

22

Thermomanagement bei Schaeffler

Wie viel Wasser braucht ein Motor?

Elmar Mause
Eduard Golovatai-Schmidt
Markus Popp
Sebastian Hurst



Thermomanagement ist ein wichtiges Thema zur CO₂-Reduzierung. Im Folgenden werden Gründe für den Einsatz eines Thermomanagementsystems aufgeführt, die Anforderungen analysiert und ein Ansatz zur Realisierung eines solchen Systems vorgestellt.

Thermomanagement

Der Begriff Thermomanagement bezeichnet die bedarfsgerechte und effiziente Lenkung der thermischen Energieströme im Fahrzeug entsprechend dem jeweils vorherrschenden Betriebs- bzw. Lastzustand. Dadurch können die Fahrzeugemissionen reduziert und der thermodynamische und mechanische Motorwirkungsgrad verbessert werden. Niedrigere Kraftstoffverbräuche, eine erhöhte Motorlebensdauer und ein verbesserter Klimakomfort sind die Folge.

Idealerweise sollte je nach Betriebszustand des Motors die Temperatur des Kühlmittels angepasst werden (Bild 1).

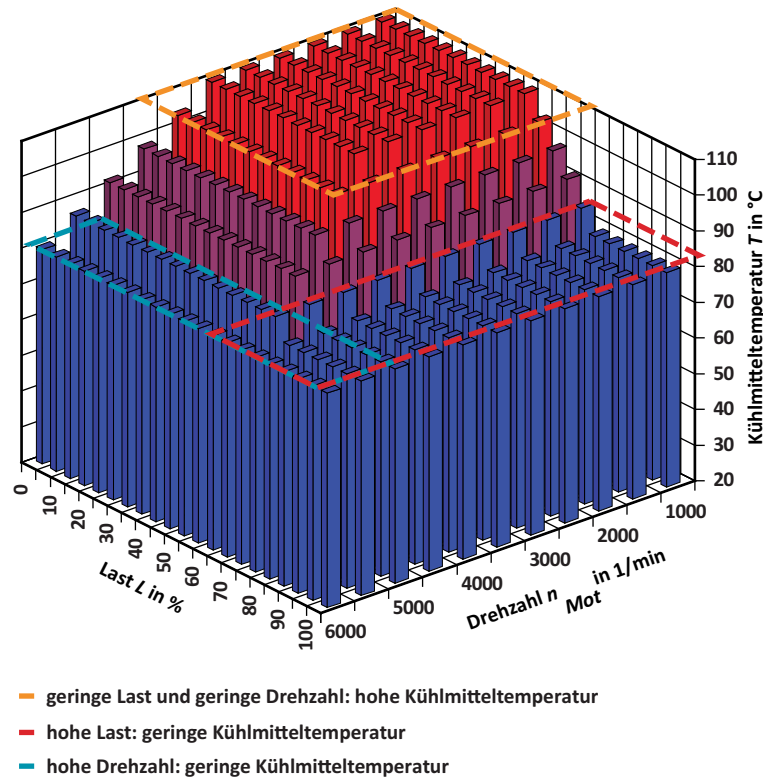


Bild 1 Gewünschte Kühlmitteltemperatur in Abhängigkeit von Last und Drehzahl aus [1]

Beim Kaltstart soll eine schnelle Aufheizung des Verbrennungsmotors erreicht werden, wodurch die Reibung deutlich reduziert wird. Entscheidend ist, dass sich das Motoröl schnell erwärmt und somit die Ölviskosität abnimmt. Hierzu darf die vom Motor erzeugte Wärme nicht durch das Kühlmedium abgeführt werden, sondern muss zum Aufheizen des Motoröls genutzt werden.

Bei geringer und mittlerer Last sind zur weiteren Absenkung der Motorreibung hohe Kühlmitteltemperaturen (ca. 110 °C) erwünscht.

Am Dieselmotor kann, neben den zuvor erwähnten Vorteilen, die Akustik durch Verkürzung des Zündverzugs verbessert werden. Durch geschicktes Thermomanagement ist eine Beeinflussung der Verdampfungsgeschwindigkeit und somit des Zündverzuges möglich.

Um Klopfen am Ottomotor zu verhindern sowie die Anfettung des Gemisches zu reduzieren soll die Kühlmitteltemperatur bei hoher Last und hohen Drehzahlen möglichst abgesenkt werden (ca. 80 °C).

Zwischen den beiden Grenzwerten der Kühlmitteltemperatur müssen Zwischenstufen definiert werden. Diese sind je nach Verbrennungsmotor unterschiedlich und können sich an verschiedensten Zielen orientieren (Reibungsreduzierung, optimierte Verbrennung, geringere Rohemissionen, erhöhter Komfort, etc.).

Ein ideales Thermomanagementsystem soll die gewünschte Temperatur des Kühlmittels entsprechend der oben aufgeführten Forderungen einstellen können.

Durch Thermomanagementmaßnahmen sind im NEFZ Kraftstoffeinsparungen bis zu 4 % erreichbar (Bild 2). Die

blaue Kurve stellt den kumulierten Verbrauch eines Referenzmotors dar, die rote Kurve den eines Motors mit Thermomanagementmaßnahmen. Mit der grünen Kurve sind die Einsparungen durch das Thermomanagementsystem prozentual im NEFZ aufgetragen. Auffällig ist, dass vor allem im Kurzstreckenbetrieb sogar Einsparpotenziale weit über 4 % zu erwarten sind. Dies ist vor allem durch eine schnellere Aufheizung des Motors und damit verbundener Reibungsreduktion erklärbar.

Einen Eindruck von der möglichen Reduzierung der Motorreibung vermittelt Bild 3. Bei einer Erhöhung der Öltemperatur von 20 °C auf 80 °C sinkt das gesamte Reibmoment im Motor um 75 % bei einer Öltemperatur von 110 °C sogar um 85 %.

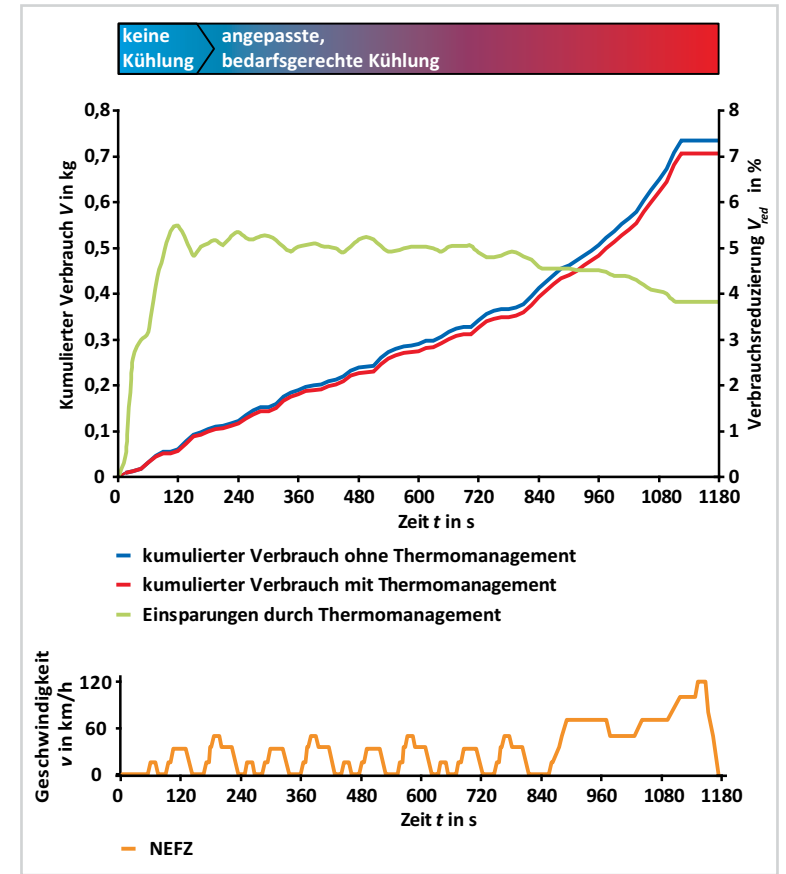


Bild 2 Einsparungen durch Thermomanagement aus [2]

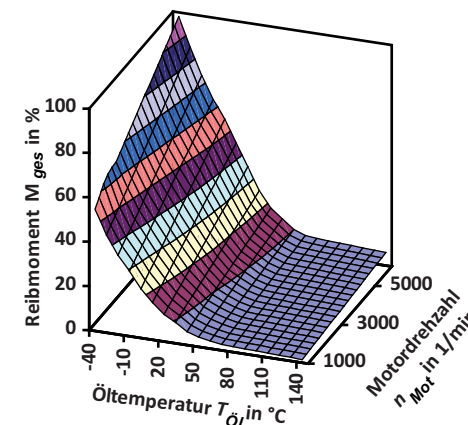
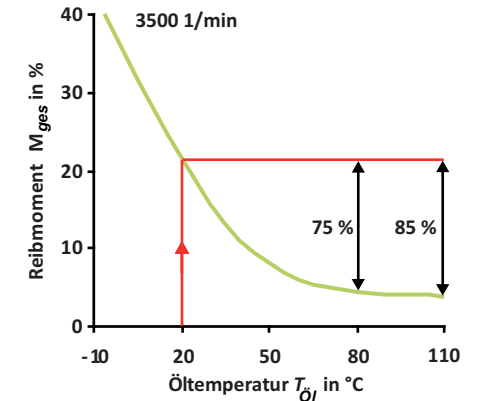


Bild 3 Reduzierung der Motorreibung aus [3]

möglichst hoher Temperatur, einen signifikanten Beitrag zur Reibungs- und somit zur Verbrauchsreduzierung leisten.



Komponenten für Thermomanagement

Sämtliche Komponenten im Kühlkreislauf, in Bild 4 dargestellt, sind prinzipiell in das Thermomanagement einzubeziehen – Kühler, Ventilator, Jalousien, Thermostat, Steuergerät und Wasserpumpe. Zurzeit weisen diese Komponenten eine begrenzte Variabilität auf.

So sind beispielsweise Thermostate bekannt, die über Wachselemente gesteuert werden. Weiterhin sind bereits schaltbare oder elektrisch angetriebene Wasserpumpen im Einsatz. Der Kühler kann durch Teilung oder Abdeckung durch Jalousien den Kühlluftstrom begrenzen. Beim Ventilator ergeben sich ähnliche Ansätze wie bei der Wasserpumpe (elektrisch angetriebener Ventilator, Viscokupplung, etc.).

In fast allen Fahrzeugen werden heute allerdings noch unregelte, mechanisch angetriebene Wasserpumpen eingesetzt. Diese sind über den Riementrieb fest an die Drehzahl des Motors gekoppelt und besitzen somit keinerlei Variabilität. Im Folgenden wird eine regelbare Wasserpumpe vorgestellt, welche die geforderte Variabilität zur Verfügung stellt. Der variabel einstellbare Volumenstrom liefert einen zusätzlichen Freiheitsgrad im Kühlsystem.

Regelbare Kühlmittelpumpe

Die regelbare Kühlmittelpumpe ist eine Zentrifugalpumpe mit einem im Rotor integrierten Leit-

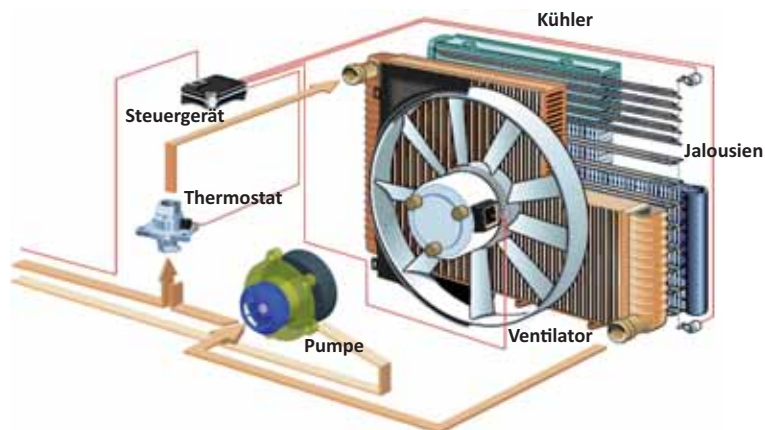


Bild 4 Komponenten des Thermomanagements aus [1]

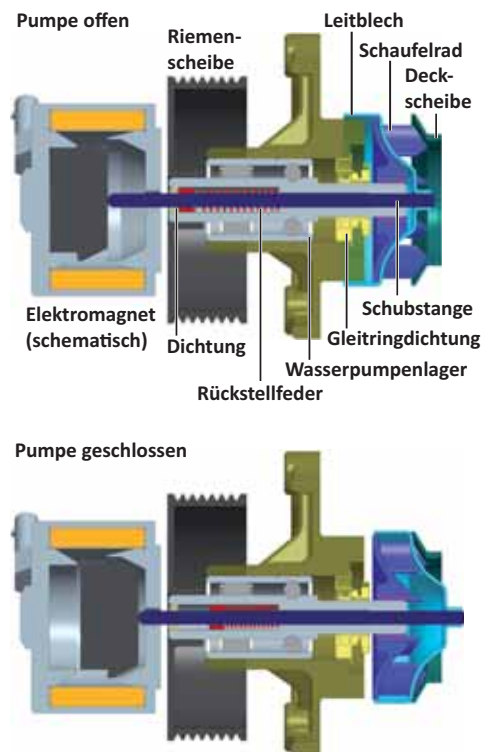


Bild 5 Aufbau regelbare Wasserpumpe

blech, wie in Bild 5 dargestellt. Durch axiales Verschieben des Leitblechs wird eine gewisse Breite des Rotors freigegeben. Hierdurch kann der Förderstrom eingestellt werden.

Befindet sich das Leitblech in der linken Position (Bild 5 oben) ist die Rotorbreite vollständig freigegeben, der geförderte Volumenstrom ist maximal.

Hierbei ist der Elektromagnet, der auf der linken Seite sitzt und als Aktuator dient, unbestromt. Soll der Volumenstrom verringert werden, wird der Elektromagnet mit einem bestimmten Strom beaufschlagt. Der Anker wird entsprechend nach rechts geschoben, drückt auf die Schubstange und bewegt somit das Leitblech nach rechts. Die effektive Breite des Strömungs-

kanals verringert sich hierdurch und schnürt den Durchfluss ab (Bild 5 unten).

Um die Fail-Safe-Funktion bei Ausfall des Magneten zu gewährleisten, wird das Leitblech durch eine Druckfeder in der vollständig geöffneten Pumpenposition gehalten. Die Druckfeder ist so ausgelegt, dass bei maximal herrschenden Strömungskräften eine vollständige Öffnung der Wasserpumpe gewährleistet ist.

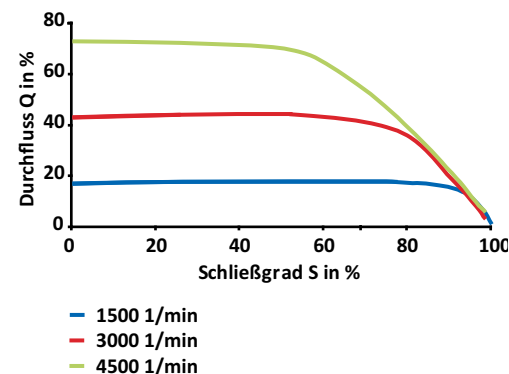


Bild 6 Durchfluss über Pumpenschließgrad und Drehzahl

Bild 6 zeigt das Durchflussverhalten der Pumpe bei verschiedenen Schließgraden und Drehzahlen. Ein Schließgrad von 0 % entspricht der vollständig geöffneten Pumpe, bei 100 % ist die Pumpe geschlossen. Es ist erkennbar, dass der Durchfluss zu höheren Schließgraden hin signifikant abnimmt. Der Durchfluss ist somit durch die Stellung des Leitbleches einstellbar.

In Bild 7 ist der Pumpenwirkungsgrad über dem Durchfluss bei einer Drehzahl von 2500 1/min abgebildet. Erkennbar ist, dass bei dieser Drehzahl der maximale Wirkungsgrad bei ca. 50 % geöffneten Pumpe erreicht wird. Dies ist auf die teilweise auftre-

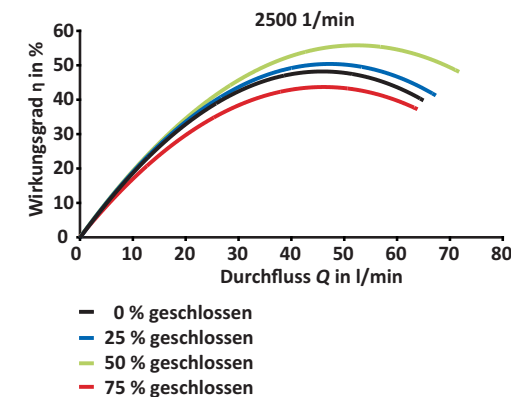


Bild 7 Pumpenwirkungsgrad über Durchfluss und Schließgraden

tenden Rückströmungen und Verwirbelungen außerhalb des Auslegungspunktes zurückzuführen (Bild 8).

Bei Nenndrehzahl wird die komplette Rotorbreite zur Förderung des Mediums genutzt. Bei niedrigen Drehzahlen treten Rückströmungen in der unregulierten Pumpe auf (Bild 8 linke Spalte) und reduzieren dadurch den Wirkungsgrad. Durch den Einsatz des Leitbleches wird die Rotorbreite immer dem geforderten Volumenstrom angepasst (Bild 8 rechte Spalte). Dadurch treten keine Rückströmungen auf die einen Energieverlust darstellen, d. h. der Wirkungsgrad der Pumpe steigt.

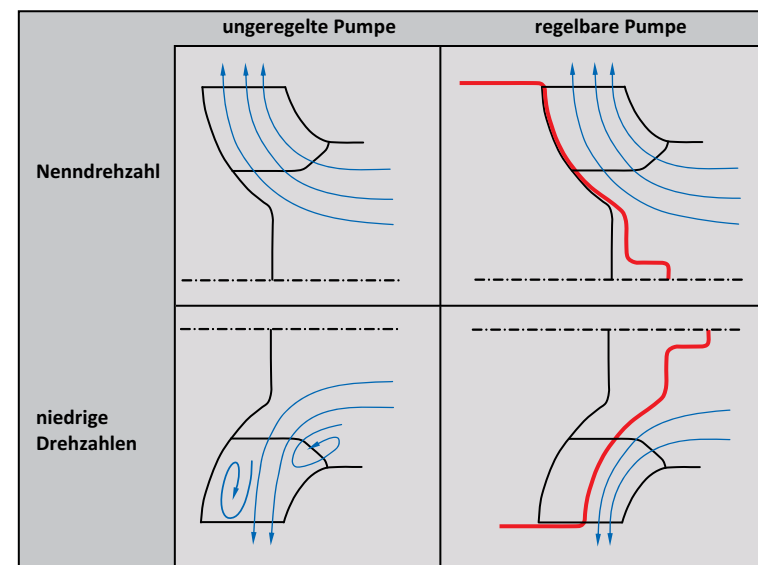


Bild 8 Vergleich zwischen unregelter und regelbarer Wasserpumpe

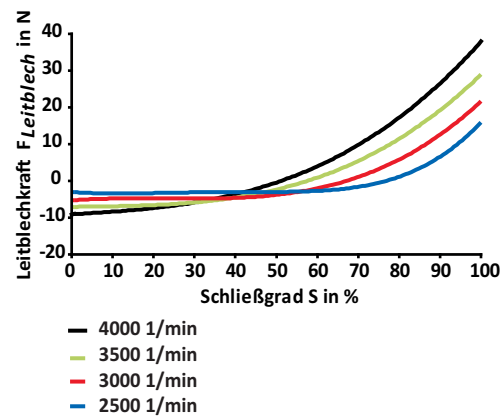


Bild 9 Leitblechkräfte über Schließgrad und Drehzahlen

Aktuator

Bild 9 zeigt die am Leitblech angreifenden Axialkräfte über dem Pumpenschließgrad bei verschiedenen Drehzahlen. Die aus der Strömung resultierenden negativen Axialkräfte bewegen das Leitblech in Richtung „Geschlossen“, positive dagegen in Richtung „Geöffnet“, (Bild 5).

Man erkennt, dass bei verschiedenen Drehzahlen die Kraft auf das Leitblech, bei verschiedenen Schließgraden, die Richtung wechselt. Dieser Punkt

stellt die optimale Rotorbreite entsprechend der Drehzahl dar. Unterhalb dieser Breite kann der Volumenstrom abgeregelt werden.

Aufgrund seines physikalischen Funktionsprinzips wirken die Kräfte des elektromagnetischen Aktuators nur in einer Richtung (Druckmagnet). Um immer ein positives Kraftniveau zu gewährleisten wird eine Druckfeder zur Kompensation eingesetzt. Dies stellt sicher, dass das Leitblech in allen Betriebszuständen in Position „Geöffnet“ gehalten wird und vom Druckmagneten in Richtung „Geschlossen“ bewegt wird.

Um die Rotorbreite und somit den Volumenstrom je nach Drehzahl zu regeln, bedarf es eines Aktuators mit welchem definierte Kräfte einstellbar sind. Die einfachste Möglichkeit dies zu realisieren ist ein Puls-Weiten modulierter Hubmagnet mit Kennlinienbeeinflussung. Durch die Puls-Weiten-Modulation der Spannung lassen sich definierte Ströme einstellen welche die benötigten Kräfte erzeugen. In Bild 10 ist der Elektromagnet der regelbaren Wasserpumpe im Querschnitt abgebildet.

In Bild 11 sind die vom Magneten ausgeübten Kräfte in Abhängigkeit von Durchflutung (Stromstärke) und Magnethub sowie die Axialkräfte auf das Leitblech dargestellt. Man erkennt, dass sich für verschiedene Stromstärken bzw. Durchflutungen die Magnetkraft ändert und somit das Kräftegleichgewicht in verschiedenen Leitblechpositionen erreicht wird.

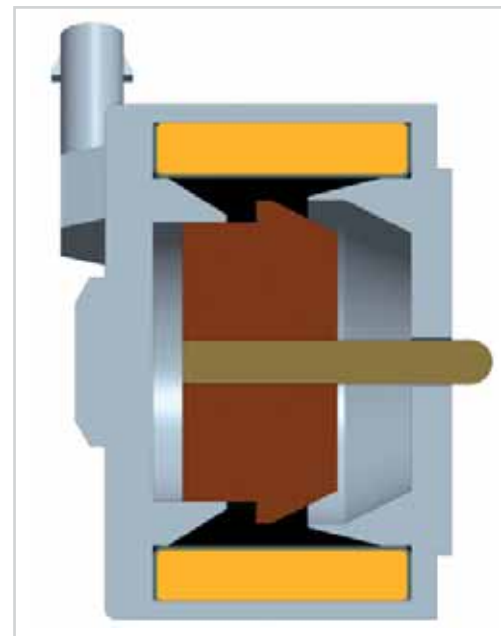


Bild 10 Elektromagnet

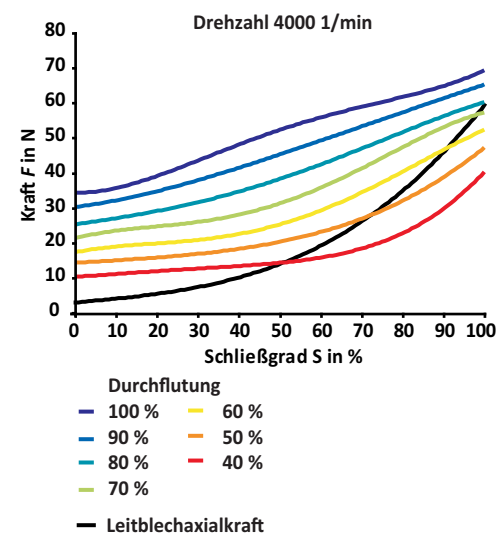


Bild 11 Magnetkräfte und Strömungskräfte über Schließgrad S und Durchflutung

Letztlich kann so die Leitblechposition gezielt eingestellt und eine Reduzierung des Volumenstroms bis hin zu Null erreicht werden. Berücksichtigt man, dass die Leitblechkräfte sich sowohl mit der Drehzahl als auch mit der Leitblechposition verändern so benötigt man pro Betriebszustand eine entsprechende Stromstärke welche über Pulsweitenmodulation realisiert werden kann.

Zusammenfassung und Ausblick

Im vorliegenden Beitrag wurde eine variable Kühlmittelpumpe zur bedarfsgerechten Regelung der Motortemperatur vorgestellt. Wesentliche Entwicklungsziele des Thermomanagements sind die Reduktion des Kraftstoffverbrauchs, die Erhöhung der Motorlebensdauer und des Komforts. Durch die vorgestellte regelbare Wasserpumpe kann der Kühlmittelvolumenstrom je nach aktuellem Betriebszustand des Motors geregelt werden, und weiterhin noch der Wirkungsgrad je nach Fahrsituation, durch Anpassung der Rotorbreite, erhöht werden. Das Entwicklungsziel wurde in diesem Fall

durch die sinnvolle Modifikation und Kombination bereits bestehender Komponenten erreicht.

Eine Integration dieser regelbaren Wasserpumpe mit anderen variablen Komponenten zu einem Thermomanagementsystem ist ein weiterer vielversprechender Ansatz für die Zukunft.

Literatur

- [1] Behr Thermot-tronik GmbH: Kennfeldthermostate – Höchstleistung für den Kühlkreislauf, <http://www.behrthermottronik.de/produkte/automobil/kennfeldthermostat.pdf>, November 2009
- [2] Maassen, F.-J.; Dohmen, J.; Pischinger, S.; Schwaderlapp, M.: Reibleistungsreduktion – Konstruktive Maßnahmen zur Verbrauchsreduzierung, MTZ – Motortechnische Zeitschrift, Juli 2005
- [3] Brinker, M.: Thermomanagement und Motorkühlung aus Sicht von Opel / GMPT, CTI Forum: Thermomanagement im Automobil, Februar 2008