

# Optimierter Zwei-Scheiben-Tribometer für „Praxisnahe Modellversuche“

M. Werschler, M. Eng.; Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. P. Gümpel; Dr.-Ing. J. Strittmatter

## Einleitung

Aufgrund gesteigerter Forderungen bezüglich der Energie- und Ressourceneffizienz von Maschinen und Maschinenelementen ergeben sich entsprechend höhere Leistungsdichten für deren Komponenten. Besonders für tribologisch belastete Elemente resultieren dadurch Anforderungen, die eine Auslegung auf Basis von grundlegenden Werkstoffkennwerten, schwierig gestalten. Um bereits in einem frühen Stadium der Entwicklung Erkenntnisse über tribologische Systemdaten zu erhalten, ist an der HTWG Konstanz ein systemdynamisch optimiertes Zweiseibentribometer (ZST) für die Simulationsprüfung von Wälzkontakten (Bspw. Zahnflanken) entwickelt und aufgebaut worden.

## Grundlagen und Motivation

### Zweiseiben-Modellversuch

Bei einem Zweiseiben-Modellversuch (ZSMV) werden zwei rotationssymmetrische Probekörper (Abb. 1) durch eine Anpresskraft  $F_N$  an den Mantelflächen in Kontakt gebracht.

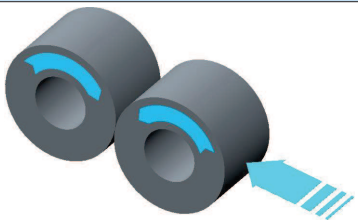


Abbildung 1: Zweiseiben-Modell-Versuch

Die rollende bzw. wälzende Relativbewegung im Kontakt wird durch die Drehbewegung der Probekörper, mit den entsprechenden Drehzahlen  $n_1$  und  $n_2$ , erzeugt. Je nach Form und Größe der Probekörper entsteht im tribologischen Kontakt eine Beanspruchung die durch eine hertz'sche Pressung  $p_H$ , eine relative Gleitgeschwindigkeit  $v_g$  und eine Temperatur  $T$  charakterisiert wird. Bei Modellversuchen auf einem klassischen Zweiseibentribometer werden die beiden Parameter Pressung und Gleitgeschwindigkeit über die Versuchsdauer konstant gehalten bzw. in diskreten Stufen gesteigert [GfT07]. ZSMV werden in der Regel für grundlegende Untersuchungen tribologischer Systeme bzw. zur Charakterisierung von Material- und Schmierstoffeigenschaften eingesetzt. [GfT15]

### Zweiseiben-Simulationsversuch

Zweiseiben-Simulationsversuche (ZSSV) simulieren die tribologischen Gegebenheiten eines Maschinenelementes (Bspw. Zahnräder) auf Basis der einfachen Probekörper des ZSMV. Im Gegensatz zu den ZSMV werden bei den ZSSV die Prüfparameter so gewählt, dass die Dimensionen der Beanspruchung möglichst denen des realen Bauteils entsprechen. Bei ZSSV sollen neben allgemeinen Kenndaten, wie diese bei einem ZSMV resultieren, auch komplexe Systemkenngrößen und -eigenschaften für die Auslegung der simulierten Komponenten generiert bzw. untersucht werden.

### Motivation

Im Rahmen verschiedener Industrieprojekte, an der HTWG Konstanz, konnte festgestellt werden, dass die Ergebnisse von ZSSV teilweise deutlich von den Resultaten vergleichender Bauteilversuche abweichen. Durch die Auswertung von Veröffentlichungen im Bereich der Simulationsprüfung konnten die Ergebnisse der Versuche an der HTWG Konstanz entsprechend bestätigt werden [Hö01][Gre12]. Um die Ursachen für die Abweichungen zwischen den beiden Versuchskategorien zu identifizieren und zu quantifizieren, sollte ein spezieller Prüfstand entwickelt werden. Der Prüfstand sollte in der Lage sein, bezüglich der kinetischen Möglichkeiten, den Bereich zwischen Bauteilversuch und Modellversuch zu überbrücken. Die Prüfplattform ermöglicht damit das freie Variieren von Parametern im genannten Bereich und somit das Identifizieren des bzw. der für die Abweichung der Ergebnisse zwischen Bauteil- und Simulationsversuch verantwortlichen Parameter. Im Mittelpunkt der Prüfstandsentwicklung stand die Befähigung des Tribometers zur Änderung der Beanspruchungsparameter über den Verlauf einer Umdrehung eines Probekörpers.

## Wir danken für die Unterstützung



## Prüfstand und Parameter

### Entwicklung

Der radiale Zweiseibentribometer 2014 (RZST 2014) ist entsprechend der beschriebenen Untersuchungsmöglichkeiten mit besonderem Fokus auf ZSSV von Zahnflankenkontakten von Kleingetrieben bzw. Komponenten mit kleinen Kontaktradien und hochdynamischen Änderungen der Belastungsparameter Pressung und Gleitgeschwindigkeit (Abb. 2) entwickelt und ausgelegt worden.

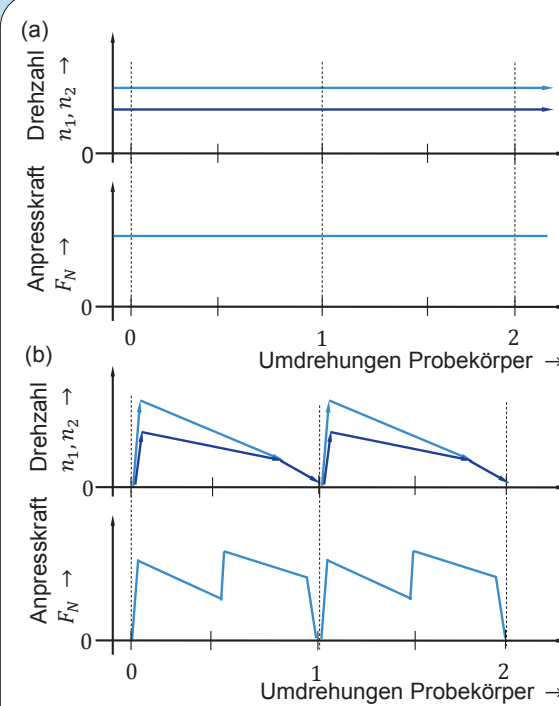


Abbildung 2: Prüfyklus Zweiseiben-Modellversuche (a), Möglicher Prüfyklus auf RZST 2014 (b)

### Prüfstand

Kernelement des RZST 2014 (Abb. 3) sind die Probekörper eines ZSMV (Abb. 1). Diese sind in einem geschlossenen Containment (a) untergebracht. Durch verschiedene Anschlüsse und Konfigurationsmöglichkeiten kann der Innenraum des Containments temperiert und gespült sowie mit verschiedenen Schmierstoffapplikationen beaufschlagt werden. Die beiden Probekörper sind im Containment beidseitig gelagert und zur Darstellung der relativen Gleitgeschwindigkeit  $v_{g(n_1, n_2)}$  jeweils direkt mit einem Synchronservomotor (b) verbunden. Um eine exakte Drehwinkelpositionierung der Probekörper bzw. Synchronisation der Probekörper zu gewährleisten sind zusätzliche Drehwinkelencoder (c) verbaut. Die für die Kontaktpressung  $p_H$  notwendige Anpresskraft  $F_N$  wird durch einen Piezostapelaktor (d) aufgebracht. Die anliegende Anpresskraft  $F_H$  wird über einen im Kraftnebenschluss verbauten piezoelektrischen Kraftsensor erfasst. Die Regelung des Prüfstandes erfolgt über ein echtzeitfähiges Embedded System.

### Prüfparameter

Probekörper-Ø:	10 - 30 mm
Drehzahl $n_1$ und $n_2$ :	0 - 1000 $min^{-1}$
Schlupf s:	0 - 100 %
Anpresskraft $F_N$ :	0 - 600 N

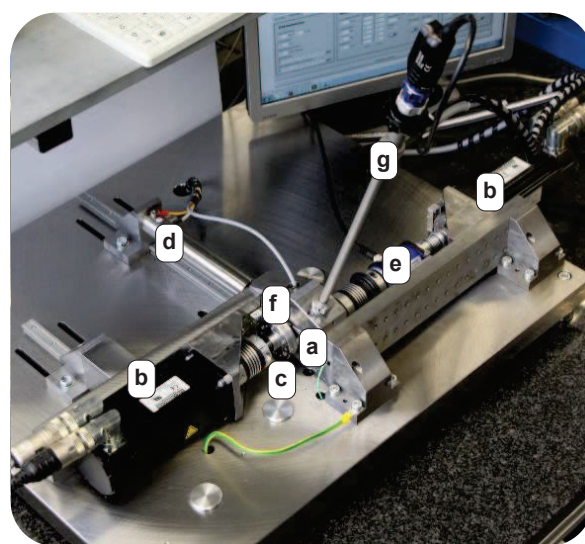


Abbildung 3: RZST 2014

## Sensorik

### Messdatenerfassung

Sämtliche zur Steuerung oder Auswertung notwendigen Messdaten werden über das Embedded System mit einer Abtastrate von bis zu 1MHz erfasst.

### Reibmoment

Das Reibmoment im Kontakt zwischen den Probekörpern (Abb. 4) kann für stationäre Versuche (zeitweise konstante Parameter) über eine Drehmomentmesswelle (Abb. 3: (e)) erfasst werden. Für hochdynamische Versuche wird das Reibmoment aus der Differentialgleichung der Rotationsstränge (basierend auf der Auswertung der Drehwinkelinformationen) berechnet.

### Annäherung der Probekörper

Bei Versuchen mit drehwinkelbezogener konstanter Anpresskraft  $F_N$  können über die Änderung der Auslenkung des Piezostapelaktors Rückschlüsse auf einen evtl. Summenverschleiß der Probekörper gezogen werden. Der Ausfahrzustand des Piezostapelaktors wird über Dehnungsmesstreifen erfasst.

### Temperatur

Die Oberflächentemperatur der Probekörper wird berührungslos über einen Infrarot-Tempersensor (Abb. 3: (f)) direkt nach dem Kontaktbereich gemessen.

### Endoskop

Die qualitative Änderung eines tribologisch beanspruchten Oberflächenabschnitts eines Probekörpers kann nach jeder Umdrehung mit einer Endoskopkamera (Abb.3: (g)) dokumentiert werden.

## Anwendungsbeispiele

Im Folgenden sind exemplarisch der Verlauf des Reibmomentes (Abb. 4) und eine Oberflächenevolution (Abb. 5) von Simulationsversuchen (Simulationsprüfung eines diskreten Punktes einer Zahnflanke) dargestellt.

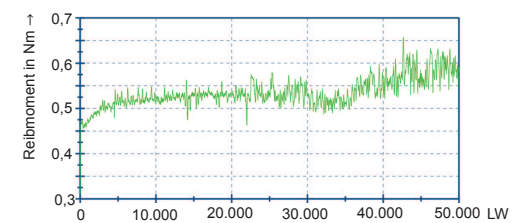


Abbildung 4: Exemplarischer Verlauf des Reibmoment bezogen auf einen Oberflächenabschnitt über 50.000 LW

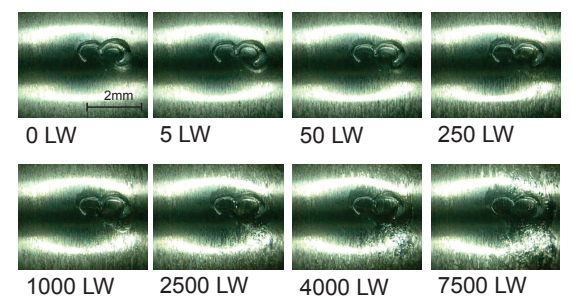


Abbildung 5: Exemplarische Oberflächenevolution eines Automatenstahls

## Ausblick

### Prüfstand

- Sensorische Erfassung des Verlustmomentes in den Lagerstellen der Probekörper
- Validierung von laseroptischen Sensoren zur Quantifizierung von Verschleiß und Oberflächenevolution
- Einbau eines Piezostapelaktors zur Realisierung größerer Anpresskräfte und Auslenkung
- Regelungstechnische Optimierung der Aktorenansteuerung

### Versuche

- Versuchstechnischer Vergleich zwischen Ergebnissen eines ZSSV und Versuchen an Originalbauteilen
- Qualifizierung der Übertragbarkeit von ZSSV von Zahnflanken auf ein Originalbauteil

## Kontakt

M. Werschler; P. Gümpel; J. Strittmatter  
HTWG Konstanz, Brauneggerstraße 55, D-78462 Konstanz  
Email: marco.werschler@htwg-konstanz.de  
Telefon: +49 7531 206-525

## Literatur

[GfT 02] GfT Arbeitsblatt 7 [online]; Gesellschaft für Tribologie, 2015; Homepage: gft-ev.de; Quelle: [http://gft-ev.de/wp-content/uploads/2014/07/2002\\_AB\\_7\\_Tribologie.pdf](http://gft-ev.de/wp-content/uploads/2014/07/2002_AB_7_Tribologie.pdf)  
[GfT15] Tribologische Prüfstände – Zweiseibenprüfstand [online]; Gesellschaft für Tribologie, 2015; Homepage: gft-ev.de; Quelle: [http://gft-ev.de/?suchid=35&page\\_id=157](http://gft-ev.de/?suchid=35&page_id=157)  
[Hö01] Limitations of Bench testing for Gear Lubricants; Höhn et al. 2001  
in "Bench testing of industrial fluid lubrication an wear properties" von G.E. Totten, ASTM STP 1404, 2001  
[Gre12] Model test with a modern 2-disk-tribometer as an alternative to expensive gear box tests; Grebe, 2012 in Tagungsband "Production and Failures of gear wheels and gear boxes"