

# Tribologie hilft Schäden verhüten und Kosten sparen

Othmar Cornu

Klüber Lubrication AG  
(Schweiz)  
Thurgauerstrasse 39  
8050 Zürich  
Tel. 01 308 69 69  
Fax 01 308 69 44  
info@ch.klueber.com  
www.klueber.com

An einem Reibungs- und Verschleissvorgang sind oft verschiedene Einflussgrössen beteiligt. Die Erfassung tribologischer Probleme erfordert daher eine sorgfältige Analyse anhand Bestimmung aller wichtigen Parameter. Man definiert den Verschleiss als fortschreitenden Materialverlust aus der Oberfläche eines festen Körpers, hervorgerufen durch mechanische Auslöser.

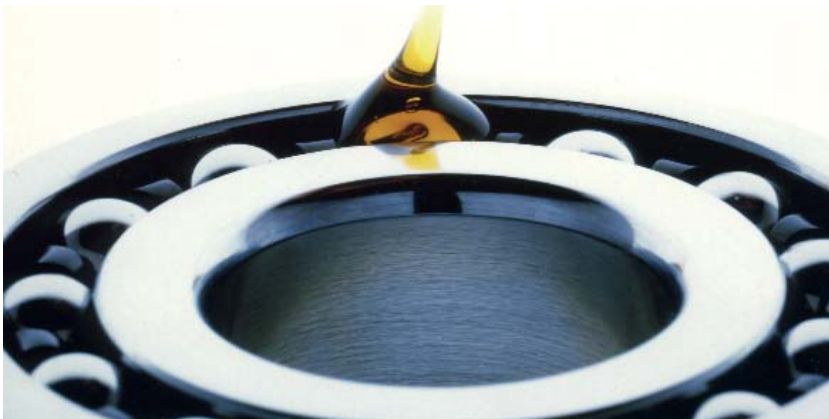
Différents facteurs d'influence participent souvent aux processus de friction et d'usure. La saisie de problèmes tribologiques exige donc une analyse soignée avec la description de tous les paramètres importants. On définit l'usure comme une perte progressive, d'origine mécanique, du matériau de la surface d'un corps solide.

**T**ribologie ist die Lehre von der wissenschaftlichen Erforschung und technischen Anwendung der Gesetzmässigkeiten und Erkenntnissen für die Sachgebiete Reibung, Verschleiss und Schmierung. Die Bedeutung dieses Fachgebiets wird heute in allen Bereichen der Forschung, Lehre und Praxis anerkannt.

## Verschleissforschung und Instandhaltung

Mindestens 50% aller im Maschinenbau auftretenden Verschleisschäden sind vermeidbar. Dass Material zerstörende Vorgänge verfolgt und untersucht werden sollen, ist nicht nur ein Anliegen der Forschungs- und Entwicklungsbereiche, sondern ist ebenso für die Instandhaltung der Technik dringend erforderlich. Die erzielbaren Kostensenkungen sind in der Tat beachtenswert:

- Verminderung der Instandhaltungs- und Ersatzteilaufwendungen
- Einsparung von Anlagekosten durch höheren Nutzungsgrad
- Herabsetzung der Verluste wegen Betriebsstörungen
- Reduktion des Energieverbrauchs durch verringerte Reibung



Bei der Instandsetzung lädierter Maschinenteile ist immer eine genaue Schadensabklärung vorzunehmen. Dabei soll ein systematisches Zusammenwirken mehrerer Wissensgebiete, beispielsweise Werkstoff-, Verfahrens-, Schmier- und Messtechnik, zum Tragen kommen. Moderne Analysengeräte sind anzuwenden. In der vorbeugenden Instandhaltung müssten die Diagnoseverfahren verfeinert werden, um Maschinenausfälle und Stillstandszeiten zu verhindern oder zu verringern.

Es sind bei weitem nicht nur die Kosten für Metallverschleiss, die zu Buche schlagen, sondern auch die Aufwendungen, für die durch unnötige Reibung absorbierte zusätzliche Energie. Man schätzt, dass sich diese Verluste in der Schweiz jährlich auf über 1 Mrd. Franken belaufen. Die indirekten Folgekosten durch einen falschen oder ungünstigen Schmierstoffeinsatz lassen sich zudem schlecht erfassen.

## Der Schmierstoff als Konstruktionselement

Schmierstoffe sollen die Reibung zwischen zwei aufeinander gleitenden Körpern auf ein Minimum verringern. Man unterscheidet dabei verschiedene Zustände:

- **Festkörperreibung:** Die beiden Körper (z. B. Welle und Lager) berühren sich direkt. Wegen hoher Wärmeentwicklung können Rauigkeitsspitzen lokal verschweissen (anfressen). Dies führt in den meisten Fällen zu extremem Verschleiss und Ausfall des Aggregats (z. B. Schmierstoffmangel wegen Ausfall der Ölzufuhr).
- **Mischreibung:** Die beiden Gleitflächen werden durch Schmiermittel teilweise voneinander losgelöst; dadurch wird der Reibungskoeffizient verkleinert. Die Eigenschaften des Schmierstoffs sind dabei wesentlich.
- **Flüssigkeitsreibung:** Die beiden Reibpartner (wie etwa Welle und Lager) werden durch einen genü-



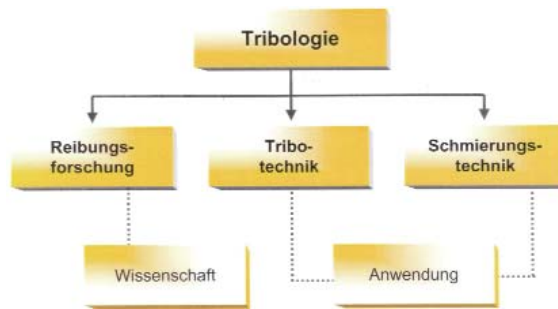
gend dicken Schmierfilm vollständig getrennt. Der Reibungskoeffizient hängt nur noch vom inneren Widerstand des Schmierstoffs ab.

In der Praxis strebt man zwischen den bewegten Oberflächen immer Flüssigkeitsreibung oder eine Vollschmierung an. Dieser Zustand wird allerdings nur dann erreicht, wenn Belastung, Gleitgeschwindigkeit, Lagerspiel und Schmiermittlviskosität aufeinander abgestimmt sind. Der Konstrukteur muss also bereits bei der Entwicklung den Schmierstoff miteinbeziehen. Stribeck hat die Verhältnisse für Misch- und Flüssigkeitsreibung im Gleitlager näher untersucht. Bei den Lagerberechnungen fällt dabei als einzige Bezugsgrösse für das Öl dessen dynamische Viskosität in Betracht. In den Gebieten der Grenzschmierung und Mischreibung liegen keine konstanten Verhältnisse vor; exakte Vorausberechnungen sind deshalb hier kaum möglich.

Beim Anfahren und Stillsetzen von Anlagen müssen diese Bereiche durchfahren werden, es sei denn, man hebe die Welle mit Drucköl etwas von der Lagerschale ab. Eine hydrodynamische Vollschmierung in der Nähe des Reibungsminimums ist wohl ideal; sie setzt aber einen stationären Betrieb mit praktisch konstanter Drehzahl voraus.

### Verschleissmechanismen

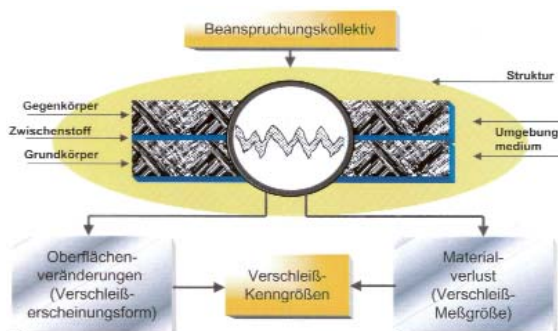
Die an der Abnutzung beteiligten Stoffe und Bauteile bezeichnet man als Elemente des Trybosystems, wobei zwischen Grund- und Gegenkörper, Zwischenstoff sowie Umgebungsmedium unterschieden wird. Wegen der tribologischen Beanspruchung entsteht eine



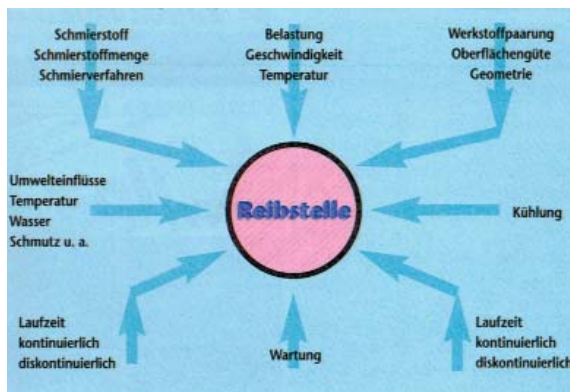
Die Tribologie befasst sich mit Reibung, Verschleiss und Schmierung an Maschinenelementen.

Wechselwirkung zwischen den Partnern dieses Ordnungsprinzips. Für den Abrieb sind insbesondere die Verschleissmechanismen von Bedeutung, weil diese schliesslich die Zerstörung von Komponenten und Anlagen verursachen. Als wesentliche Verschleissmechanismen gelten:

- **Adhäsion:** Sie ist die Ursache des «Fressens», das auftreten kann, wenn metallische Gleit- und Wälzelemente wegen zu hoher Beanspruchung oder mangelnder Schmierung nicht durch einen genügend dicken Ölfilm voneinander getrennt werden. Hat der Adhäsionsverschleiss einmal begonnen, schreitet er meistens schnell bis zum Totalausfall des Aggregats voran.
- **Tribooxidation:** Sie stellt einen Teilprozess des Passungsrostes dar. Die Erscheinung ist wegen der Bedrohung des zusätzlichen Reibdauerbruchs sehr gefürchtet. Durch tribochemische Reaktionen können aber auch schützende Oberflächenschichten entstehen, welche die Gefährdung durch Adhäsion vermindern. Darin beruht zum Beispiel der Effekt der EP-(Extrem Pressure)-Additive von Getriebeölen: Schutzschichten verhindern das Anfressen der bewegten Maschinenteile unter höheren Drücken und Temperaturen.
- **Abrasion:** Hier handelt es sich um einen Materialabtrag durch ritzende und furchende Einwirkungen. Die Abrasion wird oft durch körnige, mineralische Stoffe hervorgerufen, wie etwa bei der Gewinnung, Förderung und Verarbeitung von Rohstoffen.
- **Oberflächenzerrüttung:** Durch Oberflächenzerrüttung können an den Maschinenelementen Grübchen (Pittings) entstehen. Diese Erscheinung fin-



Bei der Konstruktion von Maschinenbauteilen soll das tribologische System gut beachtet werden. Der Schmierstoff ist dabei ein eigenständiges Maschinenelement.



Einflussgrößen auf eine Reibstelle: Beim Betrieb von Maschinen sind diese Kriterien zu berücksichtigen.

det man vor allem in Gleit- und Wälzlagern sowie in Zahnradgetrieben. Schwellende und wechselnde Materialbeanspruchungen bewirken oft dieses Phänomen.

Verschleissmechanismen treten in der Regel überlagert auf. Die jeweilige Konstellation lässt sich meistens nur schwer voraussagen. Deshalb wird eine optimale Lösung von Abnutzungsproblemen vielfach äußerst schwierig.

In der Praxis versucht man, die Schadensteile mit Hilfe des Licht- und Rasterelektronenmikroskops zu analysieren. So werden wertvolle Aufschlüsse über die mutmasslichen Schadensverursacher erhalten. Daraus lassen sich konstruktive, werkstoff- oder schmiererische Massnahmen ableiten.

### Sind Frühdiagnosen möglich?

Für die Überwachung von tribologischen Systemen können zur Frühdiagnose von Maschinenelementen wie etwa Lager, Getriebe, Motoren usw. Vorgänge und Parameter ermittelt werden. Im Vordergrund stehen Wärmeänderungen, Schmierzustand oder Materialabtrag durch Abnutzung. Es handelt sich vorwiegend um Methoden und messtechnischen Verfahren, die es gestatten, den Verschleiss an bewegten Maschinenteilen zu verfolgen und die Abrasion zu kontrollieren. Sehr aufschlussreich ist die Verschleisspartikelbestimmung im Schmierstoff. Sie setzt ein geschlossenes System voraus, wie Ökreisläufe in Verbrennungsmotoren, Getrieben usw. Man fasst jene Analyseverfahren ins Auge, mit denen eine Spurenbestimmung möglich ist. Der Nachweis von Konzentrationen sollte  $< 0,01\%$  sein.

So kann man beispielsweise mit der Ferrographie magnetische Abriebeilchen in Schmierölen nach Menge, Grösse und Form untersuchen und bestimmen. Die ferromagnetischen Verschleisspartikel scheiden sich in einem inhomogenen Magnetfeld entlang einer Messstrecke mit unterschiedlicher magnetischer Feldstärke ab. Man erhält dabei ein Ferrogramm. Diese Methode ist einfach, und die Geräte sind gut zu bedienen. Allerdings lässt sich nur ein ferromagnetischer Abrieb im Öl nachweisen.

Die atomspektroskopische Analyse kann ihrerseits keine Aussagen über Form und Grössenverteilung

der Verschleisspartikel machen, sondern nur quantitative Daten abgeben. Das wichtigste Gerät einer modernen Anlage ist der flammenlose elektrothermische Atomisator, genannt ETA. Mit diesem wird es möglich, den analytischen Bereich auf Probenkonzentrationen des Nano- und Picogrammgebiets ( $10^{-9}$  bis  $10^{-12}$ ) auszudehnen. Die Einrichtung dient vor allem für flüssige Proben als Atomisierungsquelle. Mit Hilfe moderner Mikrorechner-technologien und numerisch grafischer Bildschirmanzeige lässt sich der Analysenablauf weitgehend automatisieren. Für die technische Diagnostik ist diese Apparatur vielseitig einsetzbar. Neben den erwähnten Teilchenkonzentrationen erhält man auch Aussagen über den Schädigungsverlauf. Zudem können Abnutzungsvorgänge verfolgt und Vergleiche mit andern Verfahren der Ölanalyse angestellt werden.

Die periodische spektroskopische Ölüberwachung wird heute unter anderem im Maschinenbau mit Erfolg angewendet. Sie bringt bezüglich Betriebssicherheit, Erkennung von Verschleisschäden sowie Verminderung von Maschinen- und Anlageausfällen erhebliche Vorteile.

### Tribologie: mehr als nur schmieren

Umweltschädlich ist ganz bestimmt die althergebrachte Vorgehensweise vom übermässigen Schmieren und Salben. Ein gezielter und dosierter Einsatz des Schmierstoffs bringt die besseren Leistungen und damit eine deutliche Kosteneinsparung.

Neben den konventionellen Schmierstoffen sollte die Konstrukteure auch reibungsarme Werkstoffe, reibungsmindernde Beschichtungen und vor allem Korrosionsschutzstoffe in die Überlegungen miteinbeziehen, am besten schon in der Entwicklungs- und Konstruktionsphase eines Produkts oder Systems. Man müsste dabei überlegen, wie komprimiertes Vorgehen mit Tribosystemen unter Einbezug von Schmierstoffen, selbstschmierenden Werkstoffen, reibungsmindernden Auflagen und schützenden Beschichtungen zu gesamtheitlichen Systemlösungen führen könnte. Die Folge davon sind tatsächlich eine höhere Produktivität, eine bessere Qualität der Produkte, weniger Reparaturen und Serviceaufwand. Daraus resultieren geringere Umweltbelastungen durch Einsparen von Energie und Schmierstoffen. In der Praxis geht es nun darum, einen kompetenten Partner zu suchen, der zusammen mit den Konstrukteuren eine ganzheitliche Systemlösung realisieren kann.

Der Schmierstoff ist zunehmend ein funktionelles Maschinenelement in diesem Systemkomplex, mit mehr als nur technischen Aspekten. Letztere werden vor allem problematisch, wenn chemische Reaktionen zwischen Schmierstoff und mechanischer beanspruchter Oberfläche entscheidend eingreifen. Schmierstoffspezifikationen, die mit härteren Beanspruchungen und werkstofftechnischen Entwicklungen Schritt halten müssen, sind deshalb nur durch intensive Zusammenarbeit zahlreicher Fachstellen bei Maschinenherstellern und -betreibern, Schmierstofflieferanten und Additivherstellern zu verwirklichen. ■