolumens. Bei einer einhubigen Flügelzellenpumpe führt die Variation der Rotorexzentrizität direkt zu einer Veränderung des Fördervolumens ohne aufwändige und komplizierte Bauteile. Gute Wirkungsgrade und niedrige Pulsation sind als weitere Vorteile zu nennen [4].

Eine Serienanwendung im Bereich der Getriebepumpen ist in Bild 8 dargestellt. Hierbei handelt es sich um eine einhubige Flügelzellenpumpe mit Druckregelung. Im Bild ist der federvorgespannte Hubring zu erkennen, der durch den Steuerdruck um den Drehpunkt im Gehäuse verdreht wird und somit das Hubvolumen verstellt [3].

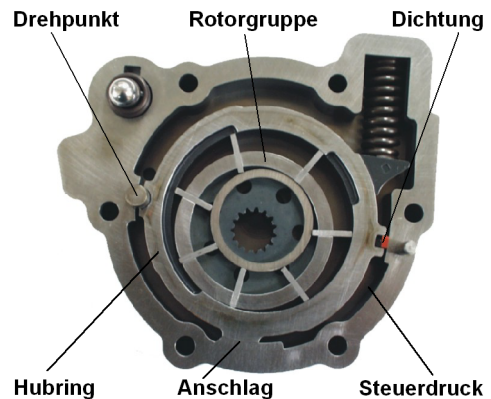


Bild 8: Verstellpumpe

Bei kontinuierlicher Verstellung wird eine sehr gute Annäherung an den vorhandenen Druckbedarf erreicht, was einen geringen Leistungsbedarf zur Folge hat. Aufgrund der mechanischen Anbindung entspricht die Betriebssicherheit der einer Standardpumpe. Nachteile der dargestellten Lösung sind der größere Bauraumbedarf, die höheren Kosten für die Verstelleinheit und der schlech-

tere Wirkungsgrad aufgrund der größeren Reibradien der einhubigen Ausführung.

Schaltpumpen

Anstatt einer variablen Verstellung des Fördervolumens kann die Pumpe auch gestuft ausgeführt werden (Bild 7 rechts). Hierbei ist die zweiflutige Schaltpumpe die einfachste Ausführung. Bild 9 zeigt das Prinzip dieser Pumpe.

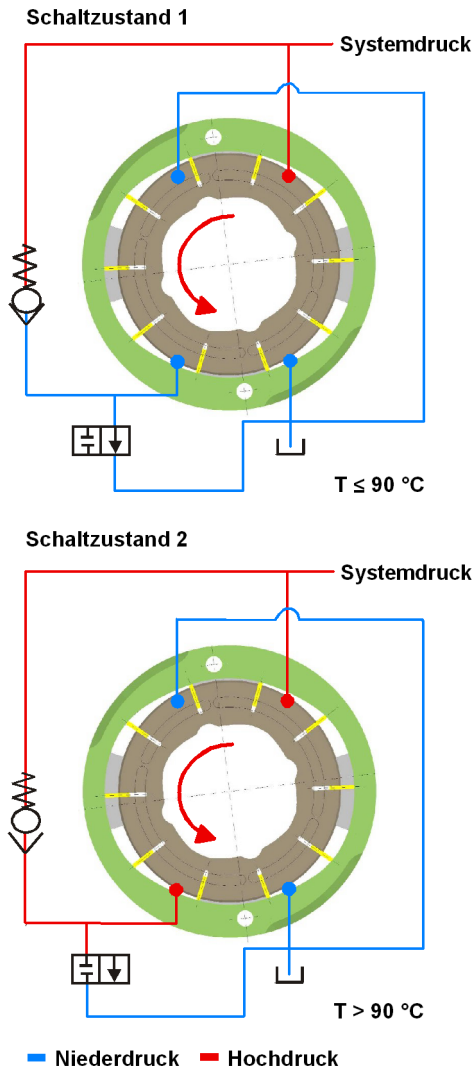


Bild 9: Prinzip einer Schaltpumpe

Es handelt sich um eine doppelhubige Flügelzellenpumpe, bei der die Ausgänge getrennt werden können, sodass sich zwei Fluten ergeben. Diese elegante, bauraumsparende Lösung ist nur mit diesem Pumpentyp möglich.

Unterhalb der Schalttemperatur wird eine der beiden Fluten in den Umlauf zum Saugkanal geschaltet (Schaltzustand 1). Erst nach dem Schalten des Ventils wird auch der Volumenstrom der zweiten Flut dem Systemdruck zugeführt (Schaltzustand 2). Aufgrund der Motorauslegung bietet es sich an, die Pumpe so auszulegen, dass im normalen Fahrbetrieb ($T_{\text{Öl}} \leq 90^\circ\text{C}$) nur eine Flut fördert. Der Vorteil dieses Prinzips ist eine kompakte Pumpe, welche durch kleine Reibradien auch geringe Schleppmomente aufweist.

Der einfache Aufbau führt zu den geringsten Herstellkosten der vorgestellten Konzepte. Durch die direkte Anbindung an den Motor ist die Betriebssicherheit gewährleistet. Nachteilig ist die noch eingeschränkt vorhandene Überdimensionierung der Pumpe bei niedrigen Temperaturen, weshalb die Annäherung an den Druckbedarf dort nicht ideal erfüllt wird. Die Überdimensionierung ist jedoch deutlich kleiner als bei der bisherigen Konstantpumpe, so dass die noch verbleibende Verlustleistung sehr gering ist. Zur Verdeutlichung ist in Bild 10 die Veränderung des Fördervolumens über der Zykluszeit aufgetragen. Es ist zu erkennen, dass nur im ersten Drittel des Zyklus ein deutlicher Unterschied zwischen der Schaltpumpe und einer optimalen Verstellpumpe vorliegt.

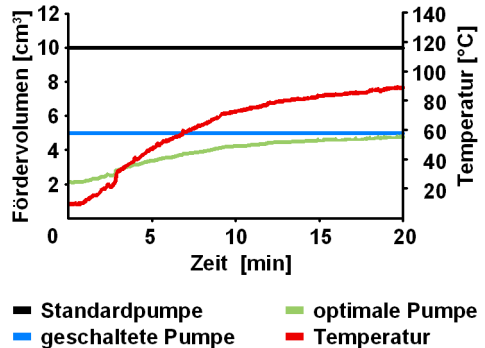


Bild 10: Fördervolumen im NEFZ

Dagegen ist der Unterschied zur Serienpumpe sehr deutlich. Die Auslegung der Schaltpumpe (Schaltpunkt und Volumenaufteilung 50:50) ist dem Alltagsbetrieb angepasst. Eine Optimierung nur für den NEFZ hätte eine andere Auslegung zur Folge.

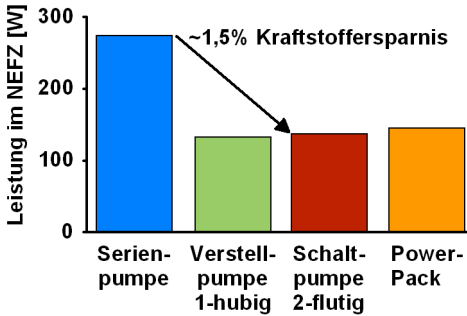


Bild 11: Leistungsbedarf im NEFZ

Lösungsprinzip	Variabler E-Motor	Variabler Hub	Schaltpumpe
Annäherung an den Druckbedarf	😊	😊	😞
Leistungsbedarf	😊	😊	😊
Betriebssicherheit	😞	😊	😊
Bauraum	😡	😞	😊
Kosten	😡	😞	😊

Bild 12: Bewertung der Konzepte

Zur Bewertung der analysierten Konzepte wurde der Leistungsbedarf im NEFZ mit Hilfe eines Simulationsmodells ermittelt. Die Ergebnisse sind in Bild 11 dargestellt. Der Leistungsbedarf liegt für alle Konzepte deutlich

unter der heutigen Serienpumpe. Bei einem Mittelklassefahrzeug mit einem Leistungsbedarf von 10 kW im NEFZ entspricht diese Reduzierung einer Kraftstoffeinsparung von ca. 1,5%.

Die Zusammenfassung der Konzeptbewertung ist in Bild 12 zu sehen.

Für die konstruktive Umsetzung wurde das Konzept ausgewählt, welches das beste Verhältnis von Aufwand zu Nutzen hat. Die größten Realisierungschancen bezüglich einer schnellen Serieneinführung waren ebenfalls ausschlaggebend. Aufgrund der Bewertung und der positiven Versuche mit Schalt pumpen wurde das Konzept der 2-flutigen Schaltpumpe für die Umsetzung ausgewählt.

Konstruktive Umsetzung der Schaltpumpe

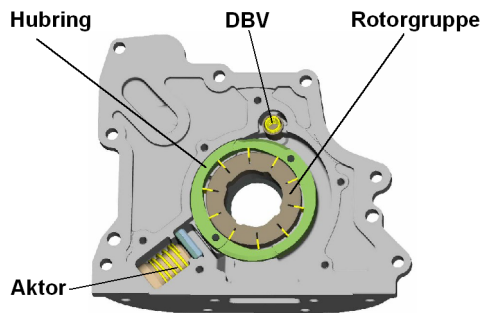


Bild 13: Pumpenausführung

Bild 13 zeigt die Integration der Schaltpumpe in ein Serienölpumpengehäuse, hier ausgeführt als Wellenhalspumpe. Die Pumpe sitzt am Motorblock zwischen dem Hauptlager und der Riemenscheibe für den Nebenantrieb. Die Kurbelwelle treibt den Rotor direkt an. Die Rotorgruppe ist als doppelhubige Flügelzelle mit 10 Flügeln ausgeführt. Die Hubkontur entspricht dem LuK Standard bei Lenkhilfpumpen, ebenso wie das von den Hochdruckpumpen bekannte hydraulische Ausfahren der Flügel, um die Leckagen zu minimieren.

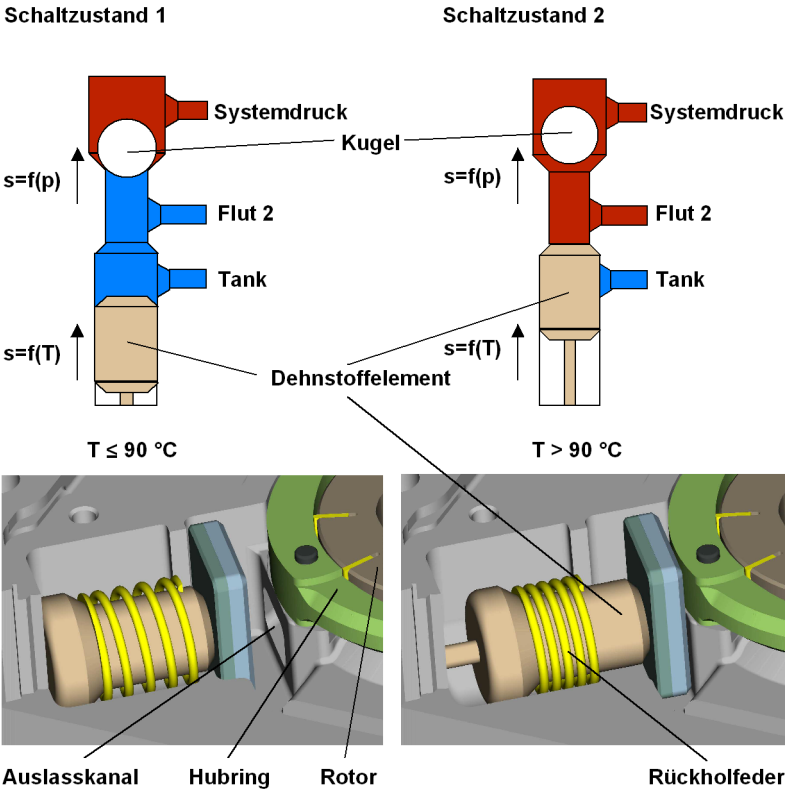


Bild 14: Schaltprinzip

Die Konstruktion der Pumpe ist so ausgeführt, dass die Kanalführung optimal ist für den dominierenden Schaltzustand 1 (nur eine Flut fördert). Das Druckbegrenzungsventil DBV konnte im Vergleich zur Serie deutlich kleiner dimensioniert werden, da der maximale Volumenstrom, der über das DBV abfließt, ebenfalls reduziert ist.

Bild 14 zeigt das ausgewählte Schaltprinzip. Bei niedrigen Temperaturen ist die zweite Flut über ein geöffnetes Sitzventil mit dem Tank verbunden. Die Verbindung zwischen der zweiten Flut und dem Druckausgang ist durch ein Rückschlagventil verschlossen. Wenn sich nun die Öltemperatur erhöht, schließt der Aktor die Verbindung zwischen dem Druckausgang der Flut 2 und dem Tank. Dadurch baut sich am Druckausgang der Schaltstufe 2 ein Druck auf. Sobald der Druck den Systemdruck überschreitet wird das Rückschlagventil

geöffnet und die zweite Flut fördert zusätzlich in das System.

Für die Aktorik wurde ein Element gesucht, welches komplett in die Pumpe integriert werden kann. Zur Reduzierung der Komplexität sollte auf Elektronik verzichtet werden. Ebenso sollte die Aktorik ohne Hilfsenergie aus der Pumpe arbeiten können, da dies wieder zu Verlusten führen würde. Prinzipiell bieten sich für diese Aufgabenstellung verschiedene temperatursensitive Materialien an [5].

In der gezeigten Ausführung ist ein Dehnstoffelement eingesetzt. Beim Überschreiten der Schalttemperatur wird der Kolben aus dem Element ausgefahren. Dieser Kolben stützt sich am Pumpengehäuse ab und verschiebt den Aktor mit der Ventilplatte gegen die Bohrung (Bild 14 unten). Wenn

das Öl wieder unter die Schalttemperatur abgekühlt wird, schiebt die Feder den Aktor in die Ausgangslage zurück.

Der Querschnitt der Bohrung und die Ventilplatte sind möglichst groß dimensioniert, um im geöffneten Zustand einen geringen Strömungswiderstand zu erzeugen. Die Auslegung der Aktorik muss so erfolgen, dass die in den Motor geförderte Ölmenge für alle Drehzahlen und Temperaturen oberhalb des Ölbedarfes liegt. In Bild 15 ist beispielhaft die Simulation für den Schließvorgang im Leerlaufbetrieb dargestellt. Bei Temperaturen bis 35°C wird noch ein Teil des Öls durch das Druckbegrenzungsventil abgeregelt. Ab dieser Öltemperatur wird der komplette Volumenstrom in den Motor gefördert. Mit steigender Temperatur reduziert sich der Druckaufbau. Bevor der Mindestdruck unterschritten werden kann, wird die zweite Stufe zugeschal-

tet und versorgt den Motor auch bei noch höheren Temperaturen ausreichend mit Öl.

Bedingt durch das Dehnstoffelement gibt es eine Hysterese zwischen der Zu- und der Abschaltung der zweiten Flut. Diese erhöht zusätzlich die Sicherheit beim Übergang vom Heißlauf- in den Normalbetrieb. Die Simulation zeigt, dass die eingangs gestellte Forderung erfüllt ist.

Die Kanalführung und die Anordnung der Elemente ist mit Hilfe von CFD-Simulationen optimiert. Zu diesem Zweck sind Berechnungen für die verschiedenen Betriebszustände erstellt worden. Die Auswahl des besten Konzepts erfolgt unter Berücksichtigung der Zeitanteile, mit denen die einzelnen Zustände im praktischen Betrieb vorkommen.

Bild 16 zeigt beispielhaft die abschließende Berechnung für die Kanäle im Bereich des Sitzventils für den maximalen Volumenstrom.

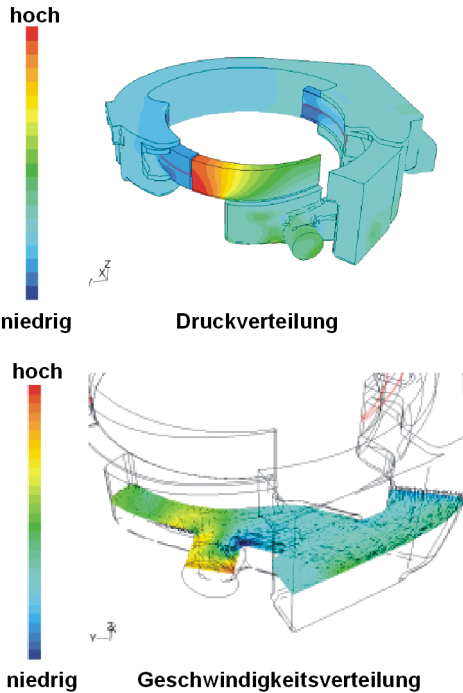


Bild 16: Strömungsverhältnisse am Schaltventil

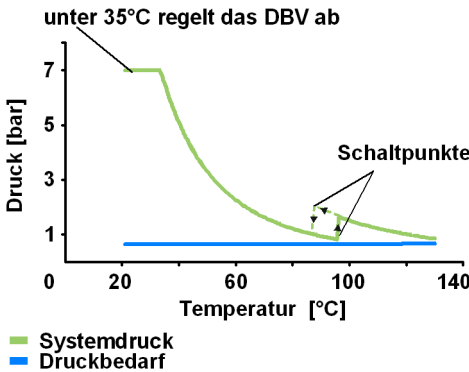
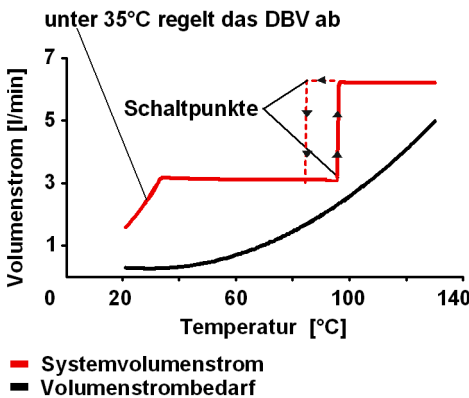


Bild 15: Simulation Schließvorgang Schaltventil

Ergebnisse

Die Ergebnisse der ersten Prototypen bestätigen die Simulationen. So konnte bereits mit einem Prototyp eine Leistungsreduzierung der Ölpumpe von ca. 35% im NEFZ nachgewiesen werden. Dies entspricht einer Verbrauchsreduzierung von ca. 1%.

Zusammenfassung

Die Ölpumpe hat unter den Nebenaggregaten das größte Einsparpotenzial, da die derzeitige Pumpenauslegung für einen Betriebspunkt durchgeführt werden muss, der selten oder nie im Fahrzeug auftritt. Zur Verbrauchsreduzierung ist eine bedarfsangepasste Ölpumpe sinnvoll und notwendig. Es hat sich herausgestellt, dass die temperaturgeregelte Ölpumpe die Systemanforderungen optimal erfüllt. Hierdurch sind Verbrauchseinsparungen

von 1 - 2% Kraftstoff im NEFZ je nach Fahrzeugtyp realisierbar.

Die vorliegende Entwicklung einer schaltbaren, doppelflutigen Flügelzellenpumpe kann in die bestehenden Bauräume integriert werden und kommt ohne aufwändige Elektronik aus. Ein erster Prototyp zeigte bereits eine Kraftstoffeinsparung von 1%. Das Verhältnis von Aufwand zu Einsparung ist für den OEM sehr attraktiv.

Literatur

- [1] Köhler, E.: Verbrennungsmotoren: Motormechanik, Berechnung und Auslegung des Hubkolbenmotors, Vieweg 1998, S. 41 ff.
- [2] Braess, H.-H., Seiffert, U. (Hrsg.): Handbuch Kraftfahrzeugtechnik, Vieweg 2000, S.157 ff.
- [3] Koivunen, E. A., Le Bar, P. A., Green, R. J.: Variable Capacity Pumps, Design Practices: Passenger Car Automatic Transmissions SAE 1994, S. 685 - 688.
- [4] Murrenhoff, H.: Grundlagen der Fluidtechnik, Institut für fluidtechnische Antriebe und Steuerungen 1997, S. 149 - 154.
- [5] Nußkern, H.: Thermische Stellelemente in der Gerätetechnik, Zeitschrift F&M Feinwerktechnik Mikrotechnik Messtechnik, Carl Hanser Verlag 1995.
- [6] Aral Aktiengesellschaft: Das blaue Buch von Aral, Firmenschrift der Aral Aktiengesellschaft 1992, S. 50 ff.