

A wireframe illustration of a car, showing the engine, transmission, and drivetrain components. The car is depicted in a dynamic, forward-moving pose against a blue background with motion blur. The wireframe is composed of a grid of white lines.

ATZ live

Johannes Liebl *Hrsg.*

Reibungsminimierung im Antriebsstrang 2015

Effiziente Wege finden

4. ATZ-Fachtagung

Proceedings

 Springer Vieweg

Proceedings

Ein stetig steigender Fundus an Informationen ist heute notwendig, um die immer komplexer werdende Technik heutiger Kraftfahrzeuge zu verstehen. Funktionen, Arbeitsweise, Komponenten und Systeme entwickeln sich rasant. In immer schnelleren Zyklen verbreitet sich aktuelles Wissen gerade aus Konferenzen, Tagungen und Symposien in die Fachwelt. Den raschen Zugriff auf diese Informationen bietet diese Reihe Proceedings, die sich zur Aufgabe gestellt hat, das zum Verständnis topaktueller Technik rund um das Automobil erforderliche spezielle Wissen in der Systematik aus Konferenzen und Tagungen zusammen zu stellen und als Buch in Springer.com wie auch elektronisch in SpringerLink und Springer Professional bereit zu stellen.

Die Reihe wendet sich an Fahrzeug- und Motorenengineering sowie Studierende, die aktuelles Fachwissen im Zusammenhang mit Fragestellungen ihres Arbeitsfeldes suchen. Professoren und Dozenten an Universitäten und Hochschulen mit Schwerpunkt Kraftfahrzeug- und Motorentechnik finden hier die Zusammenstellung von Veranstaltungen, die sie selber nicht besuchen konnten. Gutachtern, Forschern und Entwicklungsingenieuren in der Automobil- und Zulieferindustrie sowie Dienstleistern können die Proceedings wertvolle Antworten auf topaktuelle Fragen geben.

Today, a steadily growing store of information is called for in order to understand the increasingly complex technologies used in modern automobiles. Functions, modes of operation, components and systems are rapidly evolving, while at the same time the latest expertise is disseminated directly from conferences, congresses and symposia to the professional world in ever-faster cycles. This series of proceedings offers rapid access to this information, gathering the specific knowledge needed to keep up with cutting-edge advances in automotive technologies, employing the same systematic approach used at conferences and congresses and presenting it in print (available at Springer.com) and electronic (at Springer Link and Springer Professional) formats.

The series addresses the needs of automotive engineers, motor design engineers and students looking for the latest expertise in connection with key questions in their field, while professors and instructors working in the areas of automotive and motor design engineering will also find summaries of industry events they weren't able to attend. The proceedings also offer valuable answers to the topical questions that concern assessors, researchers and developmental engineers in the automotive and supplier industry, as well as service providers.

Weitere Bände in der Reihe <http://www.springer.com/series/13360>

Johannes Liebl
(Hrsg.)

Reibungsminimierung im Antriebsstrang 2015

Effiziente Wege finden

4. ATZ-Fachtagung

Herausgeber
Johannes Liebl
Moosburg, Deutschland

ISSN 2198-7432 ISSN 2198-7440 (electronic)
Proceedings
ISBN 978-3-658-23188-0 ISBN 978-3-658-23189-7 (eBook)
<https://doi.org/10.1007/978-3-658-23189-7>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Vieweg

© Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, ein Teil von Springer Nature 2018

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Verantwortlich im Verlag: Markus Braun

Springer Vieweg ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH und ist ein Teil von Springer Nature
Die Anschrift der Gesellschaft ist: Abraham-Lincoln-Str. 46, 65189 Wiesbaden, Germany

Vorwort

Die Minimierung von Reibung ist die Grundvoraussetzung für einen effizienten Antriebsstrang im Pkw und Nfz. So ist zum Beispiel die weitere Reduzierung der Reibleistung im Antriebsstrang ein wichtiger Bestandteil, um die scharfen CO₂-Vorgaben ab 2020 zu erfüllen. Neben der Optimierung der Einzelkomponenten gewinnt die Betrachtung des Gesamtsystems immer mehr an Bedeutung. Der systemische Ansatz vom Verbrennungsmotor über das Getriebe bis hin zum Achsantrieb ist entscheidend, um neue technische Lösungen zu erarbeiten. Die Entwicklungsingenieure müssen dafür die Wirkzusammenhänge verstehen. Wir möchten deshalb bei der Tagung, neben der klassischen Arbeit der Wirkungsgradverbesserung an den einzelnen Aggregaten auch die Potenziale der Reibungsreduzierung durch die Steuerung und Regelung des Antriebssystems diskutieren.

Die 4. ATZ-Fachtagung „Reibungsminimierung im Antriebsstrang“ soll den Forschungs- und Entwicklungsingenieuren in diesem Jahr ein noch breiteres Themenspektrum zum Informations- und Erfahrungsaustausch bieten. Künftig findet die Tagung jährlich statt, um der Reibungsreduzierung die verdiente Wertigkeit zu geben.

Im Namen des Wissenschaftlichen Beirats laden wir Sie herzlich ein, an der wichtigen Diskussion über die richtigen Maßnahmen zur weiteren Reibungsminimierung im Antriebsstrang teilzunehmen.

Nutzen Sie die Chance zur Vernetzung mit Fachkollegen. Wir freuen uns schon heute auf den Dialog mit Ihnen.

Für den Wissenschaftlichen Beirat
Dr. Johannes Liebl
Herausgeber ATZ | MTZ | ATZelektronik

Inhaltsverzeichnis

Tribologie in Kettensteuertrieben – Reibung und Verschleiß

Dr. Kai Arens, Dr. T. Andres und K. Elwan

Reibungsuntersuchungen an Steuertrieben von modernen Pkw-Verbrennungsmotoren

Daniel S. Hosse, Jörg Neugärtner und Prof. Dr. Rudolf Flierl

Untersuchung der Reibungsbeiträge an Steuerkettentrieben mittels Ultraschallverfahren

Jörg Neugärtner, Prof. Dr. P. Holstein und C. Probst

Einfluss niedrigviskoser Schmierstoffe auf die Werkstoffe von Kurbelwellen- und Pleuelgleitlagern

Dr. Konstantinos Kalogiannis, David R. Merritt, Dr. Omar Mian und Daniel Hrdina

Einfluss des Motoröls auf die Reibung der Kolbengruppe in einem Dieselmotor

Prof. Dr. Dirk Bartel und Matthias Schorgel

LESS – Low Emission Sealing Solutions

Dr. Eberhard Bock, Dr. Tim Leichner und Uwe Müller

Reibleistungsreduzierung an hochbelasteten Einspritzsystemkomponenten

Christian Lensch-Franzen, Prof. Dr. J. Hadler, M. Kronstedt, M. Wittemann, Dr. T. Doguer und Dr. K. Pöhlmann

Schmierung bei Bedarf – eine neue Generation von Hochleistungs-Gleitlagerbeschichtungen

Dr. Roger Gorges, David R. Latham und Ian Laing

Turbocharger Bearing Friction Measurement and Simulation

Julius Perge, B. Hoepke, T. Uhlmann, J. Dohmen und J. Lehmann

Effizienter mit Hightech-Stahlkolben

Dr. Volker Lagemann, Dr. Torsten Eder, Dr. Thomas Behr, Dr. Ralph Weller, Jens Böhm, Simon Binder und Wolfgang Dietz

Advances in Determination of Piston Group Friction Losses at High Speeds and Loads using the AVL FRISC Single-Cylinder Engine

Dr. S. Lösch, Dr. Christoph Priestner, B. Thonhauser, F. Zieher und Prof. Dr. H. Hick

Reibleistungsmessung an einem befeuerten Nfz-Motor mittels p_{mi} -geregelter Betriebsart

Dr. Arnim Robota und Torsten Dörre

Friction Reduction with Thermally Sprayed Cylinder Liner Coatings

Andrei Manzat und Prof. Dr. Dr. Rainer Gadow

Hybride Antriebskonfigurationen – ein Systemvergleich mit Schwerpunkt Mechanik / Reibung

Prof. Werner Klement

Tagungsbericht

Angelina Hofacker

Autorenverzeichnis

Dr. T. Andres iwis motorsysteme GmbH & Co. KG, Landsberg am Lech, Deutschland

Dr. Kai Arens iwis motorsysteme GmbH & Co. KG, Landsberg am Lech, Deutschland

Prof. Dr. Dirk Bartel Otto-von-Guericke-Universität, Magdeburg, Deutschland

Dr. Thomas Behr Daimler AG, Stuttgart, Deutschland

Simon Binder Daimler AG, Stuttgart, Deutschland

Dr. Eberhard Bock Freudenberg Sealing Technologies GmbH & Co. KG, Weinheim, Deutschland

Jens Böhm Daimler AG, Stuttgart, Deutschland

Wolfgang Dietz Daimler AG, Stuttgart, Deutschland

Dr. T. Doguer APL Automobil-Prüftechnik Landau GmbH, Landau, Deutschland

J. Dohmen FEV GmbH, Aachen, Deutschland

Torsten Dörre Federal-Mogul Burscheid GmbH, Burscheid, Deutschland

Dr. Torsten Eder Daimler AG, Stuttgart, Deutschland

K. Elwan iwis motorsysteme GmbH & Co. KG, Landsberg am Lech, Deutschland

Prof. Dr. Rudolf Flierl TU Kaiserslautern, Kaiserslautern, Deutschland

Prof. Dr. Dr. Rainer Gadow Universität Stuttgart, Stuttgart, Deutschland

Dr. Roger Gorges MAHLE Engine Systems UK Ltd., Warwickshire, Großbritannien

Prof. Dr. J. Hadler APL Automobil-Prüftechnik Landau GmbH, Landau, Deutschland

Prof. Dr. H. Hick TU Graz, Graz, Österreich

B. Hoepke RWTH Aachen University, Aachen, Deutschland

Angelina Hofacker Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, Wiesbaden, Deutschland

Prof. Dr. P. Holstein TU Ilmenau, Ilmenau, Deutschland

- Daniel S. Hosse** TU Kaiserslautern, Kaiserslautern, Deutschland
- Daniel Hrdina** MAHLE GmbH, Stuttgart, Deutschland
- Dr. Konstantinos Kalogiannis** MAHLE Engine Systems UK Ltd, Warwickshire, UK
- Prof. Werner Klement** Hochschule Esslingen, Esslingen, Deutschland
- M. Kronstedt** APL Automobil-Prüftechnik Landau GmbH, Landau, Deutschland
- Dr. Volker Lagemann** Daimler AG, Stuttgart, Deutschland
- Ian Laing** MAHLE Engine Systems UK Ltd, Warwickshire, Großbritannien
- David R. Latham** MAHLE Engine Systems UK Ltd, Warwickshire, Großbritannien
- J. Lehmann** FEV GmbH, Aachen, Deutschland
- Dr. Tim Leichner** Freudenberg Sealing Technologies GmbH & Co. KG, Weinheim, Deutschland
- Christian Lensch-Franzen** APL Automobil-Prüftechnik Landau GmbH, Landau, Deutschland
- Dr. S. Lösch** AVL List GmbH, Graz, Österreich
- Andrei Manzat** AUDI AG, Neckarsulm, Deutschland
- David R. Merritt** MAHLE Engine Systems UK Ltd, Warwickshire, UK
- Dr. Omar Mian** MAHLE Engine Systems UK Ltd, Rugby, UK
- Uwe Müller** Freudenberg Sealing Technologies GmbH & Co. KG, Weinheim, Deutschland
- Jörg Neugärtner** TU Kaiserslautern, Kaiserslautern, Deutschland
- Julius Perge** RWTH Aachen University, Aachen, Deutschland
- Dr. K. Pöhlmann** IAVF Antriebstechnik GmbH, Karlsruhe, Deutschland
- Dr. Christoph Priestner** AVL List GmbH, Graz, Österreich
- C. Probst** TU Ilmenau, Ilmenau, Deutschland
- Dr. Arnim Robota** Federal-Mogul Burscheid GmbH, Burscheid, Deutschland
- Matthias Schorgel** Otto-von-Guericke-Universität, Magdeburg, Deutschland
- B. Thonhauser** AVL List GmbH, Graz, Österreich
- T. Uhlmann** FEV GmbH, Aachen, Deutschland
- Dr. Ralph Weller** Daimler AG, Stuttgart, Deutschland
- M. Wittemann** APL Automobil-Prüftechnik Landau GmbH, Landau, Deutschland
- F. Zieher** AVL List GmbH, Graz, Österreich



Tribologie in Kettensteuertrieben – Reibung und Verschleiß

Dr. Kai Arens, Dr. Thorsten Andres, Karim Elwan

1 Vorstellung iwis motorsysteme

Als innovationsstarker Zulieferer der Automobilindustrie bewegt iwis mit hochwertigen Kettentriebsystemen für Nockenwellen, Einspritzpumpen, Ausgleichswellen, Ölpumpen und Nebenaggregaten Motoren und Fahrzeuge aller Art. iwis ist Entwicklungs- und Systempartner sämtlicher namhafter Automobilhersteller, so dass iwis Motorsystemlösungen heute in beinahe jedem Fahrzeug auf den Straßen der Welt zu finden sind.

Mehr als 70000 m Präzisionsketten werden täglich an zwei Standorten in Bayern produziert. Dazu notwendig ist die tägliche Produktion von mehr als 35 Mio. Einzelteilen auf höchstem Qualitätsstandard, die zu Ketten verarbeitet werden. Innovation als Antrieb ist ein wichtiger Motivator für die Entwicklungsingenieure bei iwis. Nur durch ständiges Infrage stellen von bekannten Lösungen ist es möglich, einen innovativen Ansatz für künftige Lösungen zu generieren. Ein hohes Maß an risikoreichen Innovationen ist außerdem zur Erhaltung der Wettbewerbsposition und des Wettbewerbsvorteils erforderlich.

Derzeit setzt iwis Motorsysteme mit seiner Tritan-Beschichtung den Standard hinsichtlich optimiertem Verschleiß von Rollen und Hülsenketten für Steuertriebanwendungen. Durch seine aktuellen Entwicklungsaktivitäten wird iwis das Verschleißverhalten seiner Steuerkettensysteme weiter optimieren und dabei gleichzeitig die Reibungsreduktion im Steuertrieb immer stärker in den Vordergrund stellen.

2 Kettensteuertriebe

Bei Steuerketten können 3 Kettentypen unterschieden werden, die aufgrund Ihrer Charakteristika in unterschiedlichen Anwendungen zum Einsatz kommen.

Hülsenketten bestehen aus einer abwechselnden Folge von Außen und Innengliedern. Die Außenglieder setzen sich aus je 2 Laschen und Bolzen zusammen, wobei die Bolzen per Presssitz in die Außenlaschen gefügt werden und so die beiden Laschen verbinden. Über den Bolzen drehbar gelagert befinden sich die Hülsen, welche wiederum ebenfalls per Presssitz 2 Laschen miteinander verbinden und damit das Innenglied darstellen. Rollenketten sind prinzipiell ähnlich aufgebaut wie Hülsenketten, hier befindet sich zusätzlich über der Hülse eine frei drehbare Rolle.

Bei einer Zahnkette bestehen die Kettenglieder aus nebeneinander angeordneten Zahnlaschen. Die Außen- und Mittellaschen sind mit einer Presspassung und die Innenlaschen mit einer Spielpassung mit dem Bolzen verbunden.

Üblicherweise werden Hülsenketten in Motoren mit besonders herausfordernden Verschleißanforderungen verwendet. So werden z.B. in Dieselmotoren vornehmlich Hülsenketten im Steuertrieb eingesetzt. Kann Dauerfestigkeit und Verschleiß etwas zurückgenommen werden, um dann z.B. die akustischen Eigenschaften zu verbessern, wird

häufig auf eine Rollenkette zurückgegriffen, die bei gleicher Teilung eine geringere Gelenkfläche aufweist. Jedoch bildet sich zwischen Rolle und Hülse ein Ölfilm, der den Einlauf ins Kettenrad dämpft und somit akustische Vorteile aufweist.

Abgesehen vom Aufbau unterscheiden sich Zahnketten prinzipiell durch die geänderte Kraftübertragung zwischen Kette und Kettenrad. Bei Rollen und Hülsenketten schlagen die Kettenglieder regelrecht in die Zähne des Kettenrades ein. Zahnketten werden durch die Evolventen Verzahnung der Zahnlaschen quasi in das Kettenrad hineingezogen. Dadurch entstehen vornehmlich akustische Vorteile. Hinsichtlich Dauerfestigkeit, Verschleiß und Gewicht ist die Zahnkette der Hülsenkette jedoch in der Regel unterlegen. Somit kommen Zahnketten vornehmlich in Benzinmotoren zum Einsatz, bei denen ein noch größerer Schwerpunkt auf dem akustischen Verhalten der Systemteile liegt.

Bei der Betrachtung von Reibungs- und Verschleißverhalten des Steuertriebes betrachten wir 3 unterschiedliche Tribosysteme.

1. Die Schnittstelle zwischen Kette und Führungsschienen
2. Das Kettengelenk
3. Die Schnittstelle zwischen Kette und Kettenrad

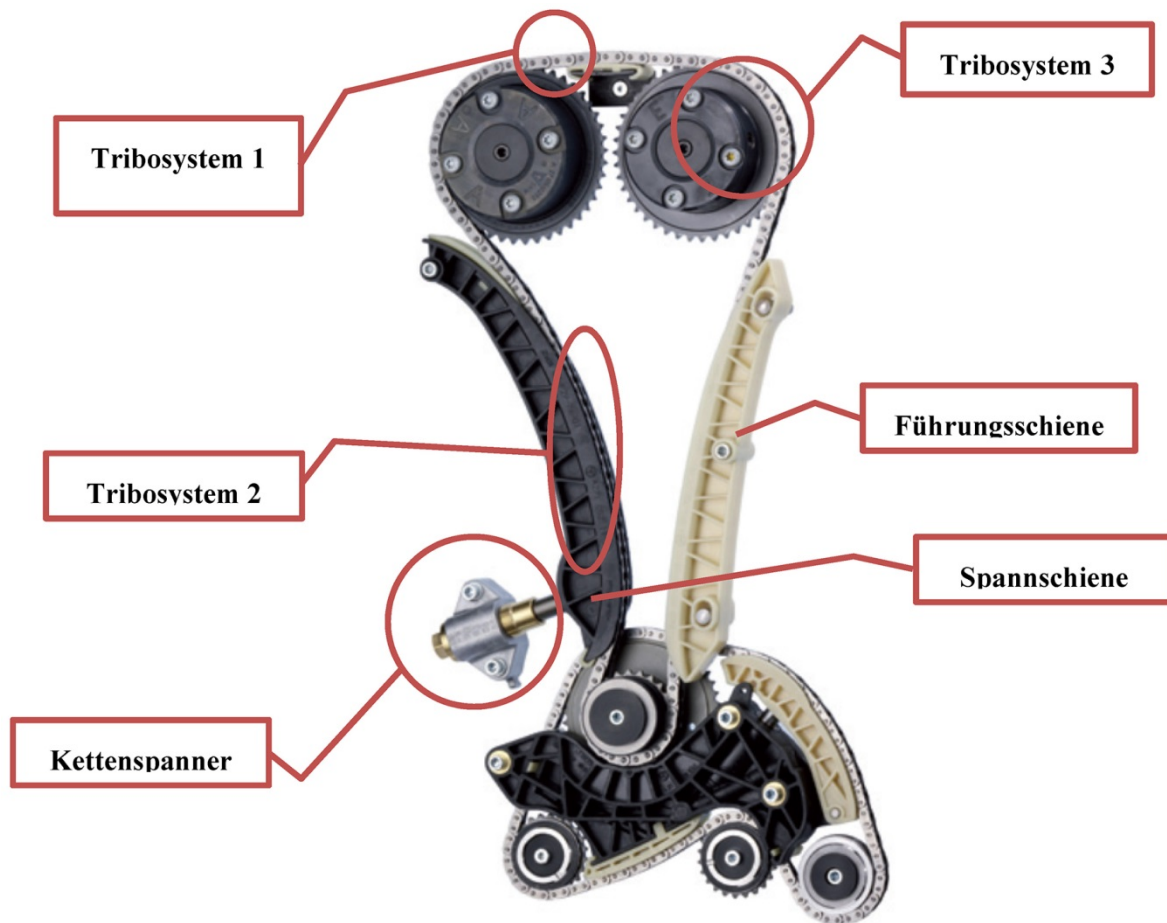


Abbildung 1: Übersicht Tribosysteme

3 Zukünftige Herausforderungen an Kettensteuertriebe

Aktuelle Entwicklungstendenzen in der Motorenentwicklung haben in unterschiedlichem Maße Einfluss auf die Anforderungen an den Steuertrieb. So werden speziell Benzinmotoren z.B. heute so ausgelegt, dass Sie mit niedrigeren Drehzahlen betrieben werden, ähnlich wie Dieselmotoren. Bereits bei aktuellen Benzinmotoren befindet sich die Steuerkette maßgeblich im Bereich der Mischreibung. Betrachtet man die Stribeck Kurve (Abbildung 2) so ist für zukünftige Anwendungen mit einer weiteren Verschiebung des Arbeitsbereiches hin zur Grenzreibung zu rechnen, wie es bei den meisten Dieselmotoren heute schon der Fall ist. Daraus lässt sich folgern, dass sich die Anforderungen an den Kettensteuertrieb hinsichtlich Dauerfestigkeit und Verschleißverhalten erhöhen werden.

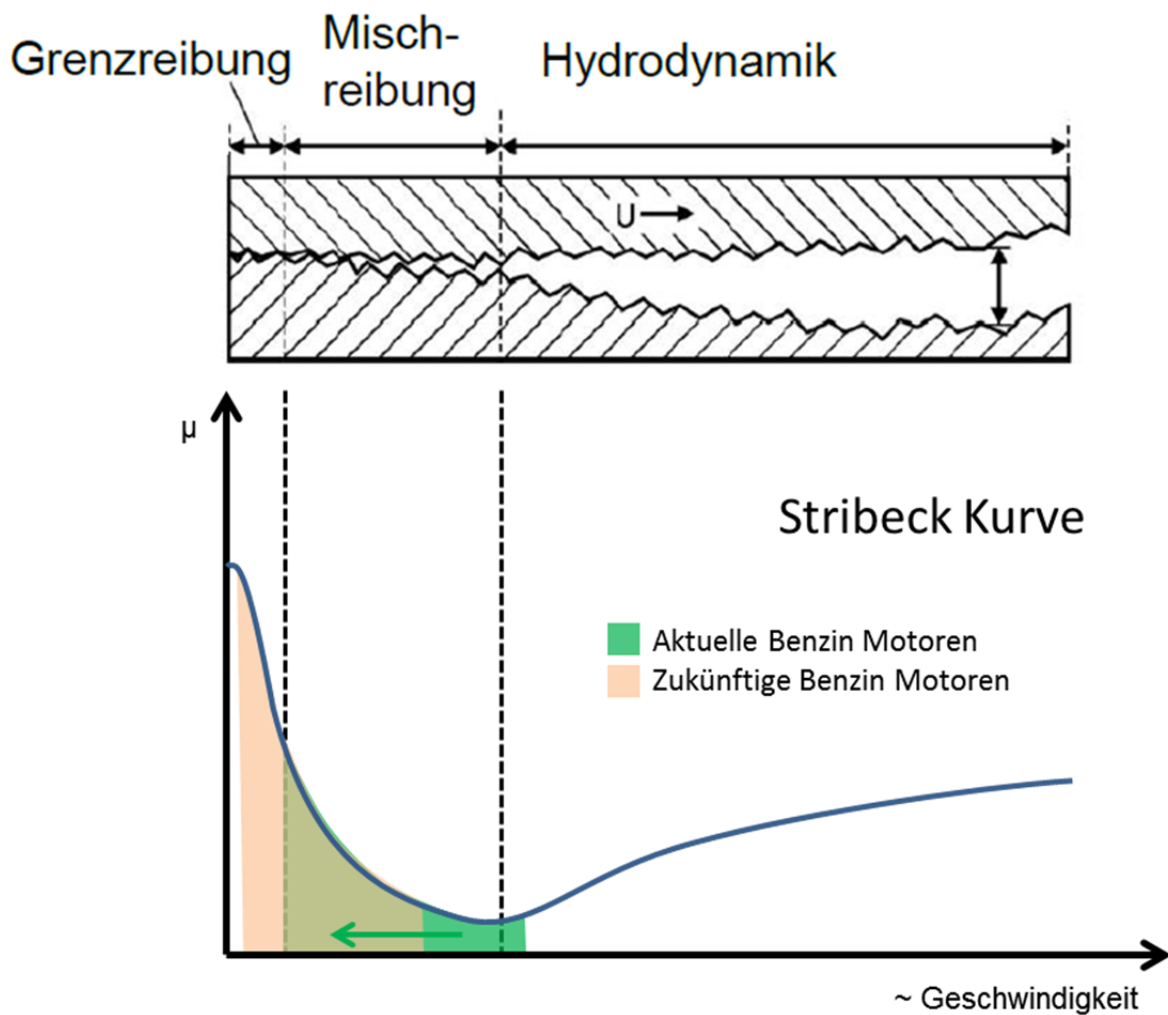


Abbildung 2: Einordnung der Auswirkungen der Benzinmotor Entwicklungstendenzen auf die tribologische Beanspruchung der Steuerkette

4 Reibung im Kettensteuertrieb

Die gesamten Reibungsverluste im Kettensteuertrieb teilen sich auf die 3 vorgenannten Tribosysteme auf. Dabei besteht natürlich eine Abhängigkeit vom jeweiligen Steuertriebslayout. Im Durchschnitt kann man aber davon ausgehen, dass ca 50% der Reibungsverluste in der Schnittstelle zwischen Kette und Führungsschienen auftreten. Weitere 45% fallen im Kettengelenk an und nur 5% sind dem Einlauf der Kette ins Kettenrad zuzuordnen.

4.1 Reibungsreduktion in der Schnittstelle zwischen Kette und Führungsschiene

Eine Möglichkeit die Reibung zwischen Kette und Führungsschiene zu beeinflussen ist die Optimierung des Layouts. Reduziert man die Normalkraft von Kette zu Schiene so lässt sich direkt auf die Reibung Einfluss nehmen. Ein Stellhebel zur Reduktion der Normalkraft ist die Krümmung der Führungsschienen, so hat man einen großen Stellhebel. Wie in Abbildung 3 gezeigt, ist es möglich so das Reibmoment, um bis zu 0,25Nm zu reduzieren.

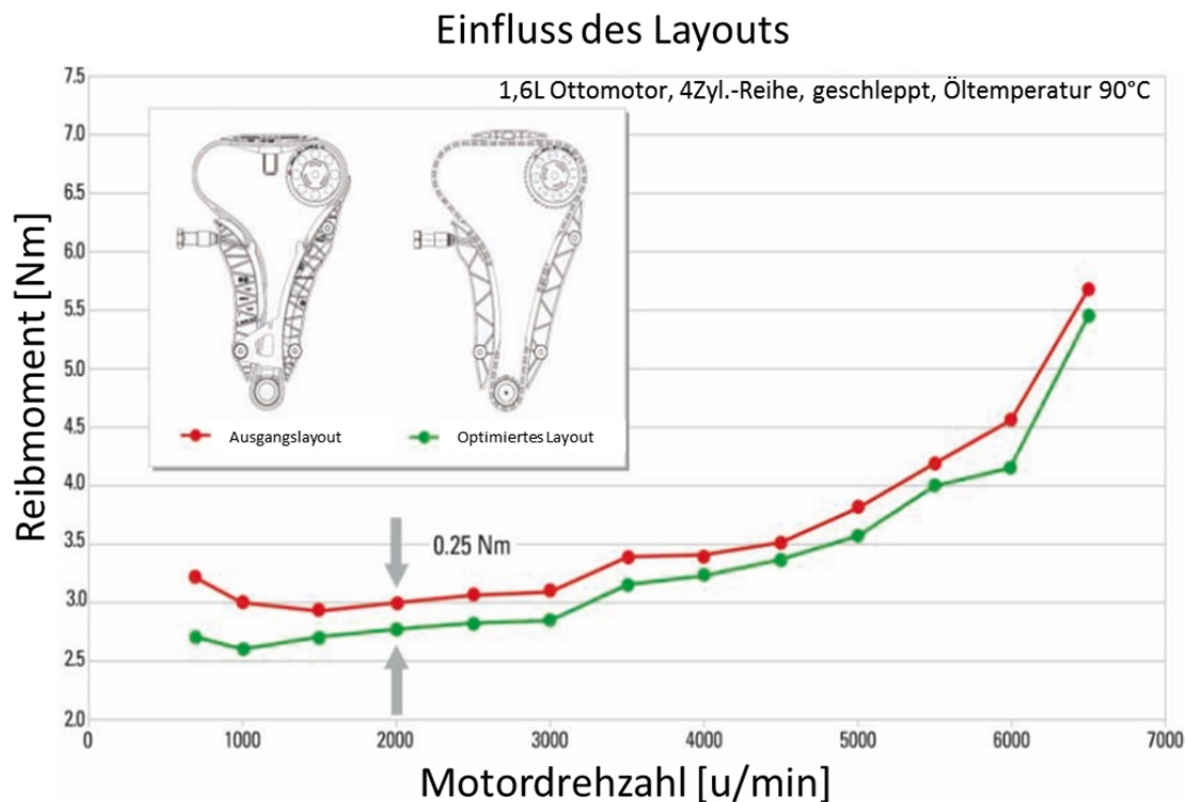


Abbildung 3: Reduktion der Reibverluste durch Anpassung des Layouts

Zusätzlich zur Optimierung der Schienengeometrie, lässt sich auch durch die Anpassung der Kettenkontaktfläche zur Schiene eine Reibungsreduktion erzielen. Indem das Flächenverhältnis zwischen Auflagefläche und der gesamten Kettenrückenfläche variiert wird, lässt sich die Reibleistung gezielt beeinflussen. Abbildung 4 zeigt Versuchsergebnisse für eine optimierte Laschengeometrie. In den durchgeführten Untersuchungen konnte eine Reduktion des Reibmoments, um bis zu 0,4Nm erzielt werden. Damit kann man laut Simulation (Abbildung 5) Verbrauchsvorteile im NEFZ von bis zu 0,79% erreichen.

Einfluß der Kettengeometrie auf das Reibmoment

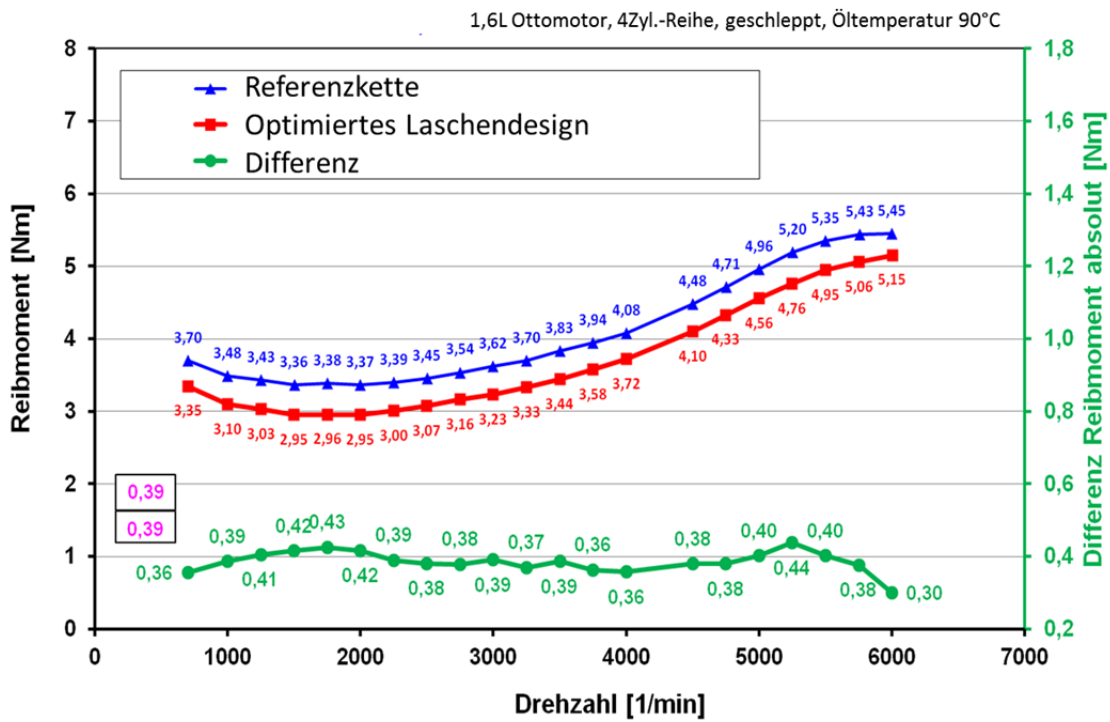


Abbildung 4: Optimierung der Kettengeometrie birgt Reibleistungspotentiale

Einfluß einer optimierten Laschengemetrie auf das Reibmoment im NEFZ

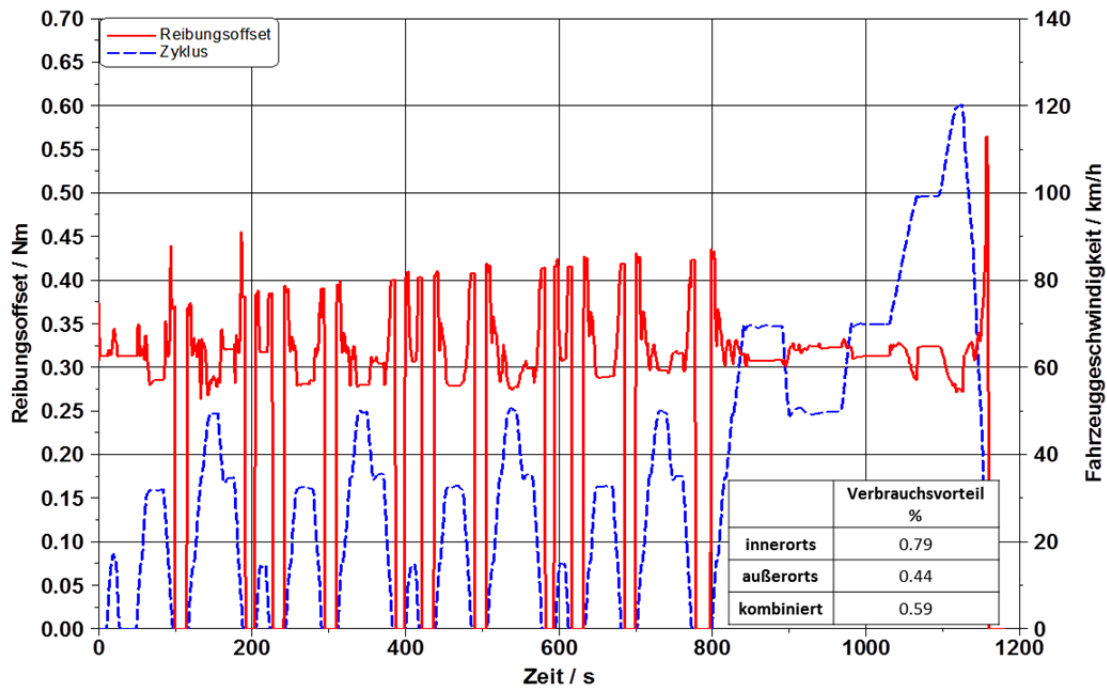


Abbildung 5: Optimierte Laschengemetrie in der Zyklusbetrachtung

Auch über das Material des Belags der Führungsschienen lassen sich die Reibungsverluste beeinflussen. Wie in Abbildung 6 zu erkennen, sind am Prüfstand mit unterschiedlichen Belagsmaterialien speziell bei höheren Drehzahlen Potentiale zur Reibmomentreduktion am Schleppmotor herausgefunden worden. Daraus lassen sich die in Abbildung 7 gezeigten CO₂-Potentiale abschätzen.

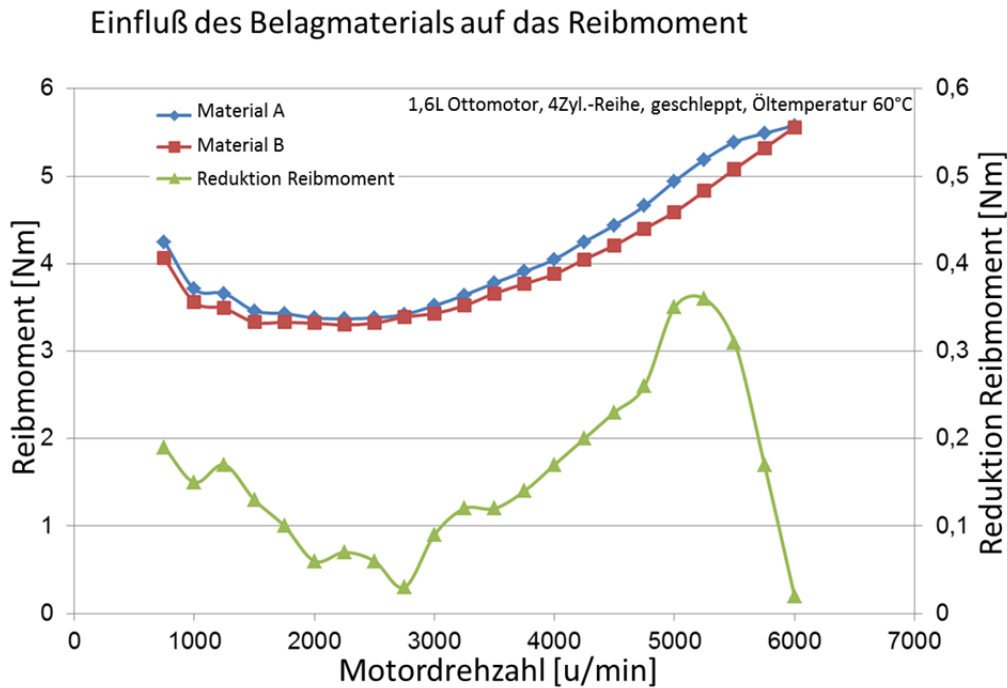


Abbildung 6: Reduktion der Reibverluste durch Variation des Schienenmaterials

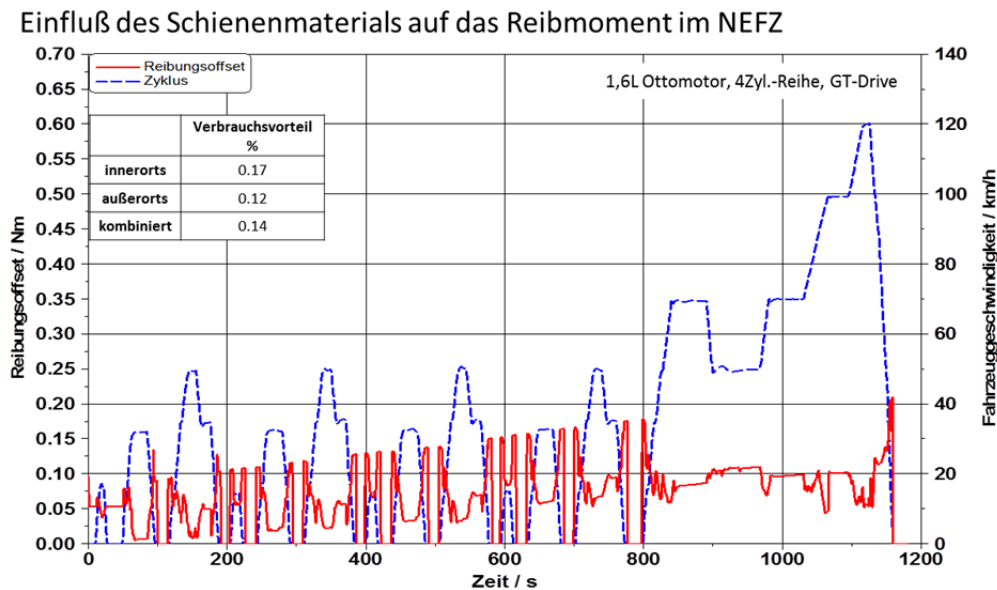


Abbildung 7: Zyklusbezogenes Potential zur Reibmomentreduktion durch das Schienenmaterial

4.2 Reibungsreduktion im Kettengelenk

Ein wichtiger Faktor für die Reibung im Kettengelenk ist das verwendete Motorenöl. So lässt sich der Reibkoeffizient zwischen Bolzen und Hülse durch die Verwendung eines Niederviskoserer Öls deutlich reduzieren. Jedoch kann der Kettenhersteller das Schmieröl i.d.R. nicht als Designelement verwenden, da dieses vom Fahrzeughersteller festgelegt wird. Allerdings besteht die Möglichkeit die Bolzen Oberfläche derart zu gestalten, dass sie besonders gut mit niederviskosen Ölen funktioniert.

So verspricht die von iwis entwickelte Methode zum Einsatzhärten und Nitrieren (ENI) nicht nur einen Verschleißvorteil gegenüber Standardmäßig inchromierten Bolzen, sondern auch eine signifikante Reduktion des Reibkoeffizienten. Durch den Herstellungsprozess können mit ENI Bolzen deutlich niedrigere Oberflächenrauigkeiten im Vergleich zu einem inchromierten Bolzen erzielt werden, was einen direkten Einfluss auf das Reibverhalten des Bolzens hat. Dies bestätigen auch Ergebnisse am Reibungsprüfstand.

Einfluß der Oberflächenrauigkeit auf die Reibleistung im Komponentenversuch

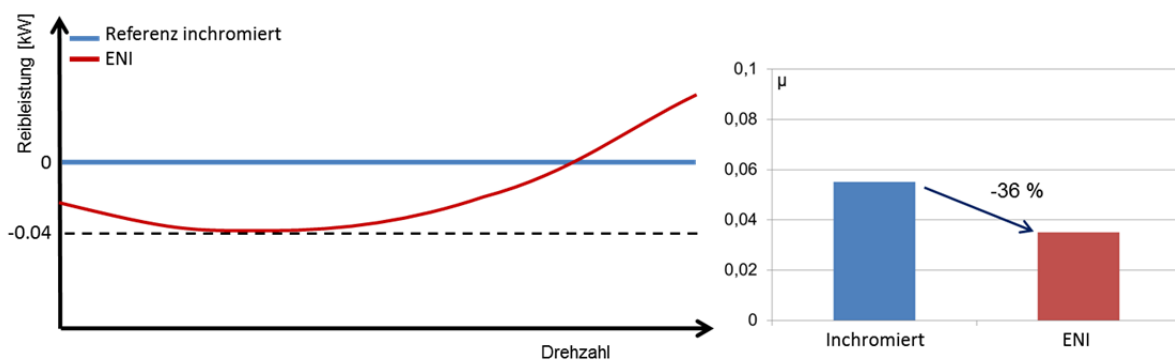


Abbildung 8: Reibleistungsreduktion am Komponentenprüfstand durch Optimierung der Bolzenoberfläche

4.3 Simulation zyklusbezogener Einsparpotentiale

Um den Einfluss einer optimierten Laschenrückengeometrie auf das CO₂-Einsparpotential in den relevanten Zyklen bewerten zu können. Wurden am Komponentenprüfstand Messtabellen über die Parameter Öltemperatur, Last und Drehzahl erstellt. Diese Messwerte wurden dann für eine GT-Drive-Simulation bereitgestellt. Als Basis wurde ein bereits validiertes GT Power Motorenmodell für einen 1,6-TC I4 4V Motor mit 134kW verwendet.

Auf dieser Basis ließen sich folgende Einsparungspotentiale für unterschiedliche Zyklen errechnen:

NEDC:	0.59%
WLTC:	0.47%
CADC urban:	0.80%
CADC motorway:	0.28%
CADC road:	0.50%
FTP75:	0.70%
US Highway:	0.42%
JC08:	0.82%

Hier wird deutlich, dass besonders für Zyklen mit hohem ‘Urban’-Anteil Einsparungen zu erwarten sind. Durch eine zusätzliche Optimierung der Bolzen-Beschichtung lässt sich dann das hier gezeigte Ergebnis noch weiter verbessern.

5 Verschleiß im Kettensteuertrieb

Der Verschleiß im Kettensteuertrieb wird durch vielfältige Faktoren bestimmt. So spielt z.B. das verwendete Motorenöl eine große Rolle. Hier haben speziell die Viskosität aber auch die verwendeten Additive einen großen Einfluss. Aber auch die Ölverdünnung durch Kraftstoffeintrag spielt eine große Rolle. Weiterhin ist zu beobachten, dass immer öfter korrosive Elemente in Ölanalysen zu finden sind, seien es Säuren oder Basen bis hin zu Salzen. Definitiv einen sehr großen Einfluss auf das Verschleißverhalten hat der Rußgehalt des Schmierfilmes. Um diesen Einflüssen zu begegnen kann der Kettenhersteller Maßnahmen im Kettendesign ergreifen. Ansatzpunkte sind hier geometrische Größen wie der Bolzendurchmesser und die Länge der tribologischen Gegenfläche in Hülse oder Lasche. Des weiteren kann durch das Material der Bauteile und im besonderen durch Beschichtungen einigen äußeren Einflüssen entgegen gewirkt werden.

Speziell die Wahl der Bolzenbeschichtung hat einen großen Einfluss auf das Verschleißverhalten von Steuerketten. Aber gerade bei Zahnketten kann auch durch die Dicke der Laschen der Verschleiß beeinflusst werden. Weitere Verschleißpotentiale können dann über den Bolzen Durchmesser gehoben werden.

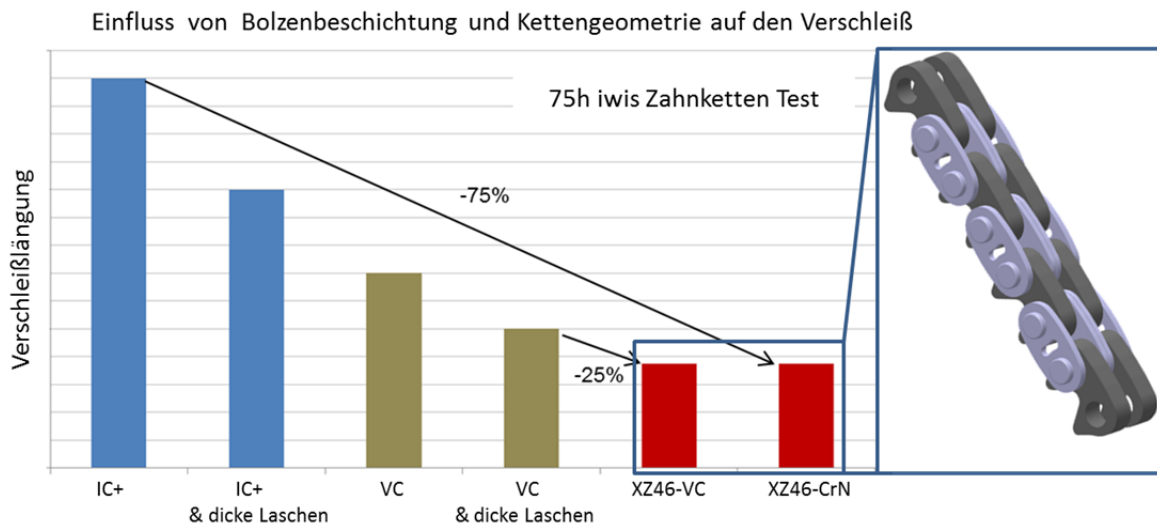


Abbildung 9: Einfluss von Kettengeometrie und Bolzenbeschichtung auf das Verschleißverhalten von Zahnketten

Verschärft man nun die Testbedingungen und erhöht den Rußanteil so sieht man den Einfluß der Bolzenbeschichtung nochmal deutlicher. Mit iwis TRITAN lassen sich auch bei hohen Rußanteilen Top-Verschleißergebnisse erzielen, siehe Abbildung 10.

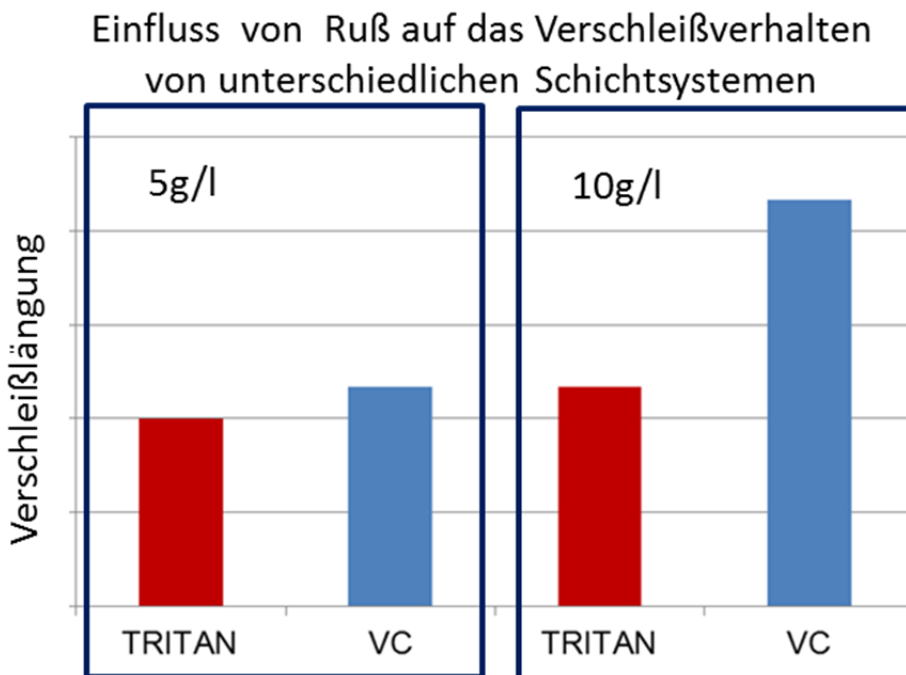


Abbildung 10: Einfluss von Russgehalt und Bolzenbeschichtung auf das Verschleißverhalten von Zahnketten

6 Entwicklungstendenzen

Über die bereits gezeigten Entwicklungsergebnisse hinaus gibt es weitere Entwicklungsansätze, um die Kettensteuertriebe der Zukunft hinsichtlich Reibung und Verschleiß zu optimieren. Neben Geometrischen Maßnahmen wie einem besonders schmalen Kettendesign, um bei gleicher Festigkeit ca. 30% Gewicht einzusparen, werden Alternative Oberflächenbehandlungsverfahren untersucht, um die tribologischen Partner noch optimaler aufeinander einzustellen. Wie bereits gezeigt ist die Bolzenbeschichtung ein großer Hebel, um auf das tribologische Verhalten von Kettensteuertrieben einzuwirken. Daher laufen aktuell Untersuchungen mit alternativen Schichtsystemen, um die Ketten noch Verschleißfester zu machen, bei gleichzeitiger Reduktion der Reibverluste. Dabei ist ein Ansatz den Trockenreibungskoeffizienten der Reibpartner signifikant zu reduzieren.



Reibungsuntersuchungen an Steuertrieben von modernen Pkw-Verbrennungsmotoren

M. Sc. Daniel S. Hosse, M. Sc. Jörg Neugärtner, Prof. Dr.-Ing. Rudolf Flierl
Technische Universität Kaiserslautern

Einleitung

In dem vorliegenden Artikel wird ein neuartiger Ansatz zur Reibleistungsbestimmung im Gesamtsystem von Steuerkettentrieben vorgestellt. Zur Analyse des Einflusses unterschiedlicher Auslegungsparameter, wie z. B. des Nockenwellenverstellers, des Kettenspanners oder der Geometrie der Führungsschienen, wird eine Vorgehensweise zur Messung der Kräfte in den Aufhängungspunkten vorgeschlagen und diskutiert. Dadurch kann eine Zuordnung der Auswirkungen auf die Reibleistung einzelner Einflussgrößen im Gesamtsystem erfolgen. Dieses kann zur Gestaltung bzw. zur Auslegung zukünftiger Kettentriebe verwendet werden. Dazu werden erste Ergebnisse von vorliegenden Messreihen diskutiert. Eine erste Potenzialabschätzung einzelner Maßnahmen, wie z. B. an den Führungsschienen erlauben Rückschlüsse auf zukünftig mögliche Gesamtsystemoptimierungen am Steuertrieb.



Bild 1: Kettentrieb als Steuertrieb (Quelle: Daimler AG)

Steuertriebe unter Anwendung eines Zahnriemen- oder Kettentriebs stellen weiterhin die Technologie der Wahl zum synchronen Antrieb von Nockenwellen und Aggregaten, sowie Einspritzpumpen beim Verbrennungsmotor im PKW dar. Allgemein wird dem Zahnriemen ein Vorteil im NVH-Verhalten und in der Reibung zugesprochen. Trotz-

dem bietet der Kettentrieb Vorteile im Bereich der Dauerhaltbarkeit, Zuverlässigkeit und des Bauraums. Nachteilig kann sich das akustische Verhalten auswirken. Neue wichtige Anforderungen wie die Erhaltung der Genauigkeit der Steuerzeiten über die Motorlebensdauer sind dagegen beim Zahnriemen vorteilhafter. Die breite Verwendung von Nockenwellenverstellern bei Otto- und Dieselmotoren lässt dagegen die Wahl für einen Kettentrieb sinnvoller erscheinen, da er hier auch kostengünstiger einzusetzen ist [1].

Der Hauptanteil der Kettentriebsreibung entsteht in den Kettengelenken und im Kontakt zwischen Kette und Führungsschienen. Ein kleinerer Anteil an Reibung ist dem Eingriff von Kettenrad und Kette zuzuordnen. Weiterhin spielt beim Steuerkettentrieb die Kurbelwellen- und Ventiltriebsdynamik und die daraus resultierende Schwingungsanregung im Kettentrieb eine große Rolle in der Ausprägung zusätzlicher dynamisch induzierter Reibung [2].

Prüfstandskonzept

Zur Analyse und Optimierung des grundsätzlichen Verhaltens von Kettentrieben beim Verbrennungsmotor wurde an der Technischen Universität Kaiserslautern ein Schleppprüfstand entwickelt, der im ersten Schritt den gesamten Kettentrieb und den Zylinderkopf eines 2,0 Liter 4-Zylinder-Ottomotors mit Serienteilen, realisiert.

Der Antrieb erfolgt hierbei mit einem E-Motor mit zwischengeschalteter Präzisionsdrehmomentmesswelle vor dem kleinen Kettenrad. Die Dynamik des Abtriebs ist identisch mit dem Vollmotor, da der vollständige Zylinderkopf angetrieben wird.

In einer weiteren Ausbaustufe kann das Kettenrad der Kurbelwelle mit dem Rumpfmotor gekoppelt werden, und so ein dem Vollmotor sehr ähnliches Dynamiksystem mit Kurbel- und Nockenwellen dargestellt werden.

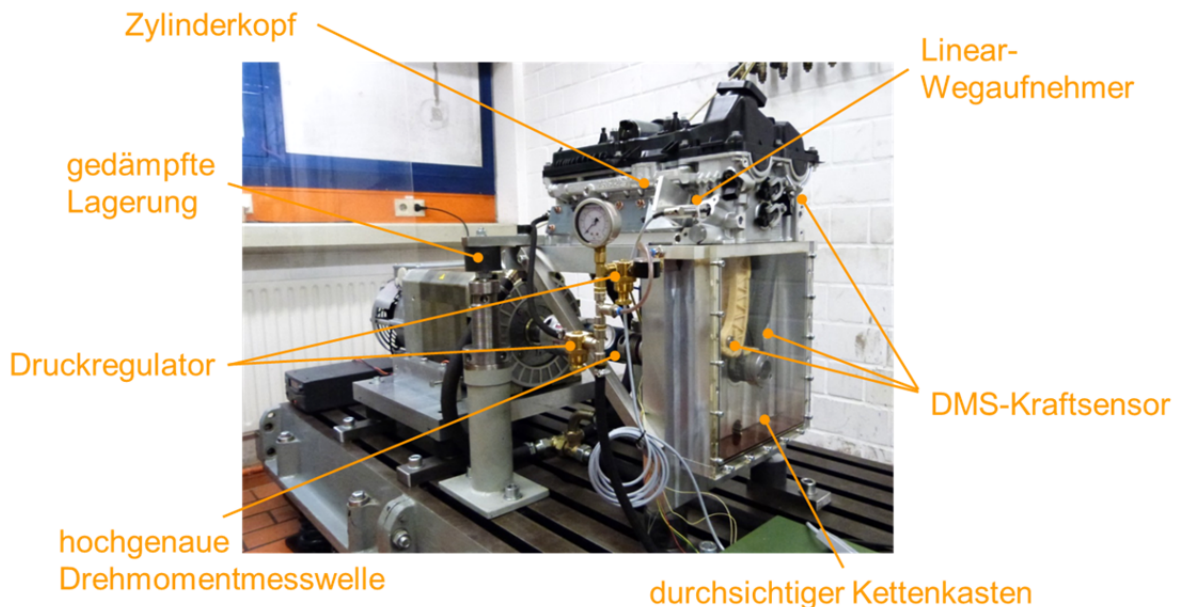


Bild 2: Übersicht Kettentriebsprüfstand

Öltemperatur und Öldruck für den Zylinderkopf werden über eine Ölkonditionierung und einstellbare Druckregulatoren konstant gehalten. Der Öldruck des Kettenspanners ist separat frei einstellbar, um den Einfluss des Spanners adaptieren zu können.

Als Messtechnik kommen eigens entwickelte Kraftmessbolzen zum Einsatz, die die Kräfte an den Lagerungspunkten der Führungs- bzw. Spannschiene direkt messen. Damit sollen konstruktive Maßnahmen zur Reduktion der Reibung an den Schienen oder durch optimierte Kettenspanner ohne Umwege differenziert zugeordnet werden können. Weiterhin wird der Freiheitsgrad der Spannschiene mit einem Linearwegsensor gemes-

sen. Über die Bewegungsamplitude und Geschwindigkeit der Spannschiene in Nachspannrichtung, kann auf die Ruhe des Kettentriebs zurückgeschlossen werden. Mit einer Präzisionsdrehmomentmesswelle die winkelgenau die Gesamtreibung des Systems aufzeichnet kann jede untersuchte Variante global verglichen werden.

Die Kraftsensoren (**Bild 3**) sind als DMS-Vollbrücke ausgeführt und sind in verschiedenen Messbereichen verfügbar, da sich die vorherrschenden Schienenkräfte in Reibungs- und Normalkraftrichtung um etwa eine Größenordnung unterscheiden.

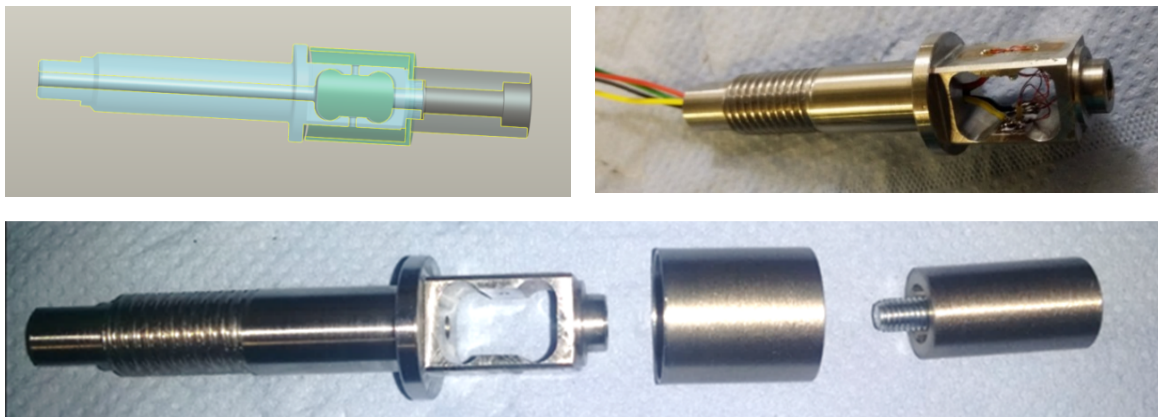


Bild 3: DMS-Querkraftmessbolzen

Die erreichte Genauigkeit beträgt mit dem verwendeten Wägezellen-Design $\pm 0,02$ N für die reibkraftsensitive Variante mit einem Messbereich von ± 100 N.

Für kleinere Bohrungsdurchmesser wurde auch eine noch kompaktere Variante entwickelt (**Bild 4**).

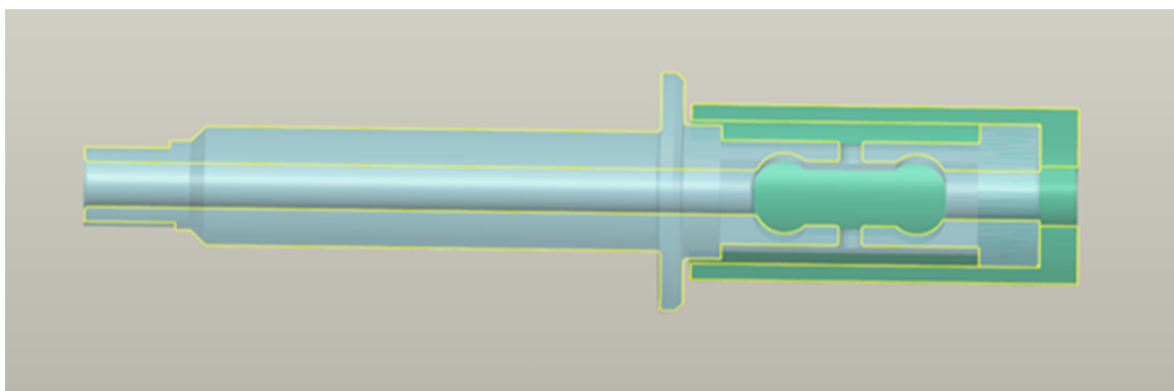


Bild 4: DMS Messbolzen in kompakter Ausführung