SYMPOSIUM 2020

FACHTAGUNG

TRIBOLOGIE IN INDUSTRIE UND FORSCHUNG

Effizienter durch Kooperation

TRIBOLOGY IN INDUSTRY AND RESEARCH

More efficient through cooperation

Wiener Neustadt, AT

19. November 2020

ÖSTERREICHISCHE TRIBOLOGISCHE GESELLSCHAFT

TRIBOLOGIE IN INDUSTRIE UND FORSCHUNG

Effizienter durch Kooperation

TRIBOLOGY IN INDUSTRY AND RESEARCH

More efficient through cooperation

VORTRAGSUNTERLAGEN

PROCEEDINGS

SYMPOSIUM 2020

der

ÖSTERREICHISCHEN TRIBOLOGISCHEN GESELLSCHAFT

WIENER NEUSTADT

19. November 2020

IMPRESSUM

Herausgeber: Prof. Dipl.-Ing. Dr. Andreas PAUSCHITZ
Priv.-Doz. Dipl.-Ing. Dr. Nicole DÖRR
Dipl.-Ing. Dr. Ewald BADISCH

Eigentümer und Verleger: ÖSTERREICHISCHE TRIBOLOGISCHE GESELLSCHAFT
Viktor-Kaplan-Straße 2/C, A 2700 Wiener Neustadt,
Tel.: +43 (0)676 84516 2300

Gestaltung: Tobias BINDER

Druck: Eigendruck

Der Inhalt dieses Tagungsbandes ist im Wege des ÖTG-Sekretariates auch auf einem elektronischen Datenträger erhältlich!

TRIBOLOGIE IN INDUSTRIE UND FORSCHUNG

Vorwort

Die globalen Herausforderungen bedingt durch den sozialen, wirtschaftlichen, ökologischen und technischen Wandel stellen auch gewaltige Aufgaben an die Forschung und Entwicklung in der Tribologie. Wissenschaftliche Methoden und höchst anspruchsvolle, spezialisierte Forschungsansätze und die daraus erarbeiteten Lösungen unterstützen die vielfältigen Aufgabenstellungen aus der produkt- bzw. produktionsnahen Industrie. Die Tribologie, die auf das umfassende Wissen in Chemie, Physik, Materialwissenschaften, Maschinenbau, Mathematik und anderen Wissenschaften zurückgreift, ist prädestiniert für das Bereitstellen maßgeschneiderter Lösungen angesichts der aktuellen Herausforderungen, zumal die Interdisziplinarität in der Natur der Tribologie liegt. Nichtsdestotrotz kann sich der Tribotechniker zunehmend moderne Technologien zunutze machen, die im Entwicklungsprozess oder in der Anwendung eingesetzt werden können, die künstliche Intelligenz sei hier hervorgehoben. Diese Chancen aufzuzeigen, ist die Motivation des diesjährigen ÖTG-Symposiums, das dem Motto „Effizienter durch Kooperation“ gewidmet ist.

Der Anspruch an die erweiterte Interdisziplinarität und der Einfluss der globalen Herausforderungen auf die Tribologie spiegeln sich in den Vorträgen des **ÖTG-Symposiums 2020** wider; einige wenige Themen seien jetzt schon genannt: *Wasserstoff* als alternativer Kraftstoff birgt eine Reihe tribologischer Anforderungen, um den sicheren Betrieb von Wasserstofftankstellen bei Drücken bis zu 1000 bar zu gewährleisten. In einem weiteren Beitrag wird gezeigt, wie *maschinelles Lernen* als Teilgebiet der künstlichen Intelligenz in der automatischen Bildauswertung eingesetzt werden kann. Insbesondere der demoskopischen Entwicklung ist geschuldet, dass Gelenke als Verschleißteile des Körpers zu betrachten sind. Die *Biotribologie* erforscht hier Möglichkeiten, biologische Gewebestrukturen anstelle von künstlichen Materialien einzusetzen. Weitere Themen des diesjährigen ÖTG-Symposiums berichten nicht nur über neueste Erkenntnisse in den Kernthemen der Tribologie – Reibungskontrolle, Verschleißreduktion und nachhaltige Schmierung – sondern zeigen auch die Lösungsmöglichkeiten der Symbiose aus Tribologie und modernen wissenschaftlichen Methoden im Sinne des Mottos „Effizienter durch Kooperation“ auf.

Preface

The global challenges resulting from social, economic, ecological and technological change also pose enormous demands on research and development in tribology. Scientific methods and highly sophisticated, specialized research approaches and the solutions developed therefrom support the manifold tasks in the product- and production-related industry. Tribology, which relies on the comprehensive knowledge in chemistry, physics, material sciences, mechanical engineering, mathematics and other sciences, is predestined for the provision of customized solutions in the face of today’s challenges, especially since interdisciplinarity is in the nature of tribology. Nevertheless, the tribologist is increasingly able to take advantage of modern technologies that can be applied in the development process or in the application, artificial intelligence being highlighted here. To point out these opportunities is the motivation of this year’s ÖTG Symposium, which is dedicated to the motto “More efficient through cooperation”.

The demand for extended interdisciplinarity and the influence of global challenges on tribology are reflected in the presentations of the **ÖTG Symposium 2020**; a few topics are already mentioned: *Hydrogen* as an alternative fuel poses a number of tribological requirements to ensure the safe operation of hydrogen filling stations at pressures up to 1000 bar. Another contribution will show how *machine learning* as a subfield of artificial intelligence can be used in automated image analysis. Especially the demoscopic development is responsible for the fact that joints have to be considered as consumables of the body. Here, *biotribology* investigates possibilities to use biological tissues instead of artificial materials. Other topics of this year’s ÖTG Symposium will not only report on the latest findings in the core areas of tribology – friction control, wear reduction and sustainable lubrication – but will also show the solutions that are possible through the symbiosis of tribology and modern scientific methods in line with the motto “More efficient through cooperation”.

A. PAUSCHITZ / N. DÖRR *Wiener Neustadt, im November 2020*

Haftungsausschluss

Der Inhalt dieser Publikation, insbesondere Daten, Diskussionsbeiträge und zusammenfassende Feststellungen, wie sie von den Autoren präsentiert werden, dient lediglich der Information und ist ohne unabhängige und umfassende Untersuchungen nicht für die Verwendung durch potenzielle Anwender vorgesehen. Die von den Autoren vertretenen Meinungen sind nicht notwendiger Weise in Übereinstimmung mit jener der Österreichischen Tribologischen Gesellschaft als Medien-eigentümerin, die in keiner Weise verantwortlich ist für die Inhalte der einzelnen Beiträge. Dies gilt in analoger Weise auch für die Herausgeber.

Disclaimer Note

The content of this publication, data, discussions and conclusions presented by the authors are for information only and are not intended for use without independent substantial investigations on the part of potential users. Options expressed by the authors are not necessarily in accordance with The Austrian Tribology Society as the publishing house who is not responsible for any statement in this publication. This applies similarly to the editors.

Urheberrecht (Copyright) Information

Alle Rechte vorbehalten entsprechend der Universal Copyright Convention (UCC)! Kein Teil dieser Veröffentlichung darf ohne im Voraus bei den Urheberrechts-Eigentümern (Autoren der Fachbeiträge oder sonstiger Text- und Bildbeiträge wie auch Formatgestalter des vorliegenden Tagungsbandes) eingeholte schriftliche Genehmigung vervielfältigt, in Abfragesystemen gespeichert oder in irgend-einer Form bzw. mit Hilfe irgendeiner technischen Einrichtung übertragen werden, sei es durch mechanische, elektrische, elektronische, optische oder sonstige Einrichtungen, durch Fotokopieren, Datenspeicherung oder irgendwelche andere Verfahren. Ausgenommen davon ist lediglich die angemessene Verwendung für Zwecke privater Studien, Forschungen, Rezensionen, Besprechungen/ Kommentare und kritischer Diskussionen. Unlizenziertes Kopieren des Inhalts dieser Publikation ist gesetzlich verboten.

Copyright information

All rights are reserved for this publication, which is copyright according the Universal Copyright Convention (UCC)! Excepting only any fair dealing for the purpose of private study, research, review, comment and criticism, no part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, mechanical, electrical, electronic, optical, photocopying, recording or otherwise, without the prior expressly permission of the copyright owners (which applies to the authors of the scientific/technical papers and of any texts and graphics as well as to the format designers of the present proceedings). Unlicensed copying of the contents of this publication is illegal.

© 2020 bei den Autoren / with authors

ÖTG-SYMPOSIUM 2020

TRIBOLOGIE IN INDUSTRIE UND FORSCHUNG
Effizienter durch Kooperation

PLENARVORTRÄGE

WASSERSTOFFAKTIVITÄTEN IN ÖSTERREICH **3**
R. ADLER

INNOVATIVE MATERIALS DESIGN FOR IMPROVED TRIBOLOGICAL PERFORMANCE OF HARD COATINGS **5**
P. H. MAYRHOFER

BIOTRIBOLOGIE IN DER ORTHOPÄDIE - EIN NEUER ASPEKT? BIOTRIBOLOGY IN ORTHOPEDICS **8**
S. NEHRER, S. STOTTER, B. SIMMLINGER, C. BAUER, M. R. RIPOLL, F. FRANEK, T. KLESTIL

EXTRAKTION VON SEMANTIK AUS BILDDATEN MITTELS MASCHINELLEM LERNEN **11**
R. SABLATNIG, M. KAMPEL, S. ZAMBANINI

VORTRÄGE

AN INVESTIGATION INTO THE USE OF DIAMOND LIKE COATINGS FOR REDUCED BOUNDARY FRICTION WITHIN VALVETRAIN COMPONENTS **15**
P. ANDREOU, S.R. BEWSHER, M. MOHAMMAD-POUR, G. OFFNER

ANALYTISCHE BEWERTUNG VON VERSCHLEIßMECHANISMEN IN NASSLAUFENDEN FAHRZEUGKUPPLUNGEN UNTER VERWENDUNG VON TOF-SIMS UND LC-MS METHODEN **23**
M. BÄSE, A. LEBEL, R. FRANZ, J. PROST, M. ABRAHAM

FELDSTUDIE ÜBER DIE MOTORÖL-ALTERUNG IN PERSONENKRAFTWAGEN **29**
A. AGOCS, A. L. NAGY, J. PERGER, J. ROHDE-BRANDENBURGER, B. RONAI, C. BESSER, N. DÖRR

OPTIMIERUNG DER LEBENSDAUER UND EFFIZIENZ DURCH INNOVATIVE SCHICHTSILIKAT-BASIERTE SCHMIERSTOFFADDITIVE **31**
S. BILL, P. CHIZHIK

WASSERGESCHMIERTE SCHIFFSGETRIEBE **33**
R. KASTL, B. SIEGFRIED

„SCHIENEN-SCHÄDIGUNG“ ODER „VON DEN ZWÄNGEN DER SPURFÜHRUNG“ **37**
R. SCHMID

ENTWICKLUNG EINER INTELLIGENTEN PLATTFORM ZUR EFFIZIENTEN ÜBERWACHUNG UND OPTIMIERUNG TRIBOLOGISCHER SYSTEME **40**
R. FLEISCH, I. VELKAVRH, S. BITRUS, E. RIGGER, J. VOYER

MONITORING DES VERSCHLEIßZUSTANDES VON ROLLENPRESSEN IN DER ZEMENTINDUSTRIE **42**
M. MAJ, R. GRUNDTNER, M. KIRCHGAßNER, M. VARGA

VORTEILE UND EINSCHRÄNKUNGEN DER VERWENDUNG KOMPLEX-LEGIERTER HARTAUFTRAGUNGEN BEI DER INDUSTRIELLEN VERSCHLEIßBEKÄMPFUNG **45**
M. KIRCHGAßNER, R. KIRCHMAYER, C. KATSICH, H. ROJACZ

ANWENDUNG FUNKTIONELLER WALZENOBERFLÄCHEN IN DER PAPIERMASCHINE **47**
N. GAMSJÄGER, B. JAKAB

WASSERSTOFFAKTIVITÄTEN IN ÖSTERREICH

R. ADLER [1]

1 ÜBER DEN VORTRAGENDEN

Hr. Robert Adler ist seit mehr als 20 Jahren im Bereich der Wasserstoffentwicklung tätig. Der Schwerpunkt dabei war immer die Entwicklung von Druckerhöhungssystemen wie Pumpen und Verdichter. Seit 2018 leitet Hr. Robert Adler das Entwicklungsunternehmen Maximator Advanced Technology mit Sitz in Wien. Maximator Advanced Technology entwickelt Wasserstoffequipment für Tankstelleninfrastruktur und dies ausschließlich für das Maschinenbauunternehmen Maximator. Maximator ist ein mittelständisches Unternehmen in Familienbesitz und Spezialist für Hoch- und Höchstdrucktechnik in vielen Bereichen und hier speziell für Pumpen, Verdichter und Prüfstände.

2 HERAUSFORDERUNGEN DER WASSERSTOFF-INFRASTRUKTUR

Der Vortrag beschäftigt sich im Wesentlichen mit dem Aufbau und der Ausführung von Wasserstofftankstellen mit Schwerpunkt auf den dafür notwendigen Verdichtersystemen. Verdichtersysteme, die es ermöglichen die Energiedichte im Wasserstoff zu erhöhen sind essenziell wichtig für alle Infrastrukturprojekte. Ein wichtiger Aspekt für die Auslegung und den Bau von Verdichtern/Wasserstofftankstellen ist die enorme Reinheitsanforderung an den Energieträger Wasserstoff, da die hauptsächliche Nutzung des Wasserstoffs in und für Brennstoffzellensysteme liegt. Eine große Herausforderung ist speziell für großvolumige Maschinen der tribologische Aspekt da die im Wasserstoff bewegten Teile auf keinen Fall mit herkömmlichen Schmierstoffen in Kontakt gebracht werden dürfen. Diese tribologische Herausforderung gepaart mit Langlebigkeit und geringen Wartungskosten ist maßgeblich für den raschen Aufbau von Infrastruktur.

[1] Maximator Advanced Technology GmbH,
Erdbergstraße 208, 1030 Wien, AT; robert.adler@at.maximator.de

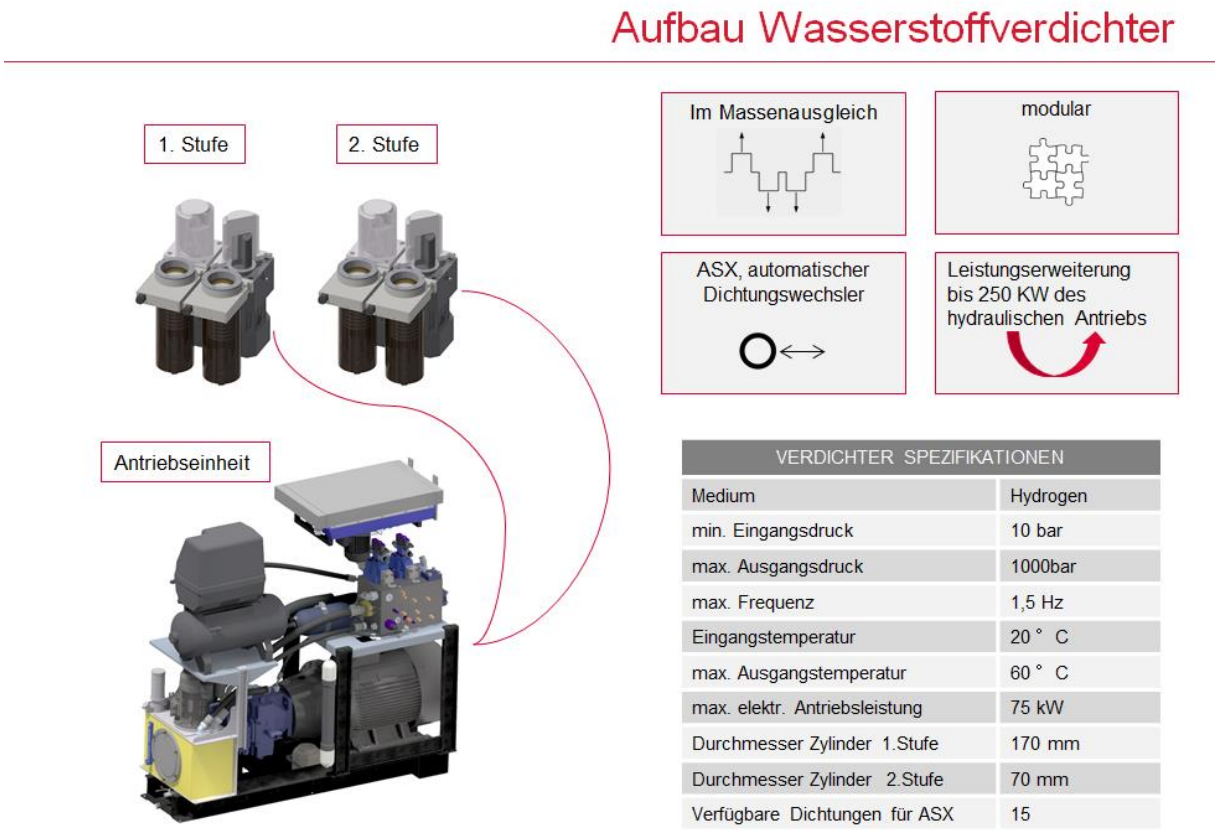


Abbildung 1: Beispiel für einen Wasserstoffverdichter

3 ZUKUNFT DES WASSERSSTOFFS IN ÖSTERREICH

Des Weiteren werden bestehende und zukünftige Infrastrukturprojekte in Österreich vorgestellt. Der Rahmen geht dabei weit über die Infrastruktur im Mobilitätsbereich hinaus. Erwähnenswert sind die Aktivitäten im Bereich Stahlherstellung sowie die ersten Bus- und Bahnprojekte, bei denen Wasserstoff als Antrieb zum Einsatz kommt. Anhand eines Infrastrukturbeispiels aus der Schweiz wird gezeigt, wie schnell sich durch bestimmte Rahmenbedingungen der Transfer von fossilen Treibstoffen hin zu Wasserstoff im Schwer- und Zulieferverkehr entwickeln kann.

Als Abschluss wird am Beispiel Kalifornien gezeigt, dass Wasserstoff auch im Individualverkehr ein adäquater Ersatz für fossile Brennstoffe sein kann, wenn die Wasserstofftankstellen-Infrastruktur entsprechend ausgebaut wird.

INNOVATIVE MATERIALS DESIGN FOR IMPROVED TRIBOLOGICAL PERFORMANCE OF HARD COATINGS

P. H. MAYRHOFER [1]

1 INTRODUCTION

Transition metal nitrides are used as structural and functional materials in a wide variety of applications. Here, we summarize the current understanding of mechanisms relevant for their tribological performance based on experimental and theoretical data. Especially, $Ti_{1-x}Al_xN$-based coatings – based on their exceptional combination of high hardness with high oxidation resistance, and wear resistance – still belong to one of the most important material classes for machining tools and engineering components. Interestingly, the mechanical properties of $Ti_{1-x}Al_xN$ coatings even improve during annealing (Fig. 1) – based on a self-organized nanostructure formation – leading to improved performance during milling or drilling (Fig. 2).

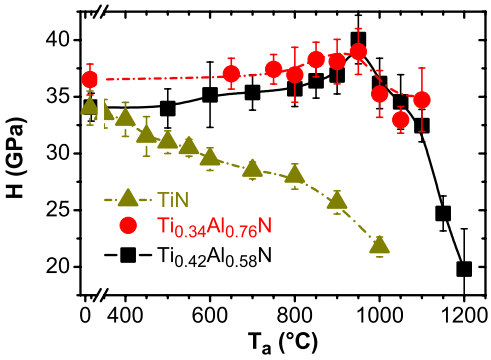


Fig. 1: Hardness H of TiN, Ti0.42Al0.58N and Ti0.34Al0.66N as a function of annealing temperature Ta. [1]

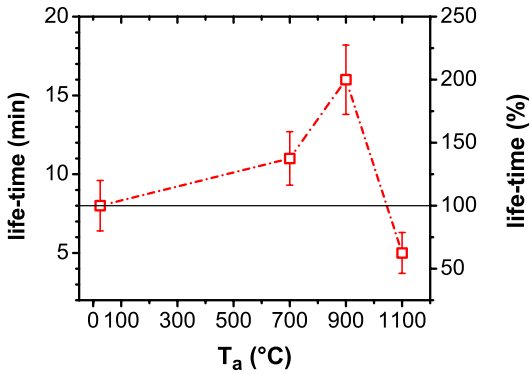


Fig. 2: Life-time of Ti0.34Al0.66N coated inserts (after annealing at Ta) during continuous turning of stainless steel (1Cr18Ni9Ti). [2]

2 DRY SLIDING AGAINST ALUMINA BALLS

However, their typical coefficient of friction (μ) is not excellent with values of ~1 during dry sliding against alumina balls. Adding metals that hardly form nitrides (such as Ag, Cu, or Ni) to the growing nitride film leads to lower µ and wear rate (*WR*) values (μ ~0.5 and *WR* ~$0.5 \cdot 10^{-6}$ $mm^3/(Nm)$ for $Ti_{0.13}Cr_{0.74}Mo_{0.13}N_{0.71}/Ni_{0.025}$), but at the expanse of strength. The alloying with other nitrides like VN, MoN, and WN – that have the ability to form Magnéli phase oxides in tribological contacts – allows a significant increase in the tribological performance of $Ti_{1-x}Al_xN$ (Fig. 3) while keeping its hardness as high as ~40 GPa. But also a layered architecture between different nitrides can boost the tribological performance as shown for

[1] Institute of Materials Science and Technology, TU Wien University, Vienna, 1060, Austria

TiN/CrN multilayers (Fig. 4). These furthermore provide the ability to implement the superlattice-effect, which we showed to not just be responsible for an increased hardness but also for an increased fracture resistance.

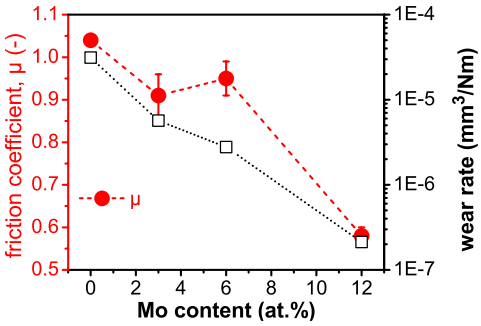


Fig. 3: Coefficient of friction (μ) and wear rates of Ti1-xAlxN coatings as a function of their Mo content. For Ti0.50Al0.38Mo0.12N, the depth of the wear track was actually in the range of the surface roughness. [3]

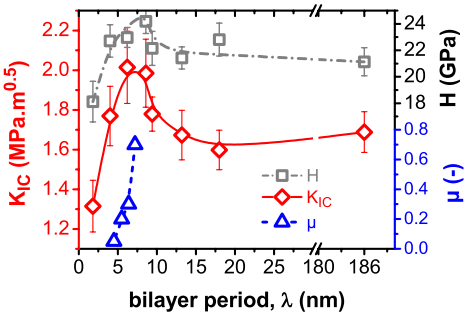


Fig. 4: Fracture toughness (KIC) and hardness (H) [4] and coefficient of friction (μ) [5] of TiN/CrN superlattice thin films as a function of the bilayer period λ.

3 LUBRICATED WITH S-CONTAINING EP ADDITIVES

Mo-containing surfaces furthermore provide the ability for the reactive formation and self-assembly of MoS_2 and carbon-based nanoclusters (Fig. 5) during tribological contacts (against steel or alumina) when lubricated with oils containing a sulfurized olefin polysulfide extreme-pressure (EP) additive. With EP additives *μ* drops even slightly below 0.1 from ~0.3 for the lubricated contact without EP additive. And, especially for contacts against alumina this is connected with a hardly measurable removed wear volume (Fig. 6).

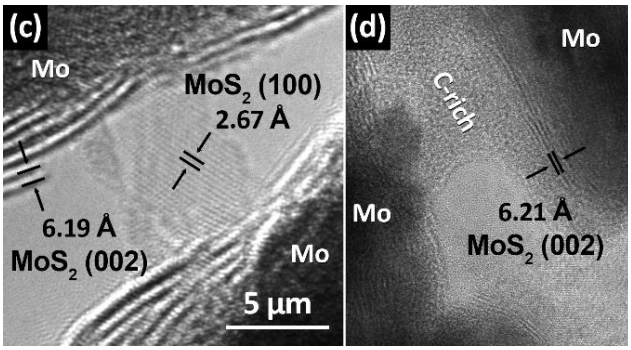


Fig. 5: (c) MoS2 layers formed on top of Mo-rich wear debris and (d) carbon-based material between MoS2 layers covering Mo-rich particles. [6]

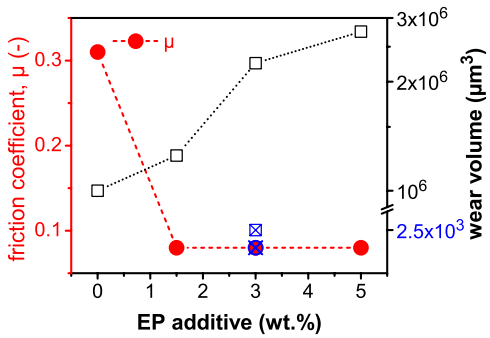


Fig. 6: Coefficient of friction (μ) and removed wear volume of a steel ball against a mirror-polished Mo disk during reciprocating sliding, oil-lubricated without and with EP additives. The data points with a cross are for an alumina ball. [6]

4 ACKNOWLEDGMENT

Part of the research was supported by the Austrian COMET-Program (Project K2 InTribology, Grant No. 872176) and the Excellence Centre for Tribology.

5 LITERATURE

[1] P.H. Mayrhofer, A. Hörling, L. Karlsson, J. Sjölén, C. Mitterer, L. Hultman, Self-organized nanostructures in the Ti-Al-N system, Appl. Phys. Lett. 83(10) (2003) 2049 DOI: 10.1063/1.1608464

[2] L. Chen, Y. Du, P.H. Mayrhofer, S.Q. Wang, J. Li, The influence of age-hardening on turning and milling performance of Ti-Al-N coated inserts, Surf. Coat. Technol. 202 (2008) 5158-61 DOI: 10.1016/j.surfcoat.2008.05.036

[3] S.A. Glatz, C.M. Koller, H. Bolvardi, S. Kolozsvári, H. Riedl, P.H. Mayrhofer, Influence of Mo on the structure and the tribomechanical properties of arc evaporated Ti-Al-N, Surf. Coat. Technol. 311 (2017) 330–6 DOI: 10.1016/j.surfcoat.2017.01.001

[4] R. Hahn, M. Bartosik, R. Soler, C. Kirchlechner, G. Dehm, P.H. Mayrhofer, Superlattice effect for enhanced fracture toughness of hard coatings, Scripta Mat. 124 (2016) 67–70 DOI: 10.1016/j.scriptamat.2016.06.030

[5] J. Paulitsch, M. Schenkel, A. Schintlmeister, H. Hutter, P.H. Mayrhofer, Low friction CrN/TiN multilayer coatings prepared by a hybrid HIPIMS/DCMS deposition technique, Thin Solid Films 518 (2010) 5553-7 DOI: 10.1016/j.tsf.2010.05.061

[6] B. Kohlhauser, C.I. Vladu, C. Gachot, P.H. Mayrhofer, M. Rodríguez Ripoll, Reactive self-assembly of MoS2 and carbon-based nanoclusters for low friction, (2020) in revision

BIOTRIBOLOGIE IN DER ORTHOPÄDIE - EIN NEUER ASPEKT?

BIOTRIBOLOGY IN ORTHOPEDICS

S. NEHRER [1], S. STOTTER [1,2], B. SIMMLINGER [3], C. BAUER [1], M. R. RIPOLL [3], F. FRANEK [3], T. KLESTIL[1,2]

Biotribology presents the research on friction and wear from natural tissues, biomaterial, and metal. In the context of the use of small implants partial of joint replacement the problem of tribological impact of metal and biomaterials on tissues becomes more prominent. The scientific evaluation of biotribolgical prameters helps to further develop advances in minimal replacement surgery.

We present three studies investigating metal-on-cartilage (MoC) pairings and the effects on both, the articular cartilage and metallic implants. Cobalt-chromium-molybdenum (CoCrMo) alloys are established as the bearing surface for hemiarthroplasty, unicompartmental knee replacement, and focal resurfacing implants. Following these procedures, the preserved cartilage is either articulating directly with the metal surface or is enclosed together in the joint cavity.

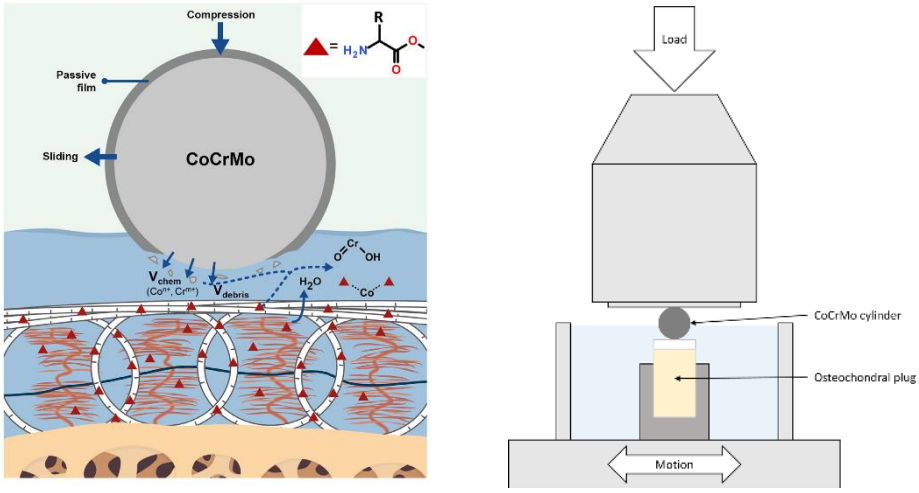


Abbildung 1: Biotribological principles and experimental setting in metal-against-cartilage experiments

1 Donau-Universität Krems
Dr.-Karl-Dorrek-Straße 33, 3500, AT, stefan.nehrer@donau-uni.ac.at

2 LK Baden-Mödling-Hainburg
Department of Orthopedics and Traumatology, AT, christoph.stotter@donau-uni.ac.at

3 AC2T research GmbH
Viktor Kaplan-Straße 2/c, 2700 Wiener Neustadt, AT, office@ac2t.at

The first study [1] aimed to examine the response of articular cartilage to mechanical load in a MoC pairing and investigate the effects of different loading conditions. It was hypothesized that higher loads and sliding velocities under reciprocal sliding against CoCr implants may lead to accelerated degeneration of the cartilage and may alter the biosynthetic activity of chondrocytes. CoCrMo cylinder and bovine osteochondral plugs were arranged in a reciprocating tribometer and various loads and sliding speeds were applied. Chondrocytes exposed to high load and velocity showed increased metabolic activity and expression of cartilage-specific genes. Simultaneously, several samples showed damage to the articular surface in the histological sections. On the contrary, low velocity and a high coefficient of friction increased catabolic gene expression. These findings suggest that mechanical stimulation by cyclic loading has specific effects on articular cartilage when sliding against a metal implant and need to be considered in postoperative rehabilitation. Furthermore, cobalt ions in low quantities were detected in the testing solution with higher load and velocity.

Consequently, the second study [2] aimed to investigate the role of biotribocorrosion of CoCrMo implants at the metal-cartilage interface. The biotribocorrosion experiments were performed in a reciprocating microtribometer under controlled electrochemical conditions. Open circuit potential revealed a 4mV drop at the onset of sliding in all experiments, attributed to changes of the passive layer on the surface of the metal implants. These results suggest the occurrence of tribocorrosion of the CoCrMo alloy, which was confirmed by the detection of cobalt ions in the testing fluid after the experiments. The release of cobalt was increased with higher friction and Inductively Coupled Plasma revealed up to 22 ppb cobalt. Additionally, mass spectrometry demonstrated the presence of organometallic compounds, mainly complexes of cobalt and amino acids, on the articular surface. As adverse effects of metal ions have been described for various cell types, including articular chondrocytes, corrosion products could contribute to the proposed mechano-biochemical wear of articular cartilage following the aforementioned procedures.

Hence, the final study [3] aimed to investigate the effects of metal ions on viability, gene expression levels, and inflammatory response in chondrocytes. Human articular chondrocytes were isolated, expanded and treated with different concentrations of cobalt and chromium ions in a monolayer culture. Chondrocytes showed a concentration-dependent decrease in metabolic activity and higher rates of early and late apoptotic cells with high ion levels. Microscopic images and flow cytometry demonstrated >90 % early/late apoptotic cells with the highest concentration after 72 hours. Furthermore, expression levels of cartilage-specific genes (e.g., collagen type II, SOX9) indicated a concentration- and time-dependent influence. These adverse effects of metal ions on articular chondrocytes suggest a potential role of biotribocorrosion in the degeneration of cartilage after unicompartmental knee replacement or focal metallic resurfacing.

Further variations of composition and surface modulation of metal and biomaterials as well as implant design will help to overcome biotribological problems in partial joint replacement.

1 LITERATUR

[1] Stotter C, Stojanović B, Bauer C, Rodríguez Ripoll M, Franek F, Klestil T, Nehrer S. Effects of Loading Conditions on Articular Cartilage in a Metal-on-Cartilage Pairing. J Orthop Res. 2019 Dec;37(12):2531-2539. doi: 10.1002/jor.24426. Epub 2019 Aug 6. PMID: 31334864; PMCID: PMC6899800.

[2] Stojanović B, Bauer C, Stotter C, Klestil T, Nehrer S, Franek F, Rodríguez Ripoll M. Tribocorrosion of a CoCrMo alloy sliding against articular cartilage and the impact of metal ion release on chondrocytes. Acta Biomater. 2019 Aug; 94:597-609. doi: 10.1016/j.actbio.2019.06.015. Epub 2019 Jun 18. PMID: 31226479.

[3] Bauer C, Stotter C, Jeyakumar V, Niculescu-Morzsa E, Simlinger B, Rodríguez Ripoll M, Klestil T, Franek F, Nehrer S. Concentration-Dependent Effects of Cobalt and Chromium Ions on Osteoarthritic Chondrocytes. Cartilage. 2019 Nov 28:1947603519889389. doi: 10.1177/1947603519889389. Epub ahead of print. PMID: 31779468.

EXTRAKTION VON SEMANTIK AUS BILDDATEN MITTELS MASCHINELLEM LERNEN

R. SABLATNIG [1], M. KAMPEL [1], S. ZAMBANINI [1]

1 ABSTRACT

Die Tribologie befasst sich mit den Reibungseigenschaften von Materialien, die Biotribologie im Besonderen ist eine neue Disziplin, die sich mit den Reibungseigenschaften von biologischen Strukturen und Geweben befasst. Im Bewegungsapparat ist die Anwendung von tribologischen Untersuchungen hinsichtlich der Gleitfähigkeit aber auch der Degeneration und dem Verschleiß sinnvoll. Einerseits ist es Ziel der Biotribologie die Entstehung von Abnützungserkrankungen wie zB. der Arthrose zu verstehen, andererseits aber auch die Therapiekonzepte hinsichtlich des Einflusses auf die Gleiteigenschaften von Gewebe zu analysieren.

So hat sich gezeigt, dass die Belastungsrichtung bei solchen Tests ganz entscheidend für die Belastbarkeit und metabolische Aktivität des Knorpels ist. Die Testung von künstlichen Materialien – wie sie in der Endoprothetik verwendet werden – gegenüber biologischen Gewebestrukturen erscheint ein wichtiges Gebiet im Bereich der Biotribologie. Die Ergebnisse aus den Studien der Biotribologie erweitern das Verständnis der Gelenkfunktion, insbesondere des Knorpels und dessen Ersatzmaterialien.

Maschinelles Lernen ist ein Teilgebiet der künstlichen Intelligenz und ist als etabliertes Forschungsgebiet seit Jahrzehnten durch einen rasanten technologischen Fortschritt geprägt. Der Begriff der künstlichen Intelligenz, welcher 1955 erstmals von Minsky, McCarthy, Newell und Simon definiert wurde, beschreibt Maschinen, die sich verhalten, als würden sie über eine Art menschliche Intelligenz verfügen. Im Allgemeinen umfasst der Begriff Maschinelles Lernen Methoden, die mithilfe von Lernprozessen Zusammenhänge in bestehenden Datensätzen erkennen, um darauf basierend Vorhersagen zu treffen.

Im Wesentlichen bedeutet dies, dass ein Modell aufgrund der selbstlernenden Algorithmen und der existierenden Daten zukunftsrelevante Rückschlüsse ziehen kann, ohne diese explizit zu programmieren. Als Grundlage für diese Lernprozesse dienen Instanzen als Dateneingabe, die sich durch eine vordefinierte Reihe an Attributen charakterisieren. Maschinelle Lernverfahren werden u. a. in folgende Kategorien gegliedert: überwachtes (eng. Supervised Learning), unüberwachtes (eng. Unsupervised Learning) und bestärkendes

[1] TU Wien, Institut für Visual Computing & Human Centered Technology, Computer Vision Lab, Favoritenstr. 9 – 193/1, A-1040 Wien

Lernen (eng. Reinforcement Learning). Sofern ein dedizierter Ausgabewert definiert ist, kann durch Supervised Learning das Modell dahingehend trainiert werden, dass der Ausgabewert bei einem bisherigen unbekannten Datensatz – dem Test Set – vorhergesagt wird. Im Allgemeinen besteht das Ziel des Supervised Learning darin, die Genauigkeit dieser Vorhersagen zu maximieren. Unsupervised Learning wird vor allem dann angewandt, wenn ein Datensatz keine präzisen Ausgabewerte aufweist. Daher können durch die Anwendung von Unsupervised Learning basierend auf den Eingabedaten bisher unbekannte Muster und Zusammenhänge abgeleitet werden. Bei der zuletzt genannten Kategorie, dem Reinforcement Learning, basiert der Lernprozess des Algorithmus auf den Formen der Belohnung und Bestrafung mit dem Ziel, den Nutzen zu maximieren.

Ziel des überwachten Lernverfahrens ist es, den Ausgabewert anhand der vorhandenen Eingabewerte – den Attributen – mit einer möglichst hohen Genauigkeit vorherzusagen. Um dieses Ergebnis an bisher unbekannten Daten validieren zu können, wird der gesamte Datensatz in ein Training Set und ein Test Set aufgeteilt. Der eigentliche Lernprozess zur Vorhersage der Zielvariable basiert auf dem Training Set, wohingegen die Evaluierung dieses trainierten Modells mithilfe des Testdatensatzes erfolgt. Dadurch kann sichergestellt werden, dass die Bewertungsgrößen, wie Genauigkeit und Fehlerquote, anhand bisher unbekannter Daten bestimmt werden. Diese Verfahren eignen sich auf Grund ihrer Eigenschaften aus dem Bereich der Statistik auch hervorragend für die Klassifikation von Bilddaten, die ja zweidimensionale Matrizen aus Intensitätswerten darstellen.

Eine Möglichkeit maschinelles Lernen umzusetzen ist die Verwendung von künstlichen, neuronalen Netzen (NN). Den ersten Schritt zu NNs machten 1943 McCulloch und Pitts, die ein mathematisches Modell des Neurons als grundlegendes Schaltelement für Gehirne vorstellten. Das war die Basis für den Bau von NNs und damit für dieses Teilgebiet der Künstlichen Intelligenz. Das biologische Modell des menschlichen Gehirns diente als Vorbild für das mathematische Modell der NN (Perceptron und Mulitlayer-Perceptron). Die Neuronen sind die Knoten des Netzes, die Synapsen sind die Kanten zwischen den Knoten, die mit Gewichten versehen werden. Somit kann über eine Adaption der Gewichte das „Verhalten“ des Neurons verändert werden. Ein einfaches Perceptron besteht aus einem einzelnen künstlichen Neuron und einer Reihe von Eingängen I1 bis Ik. Die Signale an den Eingängen werden mit Gewichten w1 bis wk multipliziert bevor sie beim Neuron eintreffen. Die Gewichte verstärken die Signale oder schwächen sie ab. Die gewichteten Eingaben werden aufsummiert: $\varphi(x)=\Sigma w_i I_i$. Darauf wird dann eine Aktivierungsfunktion f angewendet $O = f(\Sigma w_i I_i)$ und das Ergebnis als Ausgabe über die synaptischen Gewichte an die Nachbarneuronen weitergegeben. Für die Aktivierungsfunktionen existieren eine Reihe von Möglichkeiten.

Das Ziel des Perceptrons besteht darin, Daten, die zu zwei unterschiedlichen Klassen gehören, voneinander zu trennen. Gegeben sind Datenbeispiele mit Klassenzugehörigkeiten. Der Perceptron- Lernalgorithmus soll die Gewichte wi so anpassen, dass das Neuron bei Daten der ersten Klasse 0 und bei Daten der zweiten Klasse 1 ausgibt.

Lernalgorithmen aus dem Bereich Machine Learning sind in der Lage aus Trainingsdaten für die verschiedensten Anwendungen sehr komplexe Klassifikationsaufgaben zu lernen. Die Generierung der Merkmale, die zur Klassifikation verwendet werden, ist aber nicht automatisch, stattdessen ist es die Aufgabe des „Wissensingenieurs“, einen sinnvollen Satz von möglichst wenigen Merkmalen zu finden, der dann als Eingabe für die Lernalgorithmen verwendet wird. Aber warum verwenden wir nicht direkt alle verfügbaren Sensordaten, das heißt direkt das Bild wie es vom Sensor kommt?

Wir könnten alle 10 Millionen Pixel eines Fotos als Eingabevektor verwenden, der dann eine Länge von 30 Millionen (im Fall von RGB-Bildern mit jeweils drei Farbwerten) hätte. Die Trainingszeiten wachsen dabei allerdings oft exponentiell, mit der Dimension der Eingabedaten. Um die Rechenzeiten in Grenzen zu halten, müssen daher die Eingabedaten zuerst auf kurze Merkmalsvektoren abgebildet werden. Dafür wurden die Merkmale früher anhand manuell definierter Formeln bestimmt – meist aufgrund von Expertenwissen nach dem Motto: Wie würde der Mensch die Klassifizierungsaufgabe lösen?

Allerdings kann es für viele komplexe Anwendungen wie etwa bei der Objektklassifikation auf Bildern sehr schwierig bis unmöglich sein, manuell Formeln für gute Merkmale zu finden. Daher verfolgt Deep Learning das Prinzip des End-to-End-Learning: nicht nur die optimale Verarbeitung der Merkmale wird gelernt, sondern auch simultan die optimale Herleitung solcher Merkmale. Im Bereich Computer Vision kommen in der Regel Convolutional Neural Networks (CNNs) zum Einsatz, bei denen Filterkoeffizienten gelernt werden, mit denen die Bilder zu Beginn gefaltet (eng. Convolved) werden. Andere – auch außerhalb der Computer Vision – eingesetzte Deep Learning Verfahren sind Recurrent Neural Networks (RNNs) oder Generative Adversarial Networks (GANs) und Variationen davon.

Der große Vorteil dieser Verfahren im Vergleich zu traditionellen Machine Learning Verfahren ist die Eliminierung des menschlichen Wissensingenieurs, die Maschine bestimmt die relevanten Merkmale zur Klassifikation selbst. Der Mensch ist dabei nur derjenige, der die Trainingsdaten auswählt, aus denen die Maschine lernt – damit ist aber auch die Gefahr des Bias gegeben, da die Auswahl unvollständig oder nicht balanciert sein könnte.

Bias in Daten kann auch zu Bias in Modellen führt, die in Folge diskriminierend sein können. Zwar sind Diskriminierung, Klassifikation und Unterscheidung nach gewissen Merkmalen das Ziel jeglicher datenbasierten Technologie, doch gilt es hier zu unterscheiden zwischen erwünschten bzw. legitimen und unfairen bzw. illegitimen Formen der Diskriminierung. Was jeweils als diskriminierender Bias gilt, hängt auch von der spezifischen Fragestellung und von den geltenden rechtlichen Rahmenbedingungen ab.

Im Zusammenhang mit Transparenz und Interpretierbarkeit von entscheidungstreffenden Systemen wurden die Begriffe eXplainable Artificial Intelligence (XAI) und Responsible Artificial Intelligence eingeführt. XAI meint Machine-Learning Methoden, die einerseits bei gleichbleibender Genauigkeit verständlichere Modelle liefern, und andererseits dem Menschen ermöglichen, Vertrauen in AI Systeme aufzubauen. Responsible AI meint eine Reihe an AI Prinzipien, die beim Einsatz von AI in realen Anwendungen eingehalten werden müssen.

AN INVESTIGATION INTO THE USE OF DIAMOND LIKE CARBON COATINGS FOR REDUCED BOUNDARY FRICTION WITHIN VALVETRAIN COMPONENTS

P. ANDREOU [1], S.R. BEWSHER [2]*, M. MOHAMMAD-POUR [1], G. OFFNER [2]

1 ABSTRACT

This paper explores one of the opportunities available for valvetrain manufacturers using Diamond Like Carbon coatings in comparison with base steel for reduction of friction within the cam follower contact. Surface topography measurements of a coated and uncoated tappet sample are used as an input for an analytical elastohydrodynamic simulation algorithm embedded within a flexible multi-body dynamics solver, coupling the effects of both tribology and dynamics of the valve system. Simulation is made at component level of a single valvetrain with an overhead cam-actuated tappet. The simulation results for boundary friction within the cam follower contact will be investigated to show how coating technologies can be used to improve the tribological performance at a conjunction level in order to reduce the overall frictional losses in the system of a valvetrain for a passenger car.

2 KEYWORDS

Valvetrain, Boundary Friction, Surface Characterization, Diamond Like Carbon

2.1 Nomenclature

A_a Area of Asperity Tips

E' Reduced Modulus of Elasticity

f_b Boundary Friction Force

h Central Film Thickness

h^* Dimensionless Central Film Thickness

G^* Dimensionless Modulus Parameter G^*

L Cam Width

r Instantaneous Radius

U Entrainment speed

U^* Dimensionless Speed Parameter U^*

[1] Wolfson School of Mechanical Engineering, Loughborough University
Loughborough, LE113TU, England

[2] AVL List GmbH
Hans-List-Platz 1, 8020 Graz, Austria

W Contact Load

W_a Asperity Load

W^* Dimensionless Load Parameter W^*

2.2 Greek Symbols

α Lubricant Pressure-Viscosity Coefficient

η_0 Lubricant Dynamic Viscosity

ς Coefficient of Boundary Shear Strength of Asperities

τ_0 Eyring Shear Stress

ω^*_s Cam Nose Tip Rotational Velocity

3 INTRODUCTION

The trend towards optimizing powertrain technologies such as downsizing of the Internal Combustion Engine (ICE) or switching to hybrid technologies is now a common method utilized in the automotive industry to tackle stringent emissions regulations set out by governments around the globe. [1] It is believed within the EU in 2050 that up to 92 % of passenger vehicles will still have an ICE, of which 40 % is made up of hybrid powered vehicles and the remaining 52 % are still solely reliant on fossil fuels. [2] Breaking down the fuel energy dissipation for passenger cars travelling at speeds of 60 km/h it has been reported that engine and transmission frictional losses account for 17% [3] of the total losses. It is known that in some cases the valvetrain system and its sub-components account for up to 34 % of frictional losses in ICEs, making it a key target for manufacturers to gain further efficiency. [3] Much effort is spent trying to control the valves in a way to make the combustion more efficient through control over airflow into the pistons, often not considering the tribology of the system to reduce the actual component level friction in the cam follower.

Diamond Like Carbon (DLC) coatings are considered to be hard carbon type coatings, which have mechanical behavior and chemical properties similar to that of natural diamond. However, they do not have the same crystalline lattice structure, instead they are amorphous, consisting of a mixture of diamond and graphite structures. [4] Typically, DLC coatings are used in high performance or racing vehicles as they have shown advantageous behavior relating to large frictional losses in the absence of lubricant when compared to uncoated metals. [5] Over the last few years, the passenger car industry has begun to adopt these coatings in a bid to improve efficiency and meet emission reduction targets.

This paper investigates the effects on boundary friction within the cam tappet conjunction of a passenger vehicle by using experimentally obtained surface measurement data of a coated DLC and uncoated steel tappet. The simulation model then uses the experimental data as input for a multi body tribo-dynamic simulation in order to compare the effects within the cam tappet tribo-dynamic

conjunction to observe what happens when the tappet is coated.

4 METHODOLOGY

The workflow for this paper can be subdivided into 3 parts, experimental, surface characterization and component level simulation. A flow diagram of the methodology is presented in *Figure 1*.

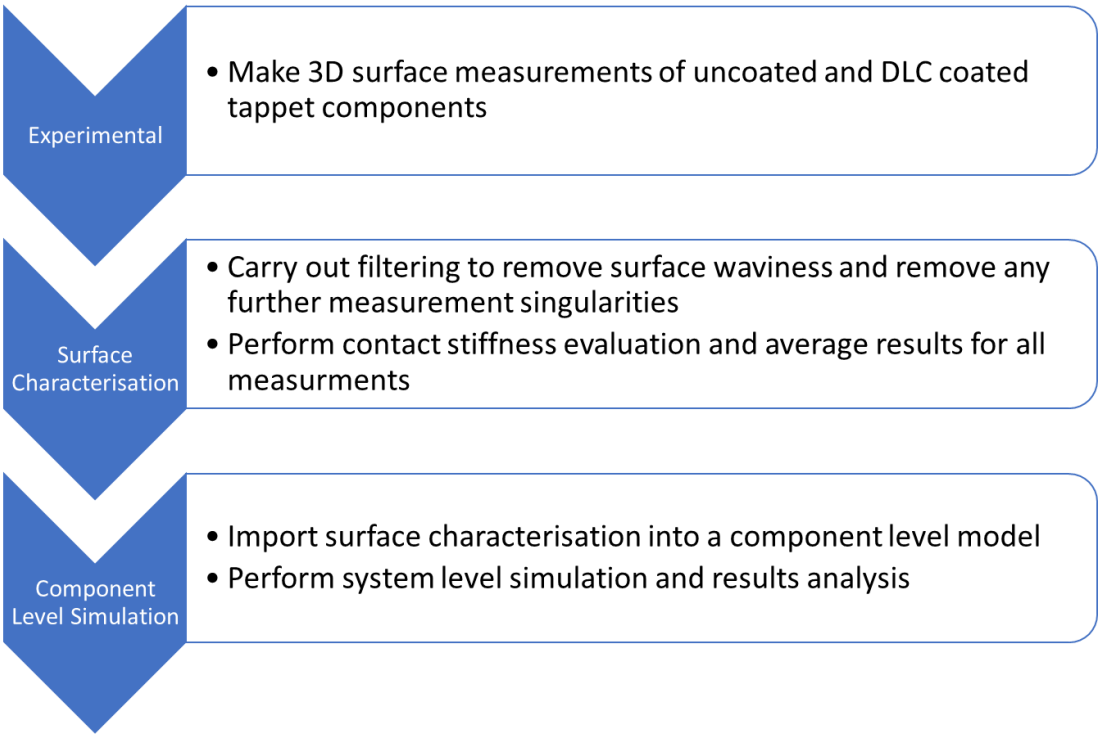


Figure 1: Workflow sub-steps for obtaining surface measurements, surface characterization and component level simulation

The experimental surface topography of both the DLC coated tappet and uncoated steel tappet have been obtained using a Bruker NPFlex 3D Surface Metrology System which utilizes non-contact white light interferometry so that no contact is made with the specimens and thus no damage is done to the coating which could affect the results of the final simulation. These topographies are then post-processed to find the various surface characteristics. The numerical simulations for the 3D surface characterization and component level simulations are carried out AVL EXCITE^{TM} Power Unit and the built in Micro-Contact Analysis tool. Using the obtained surface roughness parameters as inputs for the simulation algorithm allows calculation of the resulting boundary friction. Each 3D scan is filtered using wavelengths set to 2.5 µm and 250 µm for the low and high band pass filters, respectively. This is done to remove surface singularities and waviness from the white light interferometry measurements. The results of this are then combined to form a set of surface characteristics of each tribo-pair between the cam and tappet.

The simulation model consists of a single overhead cam valvetrain the base data for which can be found below in *Table 1* and 3D representation of the base components in *Figure 2 (left)*.The model used is typical of a passenger vehicle engine, and is made up of five flexible bodies (cam, tappet, cylinder head, spring and valve) and five joints (cam follower, push contact, spring seat, spring support and valve seat). The focus of this study is on the cam follower joint between the cam and tappet. The valve lift is plotted against the cam angle in *Figure 2 (right)*. Maximum lift takes place when the cam nose tip is in direct contact with the tappet, thus opening the valve completely. When there is zero lift the valve remains closed.

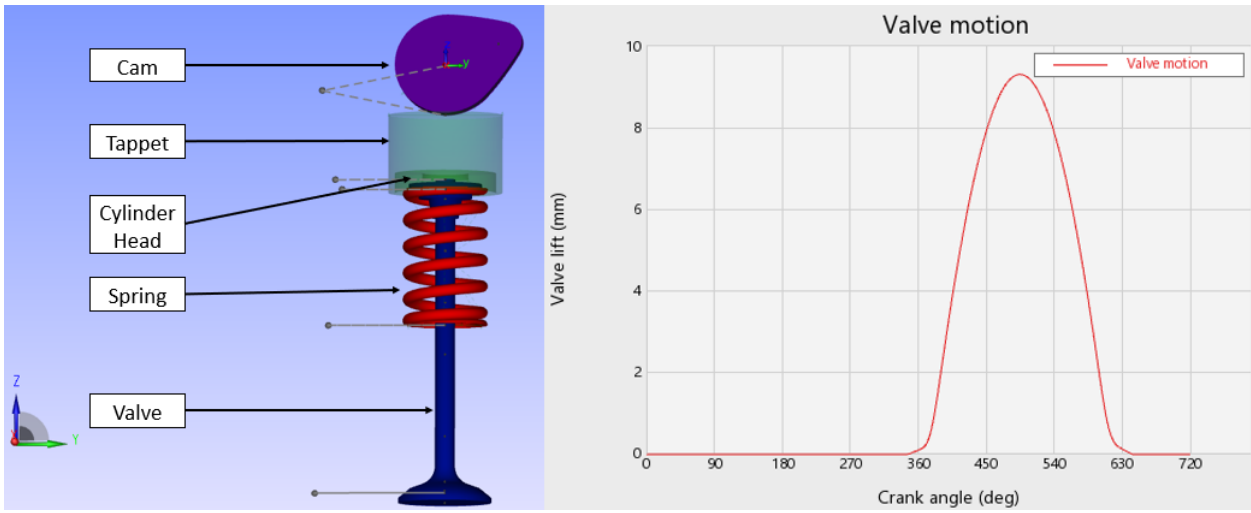


Figure 2: A single valvetrain overhead cam schematic used for the simulations (left) and Valve motion (right)

Parameter	Value
Engine Speed	3000 rpm
Mass of the Valve	0.07 kg
Mass of the Spring	0.036 kg
Spring Constant	33750 N/m
Base Circle Radius of Cam	0.015 m
Maximum Cam Lift	0.0093 m
Dynamic Viscosity of the oil	0.006 Pas

Table 1: Overhead cam valvetrain data

The behavior of a lubricated cam follower joint falls into the elastohydrodynamic lubrication (EHL) regime, this is due to the high velocities and large loads between the various components resulting in very high contact pressures. These larger pressures produce an increased lubricant viscosity transferring the lubricant load to the components, resulting in elastic deformation of the surfaces. Simulation of EHL contacts is computationally expensive, thus a lot of research has been done to find empirical formulae, which are able to find the central film thickness between the cam and the tappet as opposed to a classical Reynolds approach. In this paper *Equation 1* for dimensionless speed, *Equation 2* for dimensionless load and *Equation 3* for dimensionless modulus can be combined to *Equation 4* for a finite line contact, which in this case represents the cam against a flat tappet contact for the central oil film thickness. [6]

$$U^* = \frac{\eta_0 U}{E' r} \tag{1}$$

$$W^* = \frac{W}{E' r L} \tag{2}$$

$$G^* = \alpha E' \tag{3}$$

$$h^* = 1.67 G^{*0.421} U^{*0.541} W^{*0.059} e^{-96.775\omega_s^*} \tag{4}$$

For parts of the engine cycle the cam contact enters the boundary regime of lubrication whereby there is insufficient lubricant in the contact and thus, metal on metal surface friction prevails, resulting in direct interaction of asperities. The load share of asperities is determined using the Greenwood and Tripp model [7, 8], which assumes a Gaussian distribution of asperity tips. The boundary friction is calculated as a result of combining the shear stress and the asperity load as shown in *Equation 5*. The coefficient of boundary shear strength of asperities is often referred to as the coefficient of friction. In this case values of 0.05 and 0.12 were used for the coated DLC and uncoated steel tappet respectively.

$$f_b = \tau_0 A_a + \varsigma W_a \tag{5}$$

It should be noted that in the case of the coated tappet, the model considers the whole body to be made from steel and the topography obtained from the experimental analysis of the DLC is used as input parameters from the boundary friction asperity contact model. Therefore, coating thickness and elasticity cannot be considered.

5 RESULTS AND DISCUSSION

A summary of the surface characteristics obtained using white light interferometry and post-processed using the Micro-Contact analysis tool for the DLC coated and uncoated steel tappets can be found in *Table 2.* An example of the surface height and density function plots taken from the DLC coated tappet samples can be seen in *Figure 3*.

Sample	DLC 1	DLC 2	DLC 3	DLC Averaged	Steel
Mean Summit Height, $R_k/2$ (µm)	0.129	0.095	0.085	0.103	0.669
R.M.S. Summit Height, Rq (µm)	0.089	0.064	0.056	0.070	0.408
Summit Density, η (1/m²)	716 x 10^9	450 x 10^9	441 x 10^9	536 x 10^9	8.3 x 10^9
Young's Modulus, E (GPa)	67.4	67.4	67.4	67.4	210

Table 2: Summary of coated DLC and uncoated Steel parameters

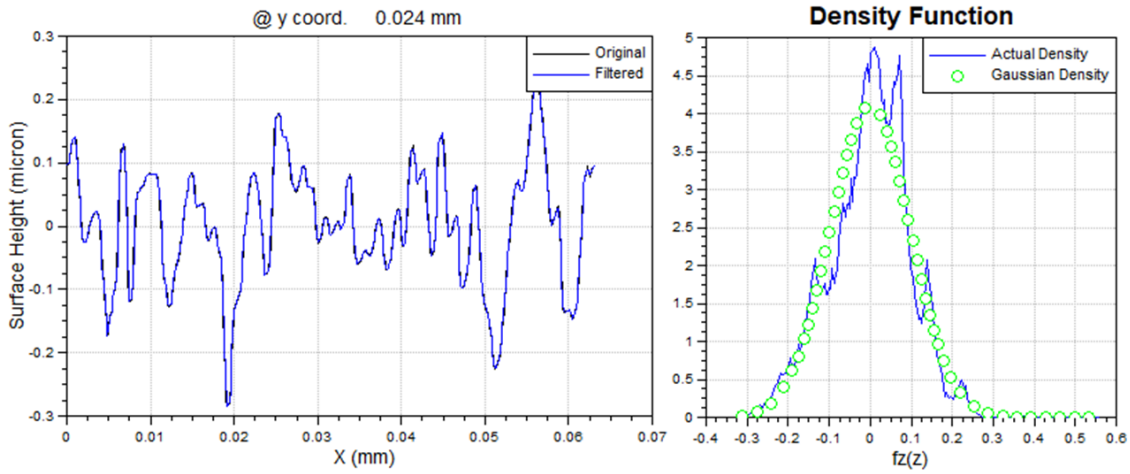


Figure 3: Surface height distribution and summit density plot of a coated DLC tappet sample

For the component level simulation in the multi body dynamics simulation environment, the single valvetrain and its corresponding valve lift data presented in *Figure 2* alongside the data from *Table 1* was used with a standard SAE 10W-40 lubricant. The results presented in *Figures 4 and 5* are for the second engine cycle (720 to 1440 degrees) as an initial condition whereby the conjunction is fully flooded is assumed, therefore it requires at least one full cycle to settle. The cam follower joint represents the conjunction between that of the cam and the tappet with a comparison between the uncoated steel and the DLC coated tappet. *Figure 4* shows the central film thickness which was calculated using *Equation 4*. In both cases the results are identical as expected since all the associated parameters which are required as inputs are the same.

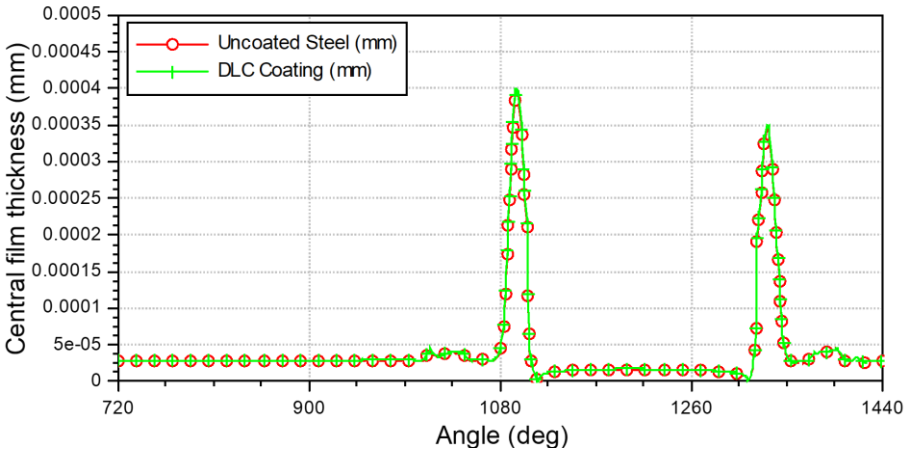


Figure 4: Central film thickness of the cam tappet conjunction

Figure 5 presents the results for the simulated boundary friction calculation. Here the DLC coated tappet has far superior frictional behavior to that of the uncoated steel tappet. In fact, by coating the tappet with DLC the boundary friction is halved throughout the whole engine cycle. It should also be noted that at the points where the initial contact between the cam and tappet is observed and the point where the cam is no longer in contact with the tappet there is a 65 % reduction in boundary friction force.

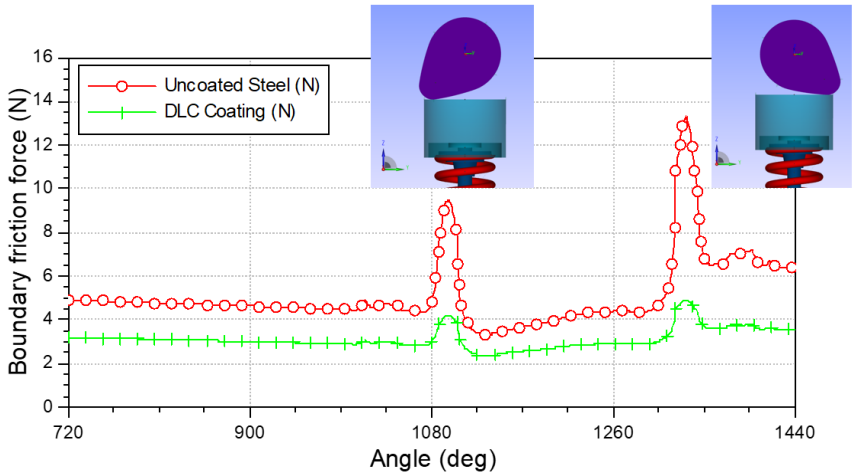


Figure 5: Boundary friction force of the cam tappet conjunction

6 CONCLUDING REMARKS

The simulation results show that by using a DLC coated tappet the boundary friction within the tribo-pair can be reduced by 50 % for most of the engine cycle and at the points where the cam makes initial and final contact the reduction in boundary friction is as high as 65 %. This outlines that ICE and valvetrain manufacturers should follow the trend set by the high performance and racing community and look to coating technologies for valvetrain components in order to continue to meet their emissions targets by targeting high frictional losses which are observed between the cam and the tappet.

7 REFERENCES

[1] J. King “The King review of low-carbon cars: part 1: the potential for CO2 reduction”, Office of Public Sector Information, HM Treasury, HMSO, UK 2007.

[2] P. Capros, A. De Vita, N. Tasios, D. Papadopoulos, P.Siskos, E. Apostolaki, M. Zamapara, L. Paroussos, K. Fragiadakis, N. Kouvaritakis, et al. “EU Energy, Transport and GHG Emissions – Trends to 2050”, European Commission, Directorate-General for Energy, Directorate-General for Climate Action and Directorate-General for Mobility and Transport, 2013.

[3] Holmberg K., Andersson P. and Erdemir A. “Global energy consumption due to friction in passenger cars”, Tribology International, 2012,47, pp. 221–234.

[4] T. Gün, B. Karaca, and A. Mat, “The Effects of DLC Coating to Camshafts Produced From 8620H Steel,” International Journal of Engineering Science, 2017, 6(7), pp. 52–56.

[5] M. Calabretta, D. Cacciatore and P. Carden, “Valvetrain Friction – Modeling, Analysis and Measurement of High-Performance Engine Valvetrain System”, SAE International Journal of Engines, 2010, 3(2), pp. 72-84.

[6] H. Rahnejat, “Computational modelling of problems in contact dynamics” Engineering Analysis, 1985, 2, pp. 192-197.

[7] J.A. Greenwood and J.H. Tripp, “The Elastic Contact of Rough Spheres”, J. Applied Mechanics, 1967, 34 (1), pp. 153-159.

[8] J.A. Greenwood and J.H. Tripp, “The contact of two nominally flat rough surfaces”, Proc. IMechE, 1970-1971, 185, pp. 625-634.

ANALYTISCHE BEWERTUNG VON VERSCHLEIßMECHANISMEN IN NASSLAUFENDEN FAHRZEUGKUPPLUNGEN UNTER VERWENDUNG VON TOF-SIMS UND LC-MS METHODEN

M. BÄSE [1], A. LEBEL [2], R. FRANZ [2], J. PROST [2], M. ABRAHAM [2]

8 EINLEITUNG

In Allrad-Antriebssträngen werden Verteilergetriebe zum Übertragen des Drehmomentes zur Vorder- und Hinterachse verwendet. Die Drehmomentübertragung erfolgt bedarfsgerecht mittels einer nasslaufenden Lamellenkupplung, die als tribologisches System bestehend aus einer definierten Anzahl an Stahllamellen und Belaglamellen sowie einem Kühlöl definiert ist. Die Kupplungsreibungskontakte werden über deren Lebensdauer einer Vielzahl von Beanspruchungen ausgesetzt. Dazu gehören Betriebsbeanspruchungen, wie z. B. Pressungen, Differenzdrehzahlen, Temperaturen in definierten Schlupfzuständen, aber auch Systemeinflüsse, wie z.B. Betriebsmittel, Wasser oder sonstige Kontaminationen, die mit dem Kupplungsreibkontakt wechselwirken.

Infolge der Komplexität des Systems ist es bei tribologischen Versuchsmustern, die aus dem Fahrzeugeinsatz stammen oft eine Herausforderung, die Fehlerursache bei einer Fehlfunktion der Kupplung zu bestimmen. Dies ist insbesondere der Fall, wenn nicht sichtbare Veränderungen auf molekularer Ebene ursächlich für die Kupplungs-Fehlfunktion sind. Zusätzlich steht in den meisten Fällen nur eine geringe und nicht repräsentative Anzahl an negativ beurteilten Versuchsmustern aus auffälligen Aggregaten und positiv beurteilten Referenzmustern zur Verfügung, welche vergleichbaren Betriebs-beanspruchungen ausgesetzt waren.

Im hier untersuchten Fall war bekannt, dass Wasser ursächlich für mehrere repräsentative und auffällige Kupplungssysteme im Fahrzeug vorhanden war, wobei die Wasserwirkung im System zu einer Ölschädigung und in Folge zu einer Geräuschauffälligkeit der Kupplung sowie erhöhtem Stahllamellenverschleiß geführt hat. Eine Möglichkeit das Vorhandensein von Wasser im Öl nachzuweisen ist durch die indirekte Karl-Fischer-Analyse gegeben. Das Ergebnis zur Wassermenge im Öl ist mit dieser Art der Analysemethode in vielen Fällen allerdings nicht repräsentativ, da äußere Einflüsse, wie z. B. die auf die Ölprobe wirkenden Temperaturwechselintervallen, die Ölprobenlagerung, der Transport der Ölprobe zum Analyselabor oder aber die Ölprobenhandhabung bekanntlich ausgehend vom Zeitpunkt der Fehlerauffälligkeit bis zum Zeitpunkt der Analyse zu

[1] Magna Powertrain GmbH & Co KG
Industriestraße 35, 8502 Lannach, AT, mirjam.baese@magna.com

[2] AC2T research GmbH,
Viktor Kaplan Straße 2/10, 2700 Wr. Neustadt, AT, astrid.lebel@ac2t.at

einem Ausdampfen des Wassers aus dem Öl führen können. Damit wird Wasser als ursächlicher Einflussparameter auf Ölschädigung in vielen Fällen bei der Fehleranalyse vernachlässigt. Aus diesem Grund soll im vorliegenden Fall ein chemischer Nachweis der durch Wasserbeanspruchung entstandenen Abbauprodukte mittels Massenspektroskopie des Öles erbracht werden. Dieses Verfahren soll zukünftig bei der Festlegung der Root Cause der Fehleranalyse ergänzend zur Karl-Fischer Analysemethode genutzt werden. Da ein durch Wasser geschädigtes Öl auch einen erhöhten Stahllamellenverschleiß zur Folge haben kann, sollten zum Wassernachweis weiterhin chemische Untersuchungen der Triboschichten an den Stahllamellenoberflächen vorgenommen werden, die mit dem durch Wasser geschädigten Öl betrieben wurden. In diesem Paper werden hierzu ausgewählte Ergebnisse von ToF-SIMS und LC-MS Untersuchungen und deren Korrelation zu Systemen mit zulässiger und unzulässiger Wasserbeanspruchung dargestellt.

9 METHODIK

9.1 Flugzeit-Sekundärionen-Massenspektrometrie

Bei einer Analyse mittels Flugzeit-Sekundärionen-Massenspektrometrie (Time of Flight-Secondary Ion Mass Spectrometry, ToF-SIMS) wird durch den Beschuss einer Festkörperoberfläche mit Primärionen eine Emission von Sekundärionen in Form von positiv und negativ geladenen Atomen und Molekülen ausgelöst, die mittels Massentrennung in einem Detektor unterschieden und in Folge analysiert werden können. Diese Methode weist eine hohe Oberflächensensitivität auf, da 80 % dieser Sekundärionen aus den obersten Atomlagen stammen. [1]

9.2 Hochauflösende Massenspektroskopie

Hochauflösende Massenspektroskopie (MS) mit Elektrosprayionisation (ESI) wurde angewandt um Messungen im positiven und negativen Modus durchgeführt. Die Ölproben wurden hierzu in einer Methanol-Chloroform-Mischung aufgelöst (volumetrisches Verhältnis 3:7, Verdünnungsfaktor 1:1000).

10 RESULTATE

10.1 Ergebnisse mittels Flugzeit-Sekundärionen-Massenspektrometrie

In Bäse et al. 2019 [1] wurden bereits Kennwerte zur Beschreibung von tribologisch funktionalen Schichten anhand von ToF-SIMS-Analysen an der Stahllamellenoberfläche herausgearbeitet. Dazu zählen:

- die Tiefe, in der das Maximum des Signalverlaufes eines Additivelementes bzw. einer Additivelementverbindung als Funktion der Sputtertiefe detektiert wurde (nachfolgend bezeichnet als „Tiefe der Triboschicht“)
- der Flächenanteil unter dem Signalverlauf eines Additivelementes bzw. einer Additivelementverbindung als Funktion der Sputtertiefe über einer definierten Schnittlinie (nachfolgend bezeichnet als „Dicke der Triboschicht“)

Abbildung 1 zeigt beispielhaft die Intensität des Kalziumsignalverlaufes anhand der auf der x-Achse dargestellten Sputtertiefe (Primary Ion Dose Density, PIDD), welches in den tribologisch beanspruchten Oberflächen von Stahllamellen gefunden wurde, die im Verteilergetriebe im Fahrzeugeinsatz einer Betriebsbeanspruchung ausgesetzt waren. In einem der in den Fahrzeugen betriebenen Aggregate hatte nachweislich eine unzulässige Wasserbeanspruchung auf das Tribosystem gewirkt. Ein Aggregat in einem anderen Fahrzeug mit dem gleichen Ausgangstribosystem wurde mit einer zulässigen Wasserbeanspruchung betrieben. Die „Tiefe der Triboschicht“ liegt dabei in einer geringeren Sputtertiefe bei der mit unzulässiger Wasserbeanspruchung betriebenen Stahllamellenoberfläche verglichen zur Stahllamellenoberfläche, die mit einem zulässigen Wassergehalt im Öl beansprucht wurde. Ebenso ist die „Dicke der Triboschicht“ bei der Stahllamellenoberfläche mit unzulässiger Wasserbeanspruchung geringer als die „Dicke der Triboschicht“ bei der Stahllamellenoberfläche mit zulässiger Wasserbeanspruchung. Eine solche Auffälligkeit konnte, außerdem bei den Additivelementen und -Additivbestandteilen Bor (ausschließlich Auffälligkeiten in der „Dicke der Triboschicht“), Magnesium, Phosphor, $CaPO_2$, CaO_2 festgestellt werden. [1]

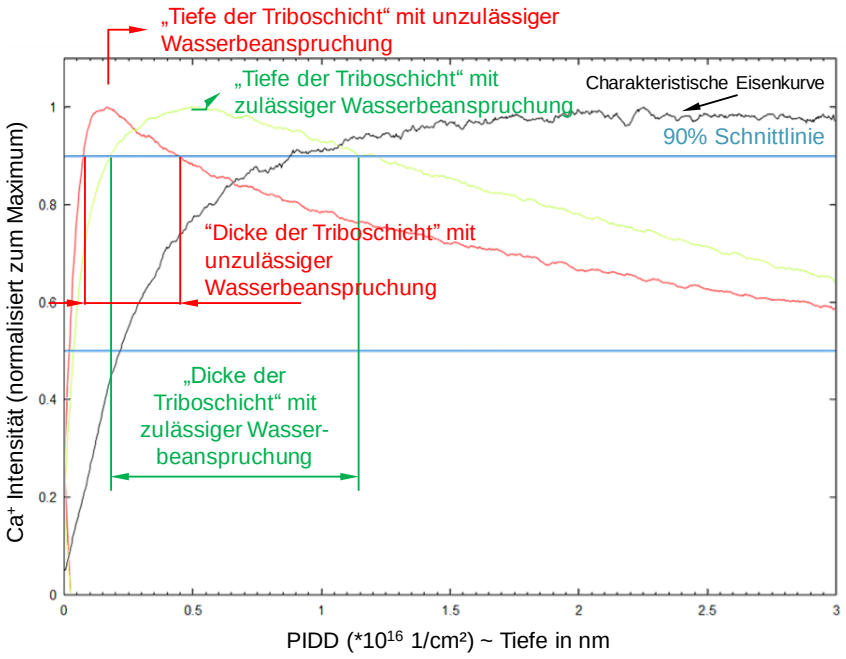


Abbildung 1: Kennwerte der tribologischen Funktionsschicht [1]

Die gleichen Tendenzen wurden ebenso mittels ToF-SIMS-Analyse nach Tribometerversuchen in der Stahllamellenoberflächen gefunden, die einerseits während eines Dauerlaufes ohne signifikanten Wassergehalt beansprucht wurden und andererseits einer unzulässigen Wasserbeanspruchung während des Dauerlaufes ausgesetzt waren (Abbildung 2). Ebenso konnten die Erkenntnisse mit der Analyse eines anderen Produktes auf ein weiteres Tribosystem übertragen

werden, welches im Aggregateversuch einer unzulässigen Wasserbeanspruchung ausgesetzt war. [1] Zusammenfassend lassen die Ergebnisse den Rückschluss zu, dass eine Wasserbeanspruchung mit unzulässig hohen Wassergehalten direkt oder aber indirekt, infolge des durch Wasserbeanspruchung geschädigten Öls, zu einer Schädigung der tribologischen Funktionsschicht auf den Stahllamellen führt und diese Schädigung mittels ToF-SIMS-Analysen nachweisbar ist.

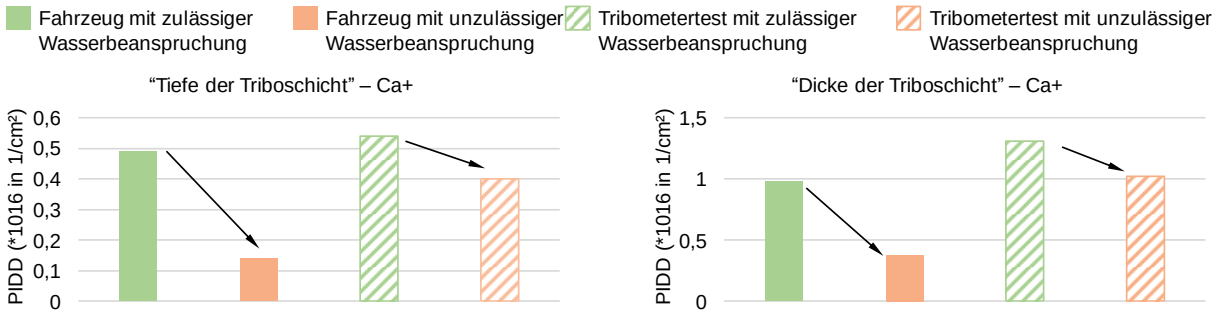


Abbildung 2: Kennwertvergleich der tribologischen Funktionsschicht im Fahrzeug und im Tribometer [1 modifiziert]

10.2 Ergebnisse mittels hochauflösender Massenspektrometrie

Ziel der LC-MS Untersuchung war es, die Intensität definierter Masse-Ladungsverhältnisse von Ölproben aus Fahrzeugen und Komponententests mit dem gleichen Ausgangstribosystem sowie mit zulässiger und unzulässiger Wasserbeanspruchung mit dem Kupplungsenergieeintrag zu korrelieren. Damit soll ein Rückschluss auf eine mögliche und durch Wasser verursachte Ölschädigung auf molekularer Ebene gezogen werden können. Da die Ölsumpftemperaturen und Kupplungsbeanspruchungen in den unterschiedlichen Fahrzeugen vergleichbar waren, wurde in Abbildung 3 die Reibarbeit als vergleichende Kenngröße für Ölschädigung dargestellt. Eine detaillierte Beschreibung der Vorgehensweise wurde in Franz et al. 2020 [2] bereits vorgestellt. Aus der Analyse gingen definierte Masse-Ladungsverhältnisse hervor, die eine Korrelation zwischen der Intensität und dem Kupplungsenergieeintrag des Tribosystems zeigten. Abbildung 3 zeigt solch eine Korrelation beispielhaft für m/z 314,34. Die drei Proben, welche einer zulässigen Wasserbeanspruchung ausgesetzt waren, zeigen tendenziell niedrige Intensitäten, die linear abhängig vom Kupplungsenergieeintrag geringfügig ansteigen (siehe hell eingefärbter Bereich in Abbildung 3). Die Intensitäten aus Ölanalysen, die einer unzulässig hohen Wasserbeanspruchung ausgesetzt waren, sind zu den definierten Analysezeitpunkten stets größer als diejenigen Intensitäten aus Ölanalysen, die einer zulässigen Wasserbeanspruchung ausgesetzt waren (siehe dunkel eingefärbter Bereich in Abbildung 3). Weiterhin lässt sich feststellen, dass im Vergleich dieser Analyseergebnisse mit dem Kupplungsenergieeintrag kein linearer Zusammenhang feststellbar ist.

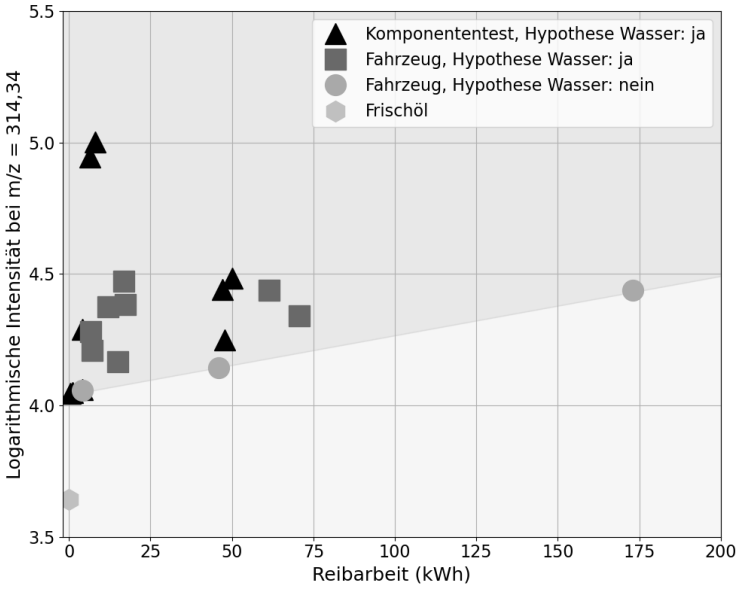


Abbildung 3: Darstellung der Intensitäten bei m/z 314,34

11 ZUSAMMENFASSUNG

Die dargestellten Ergebnisse zeigen, dass Systeme mit unzulässig hoher Wasserbeanspruchung von Systemen mit zulässiger Wasserbeanspruchung durch folgende Kennwerte unterschieden und somit auch ohne den Nachweis mittels indirekter Karl Fischer Analysemethode mit einer Wasserbeanspruchung in Zusammenhang gebracht werden können:

- „Tiefe der Triboschicht“ und „Dicke der Triboschicht“ in der Stahllamellenoberfläche (anhand von ToF-SIMS nachgewiesen)
- Intensität von definierten m/z Werten im Öl (anhand von LC-MS nachgewiesen)

Die bessere Alternative beider Analyseverfahren ist dabei die LC-MS Methode, da eine sehr geringe Ölmenge von wenigen Millilitern ausreichend für die Analyse ist und Ölproben auch während des Fahrzeugeinsatzes entnommen werden können, ohne dass das Aggregat aus dem Antriebsstrang entnommen und kontrollzerlegt werden muss. Die ToF-SIMS Analyse dagegen erfordert eine Zerlegung von Aggregaten, um die Stahllamellen für Probenanalyse zu entnehmen. Diese Methode eignet sich somit lediglich für zusammenfassende Fehleranalysen nach der Kontrollzerlegung.

Abschließend ist zu beachten, dass sich die Untersuchung mit der vorgestellten Analyse auf ein definiertes tribologisches System bezieht und im Falle von Änderungen der Charakteristika der tribologisch beanspruchten Elemente (z. B. anderer Ausgangswerkstoff der Stahllamelle oder andere chemischen Zusammensetzung des Schmierstoffes bzw. anderer Schmierstofftyp) neue Referenzen erstellt werden müssen.

In Zukunft ist geplant die vorliegende Untersuchung mit einer größeren Probenanzahl auch für weitere Systeme zu bestätigen.

12 DANKSAGUNG

Die präsentierten Ergebnisse wurden in Forschungsprojekten mit finanzieller Unterstützung seitens der beteiligten Projektpartner und des österreichischen Programms (InTribology, Nr. 872176) erarbeitet.

Das COMET-Programm wird finanziert durch Mittelzuwendung seitens der österreichischen Bundesregierung, sowie der Bundesländer Niederösterreich und Vorarlberg InTribology betreffend.

13 LITERATUR

[1] Bäse M., Heipl O., Cokdogru I., Lipinsky D., Mallach D., Franz R., Analyse von Verschleißmechanismen nasslaufender Fahrzeugkupplungen mittels tribologischer Belastungstests und Time of Flight Sekundärionenmassenspektrometrie (ToF-SIMS), Forschung im Ingenieurwesen, Vol 83 Is 2, p 247-258, Springer Nature, ISSN 0015-7899, DOI 10.1007/s10010-019-00312-1, 2019

[2] Franz R., Lebel A., Prost J., Bäse M., Chemical indications of water induced failure modes in wet clutches of automotives, 22nd International Colloquium Tribology, Ostfildern/Esslingen, 2020

[3] Widder L., Ristic A., Brenner F., Brenner J., Hutter H., Modified-Atmospheric Pressure-Matrix Assisted Laser Desorption/ Ionization Identification of Friction Modifier Additives Oleamide and Ethoxylated Tallow Amines on Varied Metal Target Materials and Tribologically Stressed Steel Surfaces, Anal. Chem. 2015, 87, 11375−11382

FELDSTUDIE ÜBER DIE MOTORÖL-ALTERUNG IN PERSONENKRAFTWAGEN

A. AGOCS [1;2*], A. L. NAGY [3], J. PERGER [4], J. ROHDE-BRANDENBURGER [3], B. RONAI [1;2], C. BESSER [1], N. DÖRR [1]

1 ABSTRACT

Wichtige Anforderungen an moderne Verbrennungsmotoren sind bessere Emissionswerte durch verringerten Kraftstoffverbrauch, höhere Leistungsdichte und längere Wartungsintervalle. Diese Trends erhöhen die Anforderungen an alle Maschinenkomponenten, einschließlich der Motoröle. Der Ölzustand – bestimmt durch Additivabbau, Bildung von Alterungsprodukten und Kontaminationen – hat einen starken Einfluss auf die tribologische Leistungsfähigkeit. [1-4] Da die Ölalterung von zahlreichen Betriebsparametern bestimmt wird, sind Untersuchungen im realen Betrieb notwendig. Eine umfangreiche Feldstudie ausgewählter Otto- und Dieselfahrzeuge wird präsentiert, in der chemische Ölzustandsindikatoren mit Betriebsparametern korreliert werden.

2 MATERIALIEN UND METHODEN

12 Personenkraftwagen wurden zwischen September 2019 und März 2020 überwacht. Die Flotte umfasste verschiedene Modelle eines deutschen Herstellers mit Selbstzündungs-Direkteinspritzung (CIDI, „Dieselfahrzeuge“) und Vierzylinder-Turbomotoren mit Direkteinspritzung und Funkenzündung (DISI, „Ottofahrzeuge“) in verschiedenen Leistungsklassen. Die Flotte kann hinsichtlich ihrer Nutzung in die Kategorien "Langstreckenfahrzeuge" und die "Kurzstreckenfahrzeuge" eingeteilt werden, abhängig von Fahrtdauer und Durchschnittsgeschwindigkeit. Mittels integriertem Flottenverfolgungssystem wurden Daten wie Fahrzeuggeschwindigkeit und Kilometerzählerstände mit einem Abtastintervall von 10 Sekunden. Das Fahrzeugverfolgungssystem zeigte auch den Beginn und das Ende jeder Fahrt an.

Um chemische Änderungen ausreichend zu beschreiben, wurden die erhaltenen 48 Gebraucht-Motorölproben unter anderem mit folgenden Methoden der Ölzustandsüberwachung charakterisiert:

- Kraftstoffverdünnung mittels Gaschromatographie gekoppelt mit Flammen-ionisationsdetektor (GC-FID)
- Kinematische Viskosität bei 40 °C und 100 °C sowie Viskositätsindex mittels Stabinger-Viskometer

1 AC2T research GmbH, Viktor-Kaplan Straße 2/C, 2700 Wiener Neustadt, Österreich

2 TU Wien, Institut für Chemische Technologien und Analytik, Getreidemarkt 9/164, 1060 Wien, Österreich

3 Széchenyi István Universität, Lehrstuhl für Verbrennungsmotoren und Antriebstechnologie, Egyetem tér 1., 9026 Győr, Ungarn

4 AUDI HUNGARIA Zrt, Audi Hungária út 1, 9027 Győr, Ungarn

- Oxidation, Nitration, Additivrestgehalte und Ruß mittels Fourier-Transformations-Infrarotspektroskopie (FTIR)
- Elementare Zusammensetzung nach Säureaufschluss mittels optischer Emissionsspektroskopie (ICP-OES)

3 RESULTATE UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

Hinsichtlich kinematischer Viskosität zeigten Langstrecken-Diesel- und Ottofahrzeuge nur leichte Änderungen, wohingegen bei den Kurzstrecken-Ottofahrzeugen eine signifikante Verringerung beobachtet wurde, welche auf Unterschiede in der Kraftstoffverdünnung zurückzuführen sind.

Weiters wurde eine schnellere Rußanreicherung, jedoch ein weniger ausgeprägter Abbau des Verschleißschutzadditives bei den Dieselfahrzeugen beobachtet. Gebrauchtölproben aus Dieselmotoren beinhalten Verschleißschutzadditive bis ca. 12500 km Laufleistung, während Ottofahrzeuge einen vollständigen Abbau bereits nach ca. 5000 - 7000 km aufweisen. Ottofahrzeuge zeigen geringeren Verschleiß (abgeleitet aus dem Eisengehalt im Öl) trotz schnellerem Additivabbau, was darauf hindeutet, dass die Verschleißmechanismen in beiden Motortypen unterschiedlich sind. Es konnte festgestellt werden, dass sich der Verschleiß bei Ottomotoren im Betrieb grundsätzlich aufgrund des Verschleißschutzadditiv-abbaus erhöht, bei Dieselfahrzeugen hingegen hauptsächlich durch Rußanreicherung und abrasive Effekte beeinflusst wird.

4 DANKSAGUNG

Die präsentierten Ergebnisse wurden in Forschungsprojekten mit finanzieller Unterstützung seitens der beteiligten Projektpartner und des österreichischen COMET-Programms (K2-Projekt InTribology, Nr. 872176) erarbeitet.

5 REFERENZEN

[1] Dörr N., Agocs A., Besser C., Ristic A., Frauscher M.: Engine oils in the field – A comprehensive chemical assessment of engine oil degradation in a passenger car. Tribology Letters 67:68 (2019)

[2] Agocs A., Budnyk S., Besser C., Ristic A., Frauscher M., Ronai B., Dörr, N. Production of used engine oils with defined degree of degradation in a large-scale device. Acta Technica Jaurinensis 13(2), 131-150 (2020)

[3] Nagy A. L., Knaup J., Zsoldos I., A friction and wear study of laboratory aged engine oil in the presence of diesel fuel and oxymethylene ether. Tribology-Materials, Surfaces & Interfaces 13 (1), 20-30 (2019)

[4] Nagy A. L., Knaup J. C., Zsoldos I., Investigation of Used Engine Oil Lubricating Performance Through Oil Analysis and Friction and Wear Measurements. Acta Technica Jaurinensis 12 (3), 237-251 (2019)

OPTIMIERUNG DER LEBENSDAUER UND EFFIZIENZ DURCH INNOVATIVE SCHICHTSILIKAT-BASIERTE SCHMIERSTOFFADDITIVE

S. BILL [1], P. CHIZHIK [2]

REWITEC ist Teil des englischen Konzerns CRODA Int. Plc. und entwickelt, produziert und vermarktet innovative Schichtsilikat-basierte Mikro- und Nanoteilchen-Schmierstoffadditive, die die Oberflächen der Tribosysteme reparieren und für die Zukunft schützen. Die Hauptkomponente des Additivs sind Schichtsilikate in Plättchenform, die die Oberflächen des Tribosystems durch Adsorption bedecken und dadurch für eine reparierende und schützende Wirkung sorgen. Die aufgebaute Schicht verhindert den direkten Metall-Metall Kontakt, auch wenn die Schmierung mangelhaft ist. Die Schicht wird bei Bedarf immer wieder durch frische Additiv-Partikel aus dem Schmierstoff repariert. Gleichzeitig werden die Oberflächen durch das Bedecken und das Auffüllen der Rautiefen signifikant glatter. Der Glättungseffekt sorgt für eine gleichmäßigere Druckverteilung im tribologischen Kontakt und somit auch für eine niedrigere lokale Belastung.

Ein wichtiger Punkt unserer Forschung sind Stillstandschäden von Lagern, die vor allem im Bereich der Windenergie, aber auch in anderen Bereichen, wo Stillstand mit gleichzeitigen Vibrationen auftritt, vorkommen. Die auf dem Markt zur Verfügung stehenden Schmierstoffe tragen zwar dazu bei, dass die Schäden reduziert werden, können aber den Schaden nur in einem bestimmten Maß vorbeugen. Die für Stillstandschäden übliche Analysemethode ist der sogenannte False-Brinelling-Test, bei dem ein Rollenlager oszillierend bewegt wird, wobei bei jeder Oszillation eine Drehung von wenigen Grad ausgeführt wird. Dadurch werden die beim Stillstand auftretenden, schädlichen Vibrationen simuliert. Die besondere Problematik bei solchen Vibrationen besteht darin, dass durch die sehr geringe Amplitude der Oszillationen die Schmierstoffzufuhr in den reibenden Kontakt eingeschränkt ist, was zu einer erhöhten tribologischen Belastung führt. Da REWITEC, ein Schichtsilikat-basiertes Partikel-Additiv, für seine an den Oberflächen haftende und dadurch schützende Wirkung bekannt ist, ist davon auszugehen, dass durch die Zugabe des Additivs in den Schmierstoff die Stillstandschäden signifikant reduziert werden. Um dies experimentell zu untersuchen, wurden mehrere False-Brinelling-Tests bei gleichen Bedingungen mit und ohne Additiv durchgeführt. Wie erwartet haben die Tests die an den Oberflächen haftende und schützende Wirkung von REWITEC bestätigt. Der

[1] Rewitec GmbH,
35633 Lahnau, Dr.-Hans-Wilhelmi-Weg 1; stefan.bill@croda.com

[2] Rewitec GmbH,
35633 Lahnau, Dr.-Hans-Wilhelmi-Weg 1; petr.chizhik@croda.com

schonende Einfluss ist bereits mit bloßem Auge deutlich erkennbar und die quantitative Analyse der beanspruchten Oberflächen zeigt ebenfalls eine signifikante Verschleißreduktion um bis zu 76 % (Abb. 1).

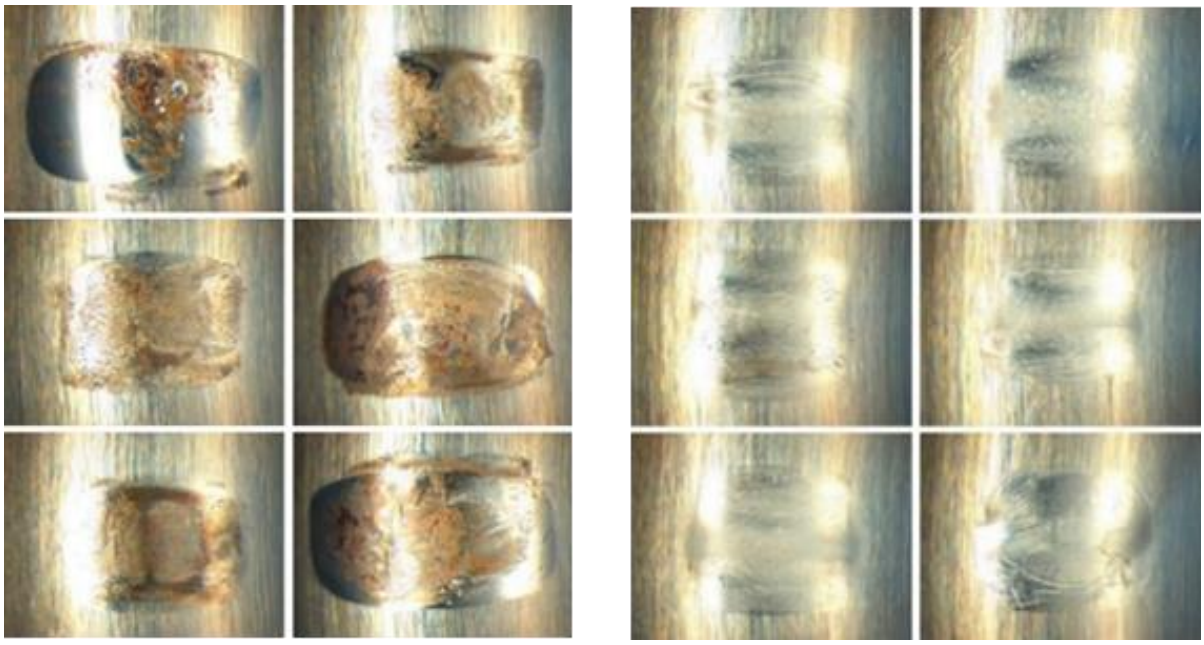


Abbildung 1: Im False-Brinelling-Test beanspruchte Oberflächen. In den ersten 80 Minuten wurde ein Stillstandschaden kreiert. Anschließend lief das System 180 Minuten ohne (links) bzw. mit (rechts) REWITEC.

In weiteren Studien wurde unter Verwendung eines 2-Scheiben-Prüfstands eine signifikante Reibungsreduktion von 36 % durch REWITEC in einem gängigen Schmierfett nachgewiesen. Mit Hilfe eines 4-Kugel-Apparants wurde die Schweißkraft in einem gängigen Fett in Kombination mit REWITEC analysiert, wobei auch hier eine Verbesserung von bis zu 45 % beobachtet wurde. Anwendungsbeispiele aus der Praxis bestätigen die Labortests ebenfalls (Abb. 2).

Abbildung 2: Die Oberfläche des Hauptlagers einer Windkraftanlage vor, 5 Monate nach und 12 Monate nach der REWITEC Anwendung. Der Pfeil zeigt die gleiche Laufspur auf der Oberfläche. Der Oberflächenrauheitswert Ra beträgt jeweils 0,556 µm, 0,406 µm und 0,225 µm.

WASSERGESCHMIERTE SCHIFFSGETRIEBE

R. KASTL [1], B. SIEGFRIED [2]

1 GRUNDPROBLEM UND AUFGABENSTELLUNG

Hochleistungsgetriebe, wie sie in Schiffsantrieben eingesetzt werden, sind nach dem aktuellen Stand der Technik immer ölgeschmierte Getriebe. 10% der jährlichen Ölverschmutzung (Etkin 2010) – mind. 140 Mio. Liter Öl/Jahr (Jagdale et al. 2017) – stammen aus Getriebe- und Lager-Leckagen, die aufgrund von regulärer Abnutzung oder ebenso üblichem Versagen von Dichtungen aufgrund externer Einflüsse auftreten. Gleichzeitig sorgt der Wassereintritt in herkömmlichen ölgeschmierten Lager- und Getriebesysteme zu schnellem Schmierabfall, Getriebeversagen und teuren Reparaturen.

Sowohl das Problem der Umweltverschmutzung durch austretendes Öl als auch das Problem von Getriebeversagen durch eintretendes Wasser ließen sich am elegantesten lösen, wenn Getriebe und Lager mit Wasser anstatt mit Öl geschmiert werden. Die Reintrieb GmbH hat wassergeschmierte Getriebezahnräder und -gleitlager entwickelt und die tribologischen Grundlagen in Kooperation mit der AC2T research GmbH untersucht. Die Aufgabenstellung bestand darin eine Materialkombination für die Getriebekomponenten zu finden, die bei Verwendung von Wasser als Schmierstoff den typischen Schadensformen (Abb. 1) standhalten. Die Reintrieb GmbH hält das Patent auf wassergeschmierte Getriebe (EP 2614000).

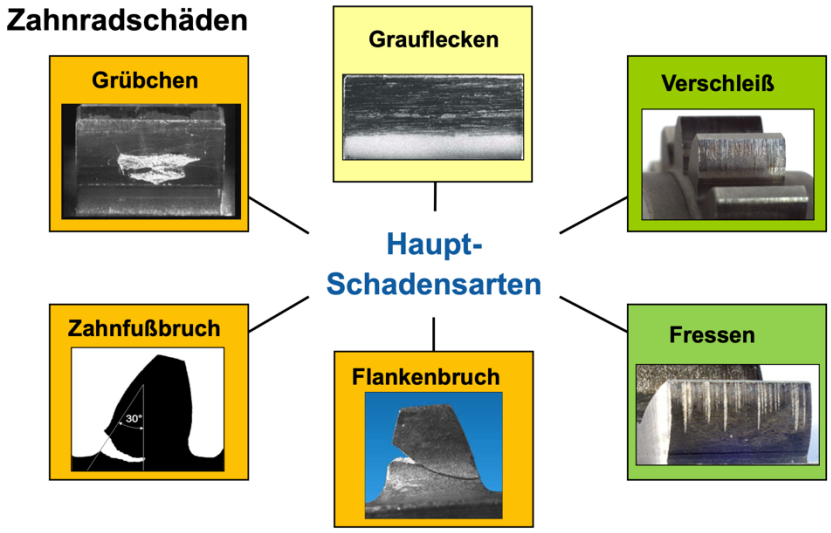


Abbildung 1: Übersicht der Hauptschadensarten bei Getriebezahnrädern (Quelle: FZG)

1 Reintrieb GmbH,
Siebensterngasse 32-34, 1070 Wien, AT; robert.kastl@reintrieb.com

2 Reintrieb GmbH,
Siebensterngasse 32-34, 1070 Wien, AT; siegfried.lais@reintrieb.com

2 MATERIALKOMBINATIONEN FÜR WASSERSCHMIERUNG

Ziel der Entwicklung war es die Verwendung von Umgebungswasser (d.h. Fluss- oder Meerwasser) möglich zu machen. Daher wurde für die Materialtests ein auf 3,2 % Salzgehalt angereichertes Rhein- bzw. Leitungswasser verwendet. Als Prüfverfahren für die Hauptschadensformen wurden modifizierte FZG-Standardtests A/8,3/T und Pulsatortests direkt am FZG Institut durchgeführt.

Wasser als Schmierstoff stellt besondere Herausforderungen an die verwendeten Materialien. Alle Materialen müssen korrosionsbeständig sein. Die geringe Wasserviskosität erzeugt nur einen geringen trennenden Schmierfilm und fehlende Additive verhindern den Aufbau tribologischer Schutzschichten, was zu Fressen und erhöhtem Verschleiß führen kann.

Mit spezialbeschichteten korrosionsbeständigen Stahlwerkstoffen konnte die Schadenskraftstufe 8 im Fresstest erreicht werden, was einen Einsatz in Schiffsgetrieben grundsätzlich denkbar macht. Nach mehreren Versuchen mit unterschiedlichen Materialkombinationen wurden schließlich spezielle Hartmetallwerkstoffe entwickelt. Bei diesen Werkstoffen ist ein Fressen (Blitzverschweißungen) aufgrund der fehlenden Löslichkeit der Materialien ineinander kaum möglich. Die hohe Materialhärte sorgt für geringen Verschleiß, erhöht jedoch aufgrund der geringen Elastizität das Risiko von Zahnfußbrüchen, was somit die kritische Schadensform dieser Werkstoffe darstellt. Entscheidend dabei ist sowohl die Werkstoff- als auch die Fertigungsqualität. Abb. 2 zeigt, dass erfolgreich spezielle Hartmetallwerkstoffe A1, A2 (rot) und C1 (schwarz) entwickelt werden konnten, deren Zahnfußtragfähigkeit (Wöhlerlinien) auf oder über dem Niveau von Einsatzstahl (grau) liegen.

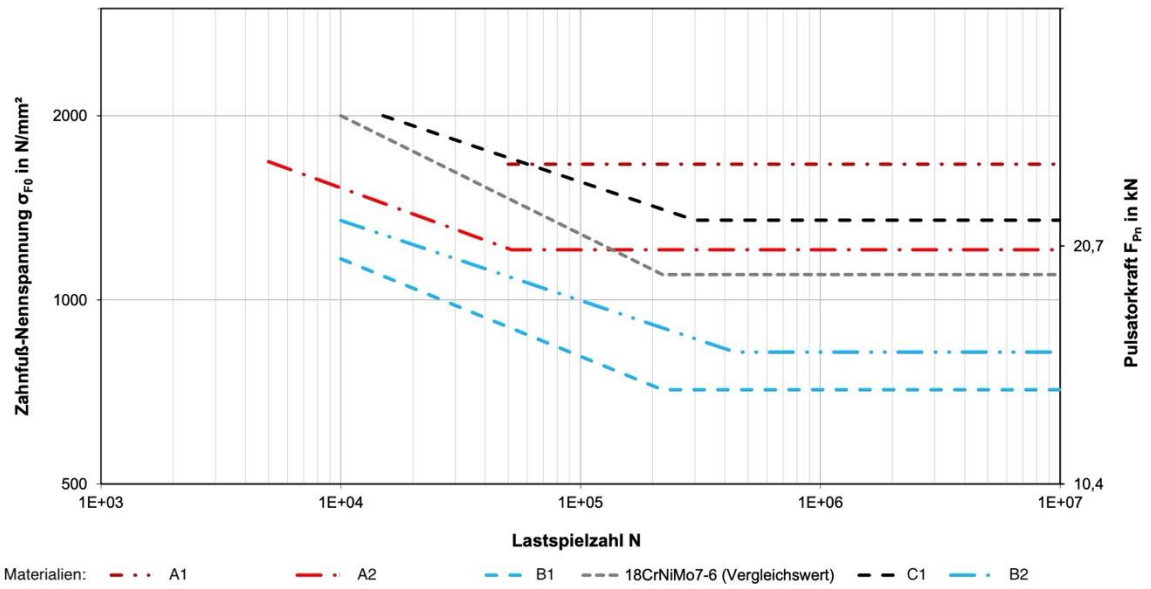


Abbildung 2: Zahnfußtragfähigkeit (Wöhlerlinien) unterschiedlicher Werkstoffkombinationen. Vergleichslinie von Einsatzstahl grau strichliert. Quelle: FZG

3 WASSERGESCHMIERTE GETRIEBELAGER

Im Schiffsbereich kommen schon wassergeschmierte Wellenlager aus Elastomeren oder Polymeren zum Einsatz. Diese „weichen“ Werkstoffe sind jedoch aufgrund ihrer geringen Traglastfähigkeit nicht für den Einsatz in Getrieben geeignet. Für die Lagerversuche wurden daher die gleichen Hartmetallwerkstoffe ausgewählt wie für die Zahnräder. Entscheidend für die Lager ist ein hydrodynamischer Betrieb, um Lager- und Wellenkontakt und den daraus resultierenden Abtragsverschleiß zu vermeiden.

Die entwickelten wassergeschmierten Radial- und Axiallager wurden an der HS Mannheim auf ihr Reibungs- und Verschleißverhalten mithilfe von Stribeck- und Dauerlaufversuchen getestet, um Informationen über den hydrodynamischen Druckaufbau zu erhalten. Trotz der niedrigen Viskosität des Wassers zeigt die Reibpaarung einen guten Druckaufbau (150 rpm bei 500 N; 300 rpm bei 2000 N). Bei Nennlast und -drehzahl wird das System vollständig hydrodynamisch betrieben, läuft stabil und es kommt zu keiner signifikanten Oberflächenveränderung. Selbst die durchgeführten Start-Stopp-Zyklen führten mit den verwendeten Werkstoffen zu keinen Schädigungen.

4 ZUSAMMENFASSUNG

Ausschließlich mit Wasser geschmierte Hochleistungsgetriebe für Schiffsantriebe stellen eine ebenso elegante wie simple Lösung von zwei hochaktuellen Problemen dar: die Umweltverschmutzung durch Ölaustritt und Getriebeschäden durch Wassereintritt.

Die von der Reintrieb GmbH dafür entwickelten speziellen Hartmetallwerkstoffe wurden erfolgreichen Materialtests unterzogen, die Stahlzahnrädern bei Ölschmierung entsprechen oder sie übertreffen und laut Prof. Stahl der FZG „insgesamt ein nutzbares Potential aufzeigen.“ Die ebenfalls durchgeführten Lagertests zeigen ein gutes hydrodynamisches Verhalten.

Die Autoren werten diese Ergebnisse als theoriebestätigend und als aussichtsreiche Grundlage für Laborversuche mit konkreten Getriebeprototypen.

5 LITERATUR

[1] Bayerdörfer, I.; Michaelis, K.; Höhn, B.-R.: Method to Assess the Wear Charac- teristics of Lubricants FZG Test Method C/0,05/90:120/12 - DGMK 377. DGMK Informationsblatt 05/97, Deutsche Wissenschaftliche Gesellschaft für Erdöl, Erdgas und Kohle e.V. (DGMK). Hamburg. 1997

[2] DIN 3990: Tragfähigkeitsberechnung von Stirnrädern. 1987

[3] DIN ISO 14635-1:2006: Zahnräder – FZG-Prüfverfahren – Teil 1: FZG-Prüfverfahren A/8,3/90 zur Bestimmung der relativen Fresstragfähigkeit von Schmierölen. 2006

[4] Etkin, D. S.: Worldwide analysis of in-port vessel operational lubricant discharges and leaks. Proc. 33rd Arctic and Marine Oilspill Program Technical Seminar: p. 529-554. 2010

[5] Hück, M.; Bär, S.; Schütz, W.: Verbesserung der statistischen Aussagefähigkeit von Dauerfestigkeitsversuchen (Treppenstufenverfahren). IABG-Bericht TF-651 B. 1977

[6] Voßiek, J.; Höhn, B.-R.: Entwicklung eines Verfahrens zur Beurteilung des Ver- schleißverhaltens von Schmierstoffen für Zahnradgetriebe. DGMK-Forschungs- bericht 377, Deutsche Wissenschaftliche Gesellschaft für Erdöl, Erdgas und Kohle e.V. (DGMK), Hamburg. 1992

[7] Jagadale K.M., Sengottvel, et al.: The stern tube oil pollution in ocean and use of composite material to reduce it - a review. International Journal of Advance Research in Science and Engineering, Vol. 6 Issue 4, pp 197-206. 2017

5.1 Nicht veröffentlichte Gutachten

[8] Dörr, N: Tribotechnische Evaluierung neuartiger wassergeschmierter Reibpaarungen für Antriebskomponenten. Österreichisches Kompetenzzentrum für Tribologie (AC2T). 2019

[9] Stahl, K.: Gutachtliche Untersuchung der Tragfähigkeit von Stirnzahnrädern bei Wasserschmierung. Forschungsstelle für Zahnräder und Getriebebau (FZG). 2020

„SCHIENEN-SCHÄDIGUNG“ ODER „VON DEN ZWÄNGEN DER SPURFÜHRUNG“

R. SCHMID [1]

Die ÖBB-Infrastruktur AG betreibt ein sehr heterogenes Gleisnetz, in dem verschiedenste Betriebszustände bzw. Umgebungsbedingungen zu unterschiedlichen Schädigungen der Schienen führen. Erfahrungen aus der Fahrweg-Instandhaltung und Analysen der Datenbanken zeigen ein breites Spektrum an Instandhaltungserfordernissen. Der Vortrag zeichnet anhand verschiedener Gleisquerschnitte im Netz das Potpourri der Fahrweginstandhaltung für die Komponente Schiene nach und streift dabei unterschiedliche Schädigungsphänomene.

Die ÖBB-Infrastruktur AG als Infrastrukturmanager (IM) stellt etwa 5000 km Eisenbahnstrecken zur Benützung durch die Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU) zur Verfügung. Die unterschiedlichen Siedlungsdichten und topographischen Verhältnisse in Österreich – überlappt von den jeweiligen Verkehrsbedürfnissen der lokalen Bevölkerung bis hin zu den europäischen Transit-Korridoren – generieren eine große Bandbreite von Beanspruchungen dieser Strecken bzw. Streckengleise.

Klassische Vertreter von verschiedenen Streckentypen sind:

- Neubaustrecken mit für Österreich hohen Geschwindigkeiten
- Bestandsstrecken mit mittleren Bogenradien
- Bergstrecken mit engen Bogenradien
- Regionalbahnen mit Erschließungscharakter

Für dieses Gleisnetz mit sehr unterschiedlichen Ausprägungen sind durch eine zentrale und mehrere regionale Einheiten der ÖBB-Infrastruktur AG wirtschaftlich-technisch optimale Instandhaltungsmaßnahmen zu definieren und umzusetzen. Dies beinhaltet naturgemäß auch die Aufbereitung und Weiterentwicklung des Stands der Technik und die „Übersetzung“ desselben in technische Instandhaltungsregelwerke bzw. optimierte Instandhaltungsprozesse.

Die Schienen selbst (und ihre Sonderformen etwa im Weichenbereich) spielen hier eine zentrale Rolle. Als oberste Komponente des Fahrweges müssen sie die Kräfte der Schienenfahrzeuge in konzentrierter Form aufnehmen und „nach unten“ verteilen bzw. weiterleiten. Gleichzeitig sind aber die Form- und Lagestabilität des Gleises und eine möglichst geringe Schädigung der Fahrwegkomponenten zu gewährleisten, was für das komplette Streckennetz auch regelmäßig zu monitoren ist.

[1] *ÖBB-Infrastruktur AG, Praterstern 3, 1020 Wien, AT*

Diese Überprüfung wird planmäßig nach festgelegten Intervallen Großteils mittels Messwagen (Oberbaumesswagen, Ultraschall- und Wirbelstromprüfzug) automatisiert, an singulären Stellen aber auch manuell durchgeführt.

Diese Kontrolle beinhaltet verschiedene Parameter unter anderem aus den Bereichen:

- Gleislage, Fahrwegstabilität
  - Spurweite
  - Längshöhe
  - Richtung
  - Querhöhe
  - Verwindung
  - Schienenneigung
- Materialschäden der Schienen
  - Verschleiß
  - Oberflächenwelligkeit
  - Risse, Ausbröckelungen, Brüche
- Schäden an singulären Stellen
  - Schienenstöße/Isolierstöße, LV-Gleise
  - Weichen

Während die Gleislageparameter stark vom Zustand der weiteren Fahrwegkomponenten (Zwischenlage, Schienenbefestigung, Schwellen, Schotter) und des Untergrunds abhängen, so sind die Materialschäden bzw. die Schäden an singulären Stellen meist direkt den Belastungen im Rad-Schiene-Berührpunkt geschuldet.

Der klassische Schienen-**Verschleiß** tritt hauptsächlich in (sehr) engen Gleisbögen bei hoher Achslast auf. Abhängig von der Gesamtzahl der Fahrzeuge und deren Bogenlaufeigenschaften, der Berührgeometrie und natürlich den Materialeigenschaften von Rad und Schiene ist der Verschleiß somit ein klassisches Thema der Berg- und Bestandsstrecken. Zum Verhalten der derzeit gängigen Rad- und Schienengüten hat AC^{2}T im Rahmen eines geförderten Projektes[2] für die ÖBB-Infrastruktur AG Untersuchungen durchgeführt, die deren Interaktion bewerten. Damit kann die künftige Verschleißentwicklung besser abgeschätzt und die derzeit angewandte belastungsspezifische Schienenmaterial-strategie der ÖBB-Infrastruktur AG unter Berücksichtigung künftiger Entwicklungen bestätigt werden.

Die **Oberflächenwelligkeit** von Schienen entsteht in sehr engen Bögen, in denen die kinematische Rollbedingung des Radsatzes nicht mehr erfüllt ist und ist damit ebenfalls auf Berg- und Bestandsstrecken anzutreffen. In Zusammenhang mit

[2] Die Untersuchungen zur konzernweiten Optimierung der Rad- bzw. Schienenmaterialauswahl wurden vom österreichischen COMET-Programm gefördert (Projekt XTribology: Nr. 849.109).

hohen Reibwerten entstehen Schwebungseffekte, die auf der Innenschiene zu Änderungen der Oberflächenhärte führen. In kurzer Zeit entstehen dort Welligkeiten mit zum Teil hohen Amplituden, die binnen kurzer Zeit zur Zerstörung des Fahrweges führen können.

Außenschienen in mittleren Gleisbögen und Beschleunigungsabschnitte vor Signalen sind empfindlich auf **Risse** an der Fahrkante bzw. auf der Fahrfläche. Der Verschleiß der Schiene ist hier geringer als das Risswachstum. Sogenannte HeadChecks entstehen in Berührzonen mit hohem Schlupf. Werden diese nicht rechtzeitig beseitigt, können sich diese zu Ausbröckelungen bzw. Schienenbrüchen entwickeln. Hohe Belastungen führen auf Neubau- und Bestandsstrecken daher zu erhöhtem Schleifaufwand.

Singuläre Stellen wie **Schienenstöße** (dazu zählen auch **Isolierstöße**), sind in der Fahrweginstandhaltung eine besondere Herausforderung. Durch die unterbrochene Schiene ergibt sich eine Schwachstelle, die besonders in hochbelasteten Bögen Instandhaltungsmaßnahmen in kurzen Intervallen erfordern. Auch hier hat AC^2T bereits Grundlagenarbeit zur Schwachstellenanalyse der Schienenstöße geleistet[3]. Lückenlos verschweißte Gleise (sogenannte **LV-Gleise**) stellen zwar eine deutliche Verbesserung der Situation dar, es treten aber trotzdem immer wieder Querschnittsverminderungen an Schweißstellen auf, sodass beim Überrollen durch die Räder erneut Schlagbeanspruchungen entstehen, die das ganze Rad-Schiene-System belasten.

Das am meisten belastete Teil einer **Weiche** (insbesondere bei hohen Geschwindigkeiten bzw. Achslasten) ist das Weichenherz, da es aufgrund der geometrischen Erfordernisse nicht möglich ist, einen sanften Übergang für alle im Betrieb vorkommenden teilverschlissenen Radprofile gleichermaßen zu konstruieren. Um dessen Schädigungsverlauf besser dokumentieren zu können, laufen derzeit Entwicklungen von AC^2T, eine genaue Vermessung der Weichenherze zu automatisieren[4].

Aus der Summe der jeweils festgestellten Schädigungen und deren Entwicklung werden entsprechende Maßnahmen abgeleitet, die die Sicherheit und Ordnung des Eisenbahnbetriebs aus Fahrwegsicht gewährleistet. Wichtig ist für uns dabei die Zusammenarbeit mit Wissenschaft und Industrie, um das technisch-wirtschaftliche Optimum in der Fahrweginstandhaltung bestmöglich zu erreichen.

---

[3] „Analyse der Auswirkung von Fahrzeuglasten auf Schienenstöße“, finanziert im Rahmen der Verkehrsinfrastrukturforschung 2016

[4] „3D-Vermessung von Fahrbahnteilen bei Weichen“, finanziert im Rahmen der Verkehrsinfrastrukturforschung 2019

ENTWICKLUNG EINER INTELLIGENTEN PLATTFORM ZUR EFFIZIENTEN ÜBERWACHUNG UND OPTIMIERUNG TRIBOLOGISCHER SYSTEME

R. FLEISCH [1], I. VELKAVRH [1], S. BITRUS [1], E. RIGGER [1], J. VOYER [1]

1 EINLEITUNG

Die Anwendung digitaler Methoden bietet zahlreiche Möglichkeiten zur Automatisierung der Analyse und Optimierung tribologischer Systeme. [1] Die dazu vorhandenen Ansätze und mathematischen Modelle sind allerdings nicht spezifisch für den Bereich der Tribologie ausgelegt. Dieser erfordert aufgrund seines interdisziplinären Charakters spezielle Versuchsaufbauten sowie die Berücksichtigung einer Vielzahl von Variablen. In diesem Kontext präsentiert die vorliegende Arbeit die aktuell laufende Entwicklung einer Plattform zur effizienten Überwachung und Optimierung tribologischer Systeme. Diese Plattform besteht aus einer Toolbox, welche Signalbearbeitungen und zugehörige statistische Auswertungen automatisiert, womit z. B. Predictive Analytics für Labor- und Industriesetups ermöglicht wird.

2 ANSATZ UND EXPERIMENTELLES

2.1 Tribologische Experimente

Tribologische Experimente wurden unter Laborbedingungen auf einem oszillierenden tribologischen Prüfstand durchgeführt. Während der tribologischen Versuche wurden die Messdaten mit einer Auflösung von 1 kHz aufgezeichnet. Für eine statistische Auswertung wurden mit jeder Variante zwei bis drei Untersuchungen durchgeführt.

2.2 Datenbank

Voraussetzung für die erfolgreiche Entwicklung künstlicher neuronaler Netzwerke ist die Verwendung einer erweiterten und zuverlässigen Datenbank, mit der das System trainiert werden kann. Dementsprechend wurde eine auf PostgreSQL basierende Timescale-Datenbank eingerichtet, in der die generierten experimentellen Daten gespeichert wurden.

3 ERGEBNISSE UND DISKUSSION

3.1 Signalbearbeitung

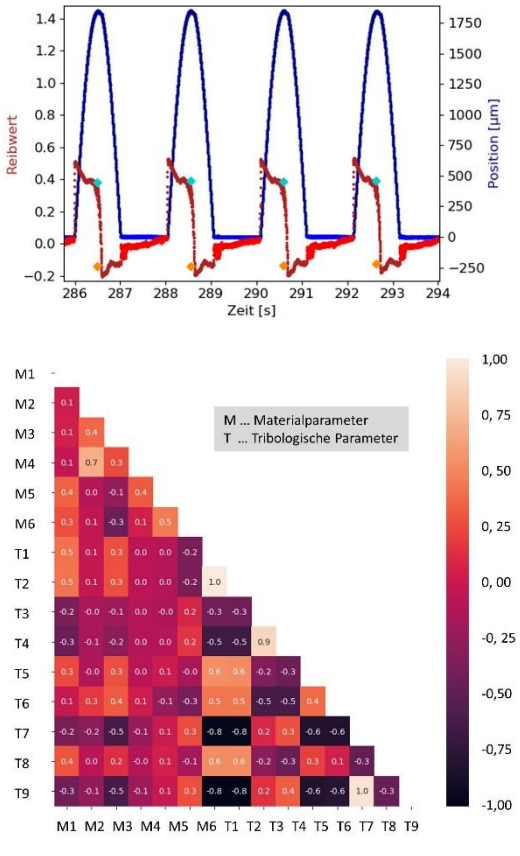
Rohdaten in hoher zeitlicher Auflösung aus tribologischen Messungen werden aufbereitet und visualisiert sowie aggregiert – Letzteres, da für die Bewertung und den Vergleich verschiedener Konzeptlösungen meist nur charakteristische Werte

[1] V-Research GmbH, Stadtstrasse 33, 6850 Dornbirn, Austria; ruth.fleisch@v-research.at, igor.velkavrh@v-research.at, samuel.bitrus@v-research.at, eugen.rigger@v-research.at, joel.voyer@v-research.at

aus den Messungen benötigt werden. Abbildung 1a zeigt eine Visualisierung der Daten als Zeitreihe: Es sind sowohl die hochaufgelösten Daten als auch die berechneten Mittelwerte dargestellt.

3.2 Suche nach Korrelationen

Um unterschiedliche Beziehungen zwischen physikalischen Signalen, die aus tribologischen Experimenten erhalten werden, quantitativ zu bewerten, wird die statistische Korrelationsanalyse verwendet. Die Korrelationsanalyse in Abbildung 1b zeigt, ob und wie stark die Variablenpaare zusammenhängen. Die dargestellte Plattform wird im laufenden Projekt weiterentwickelt und validiert.



(a)

(b)

Abbildung 1: (a) Ausschnitt der Zeitreihe: Relevante Daten in Dunkelblau bzw. Dunkelrot, nicht-relevante Daten in Hellblau bzw. Hellrot; Mittelwerte der positiven Reibwerte in Cyan, der negativen in Orange.
(b) Pearson-Korrelationskoeffizient für kontinuierliche Variablen (1 bedeutet vollständig positiver linearer Zusammenhang, 0 keine lineare Korrelation und -1 vollständig negativer linearer Zusammenhang).

4 DANKSAGUNG

Die präsentierten Forschungserkenntnisse wurden durch die österreichischen COMET-Programme InTribology (Projekt: COMET K2 InTribology, Nr. 872176; Projektträger: AC2T research GmbH, Österreichisches Kompetenzzentrum für Tribologie) und CdP („Österreichische Kompetenzzentrum für digitale Produktion“ (CDP), Vertragsnummer 854187) gefördert.

5 LITERATUR

[1] I. Argatov, Artificial Neural Networks (ANNs) as a Novel Modeling Technique in Tribology, Front. Mech. Eng., vol. 5, May 2019.

MONITORING DES VERSCHLEIßZUSTANDES VON ROLLENPRESSEN IN DER ZEMENTINDUSTRIE

M. MAJ [1], R. GRUNDTNER [1], M. KIRCHGAßNER [2], M. VARGA [1]

1 KURZZUSAMMENFASSUNG

Wissen über den aktuellen Anlagenzustand ist für die verarbeitende Industrie von entscheidender Bedeutung, um die Wartung und damit die Wettbewerbsfähigkeit zu verbessern. Bei stark Verschleiß-gefährdeten Bauteilen sind spontane Ausbrüche von Schutzschichten besonders kritisch, da sie eine sofortige Wartung erfordern und zu Anlagenausfällen führen können. Die Erkennung erster Anzeichen dieser Fehler würde die Instandhaltung deutlich verbessern.

2 HERANGEHENSWEISE

Um dies zu erreichen, bilden moderne Sensoren ein Sensornetz, aus dem die Daten über Online-Dienste an die wissenschaftlichen Partner zur kontinuierlichen Auswertung übermittelt werden. Zusätzlich werden die Daten visualisiert, um den Anlagenbetreiber über den aktuellen Anlagenzustand zu informieren und um kritische Anzeichen sofort anzuzeigen. Basierend auf diesen Lebenszyklusvorhersagen kann der Anlagenbetreiber vorausschauende Instandhaltungsmaßnahmen für eine kostenoptimierte und effiziente Instandhaltung ableiten (Abb. 1).

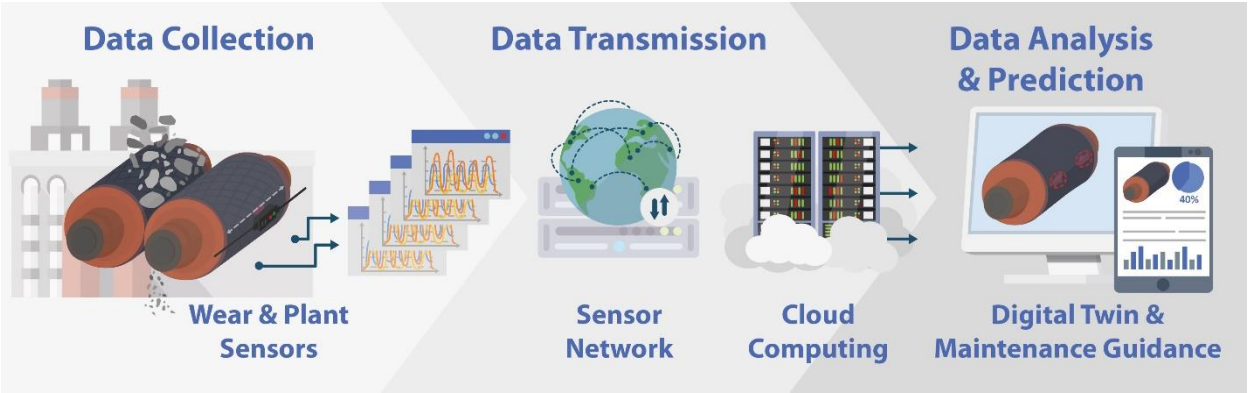


Abbildung 1: Schema zum Monitoring des Verschleißzustandes

3 UNTERSUCHTE ANLAGE

Gutbett-Walzenmühle werden zum Zerkleinern von grobem Stückgut verwendet. Dabei ist eine der beiden Rollen fest und die andere beweglich gelagert (Abb. 2). Dadurch ist es möglich das zu mahlenden Gut, welches aus unterschiedlich großen Teilen [1] besteht, mit einem konstanten Druck zu beaufschlagen. Die

1 AC2T research GmbH, Viktor Kaplan-Straße 2/C, 2700 Wiener Neustadt, Österreich

2 Castolin GesmbH, IZ NÖ Süd Str. 14, Obj. M73, 2355 Wiener Neudorf, Österreich

bewegliche Rolle der Gutbett- Walzenmühle erfährt somit im Betrieb verschiedene Arten von Bewegungen. So kommt es zusätzlich zur Rollendrehung auch zu einer Bewegung normal zur Achsrichtung. Aufgrund der Abrasivität des zu mahlenden Gutes werden die Walzen mit dicken Verschleißschutzschichten ausgestattet (Abb. 3). [2]

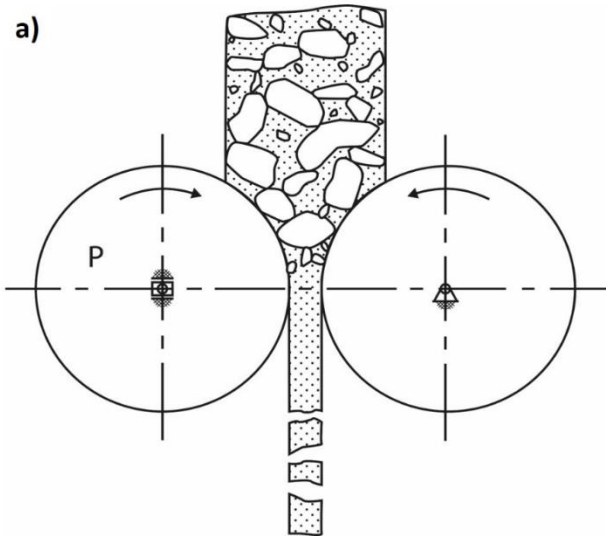


Abbildung 2: Funktionsprinzip [3]

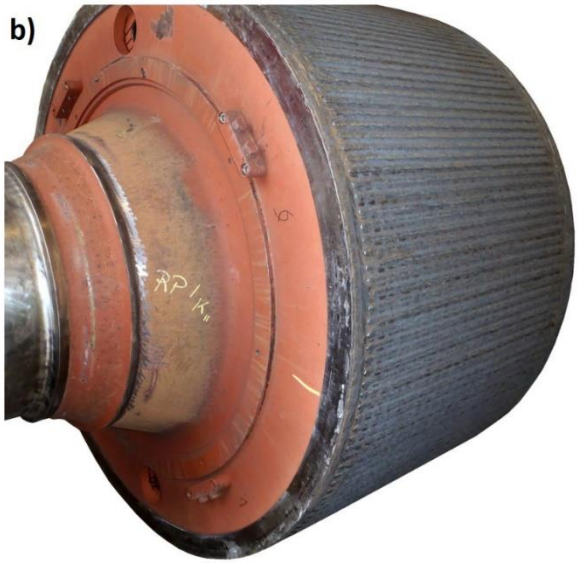


Abbildung 3: Auftragsgeschweißte Rolle [3]

4 MESSKONZEPT

Für die Verschleißmessung wird ein beweglicher Laser-Abstandssensor über die Rollenoberfläche gerastert. Durch die Drehbewegung der Rolle setzt sich so ein komplettes Bild der Rollenoberfläche zusammen. Um den Verschleiß der Rolle richtig zu berechnen, müssen zusätzlich alle Bewegungen der Rolle kontinuierlich gemessen werden. Dazu werden weitere Distanzsensoren außen am Mühlengehäuse montiert, welche die Bewegungen der Lagerböcke und die Drehbewegung der Rolle erfassen. Dadurch kann jeder erfasste Verschleiß-Messwert mit der Rollenbewegung korrigiert werden und ein genaues, transientes Oberflächenprofil der gesamten Rolle erstellt werden, das sich durch Verschleiß kontinuierlich ändert. Durch Langzeitbeobachtungen und typische Schadensfälle kann so aus den Messwerten ein Frühwarnsystem entwickelt und eine Lebensdauerprognose errechnet werden. [4]

5 LANGZEITTEST

Die meisten Sensoren sind für den Betrieb in staub- und vibrationsbelasteter Umgebung nicht geeignet, und müssen entsprechend geschützt werden. Langzeittests unseres Prototyps zeigten Verschmutzungen und Abnützungen der Schutzeinrichtungen die teilweise das Messergebnis verfälschen. Geeignete Schutzmaßnahmen für den Langzeiteinsatz werden daher kontinuierlich integriert. [4]

6 DANKSAGUNG

Diese Arbeit wurde durch das österreichische COMET-Programm (Projekt InTribology Nr. 872176) gefördert und mit Unterstützung des Landes Niederösterreich im Projekt "Digi-Pro" (WST3-F-5030642 / 004-2018) ermöglicht. Wir danken FOTEC Forschungs- und Technologietransfer GmbH und Castolin GmbH für die Unterstützung im Projekt.

7 LITERATUR

[1] M. Varga, R. Grundtner, A. Maurer und M. Kirchgaßner, „Online wear measurement in harsh environment. Part 2: Application roller press," Tribologie und Schmierungstechnik, Bd. 66, Nr. 4-5, pp. 35-43, 2019.

[2] M. Varga, R. Grundtner, A. Maurer und M. Kirchgaßner, „Online wear measurement in harsh environment Part 1: Possible measurements strategies," Tribologie und Schmierungstechnik, Bd. 66, Nr. 4-5, pp. 28-34, 2019.

[3] L. Widder, S. Leroch, M. Kirchgaßner und M. Varga, „Finite Elemente-Simulation als Werkzeug für ein spannungsgünstiges Design von Hochdruck-Rollenpressen in der Zementindustrie," Berg- und Hüttenmännische Monatshefte, Bd. 163, Nr. 5, pp. 181-187, 2018.

[4] M. Maj, „Optische Erfassung von Verschleißplatten", Masterarbeit FH Wiener Neustadt, 2019.

VORTEILE UND EINSCHRÄNKUNGEN DER VERWENDUNG KOMPLEX-LEGIERTER HARTAUFTRAGUNGEN BEI DER INDUSTRIELLEN VERSCHLEIßBEKÄMPFUNG

M. KIRCHGAßNER [1], R. KIRCHMAYER [1], C. KATSICH [2], H. ROJACZ [2]

1 EINLEITUNG

Bei zahlreichen Anwendungen im Bereich der Materialzerkleinerung und –klassierung sind Anlagenbetreiber gefordert, die Effizienz zu steigern und bestehende Verschleißschutzkonzepte zu hinterfragen (Abb. 1). Die Kombination verschiedener Verschleißmechanismen, insbesondere von Abrasion und Schlägen, stellt dabei eine besondere Herausforderung dar und limitiert den Nutzen üblicher FeCrC-Hartauftragungen.

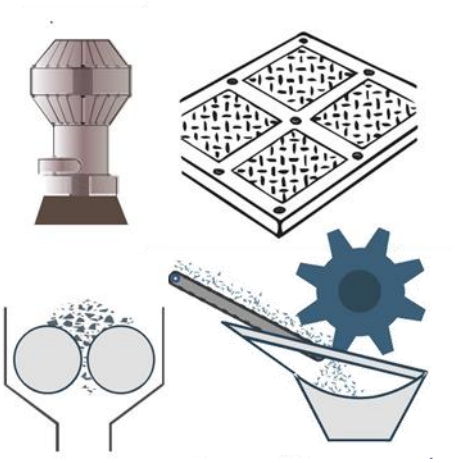


Abbildung 1: Anwendungsbeispiele komplex legierter Hartauftragungen: Mahlen, Sieben, Brechen u. Klassieren

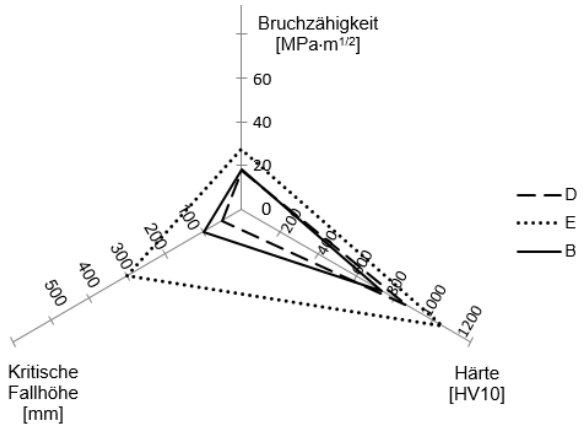


Abbildung 2: Härte, Bruchzähigkeit und kritische Fallhöhe bei Prallverschleiß unterschiedlicher Hartauftragungen

Bereits in früheren Untersuchungen konnte gezeigt werden [1,2], dass es durch komplex-legierte Fe-Basis Hartauftragungen gelingt, aufgrund ihres hohen Hartphasenanteils einerseits die Beständigkeit gegen Zwei- und Drei-Körperabrasion zu erhöhen. Weiters kann aufgrund ihrer besonderen Matrixeigenschaften bei gleichzeitiger Schlagbelastung auch die notwendige Zähigkeit erreicht werden (Abb. 2). Auch ist bekannt, dass die Verarbeitungsparamter dieser Legierungen einen erheblichen Einfluss auf die finalen Schichteigenschaften haben. In den in dieser Studie gegenständlichen Untersuchungen wurde ein Prüffeld erarbeitet, dass es ermöglichen soll, die Parameter und Wärmeführung beim Schweißen hinsichtlich Verschleiß-

1 Castolin GesmbH, 2355 Wiener Neudorf

2 AC²T research GmbH, 2700 Wiener Neustadt

beständigkeit zu optimieren.

2 VERSCHLEIßCHARAKTERISIERUNG UND AUSBLICK

Die Verschleißbelastung wie in typischen Anwendungsszenarien wird mittels zyklischem Schlag-Abrasionstest (HT-CIAT) experimentell nachgestellt. Durch die adaptierte Probenform mittels Wasserstrahlschnitt in der Verschleißzone ist es möglich, sowohl den flächenförmigen Verschleiß als auch den Verschleiß an Bauteilkanten (z.B. Klassieren) zu ermitteln (Abb. 3). Die komplex-legierte Hartauftragung wird typischen Verschleißwerkstoffen- und Hartauftragungen im Anwendungsfeld gegenübergestellt.

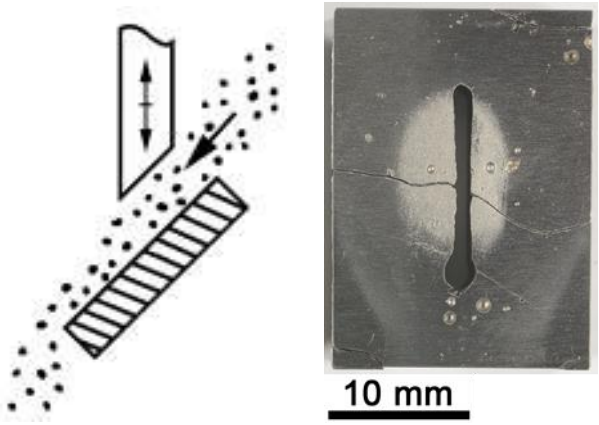


Abbildung 3: HT-CIAT Testprinzip; HT-CIAT Verschleißprobe CSW0101G

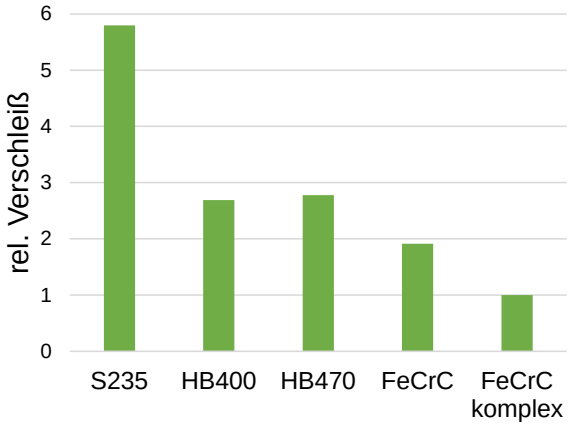


Abbildung 4: Relativer Verschleiß von. Versuchswerkstoffen im HT-CIAT

In Abbildung 4 ist der relative Verschleiß der Versuchswerkstoffe auf Basis der komplex-legierten Hartauftragung (FeCrC-komplex) zu sehen. Die Verschleiß-beständigkeit im anwendungsnahen HT-CIAT Test zeigt, dass die hartphasen-reiche Mikrostruktur weitreichende Vorteile bei der Verschleißresistenz gegenüber Standardwerkstoffen ohne Hartphasen (vergütete Feinkornbaustähle) aufweist. Ebenso kann die Verschleißbeständigkeit gegenüber typischer Hartauftragungen (FeCrC) im Anwendungsfeld um das doppelte gesteigert werden.

3 DANKSAGUNG

Die präsentierten Ergebnisse wurden mit finanzieller Unterstützung seitens der beteiligten Projektpartner und des österreichischen COMET-Programms (K2-Projekt InTribology, Nr. 872176) erarbeitet.

4 LITERATUR

[1] Varga M., Winkelmann H., Katsich C., Badisch E. (2010) High-temperature wear behaviour of Single- and Multiphase Materials, BHM 155, 523-527.

[2] Winkelmann H., Badisch E., Kirchgaßner M., Danninger H. (2009) Wear mechanisms at high temperatures. Part 1: Wear mechanisms of different Fe-based alloys at elevated temperatures, Tribology letters 34, 155-166.

ANWENDUNG FUNKTIONELLER WALZENOBERFLÄCHEN IN DER PAPIERMASCHINE

N. GAMSJÄGER [27], B. JAKAB [28]

5 EINLEITUNG

In einer Papiermaschine befinden sich 80 bis 150 Walzen, welche wichtige und gut definierte Aufgaben im Herstellungsprozess erfüllen. Die Anforderungen gegenüber den einzelnen Walzen können je nach Einbauposition und Beanspruchungen vielfältig sein. Aus diesem Grund werden die Walzenoberflächen mit zweckmäßigen Bezügen bzw. Beschichtungen versehen, wodurch eine bestimmte Funktionalität sowie spezifische Eigenschaften eingestellt werden können [1].

6 FORSCHUNGSSCHWERPUNKTE

Die wissenschaftlichen Arbeiten fokussierten auf zwei Walzengruppen der Papiermaschine, jedoch mit unterschiedlichen technischen Zeilen. Einerseits wurde ein besonderes Augenmerk auf die Trockensieb-Leitwalzen gelegt, wobei die Vermeidung von anhaftenden Ablagerungen und lange Wechselinterwalle die entscheidenden Kriterien darstellen. Für diesen Zweck wurden Komposite-Bezugsformulierungen mit erhöhten Antihafteigenschaften bei gleichzeitig hoher Verschleißbeständigkeit entwickelt. Andererseits wurde der Oberflächenzustand der Kalanderwalzen tiefgehend untersucht, da dieser eine entscheidende Rolle für die endgültige Papierqualität spielt. Hierzu wurden praxisrelevante Analysemethoden und Kennwerte definiert, um den Verschleißvorgang und die damit verbundene Oberflächenveränderung zu beschreiben.

Abbildung 2: Einbausituation einer Trockensieb-Leitwalze mit Ablagerungen (links) und der Kalanderwalzen in einem Janus Kalander (rechts)

[27] Aerospace & Advanced Composites GmbH,
Viktor-Kaplan-Straße 2/E, 2700 Wiener Neustadt, A; norbert.gamsjaeger@aac-research.at

[28] AC2T research GmbH
Viktor-Kaplan-Straße 2/C, 2700 Wiener Neustadt, A; balazs.jakab@ac2t.at

7 TRIBOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN

Die Vorauswahl der geeigneten Bezugsformulierungen für die Prototypherstellung der Leitwalzen wurde auf Basis tribologischer Untersuchungen durchgeführt. Die entsprechenden Kompositwerkstoffe wurden basierend auf einer Epoxidharz-Matrix durch chemische Modifizierung und Additivierung von mineralischen und polymeren Füllstoffen entwickelt. Die ersten Analysen wurden hinsichtlich der Oberflächenenergie und des thermischen Verhaltens durchgeführt, wonach das Reibung- und Verschleißverhalten mittels unterschiedlicher Tribometer (Stift-Scheibe, translatorisch oszillierendes Gerät, 2-Scheiben Tribometer und Taber Abraser) bei verschiedenen Belastungskollektiven charakterisiert wurde. Anhand der Ergebnisse konnte eine Formulierung für die Prototypherstellung und den nachfolgenden industriellen Einsatz vorgeschlagen werden.

8 REALISIERUNG DER PROTOTYPEN UND FELDVERSUCHE

Die Komposit-Leitwalzen wurden auf Basis der Wickeltechnologie bei Verwendung von Verstärkungsgeweben (Vlies) hergestellt. Die Protypwalzen wurden mit den realen Abmessungen für die ausgewählte Papiermaschine produziert und unter Produktionsbedingungen erfolgreich eingesetzt.

Abbildung 3: Darstellung der Wickeltechnologie [2]

Abbildung 4: Einbauposition einer Prototypwalze

9 BETRIEBSOBERFLÄCHE DER KALANDERWALZEN

Im Hinblick auf den zweiten Forschungsschwerpunkt wurden systematische Untersuchungen in Kalanderanlagen unterschiedlicher Papiermaschinen durchgeführt. Das Ziel war die Beschreibung der typischen Oberflächentopographie der glatten, beheizten Metallwalzen (mit einer keramischen Beschichtung) sowie der elastischen Walzenbezügen (Kompositwerkstoffe) mittels dreidimensionaler Lichtmikroskopie in Ergänzung mit Glanzmessungen. Die erzielten Ergebnisse wurden gemeinsam mit den Instandhaltungsexperten der Papiermaschinen interpretiert, und daraus konnten praxisbezogene Kriterien für Wechselintervalle erarbeitet werden.

10 ZUSAMMENFASSUNG

Die dargestellten Forschungsarbeiten wurden gemeinsam mit Maschinenbetreibern und Zulieferunternehmen aus der Papierindustrie durchgeführt. Die entwickelte Bezugsformulierung ist mittlerweile eine effiziente Wahl für die Trockensiebwalzen. Die messtechnische Unterstützung in den Kalanderanlagen führte zu zeiteffektiven Instrumenten und praktischen Beurteilungskriterien für die Instandhaltung.

11 DANKSAGUNG

Die präsentierten Themen stammen aus Forschungsprojekten mit Unterstützung des österreichischen COMET Programms (Projekt: InTribology, Nr. 872176) und des Basisprogramms Collective Research (Projekt: 882661), im Wege der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft mbH als Programmverwaltungsinstitution im Auftrag der Bundesregierung sowie der Bundesländer von Niederösterreich und Vorarlberg.

Wir danken den beteiligten Firmenpartnern und den wissenschaftlichen Partnern für ihre finanzielle Unterstützung und für die Zusammenarbeit.

12 LITERATUR

[1] H. Holik, Handbook of Paper and Board, Volume 1, pp. 560-561, 2013.

[2] B. Carney, “Advancements in composite roll cover technology for calender applications,” Pap. Conf. Trade Show 2011, vol. 2, pp. 2555–2579, 2011.

9 783901 657641

We ACT for reliability !

ACT research

www.oetg.at office@oetg.at

ÖSTERREICHISCHE TRIBOLOGISCHE GESELLSCHAFT

Wissenschaftlicher Verein

Arbeitsgemeinschaft für Reibungs-, Verschleiß- und Schmierungstechnik

Viktor-Kaplan-Straße 2/C, 2700 Wiener Neustadt, Tel. +43 (0)676 845162 3000