



# **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](http://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



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	<b>Bedarfsorientiert ansteuerbare Pumpen .....</b>	<b>99</b>
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

---

# Bedarfsorientiert ansteuerbare Pumpen

Reduzierte Leistungsaufnahme von  
Lenk-, Fahrwerks- und Getriebesystemen

Hans Jürgen Lauth  
Dirk Webert  
Thomas Scholz  
Ivo Agner

# Einleitung

Im Pkw werden zur Verbesserung von Sicherheit und Komfort Hydrauliksysteme eingebaut. Die bekannten Vorteile sind hohe Leistungsdichte, geringes Leistungsgewicht und hohe Dynamik. Verglichen mit geregelten elektrischen Antrieben wird aber oft eine höhere Energieaufnahme und somit ein höherer Kraftstoffverbrauch genannt.

Durch Auswahl eines geeigneten Pumpenprinzips und die Ergänzung mit einer bedarfsgerechten Ansteuerung kann der Energiebedarf der Pumpen wesentlich gesenkt werden. Eine bereits verbreitete Methode ist der drehzahlgeregelte elektromotorische Antrieb von Pumpen bis ca. 0,5 kW Leistung. Im Folgenden soll jedoch nur auf Anwendungen mit höheren Eckleistungen eingegangen werden. Hier erfolgt der Antrieb durch den Verbrennungsmotor.

Drei Beispiele werden nachfolgend vorgestellt:

In **Antiwanksystemen** mit Speicher ergeben sich hohe Dauerdrücke über den gesamten Drehzahlbereich. Sauggeregelte Radialkolbenpumpen haben sich hier bewährt.

In **stufenlosen Getrieben (CVT)** liegen maximale Drücke und Drehzahlen niedriger, es werden jedoch oft mittlere Drücke erreicht. Verschiedene Pumpentypen sind einsetzbar.

## Pumpen für Servolenkungen

### Open Center Lenksystem

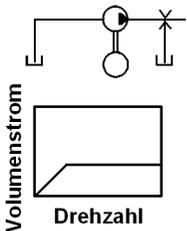
Im Automobilbau wird die Lenkunterstützung üblicherweise als Open Center System ausgeführt (Bild 2).

Es ist dadurch gekennzeichnet, dass bei Geradeausfahrt der Volumenstrom mit einem niedrigen Druck durch das System gefördert wird.

#### Servolenkung



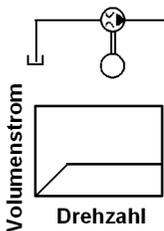
#### Hochdruckseitige Volumenstromregelung



#### Antiwanksystem



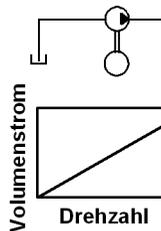
#### Saugseitige Volumenstromregelung



#### CVT Getriebe



#### Verschiedene Konzepte



Für schnelle Lenkbewegungen wird vom Volumenstromregler der maximale Volumenstrom konstant zur Verfügung gestellt. Für Lenkmanöver im üblichen Fahrbetrieb ist aber deutlich weniger Menge erforderlich.

Hohe Drücke treten nur beim Lenken im Stand oder bei niedrigen Fahrgeschwindigkeiten auf.

Die Pumpen für derartige Open Center Lenksysteme werden in der Regel als Konstant-Flügelzellenpumpen ausgeführt und über einen Riemen vom Motor angetrieben. Die Fördermenge der Pumpe steigt somit linear zur Motordrehzahl. Da die

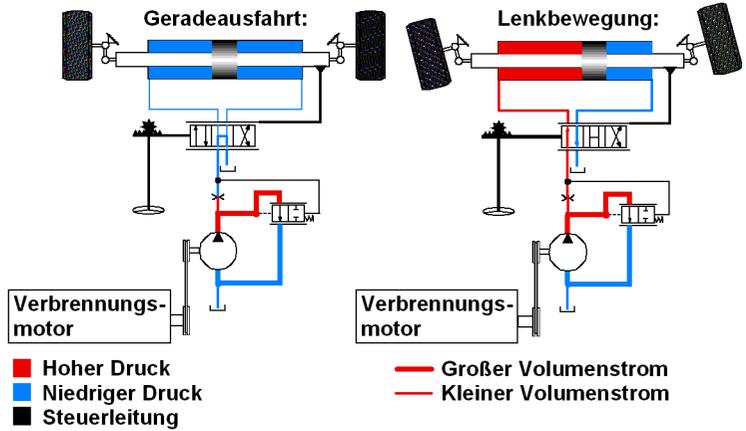
Lenkung nur einen begrenzten Volumenstrom benötigt, wird die überschüssige Menge mit einem Volumenstromregler in der Pumpe abgeregelt und intern umgewälzt. Eine Regelung abhängig von anderen Fahrparametern, wie z. B. Fahrzeuggeschwindigkeit, ist nicht möglich.

**Bild 1:** Beispiele für Pumpenanwendungen

In der **Servolenkung** (Open Center) läuft die Pumpe oft mit sehr niedrigen Drücken. Die druckseitige Volumenstromregelung ist seit Jahrzehnten Stand der Technik.

Derartige Systeme verursachen in Verbrauchstests (NECE) im Fahrzeug einen Mehrverbrauch von ca. 2%.

Ein Entwicklungsziel für aktuelle Lenksysteme ist, diesen Kraftstoffmehrverbrauch zu reduzieren und den Volumenstrom deutlicher an den jeweiligen Fahrzustand anzupassen. Gleichzeitig sind der Lenkkomfort und die Dynamik heutiger Systeme beizubehalten oder sogar noch zu steigern. Den eingeschränkten Platzverhältnissen im Fahrzeug ist dabei Rechnung zu tragen.

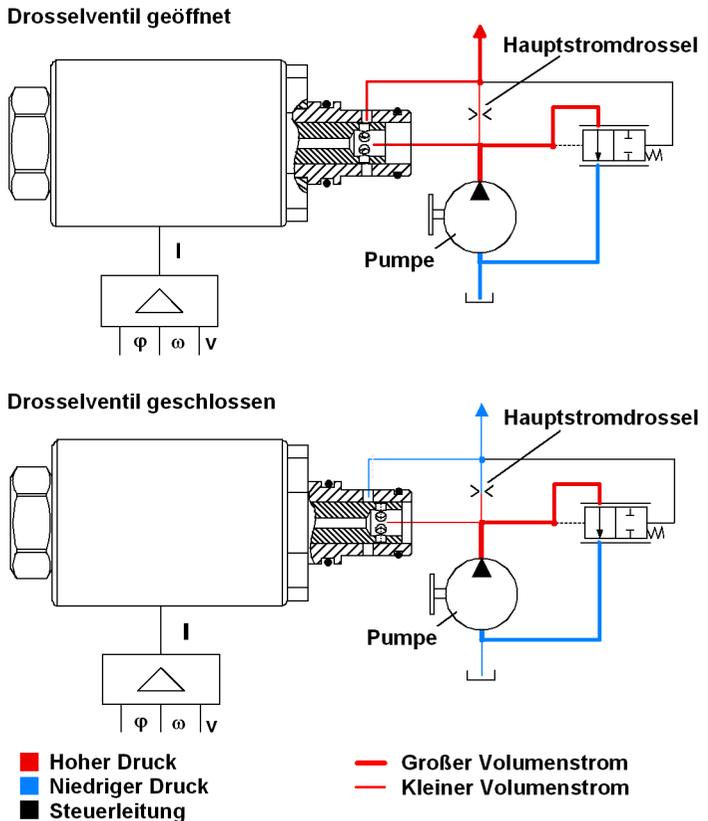


**Bild 2:** Open Center Lenksystem

### Elektrisch verstellbarer Volumenstrom (EV<sup>2</sup>)

Durch den Einbau eines elektrisch ansteuerbaren Bypassventils zusätzlich zum vorhandenen Volumenstromregler (Bild 3) kann der Volumenstrom elektrisch verstellt werden. Hierbei wird die Volumenstromregelung mittels eines Hauptstromregelkolbens, wie sie sich in der Basispumpe bewährt hat, beibehalten. Parallel zu der Hauptstromdrossel wird ein Bypass erzeugt. In diesem ist ein Proportionalventil geschaltet, durch das ein variabler Bypassvolumenstrom eingestellt wird.

Da der Hauptstromregelkolben nach dem Prinzip einer "Druckwaage" ausgeführt ist, wird der Druckabfall über die Hauptstromdrossel und über das Bypassventil konstant gehalten. Damit ist der Volumen-



**Bild 3:** Konzept LuK-EV<sup>2</sup> (Elektrisch Verstellbarer Volumenstrom)

strom, der über den Bypass geleitet wird, proportional zum Öffnungsquerschnitt des Ventils. Ein Einfluss des Systemdruckes, der wiederum vom Fahrzustand abhängt, ist nicht vorhanden. Somit kann auf eine gesonderte Sensierung des Druckes verzichtet werden.

Der Öffnungsweg des Bypassventils kann nun über eine elektronische Steuerung von Fahrzustandsgrößen, wie zum Beispiel Fahrgeschwindigkeit, Lenkwinkel und Lenkwinkelgeschwindigkeit, beeinflusst werden. Der Volumenstrom wird an die Fahrsituation angepasst. Dadurch kann in Situationen, in denen keine Lenkunterstützung notwendig ist, der Volumenstrom abgesenkt werden. Da der Durchlaufdruck quadratisch von der Durchlaufmenge abhängt, erreicht man schon durch eine verhältnismäßig geringe Absenkung der Menge eine deutliche Verminderung des Durchlaufdruckes und somit eine Reduzierung der hydraulischen Leistungsaufnahme. Wie in der Messung in Bild 4 erkennbar ist, lässt sich durch bedarfsgerechte Anpassung des Volumenstromes der Durchlaufdruck in einem extremen Beispiel von 10 bar auf 1 bar senken.

Eine entscheidende Größe für das Energiesparen bei gleichzeitiger Beibehaltung des Lenkkomforts ist die Dynamik der Pumpe. Bei schneller Änderung einer Eingangsgröße, z. B. Lenkwinkelgeschwindigkeit bei einem Ausweichmanöver, muss die Pumpe in der Lage sein, den Volumenstrom so schnell an die aktuellen Bedingungen anzupassen, dass der Fahrer die Regelung nicht spürt. Die LuK Lösung ist in der Lage, innerhalb von 30 ms den Volumenstrom vom Minimal- auf den Maximalwert zu erhöhen. Damit stellt der Fahrer am Lenkrad keinen Unterschied zum Seriensystem fest.

Durch bedarfsgerechte Einstellung des Volumenstromes können im neuen europäischen Fahrzyklus (NECE) Minderverbräuche gegenüber herkömmlichen Open Center Lenksystemen von ca. 1% realisiert werden.

Durch die fahrparameterabhängige Steuerung des Volumenstromes lassen sich zusätzliche Komfortfeatures mit der Pumpe

realisieren. So ist die Abhängigkeit der Fördermenge von der Fahrgeschwindigkeit programmierbar. Bei herkömmlichen Systemen ist die Fördermenge der Pumpe nur von der Motordrehzahl abhängig. Durch eine Absenkung des Volumenstromes mit zunehmender Geschwindigkeit lässt sich das Lenkmoment erhöhen, was der Fahrer als straffere, direktere Lenkung spürt. Weiterhin kann der Volumenstrom kurz vor Erreichen des Lenkanschlages deutlich gedrosselt werden. Damit wird der Lenkansschlag gedämpft.

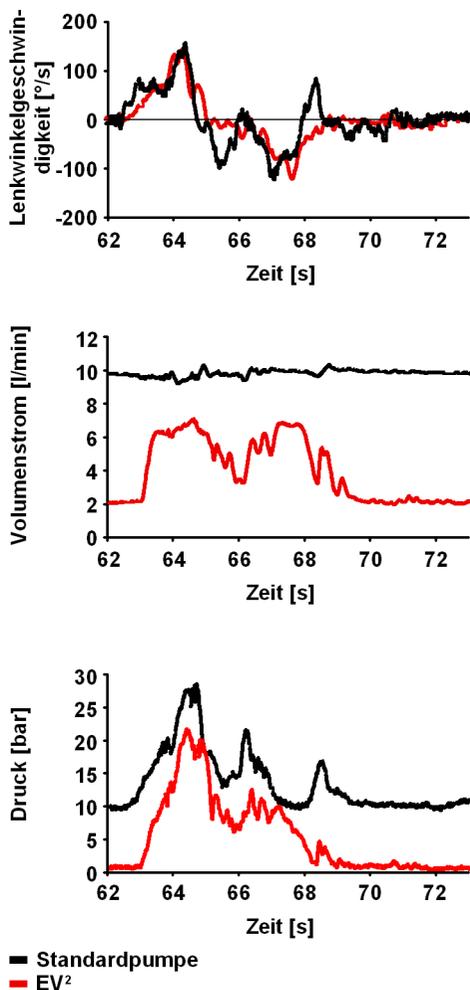
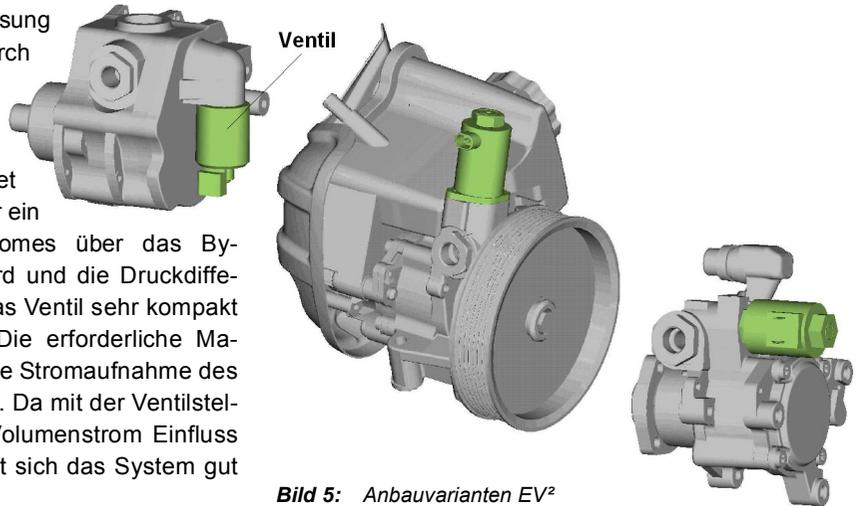


Bild 4: Vergleichsmessung Standardpumpe – EV² beim Durchfahren einer Kurve

## Einbau im Fahrzeug

Die vorgestellte Lösung zeichnet sich dadurch aus, dass das Ventil sehr flexibel in der Nähe des Druckanschlusses angeordnet werden kann. Weil nur ein Teil des Volumenstromes über das Bypassventil geführt wird und die Druckdifferenz klein ist, kann das Ventil sehr kompakt ausgeführt werden. Die erforderliche Magnetkraft und somit die Stromaufnahme des Ventils bleiben gering. Da mit der Ventilstellung direkt auf den Volumenstrom Einfluss genommen wird, lässt sich das System gut steuern.



**Bild 5:** Anbauvarianten EV<sup>2</sup>

## Vorteile von EV<sup>2</sup>

- ca. 50% geringere Leistungsaufnahme der Pumpe (ca. 1% Kraftstoffminderverbrauch)
- reduzierter Kühlaufwand im System
- Verbesserung des Lenkkomforts
- Anpassung der Lenkkräfte an den Fahrzustand

## Hydraulische Fahrwerkspumpen für aktive Fahrwerkssysteme

Aktive Fahrwerke sind schon seit langem ein Ziel der Fahrzeugentwickler. Aktiv bedeutet in diesem Zusammenhang, dass die Karosseriebewegungen aktiv ausgeglichen werden können. Alle ausgeführten Systeme nutzen hydraulische Komponenten. In der letzten Zeit sind zwei unterschiedliche Konzepte mit Pumpen von LuK technisch realisiert worden (Bild 6).

## Open Center System

Beispiele:

**Active Cornering Enhancement**  
(Land Rover Geländewagen)

**Dynamic Drive** (BMW Luxus-Sportklasse)

Mit beiden Systemen erfolgt ein Wankausgleich. Die Radialkolbenpumpe (RKP) mit interner Saugdrosselung liefert eine konstante Fördermenge.

## Closed Center System

Beispiel:

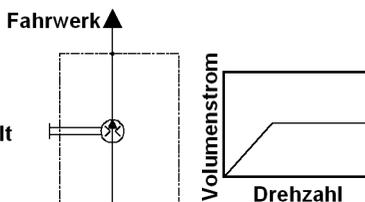
**Active Body Control**  
(DaimlerChrysler Luxus-/Oberklasse)

Das ABC System verfügt zusätzlich zum Wankausgleich über eine Kompensation der Nickbewegungen der Karosserie. Auch eine Niveauregulierung ist integriert. Zur Druckversorgung kommt eine intern und extern sauggedrosselte Radialkolbenpumpe zum Einsatz. Dieser Pumpentyp ist in der Lage, die benötigten Volumenströme von 1-12 l/min bei 200 bar Systemdruck zu liefern.

Konstantpumpen sind aufgrund des maximalen Leistungsbedarfes bis ca. 20 KW nur bedingt einsetzbar.

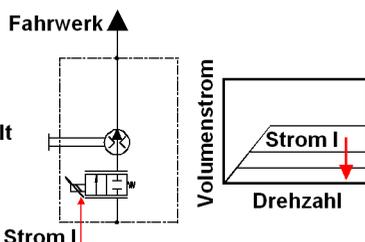
**Open Center  
Antiwanksystem**

Pumpe intern sauggedrosselt



**Closed Center  
Antiwanksystem**

Pumpe intern sauggedrosselt  
und extern ansteuerbar  
sauggedrosselt



**Bild 6:** Pumpenregelung für Antiwanksysteme

dus, in dem die Pumpe als Konstantpumpe arbeitet. Der Kolbenraum ist vollständig mit Öl gefüllt und die Fördermenge steigt mit anwachsender Pumpendrehzahl.

**Im mittleren Teil des Bildes 7** ist dargestellt, dass die Befüllzeit mit steigender Kolbengeschwindigkeit (Pumpendrehzahl) nicht mehr ausreicht, um den Kolbenraum vollständig zu befüllen (Grenzdrehzahl). Hierbei tritt ein größerer Nichtförderwinkel auf.

## Funktion der sauggedrosselten Radialkolbenpumpe

Die innen betätigten, außen mit Druck beaufschlagten Kolben werden niederdruckseitig schlitzzesteuert befüllt und hochdruckseitig mit Ventilen gesteuert.

Die generelle Funktionsweise der sauggedrosselten Radialkolbenpumpe ist in Bild 7 schematisch dargestellt.

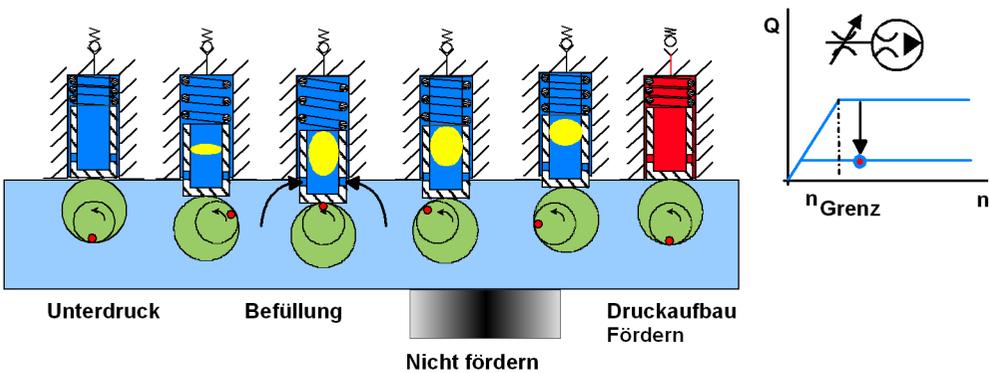
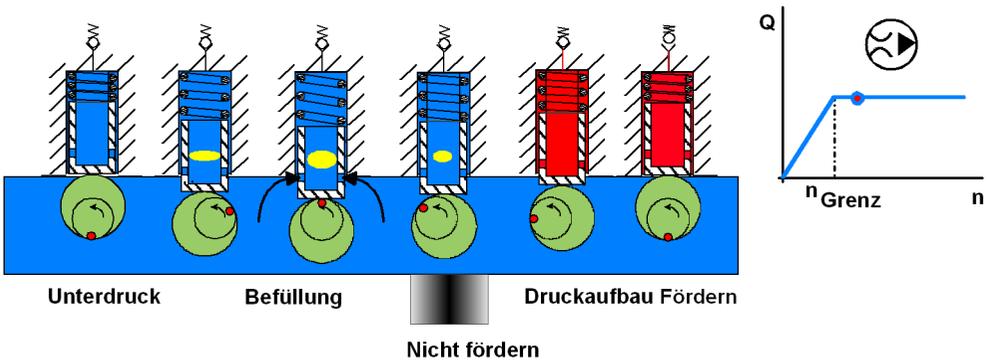
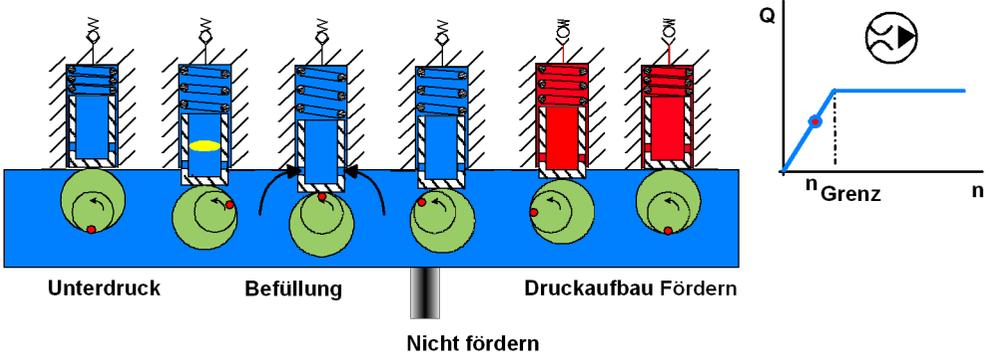
Beim Absenken des Kolbens vom oberen Totpunkt entsteht ein Unterdruck im Kolbenraum (Vakuum-Hohlräume sind im Bild 7 gelb dargestellt). Dieses geschieht solange, bis die seitlichen Saugbohrungen des Kolbens eine Verbindung zur Saugseite herstellen und damit Öl in den Kolben einströmt. Das Ende der Befüllung ist nach weiterem Drehen der Exzenterwelle über den unteren Totpunkt hinaus mit dem erneuten Verschließen der Saugbohrungen gegeben. Dies ergibt einen Nichtförderwinkel, der rein geometrisch bedingt ist.

Unterschieden wird in der Darstellung zwischen drei Zuständen, in denen eine sauggedrosselte RKP arbeiten kann.

**Im oberen Teil von Bild 7** befindet sich die RKP im sogenannten nichtabgeregelten Mo-

Dieses Verhalten der sauggedrosselten Radialkolbenpumpe wird als interne Saugdrosselung bezeichnet. Aus energetischer Sicht ist diese interne Saugdrosselung von großer Bedeutung. Wäre der Kolbenraum bei steigender Motor- und somit auch Pumpendrehzahl allzeit komplett mit Öl gefüllt, läge eine Konstantpumpe über dem gesamten Drehzahlbereich vor. Die Saugdrosselung verhindert dieses. Ab einer gewissen Drehzahl gelangt immer weniger Öl in den Kolbenraum. Der Volumenstrom bleibt mit der steigenden Drehzahl annähernd konstant. Es wird nur die gewünschte Ölmenge je Zeiteinheit unter Energieeinsatz auf Druck gebracht. Damit entsteht mit geringem Bauaufwand durch die Saugdrosselung eine Verstellung des Fördervolumens, und der Leistungsbedarf wird gegenüber einer Konstantpumpe um bis zu 75% reduziert.

Die **im unteren Teil von Bild 7** dargestellte extern ansteuerbare Saugdrosselung ist durch ein Ventil in der Saugleitung realisiert. Damit wird der Druck im Saugraum abgesenkt und die zur Befüllung der Kolben vorhandene Druckdifferenz geringer. Hierdurch kann noch weniger Öl in den Zylinder strömen, wodurch die Energieaufnahme und die Fördermenge der Pumpe weiter absinkt. Verglichen mit einer Konstantpumpe sinkt der Leistungsbedarf um bis zu 90%.

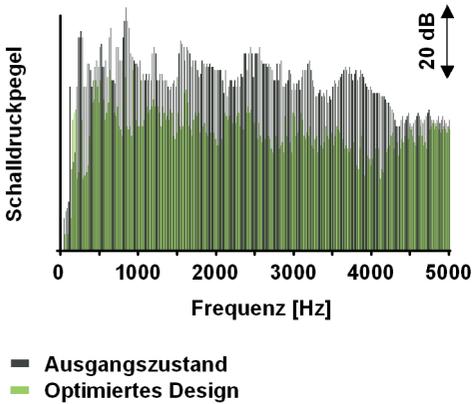


**Bild 7:** Funktionsprinzip der Radialkolbenpumpe

## Geräuschoptimierung

Das Pumpenprinzip der sauggedrosselten Radialkolbenpumpe ist bekannt für seine niedrige Leistungsaufnahme. Nachteilig ist die vergleichsweise hohe Volumenstrompulsation bzw. Luftschallabstrahlung. Mit steigendem Nichtförderwinkel sinkt die Energieaufnahme, andererseits nimmt die Druckpulsation zu.

Um den Anforderungen an ein sehr niedriges Geräuschniveau in Oberklassefahrzeugen gerecht zu werden, liegt einer der Entwicklungsschwerpunkte in der Geräuschreduzierung. Ein Beispiel des Entwicklungserfolges zeigt Bild 8.



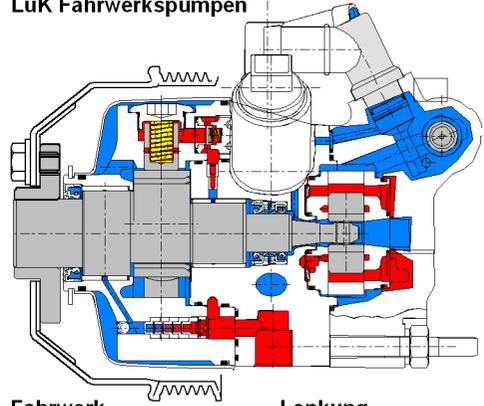
**Bild 8:** Luftschallabstrahlung einer Radialkolbenpumpe

Gezeigt ist die Luftschallabstrahlung über der Frequenz für zwei unterschiedliche Entwicklungsstände. Durch folgende Maßnahmen konnte eine Absenkung des Luftschalls um ca. 20 dB erreicht werden:

- Detailgestaltung Rückschlagventile am Auslass in Plattenbauweise
- Einsatz von schwingungsdämpfenden Kunststoffen statt Stahlblech für die Riemenscheibe
- Partielle Steifigkeitserhöhungen der Gehäuseteile

## Einbau im Fahrzeug

### LuK Fahrwerkspumpen



#### Fahrwerk

$V_{geo} = 6 - 6,7 \text{ cm}^3$   
 $p_{max} = 200 \text{ bar}$

#### Lenkung

$V_{geo} = 8,4 - 15 \text{ cm}^3$   
 $p_{max} = 135 \text{ bar}$

**Bild 9:** Radialkolben / Flügelzellen - Tandempumpe

Die Tandemanordnung hilft besonders bei leistungsstarken Fahrzeugen mit ihren beengten Motorräumen, den Einbau zu ermöglichen. So ist auch kein zusätzlicher Anbauort im Riemtrieb und am Motor erforderlich. Weiterhin reduziert die Tandembauweise das verbaute Gewicht. Eine zweite Riemenscheibe und die zweite Pumpenhalterung können entfallen.

## Vorteile der sauggedrosselten RKP's

Erst durch die Entwicklung und geräuschkäufige Adaption von relativ großen sauggedrosselten Radialkolbenpumpen wird der Serieneinsatz von aktiven Fahrwerkssystemen technisch mit folgenden Vorteilen möglich:

- Leistungsaufnahme mit externer Saugdrosselung bis zu 90% geringer als mit Konstantpumpen
- Durch elektrische Ansteuerung in Systemregelung integrierbar
- Durch radiale Bauweise gut geeignet für Tandempumpen
- Akzeptables Geräusch

## Hochdruck- Getriebepumpen

Heutige Automatikgetriebe für Pkw-Anwendungen steuern den Anfahrvorgang, die Übersetzungsänderung und das Betätigen der Wendesatzkupplungen für Vorwärts-/Rückwärtsfahrt sowie Kühlung und Schmierung hydraulisch. Dazu ist eine hydraulische Druckversorgungseinheit und eine hydraulische Steuerung notwendig.

Der Trend zu mehr Komfort bei gleichzeitiger Performancesteigerung führte zur Entwicklung stufenloser Getriebe. Die hydraulischen Steuerungen stufenloser Getriebe arbeiten mit deutlich höheren maximalen Druckniveaus ( $>30$  bar) als bekannte Stufenautomaten ( $<20$  bar). Dies stellt eine technische Herausforderung für die Getriebepumpenentwicklung dar, denn im Gegensatz zu anderen hydraulischen Anwendungen im Fahrzeug arbeiten Getriebepumpen zeitweise mit stark verschäumtem Automatikgetriebeöl. Daraus ergeben sich besondere Aufgabenstellungen bezüglich Geräusch und Verschleiß.

Es besteht nun die Aufgabe, eine Druckversorgungseinheit auszuwählen, die über eine große Bandbreite der hydraulischen Anforderungen hinweg den Ansprüchen der Automobilindustrie entspricht.

## Entwicklungsziele

### Hydraulische Anforderungen

- Druckbereich bis max. 85 bar
- Drehzahlbereich  $600 \dots 8000 \text{ min}^{-1}$
- Temperaturbereich  $-40^\circ\text{C} \dots +150^\circ\text{C}$
- Geringe bis hohe Anteile ungelöster Luft im Getriebeöl

### Leistungsaufnahme

- Guter volumetrischer Wirkungsgrad bei höheren Drücken, da dieser die Pumpengröße bestimmt.

- Guter hydraulisch-mechanischer Wirkungsgrad bei niedrigen bis mittleren Drücken und Drehzahlen bis  $2500 \text{ min}^{-1}$ , da dieser für den Kraftstoffverbrauch entscheidend ist.
- Geringe Leistungsaufnahme bei hohen Drehzahlen und mittleren Drücken, da diese entscheidend für die Maximalgeschwindigkeit, die max. Beschleunigung des Fahrzeugs und den Kühlölhaushalt des Getriebes ist.

### Geräusch

- Akzeptables Pumpengeräusch in allen Bereichen der hydraulischen Anforderungen.

### Kaltstartfähigkeit

- Das Selbstansaugen der Getriebepumpe muss in jedem Fall gewährleistet sein.

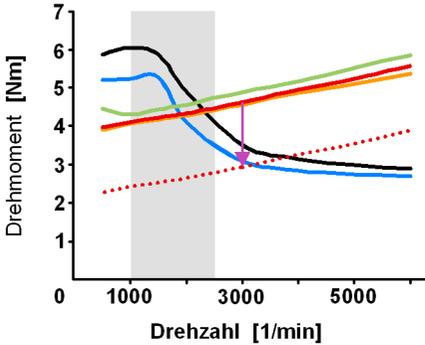
## Konzeptvergleich

Eine erste Gegenüberstellung verschiedener potenzieller Pumpenprinzipien unter dem Gesichtspunkt der Drehmomentaufnahme über der Pumpendrehzahl zeigt Bild 10.

Alle dargestellten Pumpen sind so normiert, dass bei einer Drehzahl von  $1000 \text{ min}^{-1}$  und einem Druck von 20 bar der Förderstrom  $10,5 \text{ l/min}$  beträgt. Das heißt, Pumpen mit einem besseren volumetrischen Wirkungsgrad besitzen ein kleineres theoretisches Fördervolumen. Gleichzeitig wird vorausgesetzt, dass ein Volumenstrom von  $15 \text{ l/min}$  ausreicht, alle Funktionen der Getriebesteuerung ausreichend mit Öl zu versorgen. Die Verstellpumpen (verstellbare Flügelzellenpumpe und sauggedroselte Radialkolbenpumpe) werden auf einen konstanten Volumenstrom von  $15 \text{ l/min}$  abgeregelt. Die zweiflutige Flügelzellenpumpe mit einer Teilung von 50:50 liefert nach Wegschaltung einer Pumpenhälfte bei  $3000 \text{ min}^{-1}$  (lila Pfeil Bild 10) noch mindestens  $15 \text{ l/min}$ .

Für Fahrzeuge mit leistungsstarken Motoren erweist sich der Einsatz der Konstantpumpen als vorteilhaft, da vorrangig mit niedrigen Motordrehzahlen gefahren wird. Der Einfluss der

$n = 1000 \text{ min}^{-1}$ ,  $Q = 10,5 \text{ l/min}$ ,  $p = 20 \text{ bar}$ ,  
 $T = 90^\circ\text{C}$ ,  $Q_{\text{max}} \text{ erforderlich} = 15 \text{ l/min}$



- Sauggedrosselte Radialkolbenpumpe
- Verstellbare Flügelzellenpumpe
- Kompensierte Innenzahnradpumpe
- Konstant-Flügelzellenpumpe
- Zweiflutige FZP - zweiflutiger Betrieb 100%
- ⋯ Zweiflutige FZP - einflutiger Betrieb 50%

**Bild 10:** Vergleich der Drehmomentaufnahme verschiedener Pumpenkonzepte

höheren Leistungsaufnahme auf die Maximalgeschwindigkeit ist aufgrund der progressiven Fahrwiderstandskennlinie gering.

In Fahrzeugen der mittleren Leistungsklasse ist der Einsatz der Verstellpumpen nicht zielführend, da diese aufwändiger sind und einen großen Bauraum beanspruchen. Eine gute Lösung stellt der Einsatz der zweiflutigen Flügelzellenpumpe in diesem Segment dar.

## Kompensierte Innenzahnradpumpe

Die Innenzahnradpumpe ist die derzeit am häufigsten verwendete Pumpe bei Stufenautomaten, welche durch eine geeignete Spaltkompensation im volumetrischen Wirkungsgrad für den Hochdruckeinsatz angepasst werden kann.

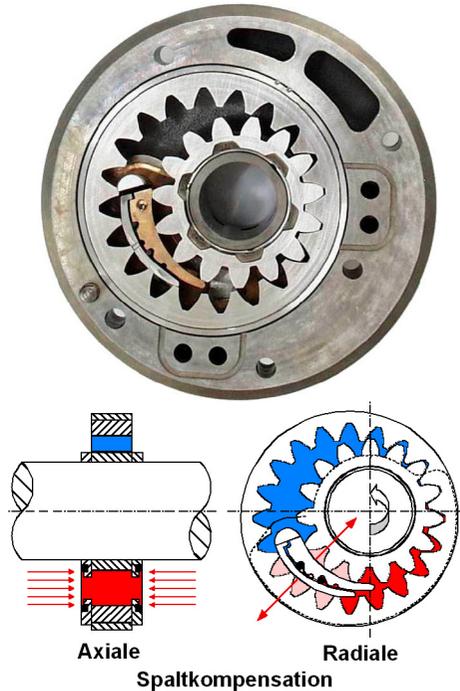
Die axiale Spaltkompensation beruht auf einer beidseitigen Anpressung der Axialplatten, bei der die äußeren Druckfelder größer sind als die den Zahnrädern zugewandten. Diese wer-

den mit einer geringen Kraft an das rotierende Hohlrad und Ritzel gedrückt und damit die Spalte minimiert.

Zur radialen Spaltkompensation wird gezielt Drucköl in eine geteilte Sichel geführt, die sich spreizen kann und an den rotierenden Zahnrädern zum Anliegen kommt.

Die Vorteile dieser Art „Vollkontakt“-Spaltkompensation kommen insbesondere bei Pumpenanordnungen am Wandlerhals zum Tragen, da hier die Pumpe geometrisch bedingt radial sehr groß baut und breite Leckagepfade entstehen.

Weiterhin zeichnet sich die Innenzahnradpumpe mit Sichel durch eine geringe kinematische Volumenstrompulsation aus. Die gezielte Steuerung der Druckausgleichsvorgänge über einen großen Drehwinkel hat bei verschäumtem Getriebeöl einen positiven Einfluss auf das Pumpengeräusch.



**Bild 11:** Spaltkompensation bei einer Innenzahnradpumpe

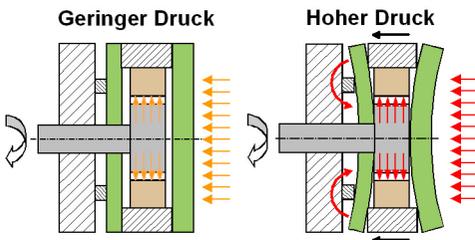
## Flügelzellenpumpe

Die Kombination der Hochdruckanforderungen an Getriebepumpen mit der Reife der Lenkhilfpumpen-Technologie macht die Flügelzellenpumpe zu einer sehr guten Wahl.

Durch den Einsatz einer doppelhubigen Ringkontur kann bei der hier betrachteten Flügelzellenpumpe zweimal pro Umdrehung angesaugt und ausgedrückt werden. Dadurch baut diese Pumpe sehr klein und ist für eine Anordnung als Kompaktpumpe im Getriebe prädestiniert.

Radial erfolgt die Spaltkompensation durch die druckbeaufschlagten Flügel.

Axial ist sowohl eine einseitige als auch eine doppelseitige Druckplattenkompensation möglich (Bild 12).

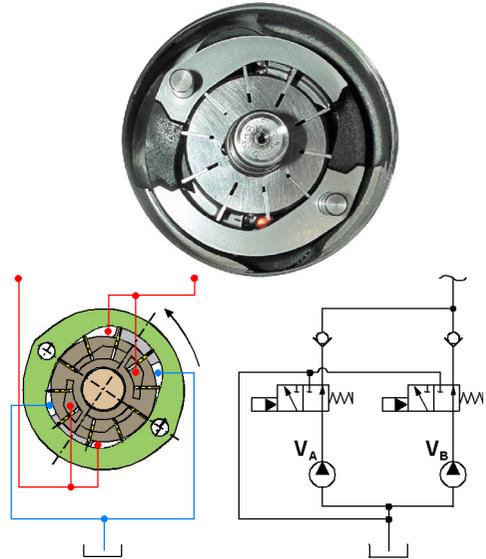


**Bild 12:** Spaltkompensation bei einer Flügelzellenpumpe

Bei niedrigen Drücken läuft der Rotor mit Axialspiel zwischen zwei Druckplatten. Aufgrund der geringen Reibungsverluste ermöglicht dieses System sehr gute hydraulisch-mechanische Wirkungsgrade in dem für den Kraftstoffverbrauch relevanten Bereich.

Dieses Axialspiel wird bei höheren Drücken durch gezielte Durchbiegung der Druckplat-

ten durch äußere Druckfelder reduziert. Das bewirkt eine gute Volumetrie, die aufgrund der für die Auslegung relevanten Punkte im höheren Druckbereich ein kleines theoretisches Fördervolumen ermöglicht.



**Bild 13:** Zweiflutige Flügelzellenpumpe - Hydraulikschema

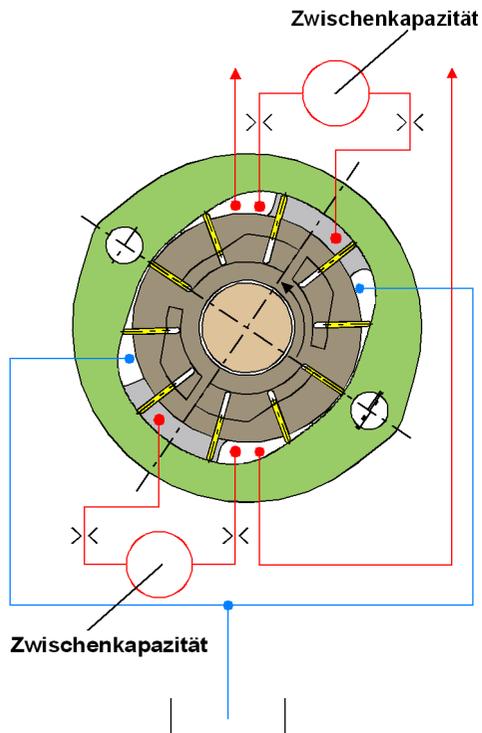
Durch die Doppelhubigkeit lässt sich eine preiswerte und kompakte Lösung einer Mehrflutigkeit der Fördermenge realisieren.

Jede Pumpenhälfte bildet hier hydraulisch gesehen eine separate Pumpe, die auf verschiedenen Druckniveaus arbeiten kann (Bild 13).

Im einfachsten Fall kann eine Pumpenhälfte bedarfsorientiert bei unterschiedlichsten Drehzahlen drucklos in Umlauf geschaltet werden. Die dabei entstehenden Querkräfte auf den Rotor werden mittels einer balligen Lagerung auf die Welle übertragen.

Durch unterschiedliche Hübe am Konturring lassen sich auch unsymmetrische Aufteilungen der Pumpenhälften realisieren. Dadurch ist es möglich, mit einer zweiflutigen Flügelzellenpumpe drei verschiedene theoretische Fördervolumina zur Verfügung zu stellen ( $V_A$ ,  $V_B$ ,  $V_{A+B}$ ). Die notwendige Umschaltfunktion kann oft ohne großen Aufwand in die Getriebesteuerung integriert werden.

Im für den Kraftstoffverbrauch relevanten Drehzahlbereich lässt sich durch den Einsatz einer zweiflutigen Flügelzellenpumpe bis zu 0,7% Kraftstoff im Fahrzeug sparen. Dazu muss die Pumpe schon unterhalb von 2500 U/min bedarfsorientiert auf den einflutigen Betrieb umgeschaltet werden.



**Bild 14:** Einsatz einer Zwischenkapazität bei einer Flügelzellenpumpe

Einen weiteren Vorteil bietet dieses Pumpenkonzept bei Maximalgeschwindigkeit. Hier können bei einem theoretischen Fördervolumen von 14 cm<sup>3</sup> und einem Druck von 25 bar ca. 1600 Watt eingespart werden. Das entspricht bei einem Mittelklassefahrzeug mit 200 km/h Höchstgeschwindigkeit einer Erhöhung der Maximalgeschwindigkeit um 1,6 km/h bei gleicher Motorleistung. Weiterhin lässt sich die Maximalbeschleunigung um ca. 3% steigern. Der Aufwand für die Kühlung des Getriebeöles wird deutlich reduziert.

Auch die Flügelzellenpumpe hat eine geringe kinematische Volumenstrompulsation. Der Einsatz spezieller Umsteuerkerben oder einer Zwischenkapazität ermöglicht weiche Druckausgleichsvorgänge zur Realisierung niedriger Geräuschpegel.

Die Zwischenkapazität stellt hier ein Volumen dar, das aufgrund der Elastizität des verschäumten Getriebeöles wie ein Druckspeicher wirkt. Jede Kapazität ist mittels zweier Blenden in Reihe zwischen die auf Druck zu bringende Zelle und den Auslass geschaltet (Bild 14).

### LuK Empfehlung

Bild 15 zeigt eine abschließende qualitative Gegenüberstellung der von LuK favorisierten Pumpenprinzipien für CVT-Getriebe, mit denen individuell auf die jeweiligen Anforderungen des Kunden eingegangen werden kann.

Merkmal	Flügelzellenpumpe	Innenzahnradpumpe
Wirkungsgrad	😊	😞
Akustik / Pulsation	😊	😊
Akustik bei stark verschäumtem Öl	😞	😊
Kosten	😞	😞
Zweiflutige Pumpe darstellbar	😊	😡
Anwendung	Empfohlen als Kompaktpumpe (off axis)	Empfohlen für Wandlerhalsanordnungen (on axis)

**Bild 15:** Vergleich CVT-Pumpen (Hoher Druck)

## Zusammenfassung

Bei LuK werden Hydraulikpumpen für viele verschiedene Anwendungen entwickelt. Die Integration in Systeme mit elektronischer Steuerung und Regelung schafft neue Chancen zur Optimierung. Dem Trend nach Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs wird durch elektrische Ansteuerung Rechnung getragen. Serienfähige LuK Pumpen senken den Energiebedarf der Systeme wesentlich.

## Literatur

- [1] Welschhof, B.: Analytische Untersuchungen über die Einsatzmöglichkeit einer sauggedrosselten Hydraulikpumpe zur Leistungssteuerung, Dissertation RWTH Aachen 1995.
- [2] Faßbender, A.: Theoretische und experimentelle Untersuchungen an saugseitigen Widerstandssteuerungen, Dissertation RWTH Aachen 1995.
- [3] Keith, P.; Pask, M.; Burdock, W.: The Development of ACE for Discovery II, SAE Paper No. 00PC-60, 1998.
- [4] Konik, D.; Bartz, R.; Bärntol, F.; Bruns, H.; Wimmer, M.: Dynamic Drive – das neue aktive Wankstabilisierungssystem der BMW Group, Proceedings 9. Aachener Kolloquium Fahrzeug- und Motorentechnik 2000.
- [5] Jost, K.: The ABC of Body Control, Automotive Engineering International, July 1999, S. 60 - 68.