

Kraftstoffverbrauchs- vorteile durch Regelölpumpen

Der Ersatz serienüblicher Ölpumpen mit Bypass-Regelung durch öldruckvariable Regelölpumpen verspricht bei Verbrennungsmotoren Verbrauchsvorteile von bis zu 2 % bei nur geringen Herstellmehrkosten. In diesem Beitrag wird eine bei IFM Motorentechnik, Braunschweig, entwickelte Außenzahnrad-Regelölpumpe beschrieben, die am IFM-Ölpumpenprüfstand ermittelten Ergebnisse werden vorgestellt und diskutiert.



1 Einleitung

Die Fördermengenauslegung der Schmierölpumpe eines Verbrennungsmotors wird vom Schmieröl-Versorgungsbedarf des Verbrennungsmotors hinsichtlich Ölmenge und Öldruck bestimmt. Auslegungsrelevant für die Ölpumpenfördermenge ist meist der Heißleerlauf bei Öltemperaturen um 140 °C, in dem für eine betriebsichere Ölversorgung noch ein Mindestöldruck von zirka 1,0 bar gewährleistet sein muss. Mit steigender Motordrehzahl ist dann ein zunehmender Betriebsöldruck erforderlich, um dem Ölstrom entgegenwirkende Kurbeltriebsfliehkräfte zu überwinden und um über den öldruckabhängigen Motoröldurchsatz insbesondere auch die Lagerreibungswärme des Kurbeltriebs abzuführen.

Der Öldruckbedarf eines typischen Beispielmotors beträgt im Leerlauf 1,0 bar und steigt linear mit zunehmender Drehzahl auf 4,5 bar bei 6000/min an.

Die Ölfördermenge einer Ölpumpe nimmt proportional mit ihrer Drehzahl zu. Der Motoröldurchsatz wird im Gegensatz dazu jedoch vom nahezu drehzahlunabhängigen Motordurchflusswiderstand bestimmt. Er ist jedoch öldruckproportional und im Wesentlichen von der Betriebstemperatur abhängig, wobei die Ölviskosität und temperaturabhängig veränderliche Lagerspiele maßgebend sind [1].

Diese in vielen Betriebsbereichen große Diskrepanz zwischen Ölpumpenfördermenge und Motoröldurchsatz, insbesondere bei niedrigen Betriebstemperaturen, verspricht für bedarfsgerecht ausgelegte

Regelölpumpen ein beträchtliches Verbesserungspotenzial [2, 3] gegenüber serienüblichen Ölpumpen mit Bypass-Regelung.

2 Verbesserungspotenzial von Ölpumpen

2.1 Öldurchsätze und Öldrücke von Verbrennungsmotoren mit Bypass-Ölpumpen

In **Bild 1** sind die Öldurchsätze eines Beispielmotors dargestellt, dessen Schmierölversorgung von einer herkömmlichen Ölpumpe mit Bypass-Regelung vorgenommen wird. Ausgehend vom Heißleerlauf (Leerlaufdrehzahl 600/min, Öltemperatur 140 °C, Öldruck 1,0 bar) nimmt der bei zunehmender Drehzahl mit der Ölfördermenge der Ölpumpe ansteigende Öldruck zunächst drehzahlproportional zu, um dann bei der zugrunde liegenden Öltemperatur von 140 °C bei 2700/min mit einer Ölfördermenge von 54 l/min den Abregeldruck von 4,5 bar zu erreichen. Während nun bei weiterer Drehzahlzunahme der Motoröldurchsatz öldruckbedingt bei 54 l/min konstant bleibt, wird der mit der Drehzahl darüber hinaus weiter steigende Ölpumpen-Öldurchsatz über das entsprechend öffnende Bypass-Ventil abgeleitet.

Aufgrund der hohen Temperaturabhän-

gigkeit des Motoröldurchsatzes reduziert sich bei der Öldruckbegrenzung auf 4,5 bar der Motoröldurchsatz bei 90 °C auf 38,5 l/min und bei 30 °C auf 18 l/min, wobei sich der Abregelbeginn zu geringeren Drehzahlen verlagert und die Leerlaufdrücke entsprechend ansteigen.

Der jeweils zwischen den Motoröldurchsatzlinien und der Förderkennlinie der Ölpumpe senkrechte Abstand zeigt den über das Bypass-Ventil abgeregelten Fördermengenüberschuss an, beispielsweise erhebliche 62 l/min bei 4000/min und 30 °C.

2.2 Verbesserungspotenzial von Regelölpumpen

Durch die Verwendung von Regelölpumpen mit einer Konstantdruckregelung bei 4,5 bar entsprechend der bypassgeregelten Ölpumpe von Bild 1 passt sich die Ölfördermenge dem Motoröldurchsatz bedarfsgerecht an. Das nutzbare Verbesserungspotenzial einer Regelölpumpe ist jedoch noch weitaus größer, wenn durch eine zusätzlich drehzahlabhängige Öldruckregelung, eine so genannte Minimaldruckregelung entsprechend dem Motoröldruckbedarf, der Öldurchsatz weiter abgesenkt wird. Hierzu zeigt das **Bild 2** für eine Regelölpumpe mit Minimaldruckregelung

Der Autor



Dipl.-Ing. Dieter Voigt betreibt als ehemaliger Motorenentwickler in der Automobilindustrie seit 2001 das Ingenieurbüro für Motorentechnik (IFM) in Braunschweig.

zwischen 1,0 bar im Leerlauf und 4,5 bar bei 6000/min für die drei bisher betrachteten Öltemperaturen die jeweils identischen Öldurchsätze von Regelölpumpe und Motor. Gegenüber der Ölpumpen-Förderkennlinie ohne Fördermengenregelung ergeben sich bei der Minimaldruckregelung relativ hohe Abregelgrade für weite Betriebsbereiche, beispielsweise zirka 60 % bei 1900/min und 90 °C.

Entscheidend für die verbrauchsrelevante Antriebsleistung einer Regelölpumpe ist zunächst ihre hydraulische Leistung, die sich aus der Ölfördermenge und dem anliegenden Öldruck errechnet. Hierzu zeigt das **Bild 3**, dass eine Regelölpumpe mit Konstantdruckregelung gegenüber einer Bypass-Regelung bereits gewisse

2.1 Öldurchsätze und Öldrücke von Verbrennungsmotoren mit Bypass-Ölpumpen

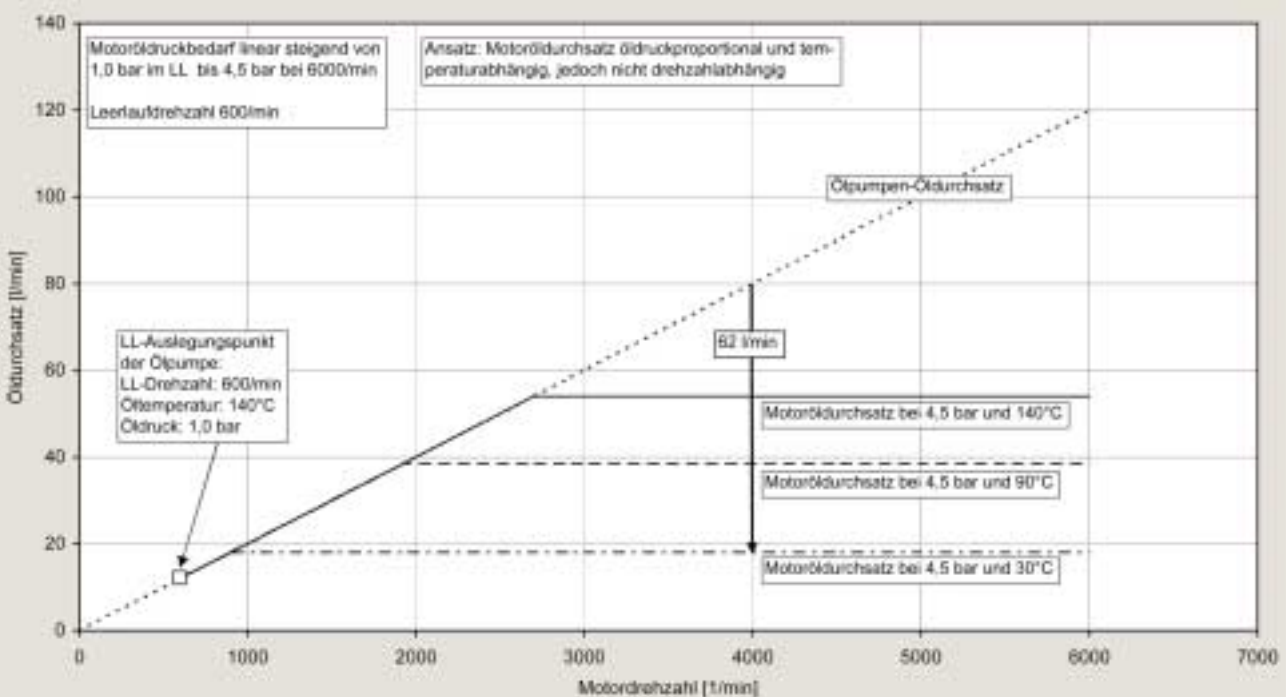
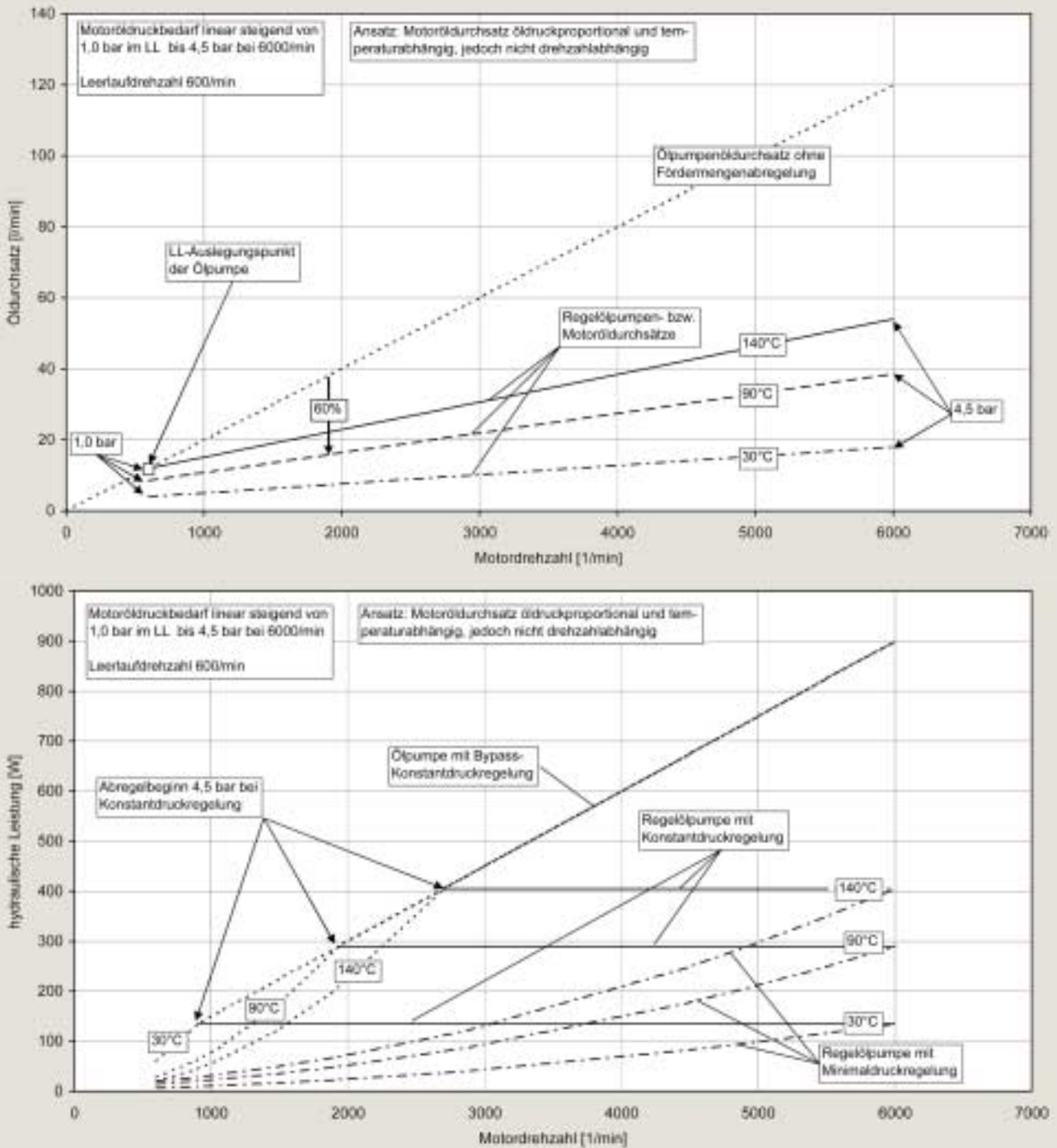


Bild 1: Öldurchsätze eines Verbrennungsmotors mit einer bei 4,5 bar bypassgeregelten Ölpumpe

Figure 1: Oil flow rates in an internal combustion engine with bypass-controlled oil pump with cut-off at 4.5 bar

2.2 Verbesserungspotenzial von Regelölpumpen



Vorteile aufweist. Das Verbesserungspotenzial einer Regelölpumpe kommt jedoch erst vollständig zur Geltung, wenn anstelle der Konstantdruckregelung die Minimaldruckregelung angewandt wird. Ausgehend von gleichen hydraulischen Leistungen bei 6000/min mit jeweiligem Öldruck von 4,5 bar führt der bei abnehmenden Drehzahlen linear absinkende

Öldruck der Minimaldruckregelung zu einem proportional mit ihm absinkenden Öldurchsatz. Hieraus resultiert beispielsweise bei einer Motordrehzahl von 2700/min mit einem gegenüber 6000/min hier auf 2,25 bar halbierten Öldruckbedarf des Motors und halbiertem Öldurchsatz, Bild 2, dass sich bei 2700/min die hydraulische Leistung bei der Minimaldruckrege-

lung um beträchtliche 75 % gegenüber der Konstantdruckregelung reduziert.

Durch diese erheblichen Vorteile der Minimaldruckregelung können auch im unteren Betriebsdrehzahlbereich eines Motors nennenswerte Ölpumpen-Antriebsleistungsvorteile und entsprechende Verbrauchsvorteile in üblichen Verbrauchstests erzielt werden.

Bild 2: Öldurchsätze eines Verbrennungsmotors mit einer minimaldruck-geregelten Regelölpumpe
Figure 2: Oil flow rates in an internal combustion engine with minimal pressure-controlled regulated oil pump

Bild 3: Hydraulische Leistungen von Bypass- und Regelölpumpen
Figure 3: Hydraulic power values for bypass and regulated oil pumps

2.3 Ausführungsmöglichkeiten für Regelölpumpen

2.3.1 Konstantdruckregelung

Bekannte Ausführungen von Regelölpumpen mit einer Konstantdruckregelung haben sich zur Schmierölversorgung von Verbrennungsmotoren noch nicht durchgesetzt, was sicherlich darauf beruht, dass entsprechend Bild 3 ihr Potenzial zur

Antriebsleistungsabsenkung gegenüber einer üblichen Bypass-Regelung im unteren Drehzahlbereich eingeschränkt ist.

Eine Konstantdruckregelung sollte weiterhin mit zunehmender Abregelung möglichst auch keinen Öldruckanstieg durch eine entsprechend ansteigende Regelfederkraft hervorrufen, da ansonsten die über die Fördermengenreduzierung erzielbaren Antriebsleistungsvorteile zumindest teilweise wieder verloren gehen. Folglich ist entweder eine baurnachteilig lange Regelfeder mit einer niedrigen Federkonstante oder eine hydraulische Kompensation der regelwegabhängigen Kraftzunahme der Regelfeder erforderlich.

2.3.2 Drehzahlabhängige Öldruckregelung

Eine Regelölpumpe mit Minimaldruckregelung entsprechend dem Versorgungsbedarf des Schmierölsystems eines Verbrennungsmotors bietet aufgrund minimaler hydraulischer Leistungen, Bild 3, die besten Voraussetzungen für geringe Ölpumpen-Antriebsleistungen.

Die Realisierung der vorteilhaften Minimaldruckregelung an Regelölpumpen erfordert jedoch einen gewissen Regelungsaufwand. Hierzu sind beispielsweise elektrische Regelvorrichtungen denkbar, die jedoch hinsichtlich des Kostenaufwands in einem akzeptablen Verhältnis zum erzielbaren Verbrauchsvorteil stehen müssen. Ein diesbezüglich guter Kompromiss ist beispielsweise mit einer Stufen-druckregelung realisierbar, die im Prinzip eine zweistufige Konstantdruckregelung darstellt. Ausgehend von Bild 3 zeigt **Bild 4** die hydraulischen Leistungen einer Stufen-druckregelung mit einer Umschaltung der Druckregelung zwischen 4,5 und 2,5 bar mit einer hier gewählten Druckumschaltung bei einer Motordrehzahl von 2950/min. Gegenüber der einfachen Konstantdruckregelung bei 4,5 bar, Bild 3, können im unteren Drehzahlbereich durch die Stufen-druckregelung deutliche Absenkungen der hydraulischen Antriebsleistungen erzielt werden.

2.3.4 Bauarten von Regelölpumpen

Wesentliche Antriebsleistungsvorteile sind nur bei einer auch wirkungsgradoptimalen Umsetzung der hydraulischen Leistung durch eine entsprechend ausgeführte Regelölpumpe zu erreichen. Ein hoher Ölpumpenwirkungsgrad ist durch niedrige Reibungs- und Strömungsverluste sowie geringe Innenleckagen der Regelölpumpe zu erzielen.

Als mögliche Regelölpumpen für Ver-

brennungsmotoren sind Flügelzellenpumpen, Innenzahnradpumpen und Außenzahnradpumpen bekannt. Sie unterscheiden sich in ihrer Regelungsart, ihrem Raumbedarf und ihren Herstellkosten. Entscheidend für eine Serienanwendung sind gute Ölpumpenwirkungsgrade, insbesondere auch bei Fördermengenabregelung, sowie akzeptable Herstellkosten.

3 Ausführung und Erprobung einer Regelölpumpe mit drehzahlabhängiger Öldruckregelung

3.1 Ausführung und Regelungsverfahren der Regelölpumpe

Außenzahnrad-Ölpumpen mit axialer Zahnradverschiebung bieten infolge kleiner Reibradien gute Voraussetzungen für einen hohen Wirkungsgrad. Sie zeichnen sich weiterhin dadurch aus, dass ihre inneren Strömungsverluste mit zunehmender Fördermengenabregelung zurückgehen, was bei bekannten Innenzahnrad-Regelölpumpen nicht der Fall ist. Gegenüber Flügelzellen-Regelölpumpen dürften ihre Herstellkosten geringer ausfallen.

Für die herzustellende Regelölpumpe wurde deshalb das Prinzip der Außenzahnradpumpe mit axialer Zahnradverschiebung gewählt.

Als drehzahlabhängiges Regelungsverfahren wurde eine Stufen-druckregelung mit elektrischem 2/3-Wegeventil bevorzugt, da bereits mit diesem einfachen Regelungsprinzip eine beträchtliche Absenkung der hydraulischen Leistungen im unteren Drehzahlbereich möglich ist, Bild 4.

Das **Bild 5** zeigt in schematischer Darstellung die Ausführung der Regelölpumpe mit einer im Zylinderkurbelgehäuse angeordneten, elektrischen Regeleinheit. Das von den Ölpumpenzahnrädern geförderte Drucköl wird erst nach dem Ölfilter des Motors für die Ölpumpenregelung abgegriffen, sodass einerseits Ölfilterdruckverluste kompensiert und andererseits die Regelungskomponenten mit gefiltertem Öl versorgt werden. Die Regelung der axial veränderlichen Eingriffsüberdeckung der beiden Förderzahnrad A und B, in Bild 5 bei etwa 65 % gezeigt, erfolgt hydraulisch gegen eine Rückstellfeder. Während die das Förderzahnrad B aufnehmende Verschiebeeinheit rechtsseitig vollständig vom Förderdruck beaufschlagt wird, wirkt linksseitig die Rückstellfeder sowie ein im Federraum herrschender Regel-druck. Dieser Regel-druck wird von einem zweistufigen Regelkolben bereitgestellt, der ihn bedarfsgerecht zwischen dem Förderdruck

2.3.2 Drehzahlabhängige Öldruckregelung

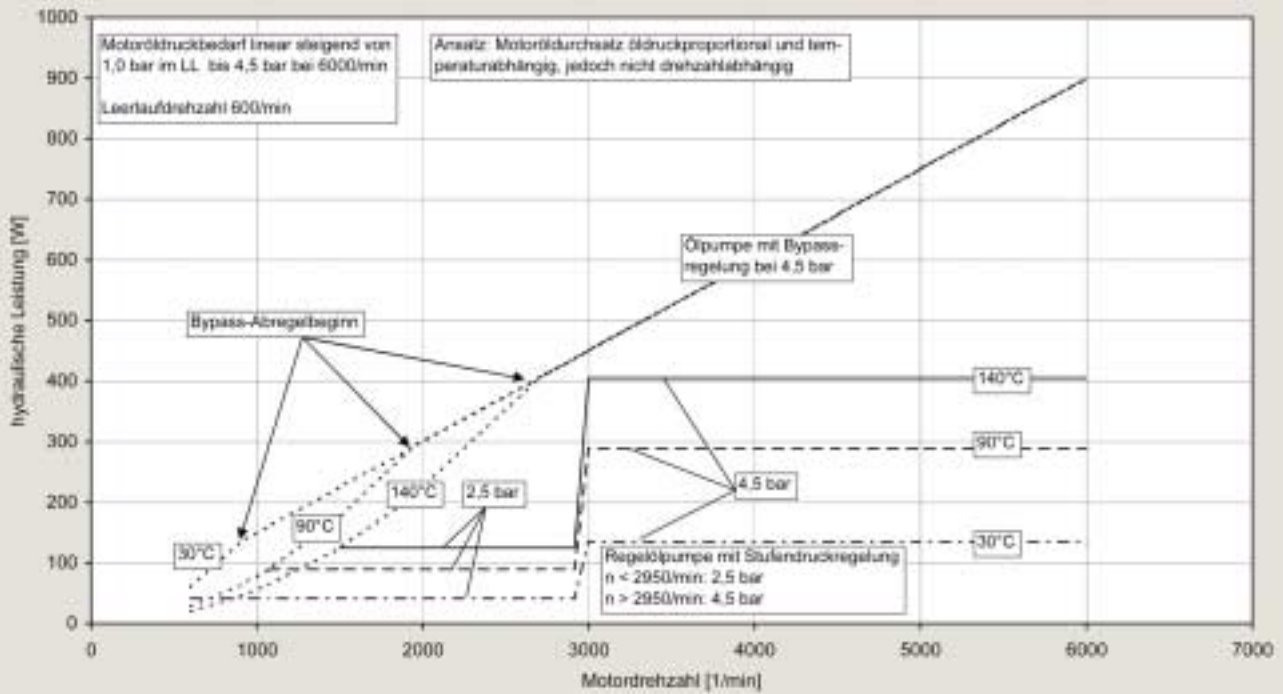


Bild 4: Hydraulische Leistungen einer Regelölpumpe mit Stufendruckregelung
 Figure 4: Hydraulic power values for regulated oil pumps with incremental pressure control

3.1 Ausführung und Regelungsverfahren der Regelölpumpe

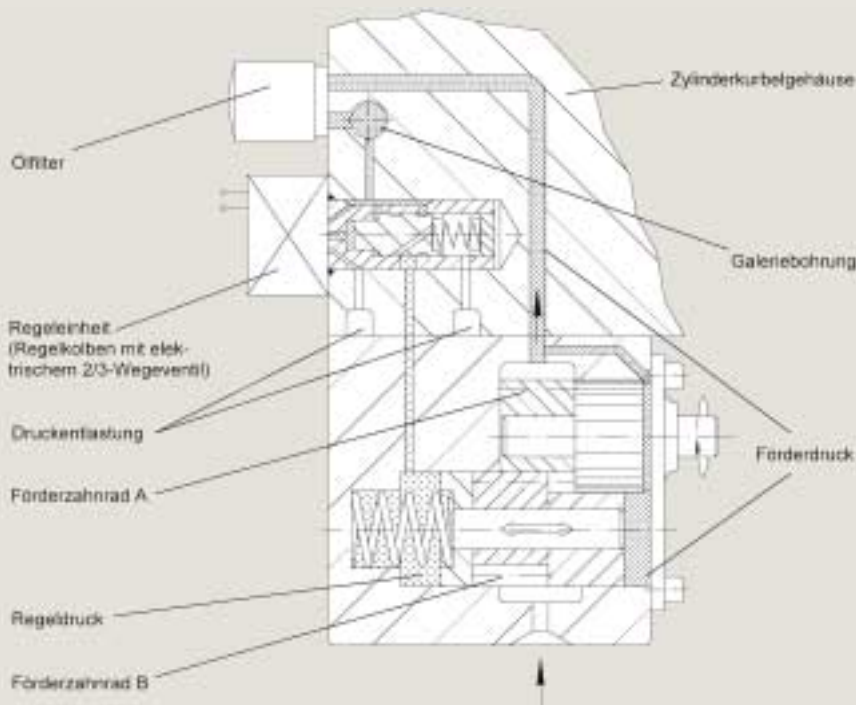


Bild 5: Außenzahnrad-Regelölpumpe mit elektrohydraulischer Regeleinheit am Zylinderkurbelgehäuse
 Figure 5: Regulated outer gear oil pump with electro-hydraulic control unit on cylinder crankcase

3.2 Funktionserprobung der Außenzahnrad-Regelölpumpe mit Stufendruckregelung

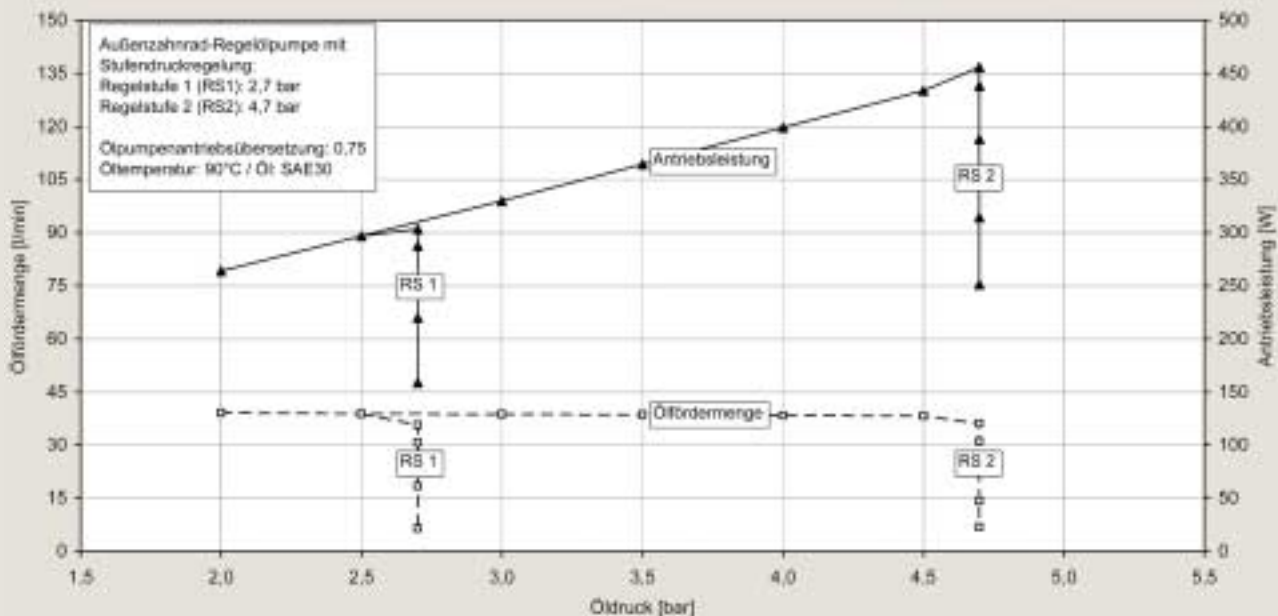


Bild 6: Kennlinien der Regelölpumpe mit Stufendruckregelung bei Motordrehzahl 2000/min und 40 °C
 Figure 6: Curves of the regulated oil pump with incremental pressure control at engine speed of 2000 rpm and 40 °C

sowie einer vollständigen Druckentlastung variieren kann. Der zweistufige Regelkolben der Regeleinheit wird ohne elektrische Ansteuerung lediglich an seiner Ringfläche vom Förderdruck beaufschlagt, wobei er mit seiner zugehörigen Regelfeder dann den Regeldruck für einen Förderdruck mit einem höheren Druckwert einstellt. Bei einer Bestromung (12 V) des 2/3-Wegeventils wirkt der Förderdruck auch auf dem Zapfen des gestuften Regelkolbens, sodass sich der Förderdruck entsprechend dem dann abgesenkten Regeldruck auf einen geringeren Druckwert einregelt.

Die in Bild 5 gezeigte Anordnung der elektrischen Regeleinheit am Zylinderkurbelgehäuse ist besonders vorteilhaft, da sie einerseits Elektrokomponenten im ölbenetzten Kurbelraum des Motors vermeidet und andererseits eine kompakte Regelölpumpe ermöglicht.

Für den Nachweis der mit einer drehzahlabhängigen Öldruckregelung an Regelölpumpen erzielbaren Antriebsleistungsvorteile wurde von IFM Motortechnik eine Außenzahnrad-Regelölpumpe mit einer Stufendruckregelung hergestellt, deren Fördermengenauslegung etwa den Anforderungen des in Bild 1 zugrunde liegenden Beispielmotors entspricht. Weiterhin wurde eine Antriebsübersetzung vorgegeben. Diese Prototyp-Regelölpumpe weist folgende Ausführungsdaten auf:

Bauart:

Außenzahnrad-Regelölpumpe mit axialer Zahnradverschiebung

Theoretische Fördermenge:

26,3 cm³ pro Ölumpenumdrehung

Regelungsart:

Stufendruckregelung durch eine zweistufige, elektrohydraulische Regeleinheit mit den Regelstufen 2,7 bar (12 Volt) und 4,7 bar (0 Volt)

Antriebsübersetzung:

$n_p / n_m = 0,75$

3.2 Funktionserprobung der Außenzahnrad-Regelölpumpe mit Stufendruckregelung

Durch anfängliche Basismessungen bei Vollförderung der Regelölpumpe zur Simulation einer Bypass-Regelung wurde eine Bewertungsgrundlage für die Ergebnisse bei aktiver Fördermengenregelung geschaffen.

Nachfolgend werden die an der IFM-Regelölpumpe mit Stufendruckregelung erzielten Ergebnisse anhand von Diagrammen erläutert.

Das Bild 6 zeigt für die beiden möglichen Druckregelstufen von 2,7 beziehungsweise 4,7 bar zugehörige Ölfördermengen- wie auch Antriebsleistungskennlinien in Abhängigkeit vom Öldruck bei 2000/min und 40 °C. Die jeweils exakte Einhaltung des Öldrucks von 2,7 beziehungsweise 4,7 bar bei Abregelung der Förderölmenge zeugt von einer guten

Regelqualität der elektrohydraulischen Regeleinheit. Aus den zugehörigen Ölumpen-Antriebsleistungen wird bereits hier den Antriebsleistungsvorteil einer Umschaltung der Öldruckregelung von 4,7 auf 2,7 bar im unteren Drehzahlbereich ersichtlich.

In Bild 7 sind für den gesamten Motordrehzahlbereich zwischen dem Leerlauf bei 600/min und der Höchstdrehzahl von 6000/min die Antriebsleistungen der Regelölpumpe in Abhängigkeit von der Fördermenge aufgetragen. Die Umschaltung der Stufendruckregelung zwischen 2,7 und 4,7 bar wurde entsprechend Bild 4 bei einer Motordrehzahl von 2950/min gewählt, bei der gerade noch ein Mindestöldruckbedarf von 2,5 bar besteht.

Mit der Fördermengenreduzierung bei konstanten Regeldrücken von 2,7 beziehungsweise 4,7 bar nehmen entsprechend der Verläufe der Drehzahl-Kennlinien auch die Antriebsleistungen ab. Die Kennlinienlücke zwischen 2667/min und 3333/min veranschaulicht den Antriebsleistungsvorteil der Stufendruckregelung im unteren Drehzahlbereich, deren Umschaltung bei 2950/min erfolgt.

Für Vergleichszwecke sind in Bild 7 auch die gemessenen Antriebsleistungen der Regelölpumpe bei deaktivierter Regelung zur Simulation einer Bypass-Regelung eingetragen, für die ein konstanter Abregel-Öldruck von 5,0 bar berücksichtigt ist.

3.2 Funktionserprobung der Außenzahnrad-Regelölpumpe mit Stufendruckregelung

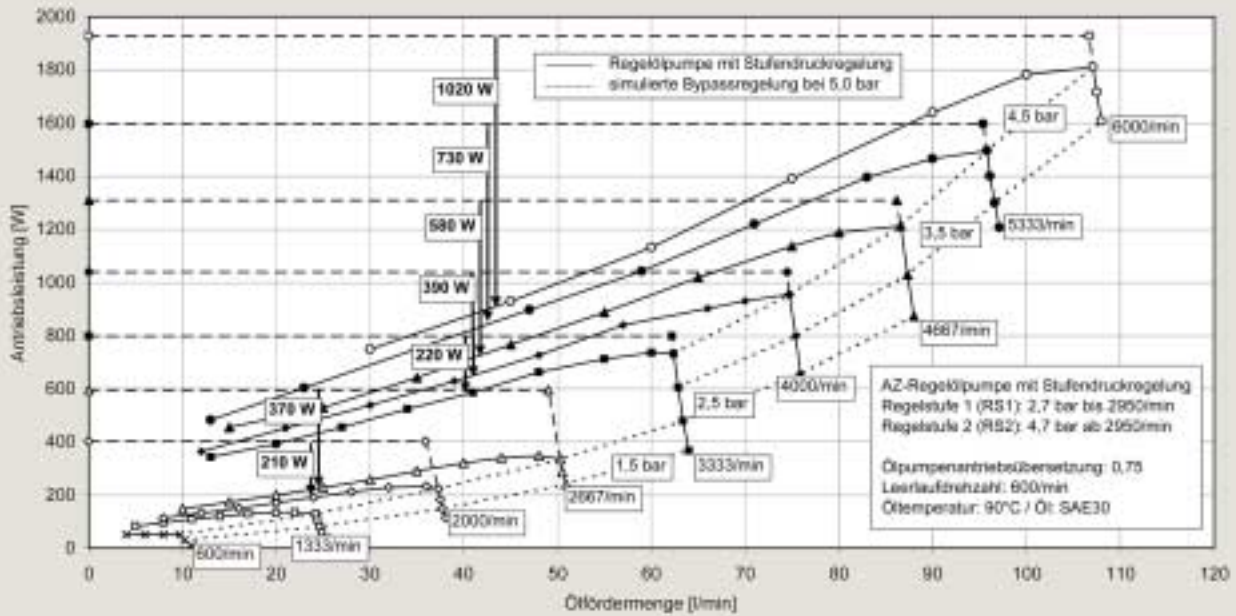


Bild 7: Antriebsleistungen und Antriebsleistungsvorteile der Regelölpumpe mit Stufendruckregelung
 Figure 7: Drive power values and drive power advantages of the regulated oil pump with incremental pressure control

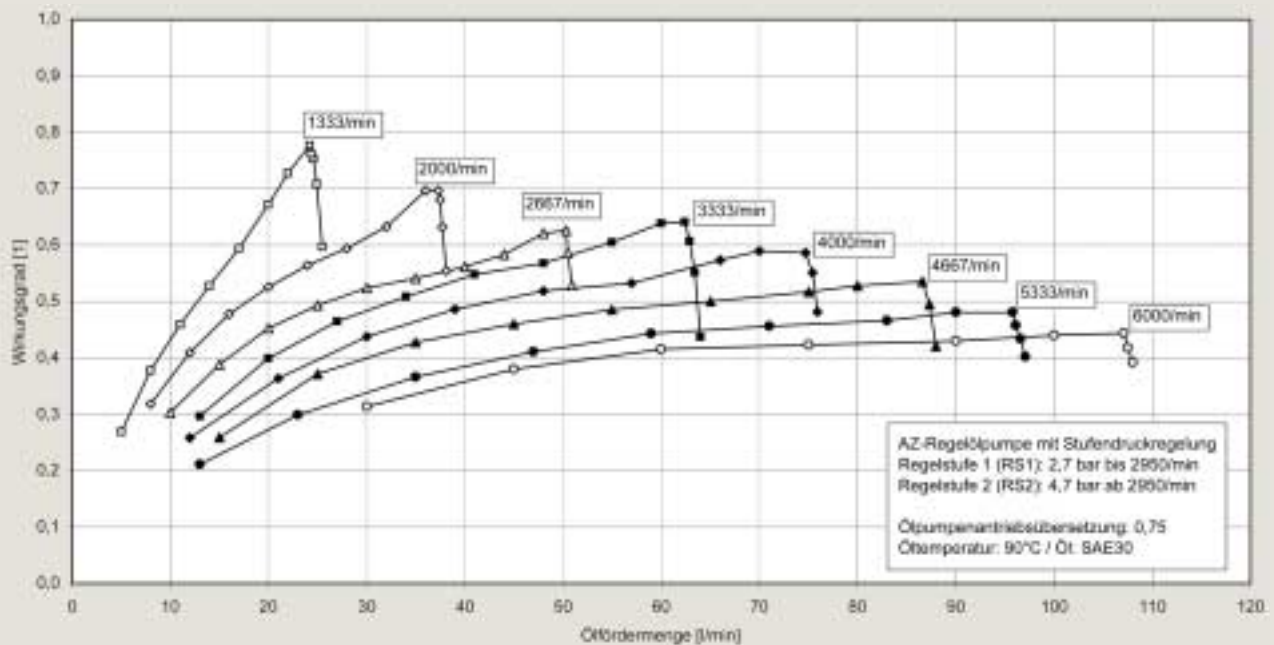


Bild 8: Wirkungsgrade der Regelölpumpe mit Stufendruckregelung
 Figure 8: Efficiency values of the regulated oil pump with incremental pressure control

Bei einem Öldruck von 4,5 bar sowie einer Öltemperatur von 90 °C beträgt entsprechend Bild 1 der zugehörige Öldurchsatz des Beispielmotors drehzahlunabhängig 38,6 l/min. In Bild 7 wurde deshalb für die ausgeführte Regelölpumpe mit einem oberen Regeldruck von 4,7 bar bei 90 °C ein sich einstellender Motoröldrucksatz von zirka 40 l/min angenommen. Für diesen

drehzahlunabhängigen Motoröldrucksatz zeigen die Pfeile den jeweiligen Antriebsleistungsvorteil der Regelölpumpe mit Stufendruckregelung gegenüber der Bypass-Regelung, wobei die Pfeile aus darstellungstechnischen Gründen leicht versetzt sind. Der mit abnehmender Drehzahl sich verkleinernde Antriebsleistungsvorteil wird nach der Stufendruckumschal-

tung bei 2950/min von 4,7 auf 2,7 bar und dem dadurch auf 23 l/min gesenkten Motoröldrucksatz infolge der resultierenden Abnahme der hydraulischen Leistung, Bild 4, nun wieder nennenswert erhöht.

In **Bild 8** sind für die einzelnen Drehzahlen die zugehörigen Wirkungsgrade der Regelölpumpe mit Stufendruckregelung aufgetragen. Der in weiten Bereichen

3.2 Funktionserprobung der Außenzahnrad-Regelölpumpe mit Stufendruckregelung

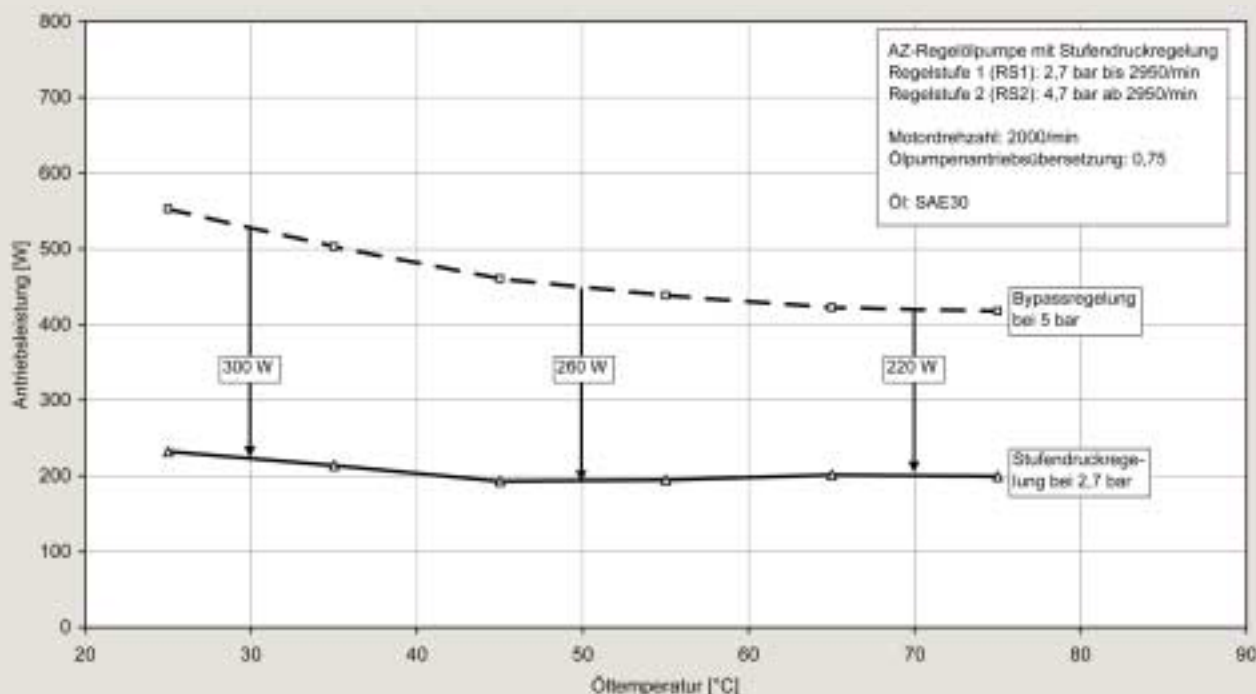


Bild 9: Antriebsleistungen und Antriebsleistungsvorteile der Regelölpumpe mit Stufendruckregelung im Kaltbetrieb
 Figure 9: Drive power values and drive power advantages of the regulated oil pump with incremental pressure control in cold operation

relativ flache Verlauf der Wirkungsgradlinien weist für die gewählte Außenzahnrad-Regelölpumpe eine gute Eignung für eine effektive Umsetzung der regelungsbedingt gesenkten, hydraulischen Leistungen in Antriebsleistungsvorteile aus.

Mit einer drehzahlabhängigen Öldruckabsenkung können insbesondere auch im Kaltbetrieb entsprechend Bild 3 und Bild 4 Antriebsleistungsvorteile erzielt werden. Die Ergebnisse entsprechender Messungen bei einer Motordrehzahl von 2000/min zeigt das **Bild 9**. Gegenüber der Bypass-Regelung mit einer Öldruckbegrenzung bei 5 bar werden durch den bei 2000/min möglichen Öldruck von 2,7 bar der Regelölpumpe mit Stufendruckregelung die Antriebsleistungen im Warmlaufbetrieb mehr als halbiert.

4 Verbrauchsvorteile durch Regelölumpen mit drehzahlabhängiger Öldruckregelung

Die erzielten Ergebnisse zeigen, dass erst eine drehzahlabhängige Öldruckregelung an Regelölumpen deren Verbesserungspotenzial effektiv zur Wirkung bringt. Die erzielbaren mittleren Antriebsleistungsvorteile in der Größenordnung von zirka 50 % gegenüber Ölpumpen mit serienüblicher Bypass-Regelung versprechen für den

Einsatz von Regelölumpen mit Stufendruckregelung in Kraftfahrzeugmotoren durchaus nennenswerte Kraftstoffverbrauchsvorteile, insbesondere auch wegen der nach jedem Kaltstart relativ hohen Fördermengen-Abregelraten beim Kaltbetrieb von Kraftfahrzeugmotoren.

Auf Basis der mit der Stufendruckregelung erzielten Antriebsleistungsvorteile wurde eine vereinfachte Abschätzung der erzielbaren Verbrauchsvorteile [4] vorgenommen. Hiernach sind durch die Verwendung von Außenzahnrad-Regelölumpen mit Stufendruckregelung durchaus Kraftstoffverbrauchsvorteile von 1 bis 1,5 % zu erwarten.

Bei einem abgeschätzten Herstellkosten-Mehraufwand von etwa 20 Euro für Regelölumpen mit elektrischer Stufendruckregelung ergibt sich daraus ein hervorragendes Kosten/Nutzen-Verhältnis von maximal 20 Euro Herstellmehrkosten pro Verbrauchsprozent.

In einer Aufwandsbetrachtung über verbrauchssenkende Verbesserungsmaßnahmen an Kraftfahrzeugmotoren [5] wurde im Jahre 1999 das serienakzeptable Kosten/Nutzen-Verhältnis umgerechnet bei zirka 30 Euro Herstellmehrkosten pro 0,1 l/100 km Verbrauchsvorteil eingestuft.

Ob mit einer etwas aufwändigeren Minimaldruckregelung gegenüber einer

Stufendruckregelung die noch bis auf 2 % [3] steigerbaren Verbrauchsvorteile den Regelungsmehraufwand rechtfertigen, kann erst nach einer seriennahen Systemerprobung mit einer dann genaueren Bewertung des Mehraufwandes beurteilt werden.

Literaturhinweise

- [1] Voigt, D.: Motorschmierung bei modernen Pkw-Motoren. Schmierung von Verbrennungskraftmaschinen, S. 146-159; Expert-Verlag, 2002
- [2] IFM Motorentechnik: Ölpumpe mit drehzahlabhängiger Öldruckregelung. In: MTZ 64 (2003), Nr. 3, S. 179
- [3] Schwaderlapp, M.; Dohmen, J.; Haubner, F.; Barthel, R.; Biver, C.: Reibungsreduzierung als Verbrauchsmaßnahme. In: MTZ 64 (2003), Nr. 3, S. 222-229
- [4] Rohde-Brandenburger, K.: Verfahren zur einfachen und sicheren Abschätzung von Kraftstoffverbrauchspotenzialen. Tagung: Einfluss von Gesamtfahrzeug-Parametern auf Fahrverhalten/Fahrleistung und Kraftstoffverbrauch. Haus der Technik/Essen, 19./20.11.1996
- [5] Mundorff, F.: Für 0,1 l Verbrauchsreduktion sind bis zu 60 DM höhere Kosten möglich. In: ATZ 101 (1999), Nr. 9, S. 632

For an English version of this article, see **MTZ worldwide**
 For information on subscriptions, just call us or send an email or fax.



MTZ Vieweg Verlag · Postfach 1546 · D-65173 Wiesbaden
 Hotline 06 1178 78-151 Fax 06 1178 78-423
 email: vieweg.service@bertelsmann.de