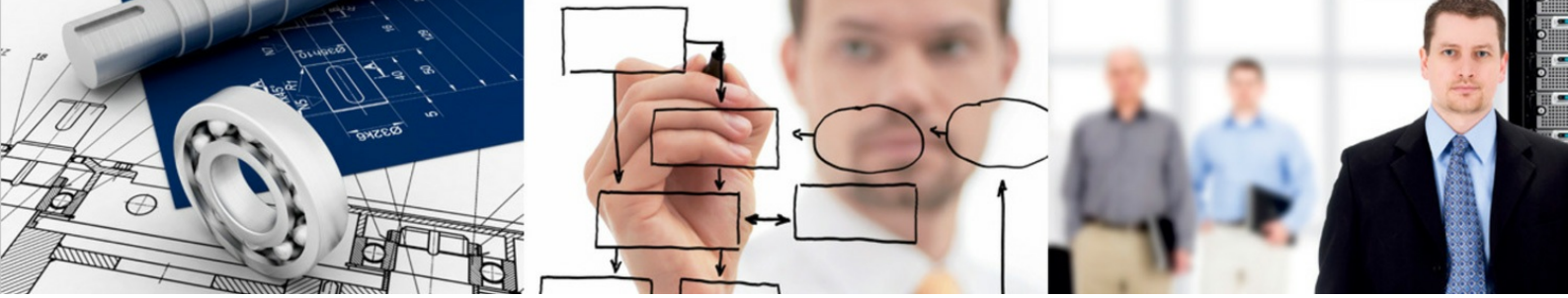


KME – Kompetenzzentrum Mittelstand GmbH

Zukunft durch Innovation und Forschung

Tribologisches Verhalten unter Wasserstoff (HYTRIB)

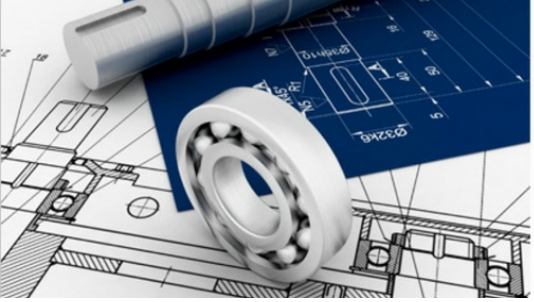
Im Zuge einer erfolgreichen Umsetzung der Energiewende ist der zunehmende Anteil von Wasserstoff als Energieträger unverzichtbar. Dies hat zur Folge, dass viele technische Anlagenkomponenten zukünftig in wasserstoffhaltigen Umgebungen, oft auch ohne Schmierung, betrieben werden müssen. In diesem Zusammenhang müssen neben den Auswirkungen von Wasserstoff auf die Festigkeit bzw. Duktilität auch die Auswirkungen auf das tribo-logische Verhalten der eingesetzten Werkstoffe untersucht und hinreichend gut verstanden werden. Andernfalls ist kein sicherer Betrieb der Anlagen gewährleistet.

Problemstellung

Schädigung von metallischen Werkstoffen durch Wasserstoff ist ein bekanntes Phänomen, bei dem es durch die Lösung von Wasserstoff im Metall zu einer verringerten makroskopischen Plastizität kommt. Besonders im Fall von hochfesten Stählen kommt es dadurch zu einer stark verringerten Zähigkeit, Festigkeit und auch Dauerfestigkeit, insbesondere, wenn Spannungskonzentrationen wie Kerben, Korrosionsvorschädigung oder auch Gewinde vorhanden sind.

Als eine tribologische Belastung wird in der Literatur der signifikante Einfluss einer Wasserstoffumgebung auf das Verhalten von Materialien beschrieben. Dabei sind die Zusammenhänge komplex und stark vom jeweiligen tribologischen System abhängig. Es werden mehrere unterschiedliche Effekte in der Literatur beschrieben:

- Wasserstoffinduzierte Reduktion des COF: An H2-beladenen Pipeline-Stählen wurde gezeigt, dass diese einen geringeren Reibkoeffizienten (COF) als im unbeladenen Zustand besitzen. Dies kann technologisch betrachtet ggf. von Vorteil sein. Allerdings sind die genauen Wirkmechanismen komplex und noch nicht wirklich verstanden. Zudem hängt dieser positive Ef-fekt sehr stark von den spezifischen Materialien und Umgebungsbedingungen ab.
- Wasserstoffinduzierte Erhöhung des Verschleißes: Dem gegenüber steht, dass Wasserstoff zu einer Veränderung des mechanischen Verhaltens der Werkstoffe führen kann, was sich meist in einem Verlust der Duktilität, der sogenannten
  Wasserstoffversprödung, bemerkbar macht. Dies ist insbesondere bei kubischraumzentrierten Werkstoffen mit hohen Festigkeiten (gehärtete Stähle) bzw. deren martensitisch gehärteten Zuständen zu beobachten (s. o.). Letztere Werkstoffzustände werden insbesondere auch häufig für tribologisch hochbeanspruchte Oberflächen eingesetzt, z. B. Wälzlager, Ventilsitze etc. Ein einfacher Übertrag der bisher genutzten technologischen Lösungen auf tribologische Beanspruchung unter Wasserstoffeinfluss erscheint daher an dieser Stelle als nicht zielführend. Neben der Werkstoffversprödung beeinflusst die Anwesenheit von Wasserstoff auch die Ausbildung entsprechender chemischer Reaktionsschichten bzw. die Stabilität der Tribofilme. Die Ausbildung und Stabilität dieser Schichten / Tribofilme sind aber essenziell für das Funktionieren bestimmter tribologisch belasteter Werkstoffpaarungen. Hieraus leitet sich der größte Forschungsbedarf ab. Für den zuverlässigen tribologischen Einsatz unter H2-Einfluss muss sich bei den Reibpartnern eine stabile Oberflächenreaktionsschicht / ein stabiler Tribofilm ausbilden, die / der einerseits verschleißresistent ist und andererseits auch resistent gegen den nun zusätzlich vorliegenden Wasserstoffangriff. Gelingt dies nicht bzw. ist die Werkstoffpaarung ungeeignet, so kommt es durch die fortwährende Auflösung der Oberflächenreaktionsschichten zu einem progressiv zunehmenden Materialverlust und technologisch nicht akzeptablen Verschleißraten.
- Bildung von Metallhydriden: Darüber hinaus kann es je nach eingesetzter Werkstoffzusammensetzung ggf. auch zur Bildung von Metallhydriden kommen. Durch die damit einhergehende Volumenexpansion wirken sich diese in aller Regel negativ auf die Verschleißbeständigkeit aus. Dem kann durch eine geeignete Werkstoffauswahl / -zusammensetzung begegnet werden.
- Einfluss von Wasserstoff auf Schmierstoff: H2-Umgebungen können auch zu einer Degeneration der Schmierstoffe führen. Aus diesem Grund muss auf eine ausreichende Wasserstoffbeständigkeit der Schmierstoffe geachtet werden. In diesem Zusammenhang sei auf eine Studie verwiesen, nach der ein erhöhter Wasseranteil im Schmierstoff im Wälzlager für die Bildung von sogenannten White Etching Cracks (WEC) verantwortlich gemacht wird. Mutmaßlich soll das Wasser im Schmierstoff durch die tribologischen Lagerbedingungen teilweise in elementaren Wasserstoff umgewandelt werden, der dann im Gefüge wiederum zur Bildung der WECs führt.



Zielsetzung

Das geplante Forschungsvorhaben setzt hier an. Es sollen die Auswirkungen von einerseits H2-ausgesetzten Werkstoffen auf das Verschleißverhalten für unterschiedliche Tribosysteme untersucht, die jeweiligen Verschleißerscheinungsformen ermittelt und die zugeordneten Schädigungsmechanismen daraus abgeleitet werden. Dabei stehen insbesondere die Ausbildung und Stabilität der Tribofilme unter H2-Bedingungen im Vordergrund. Letztendlich dienen diese Untersuchungen der Ableitung von Design- und Werkstoffempfehlungen für einen zuverlässigen Betrieb einzelner tribologischer Komponenten unter H2-Umgebung. Beispiele sind hier Ventile oder Injektorensysteme für H2-Verbrennungsmotoren. Andererseits sollen auch die Einflüsse einer Wasserstoffbeladung der eingesetzten Werkstoffe auf das tribologische Verhalten betrachtet werden.

Vorgehensweise

Dabei sollen in dem Vorhaben nur Tribosysteme mit technologischer Relevanz untersucht und unter technischen Rahmenbedingungen verfolgt werden, die eine zeitnahe Umsetzung in Produkten möglich macht. Es sollen nur Werkstoffe und Tribopaarungen untersucht werden, die bereits derzeit im Feld eingesetzt werden bzw. für eine technologischen Anwendung in Frage kommen und die hinsichtlich der Wasserstoffresistenz qualifiziert werden können. Konkret soll der Fokus dabei auf tribologische Systeme gelegt werden, die hohe Festigkeitsanforderungen an die Oberfläche stellen (hohe zu ertragende Kontaktspannungen).

Zur Separierung des Wasserstoffeinflusses auf die Werkstoffeigenschaften sollen die verwendeten Werkstoffe auch elektrochemisch und durch Hochdruck mit Wasserstoff beladen werden, ohne dabei eine tribologische Belastung zu überlagern. Zudem soll eine In-situ-Testeinheit aufgebaut werden, die es erlaubt, unter Druckwasserstoffbedingungen und ggf. Temperatureinfluss die Ausbildung von Tribofilmen unter variierenden Kontaktspannungen im Labor an kleinen Werkstoffproben definiert nach-zustellen. Dabei soll der Aufbau sehr variabel bezüglich der Abbildung unterschiedlicher Beanspruchungsarten gehalten werden. Sowohl die elektrochemische Beladung als auch die Beladung mit Druckwasserstoff sind im Projekt HYDSTREN erfolgreich angewandt worden und entsprechende Möglichkeiten sind an der FAU etabliert. Der In-situ-Teststand hingegen muss im Rahmen des Projekts neu aufgebaut werden. Er verlangt jedoch Einrichtungen zur Handhabung von explosionsfähigen Gasen unter hohen Drücken und Temperaturen. Dies ist im Hochdrucklabor der FAU möglich.

Für realistische Interaktionen bzgl. Druck- und Temperaturbeanspruchung sollen beigestellte Injektorvarianten an einem aufgebauten und erprobten H2-Forschungseinzylinder bei der TUM betrieben werden. Dabei sind H2-Versorgungsdrücke von bis zu 400bar am Injektor möglich bei gleichzeitiger Temperatur- und Druckbeanspruchung aufgrund der Einbauverhältnisse im Zylinderkopf eines Motors und der realen Betriebsbedingungen und Aktuierung. Mit Prüflingen mit unterschiedlichen Materialpaarungen können so erste Einschätzungen im realen Einsatz gefahren werden. Vor, während und nach Motortesteinsatz wird die Dichtigkeit des Injektorsystems sowie abschließend die Materialpaarung der Dicht- und der Reibungsflächen hinsichtlich ihrer durch den Betrieb stattgefundenen Veränderungen beurteilt. Die Einflüsse auf das Injektorverhalten aufgrund der Veränderung der Werkstoffe können auch an einem noch mit Schlierenmesstechnik aufzurüstenden Einspritzprüfstand hinsichtlich des Strahlbildes untersucht werden. Damit kann dann der Einfluss von festgestelltem Verschleiß auf die Gemischbildung und Verbrennung im Motor bewertet werden.

Ergebnisse / Nutzen

Durch die Qualifizierung von Werkstoffen mit erwiesener Resistenz gegen Wasserstoffschädigung unter tribologischer Belastung ergibt sich eine große Marktchance für die beteiligten Projektpartner in bereits etablierten Geschäftsfeldern (Ventilsitze, Injektoren, Wälzlager, Dove-Tail-Verbindungen etc.), aber auch in neuen Geschäftsfeldern, die sich mit dem geplanten Ausbau der Wasserstoffinfrastruktur befassen.

Forschungspartner

Prof. Dr. Peter Felfer, Prof. Dr. Heinz Werner Höppel,
Institut für Allgemeine Werkstoffeigenschaften,
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen

Dr.-Ing. Maximilian Prager,
Lehrstuhl für Nachhaltige Mobile Antriebssysteme,
Technische Universität München

Projektpartner

- iwis SE & Co. KG, München
- LSV Lech-Stahl Veredelung GmbH, Landsberg am Lech
- Liebherr-Components Deggendorf GmbH, Deggendorf
- Oerlikon Balzers Coating Germany GmbH, Wörnitz
- SCHERDEL INNOTEC Forschungs- und Entwicklungs-GmbH, Marktredwitz
- SKF GmbH, Schweinfurt