

Tribologie in Deutschland – Bestandsaufnahme 2019

Manfred Jungk, Jürgen Molter*

1 Einleitung

Dieser Artikel ist Teil einer Studie zur „Tribologie in Deutschland“ und ist adressiert an Leser mit und ohne Vorkenntnisse im Fachgebiet der Tribologie. Daher werden einleitend zunächst einige wesentliche Grundlagen zur Tribologie vorangestellt.

„Tribology“ ist ein von Peter Jost 1966 gebildetes Kunstwort aus den griechischen Worten „tribein“ (reiben) und „logia“ (Lehre). Die **Tribologie** ist als interdisziplinäre Disziplin zu verstehen mit Schwerpunkten aus den Bereichen Maschinenbau, Chemie, Physik und Werkstoffwissenschaften. Vereinfachend wird Tribologie als Fachgebiet zu Reibung, Verschleiß und Schmierung bezeichnet.

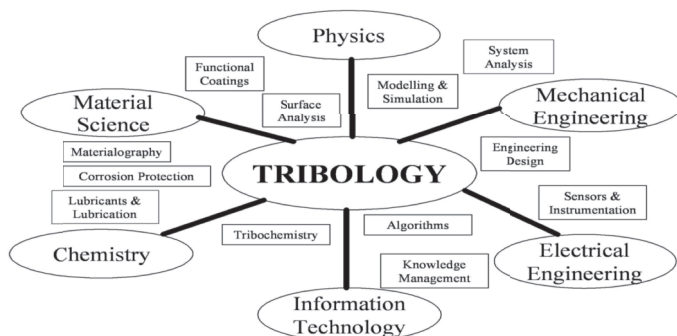


Bild 1: Interdisziplinäre Stellung der Tribologie nach Franek

Jede Einzeldisziplin der Zusammenstellung nach Franek in **Bild 1** für sich genommen ist nicht in der Lage ein tribologisches System, wie in **Bild 2** dargestellt, alleinig zu beschreiben.

Die **Gesellschaft für Tribologie (GfT)** ist ein technisch-wissenschaftlich ausgerichteter Verein und wurde 1959 als „Gesellschaft für Schmiertechnik, GST“ in Form eines gemeinnützigen technisch-wissenschaftlichen Vereins gegründet. Die Gesellschaft sah sich zunächst als Plattform zur Diskussion und Klärung von Fragestellungen innerhalb der Schmierungschnik in Wissenschaft und Industrie.

*Dr. rer. nat. Manfred Jungk,
MJ-Tribology, 65366 Geisenheim

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Molter
Hochschule Mannheim, 68163 Mannheim

Kurzfassung

In Anbetracht der aktuellen Herausforderungen wie der Reduzierung der Kosten bei der Erzeugung erneuerbarer Energie, Energieeinsparung als Energiequelle und einer Emissionsfreien Mobilität kann die Tribologie eine Schlüsselrolle spielen. In den letzten Jahrzehnten geriet die Tribologie nach intensiver Förderung in den 60er bis 90er Jahre mehr in den „Mittel-zum-Zweck-Status“. Um das Potential der Tribologie durch ihre technisch interdisziplinäre Stellung Entscheidungsträgern in Wirtschaft, Politik und Hochschulen zu verdeutlichen, führt die Gesellschaft für Tribologie eine Studie durch. Behandelt werden hier Aspekte wie Hochschulen/Universitäten, Weiterbildungseinrichtungen, Forschung und Tagungen/Workshops. In diesem Beitrag werden die Ergebnisse einer im 1. Halbjahr durchgeführten Online-Befragung zur Bestandsaufnahme beschrieben. Diese beinhaltet auch den Ausblick auf die für die Tribologie wichtigen Themen der Umsetzung in Produkte, der betrieb- und volkswirtschaftlichen Bedeutung, der Umwelt sowie aktuelle Forschungsthemen und zukünftige Entwicklungen.

Schlüsselwörter

Tribologie, Forschungsförderung, Umweltaspekte, Betriebswirtschaft, Volkswirtschaft

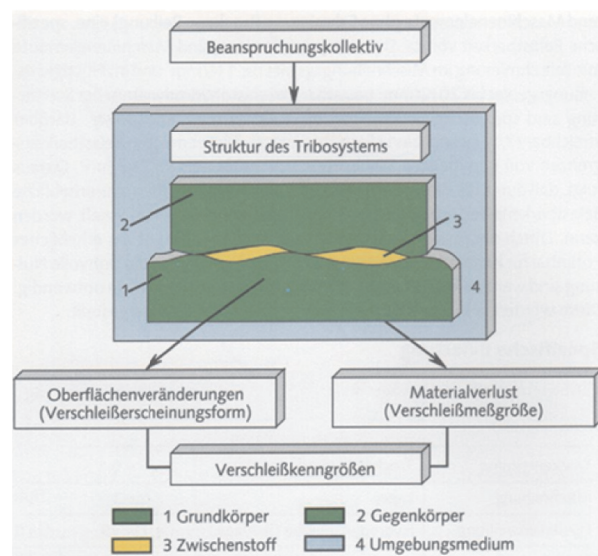


Bild 2: Tribologisches System

Die Einbeziehung der grundlegenden Erkenntnisse von Reibung und Verschleiß in die Schmieringstechnik führte 1967 zur Umbenennung in „Gesellschaft für Schmieringstechnik und Tribologie, GST“ und dann 1974 in die „Gesellschaft für Tribologie, GfT“.

Heute besteht die Gesellschaft für Tribologie aus ca. 300 persönlichen und etwa 50 Firmenmitgliedern, die u.a. der Fahrzeugtechnik, den Schmierstoffherstellern und Zulieferern, den Wälz- und Gleitlagerherstellern, dem Maschinenbau sowie den Ausbildungs-, Versuchs- und Forschungseinrichtungen zugeordnet werden können.

Die jährlich im September stattfindende Jahrestagung bietet einen regen Austausch zwischen der Industrie sowie der Forschung und Lehre.

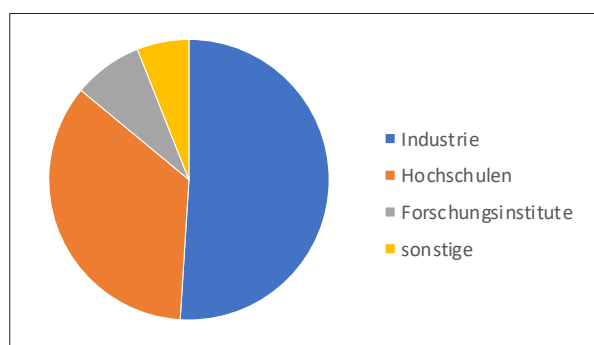


Bild 3: Typische Zusammensetzung der Teilnehmer an den GfT-Fachtagungen in den Jahren 2000 bis 2015

Das Ziel der von der GfT in Auftrag gegebenen Studie ist es, einen umfassenden, aktuellen Überblick zu geben, inwieweit Themen rund um Reibung, Verschleiß und Schmiering in der Lehre und Forschung, aber auch in Politik und Unternehmen eine Rolle spielen. Darüber hinaus soll sie aufzeigen, welche Zukunftstrends absehbar sind und wo dementsprechender Handlungsbedarf besteht.

Dieser Artikel liefert eine Bestandsaufnahme zur Tribologie in Deutschland und erfasst erste Aussagen zu den noch zu erstellenden, eigenständigen Modulen der Themen:

- Umsetzung tribologischer Erkenntnisse in Produkte und Fertigungsverfahren
- Betriebswirtschaftliche Bedeutung von Reibung und Verschleiß (Produkte und Fertigung)
- Volkswirtschaftliche Bedeutung der Tribologie
- Tribologie und Umweltschutz (z. B. Verringerung von Schadstoffemissionen und Energieverbrauch)
- Aktuelle Forschungsthemen
- Absehbare zukünftige Entwicklungen

Die zu Grunde gelegte Motivation der Studie resultiert aus den immer wieder qualitativ genannten Herausforderungen, mit denen Mitgliedsfirmen und persönliche Mitglieder der GfT konfrontiert sind. Die Tribologie in Deutsch-

land benötigt talentierte junge Wissenschaftler (Tribologie ist multidisziplinär) und Forschungsgelder (tribologische Maßnahmen haben eine hohe Wirkung) zur:

- Reduzierung der Kosten bei der Erzeugung regenerativer Energie
- Energieeinsparung als Energiequelle
- Emissionsfreien Mobilität

2 Studien aus der Vergangenheit

Die Verminderung von Reibung und Verschleiß sowie die Optimierung der Schmiering sind in der Vergangenheit immer ein Thema gewesen. Die hier beispielhaft aufgeführten Arbeiten sollen die Aktualität und Notwendigkeit wiederkehrender Studien verdeutlichen.

1971 erschien der „DFG Forschungsbericht ZUM SCHWERPUNKTPROGRAMM VERSCHLEISS, REIBUNG, SCHMIERUNG“ [1]. Hier wurden von 1960 bis 1969 Forschungsvorhaben aus etwa zwanzig Instituten mit ungefähr 4,5 Millionen DM finanziert. Abschließend wurde aufgeführt, dass die Forschungsergebnisse in ihrer Zusammensetzung noch nicht eine in sich schlüssige Theorie zum vollständigen Verständnis der Reibungs- und Verschleißvorgänge bieten; sie haben ihre Bedeutung als wissenschaftlich belegbare Tatbestände, auf die sich eine Diskussion der Problematik gründen kann.

1977 wurde “ASME Energy Conversation through Tribology” [2] publiziert. Die American Society of Mechanical Engineers beschrieb einen Forschungs- und Entwicklungsplan über 24 Millionen USD, durch den 16 Milliarden USD Energiekosten eingespart würden.

1981 veröffentlichte Peter Jost „Jost Proc Instn Mech Engrs Vol 195 151-170“ [3], worin er berichtete, dass durch Anwendung von mehrheitlich bestehendem tribologischen Wissen bei geringfügigem Forschungs- und Entwicklungsaufwand im Vereinigten Königreich Energiekosten zwischen 468 und 700 Millionen Britischen Pfund eingespart würden.

1988 erschien der „BMFT/DFVLR Abschlussbericht des Forschungsvorhabens 01 ZT 291 – ZA/NT“ [4]. Das vom Bundesministerium für Forschung und Technologie geförderte Forschungsvorhaben kam zu dem Schluss, dass realistische jährliche Energieeinsparungen durch tribologische Maßnahmen von 5,4 Milliarden D-Mark zu erzielen wären.

2012 kam „Holmberg, Andersson, Erdemir Tribology International 47 (2012) 221-234“ [5] in die Fachliteratur. Die Autoren beschrieben den weltweiten Energieverbrauch durch Reibung in Personenkraftwagen. Eine kurzfristige (5-10 Jahre) Reduzierung der Reibungsverluste durch Anwendung neuer Technologien würden diese um 18 % reduzieren und zu Einsparung von 117 Milliarden € führen, einhergehend mit der Verringerung von 290 Millionen Tonnen CO₂ Ausstoß.

Tabelle 1: Übersicht der Entwicklungen in den Disziplinen [7]

Top Short-term Trends (Significant through next 5-10 years)	Top Long-term Trends (Significant 10+ years into future)
Transportation	
<ul style="list-style-type: none"> Lower viscosity motor oils Improved combustion and valve timing Increased turbo charger pressures 	<ul style="list-style-type: none"> Pure electric vehicles Self-driving, autonomous vehicles High efficiency vehicles
Medical / Health	
<ul style="list-style-type: none"> Soft matter 	<ul style="list-style-type: none"> Greater use of prosthetics Greater expectations for personal mobility
Energy	
<ul style="list-style-type: none"> Natural gas Hydraulic fracturing 	<ul style="list-style-type: none"> Decreasing use of fossil fuels Solar energy Batteries as a substitute for liquid fuel in automobiles
Manufacturing	
<ul style="list-style-type: none"> Reduction in costs of production „In-sourcing“ of manufacturing services from foreign countries Increased competition for fat supplies due to biodiesel movement 	<ul style="list-style-type: none"> Greater automation of tasks / fewer human workers Increases reuse of materials in manufacturing (recycling) Continuous monitoring of production process through real-time data collection
Communications and Data Management	
<ul style="list-style-type: none"> Continuous monitoring of lubricants and moving mechanical parts through ongoing data collection and algorithms to detect problems and increase efficiencies Solid-state memory and devices (no moving parts) 	<ul style="list-style-type: none"> Free-flow of information that does not require physical information systems (i.e., demise of print media)
Atomistic Processes	
<ul style="list-style-type: none"> Investigating information of films on surfaces to study antifriction and anti-wear layers Aluminum rolling 	<ul style="list-style-type: none"> Linking of atomic-scale behavior with larger systems-level behavior Increasing attention paid to surface factors

2014 führte Schmitt [6] für die GfT eine Studie zur Ermittlung der tribologischen Aktivitäten an deutschen Hochschulen durch. Die Auswertung der Antworten von 57 Hochschulen/Universitäten ergab 71 angebotene Vorlesungen und 34 Aktivitäten wie Übungen/Labore und Praktika. Dabei werden Teilaspekte der Tribologie in übergeordneten Veranstaltungen meist im Rahmen der Grundlagenfächer in den ersten Semestern behandelt. Eigenständige Tribologie-Vorlesungen haben einen Anteil von 20 % und werden als Wahlfächer angeboten. Es wurden ca. 65 tribologisch relevante F&E-Projekte genannt, von denen sich die meisten mit Fragestellungen zu Maschinenelementen befassen, gefolgt von werk-

stoff- und oberflächentechnischen Entwicklungen. Eine detaillierte Befragung zu vorhandenen tribologischen Prüfmethoden ergab eine Zahl von 338 Prüfständen. Schwerpunktmässig werden Standardprüfverfahren für Verzahnungen, Wälzlager, Dichtungen und Gleitlager eingesetzt, wobei die Hälfte der eingesetzten Prüfstände angepasste anwendungsspezifische Eigenkonstruktionen sind.

2017 führte McKinley Advisors im Auftrag der Nord-amerikanischen Society for Tribologists and Lubrication Engineers nach 2014 die zweite Studie zum STLE Emerging Trends Report [7] durch. Dazu wurden zunächst

Experten in Ihren Disziplinen zu den Themen Transportwesen, Medizin/Gesundheitswesen, Energie, Produktion, Kommunikation/Daten und Atomistische Prozesse befragt. Dies ergab einen tiefen Einblick in die bestehenden Entwicklungen in den Disziplinen sowie einen Ausblick in die Zukunft (**Tabelle 1**).

Eine nachfolgende breitere Befragung nutzte die Ergebnisse der Entwicklungen aus den einzelnen Disziplinen, um den Fragebogen zusammenzustellen. Darin enthalten waren auch die Herausforderungen in den Bereichen Regulatorien der Regierung, Sicherheit/Umwelt und grundlegender humanitärer Bedürfnisse (**Tabelle 2**).

Tabelle 2: Übersicht der allgemeinen Herausforderungen [7]

Outlook on the Field	Government Regulation
<p>Top areas of concern:</p> <ul style="list-style-type: none"> The ability of the field to attract talented and educated employees The challenge of reducing pollution related to the production / usage of products created by tribologists and lubrication engineers The availability of research funding from both government and for-profit sources compared to other scientific disciplines The cost of materials, chemicals and other resources 	<p>Regulatory areas with greatest impact on the field:</p> <ul style="list-style-type: none"> Industrial waste regulations Restrictions on water pollution Particulate matter emissions regulations Carbon monoxide regulations
Safety and the Environment	Basic Human Needs
<p>Most significant trends impacting safety and the environment:</p> <ul style="list-style-type: none"> Automation replacing workers (minimizing risk to humans) Biodegradability Technology that allows greater ability to determine where environmental hazards originate Particulate matter emissions from lubricants 	<p>Areas where tribology and lubrication engineering will have the greatest impact:</p> <ul style="list-style-type: none"> Production of sustainable energy Reducing air pollution and emissions Reducing costs of manufactured goods through added efficiencies Reducing industrial waste

3 Online-Befragung zur Tribologie in Deutschland (2019)

Um eine möglichst breite Verteilung auch an nicht primär mit Tribologie vertrauten Personen zu erzielen, wurde eine Online-Befragung durchgeführt. Die GfT und der VSI (Verband der Schmierstoff-Industrie) haben den Aufruf zur Online-Befragung direkt an die entsprechenden Kontakte versendet. Ferner wurde der Aufruf zur Teilnahme an die folgenden Institutionen gesendet:

- Deutsche Bunsen-Gesellschaft für Physikalische Chemie e. V.
- Stahlinstitut VDEh
- VDMA Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbauer
- DGM Deutsche Gesellschaft für Materialkunde e.V.
- DGMK Deutsche Wissenschaftliche Gesellschaft für Erdöl, Erdgas und Kohle
- DVM Deutscher Verband für Materialforschung und -prüfung e.V.
- DPG Deutschen Physikalischen Gesellschaft e. V.

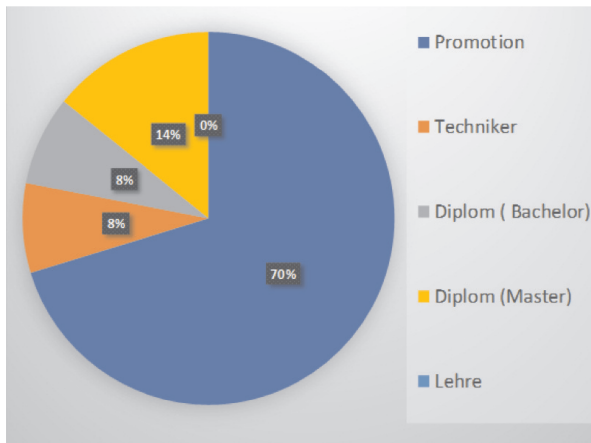


Bild 4: Zur Ausbildung der Befragten

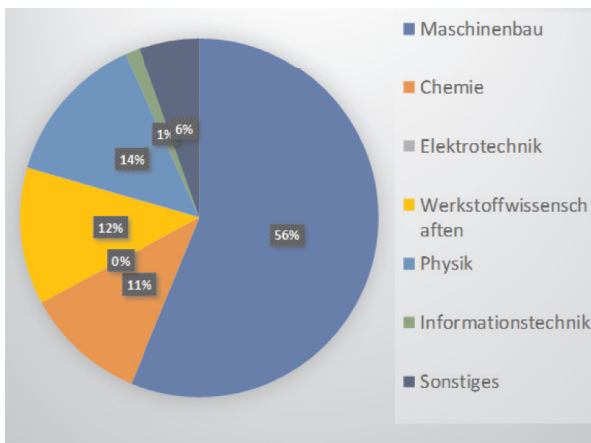


Bild 5: Persönliche Fachrichtung der Teilnehmer

Die Befragung umfasste die Bereiche zum **persönlichen Umfeld der Teilnehmer**, zur **Bestandsaufnahme der Tribologie** und den **Ausblick** hinsichtlich künftig erwarteter Schwerpunkte. Die Ergebnisse der Umfrage werden in den folgenden Abschnitten aufgeführt und diskutiert. Den Teilnehmern wurde die Wahl zwischen einer *anonymen* und *unterstützenden* Teilnahme gegeben. Die unterstützenden Teilnehmer gaben ihre Kontaktdaten an und wurden teilweise noch einmal zur Vertiefung persönlich befragt. Dies wurde im Rahmen einer studentischen Arbeit, welche unter anderem zur Aufbereitung der Studie angesetzt wurde, an der Hochschule Mannheim durchgeführt.

3.1 Teilnehmeranalyse

Dieser einleitende Fragenblock zielt auf die Charakterisierung des „Tribologen“ in Deutschland bezüglich Ausbildung, Branche und Nähe zur Tribologie.

Bild 4 verdeutlicht, dass die Teilnehmer mehrheitlich über einen höheren Bildungsabschluss verfügen, sogar 70 % mit Promotion.

Bild 5 zeigt die interdisziplinäre Stellung der Tribologie mit den verschiedenen Fachrichtungen auf. Den Schwerpunkt bilden die Maschinenbauer, gefolgt von etwa 3 gleichen Anteilen an Chemikern, Physikern und Materialwissenschaftlern.

Die Mitgliedschaft in Verbänden der Teilnehmer oder ihrer Unternehmen spiegelt die Darstellung in **Bild 6** wider. Ein Drittel der Befragten sind der GfT zuzuordnen. Mit dem nächsthöheren Anteil von 17 % wird der Interdisziplinarität durch die Kategorie Sonstige Rechnung getragen. Der Verein Deutscher Ingenieure (VDI) und der Fachverband für Antriebstechnik (FVA) haben einen zweistelligen Anteil. Kleinere Prozentzahlen verteilen sich auf DKMG, VSI und STLE.

Die Unternehmensgröße, bei denen die Befragten beschäftigt sind, verteilt sich wie in **Bild 7** ersichtlich

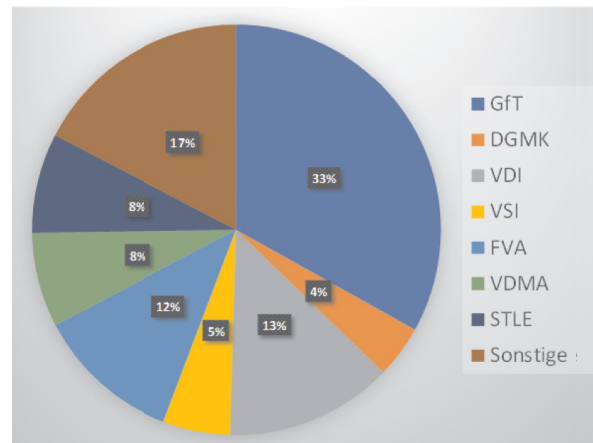


Bild 6: Vertreter in Verbänden

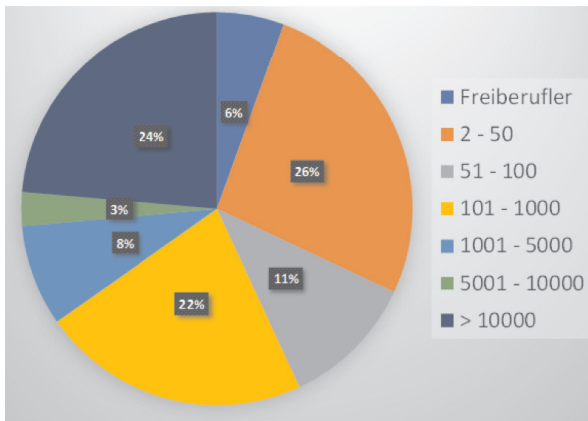


Bild 7: Mitarbeiteranzahl im jeweiligen Unternehmen

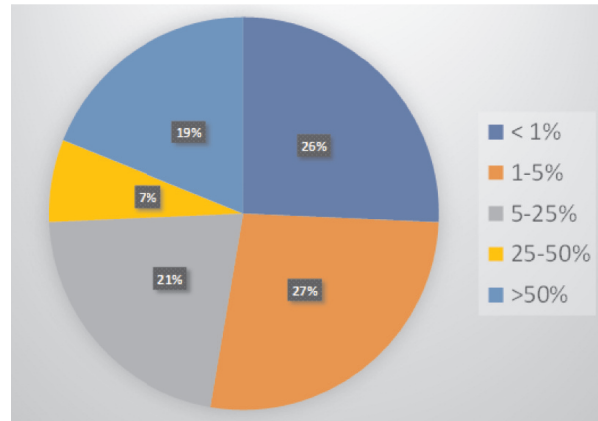


Bild 9: Mitarbeiter mit tribologischen beziehungsweise schmierungstechnischen Aufgaben

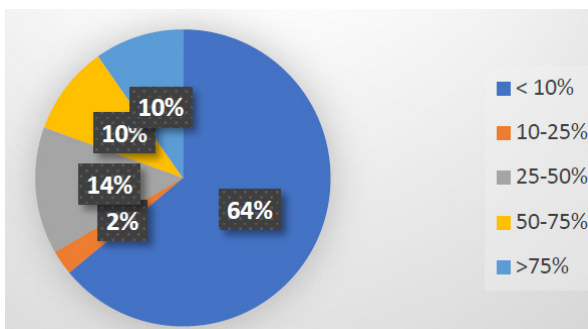


Bild 8: Davon Mitarbeiter im Ausland

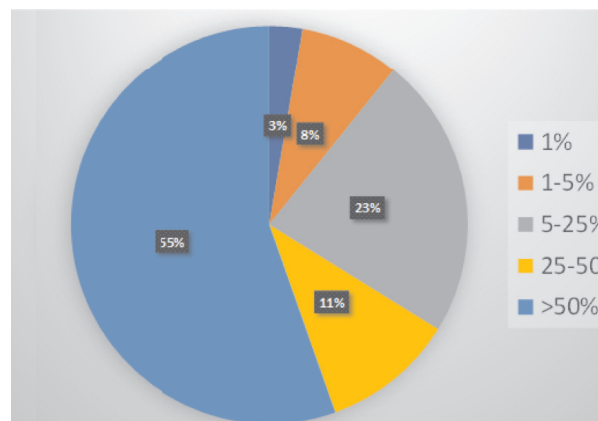


Bild 10: Persönlicher Anteil an tribologischen / schmierungstechnischen Fragestellungen

gleichmäßig auf kleine, mittelständische und große Unternehmen.

In **Bild 8** wird die internationale Vernetzung der Unternehmen dargestellt. Zwei Drittel der Befragten sind in Unternehmen mit hauptsächlich inländischer Aktivität beschäftigt. Ein Fünftel der Befragten gab an, in Unternehmen mit mehr Aktivität im Ausland tätig zu sein.

Bezug ihrer Tätigkeit nachgehen. Es sind auch immerhin fast ein Viertel der Befragten mit 5-25 %, was darauf hindeutet, dass auch hier tribologische Kenntnisse zum täglichen Einsatz kommen.

Der Aufteilung an tribologischen sowie schmierungstechnischen Aufgaben innerhalb des Unternehmens wird ebenso nachgegangen, wie das Diagramm in **Bild 9** darlegt. Mehr als die Hälfte der Mitarbeiter haben mit weniger als 5 % einen geringen Bezug zur Tribologie innerhalb des Unternehmens. Jedoch haben immerhin 19 % der Mitarbeiter in ihren Unternehmen einen hohen Bezug zur Tribologie. Man kann feststellen, dass sowohl die Verteilung bei der Unternehmensgröße als auch der Anteil tribologischer Tätigkeiten innerhalb des Unternehmens sehr ausgeglichen ist.

In der **Tabelle 3** ist die Verteilung der tribologischen Aufgaben und Fragestellung dargestellt. Die meisten tri-

Tabelle 3: Verteilung der tribologischen Aufgaben / Fragestellungen

Spezifikationen	25,70%
Normen	27%
Prüfung / Analytik in Physik	48,60%
Prüfung / Analytik in Chemie	32,40%
Prüfung / Analytik in Reibung / ...	79,72%
Schmierstoffbezogene Forschung / ...	39,18%
Schmierstoffbezogene Hersteller	32,40%
Schmierstoffbezogene Anwender	21,60%
Schmierstoffbezogene Hersteller	17,56%
Nicht-Metallische Werkstoffe	59,40%
Metallische Werkstoffe	60,81%
Schmierung	62,10%
Verschleiß	85,13%
Reibung	83,43%

Bei der Frage nach dem persönlichen Anteil an tribologischen beziehungsweise schmierungstechnischen Aufgaben stellt sich nach **Bild 10** klar heraus, dass die Befragten überwiegend mit tribologischem

bologischen Aspekte liegen demnach bei etwa 80 % im Bereich des Verschleißes und der Reibung sowie deren Prüfung. Allgemeine Themen der Schmierung und Werkstoffbezogene Fragestellungen folgen mit etwa 60 %. Auffallend ist, dass Schmierstoffbezogene Themen unter 40 % liegen.

Als Zwischenfazit zum ersten Teil der Online-Befragung lässt sich festhalten:

Der/die *Tribologe/in* ist mit hoher Wahrscheinlichkeit promoviert im Fach Maschinenbau, in Fachverbänden mit tribologischem Bezug aktiv, bei kleinen, mittleren und gleichermaßen großen Unternehmen mit Auslandsaktivitäten beschäftigt. Innerhalb der Unternehmen gibt es Stellen mit sehr wenig bis hin zum hauptsächlichen Bezug zur Tribologie. Ein hoher Anteil an täglichen tribologischen Fragestellungen hat mit Reibung/Verschleiß und deren Prüfung/Analytik zu tun.

3.2 Bestandsaufnahme

In diesem Teil der Befragung steht eine Bestandsaufnahme zur Hochschullandschaft, zur Weiterbildung, zu Budgetausgaben an Instituten, zu Mitarbeiterzahlen in der industriellen Forschung, zur Anzahl an öffentlichen Projekten zu neutralen Gremien sowie Normen im Fokus.

Hochschulen / Universitäten

Die Frage „Schätzen Sie die Anzahl Hochschulen mit tribologischen Anteilen“ lieferte eine weitgefächerte Zahl mit einem Mittelwert von 27 (Median: 20). Diese Zahl steht im Widerspruch zu der Studie von Schmitt und resultiert aus dem subjektiven Empfinden oder aus einer nicht ausreichenden Kenntnis der aktuellen Hochschullandschaft.

Bild 11 zeigt das Ergebnis der Schätzung nach Kategorien auf, die nach Ansicht der Befragten die Anteile aufgliedern. Das Ergebnis ist ähnlich zu denen von Schmitt und zeigt eine gleichmäßige Verteilung, jedoch ist eine leichte Tendenz zu Verankerungen in Studiengängen zu erkennen.

Weiterbildungseinrichtungen

In der **Tabelle 4** sind die Antworten der Befragten zu den unterschiedlichsten Anbietern von Weiterbildungsmaßnahmen aufgelistet. Die GfT, die Technische Akademie Esslingen (TAE), der VDI und der VDMA mit FVA sind hinreichend bekannt. Der Bundesverband mittelständischer Mineralölunternehmen e.V. (Uniti), die OilDoc GmbH und die STLE sind nur etwa der Hälfte der Befragten bekannt, während das European Lubricating Grease Institute (ELGI) und die Union of the

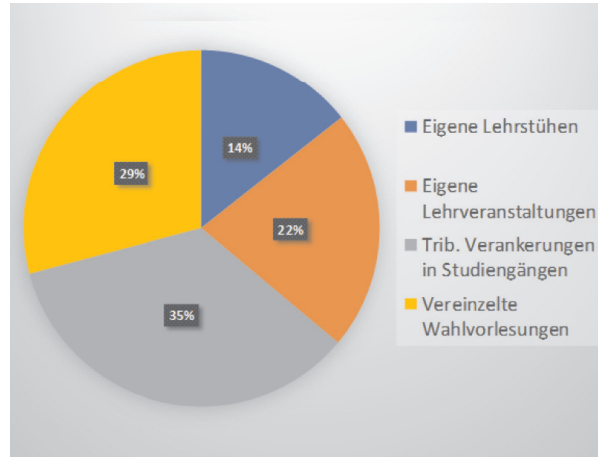


Bild 11: Schätzung des Anteils in Kategorien

European Lubricants Industry (UEIL) mit ihren Weiterbildungsaktivitäten wohl auch auf Grund der Schmierstoff-Lastigkeit weniger bekannt sind.

Weitere genannte Angebote gab es vom DVM (Deutscher Verband für Materialforschung und -prüfung e.V.), der SwissTribology und der DGM (Deutsche Gesellschaft für Materialkunde e.V.).

Anteil am Gesamtbudget von Forschungseinrichtungen

Die Befragung durch die Angabe einer Schätzung sollte lediglich einen ersten Gesamteindruck erfassen. Die Diagramme in **Bild 12** geben den Anteil der Befragten an, die eine Schätzung zum Anteil am Gesamtbudget angaben, welches in der jeweiligen Legende aufgeführt ist. Dabei erkennt man, dass jedes Institut den Wert und somit die Budgetausgaben eher nicht auf die Tribologie (meistens nur 1-5 %) legt, ein anderer großer Anteil liegt

Tabelle 4: Verteilung der Angebote öffentlicher und privater Weiterbildungsinstitute in %

	Bekannt	Unbekannt	Genutzt	Dozent
GfT	58	5	34	3
UNITI	48	47	3	2
TAE	51	12	24	13
Haus der Technik Essen	54	35	8	3
VDI	65	8	24	3
Oil Doc	50	40	4	6
FVA	62	16	19	3
VDMA	66	24	8	2
ELGI	31	64	2	3
UEIL	14	81	5	0
STLE	44	42	12	2

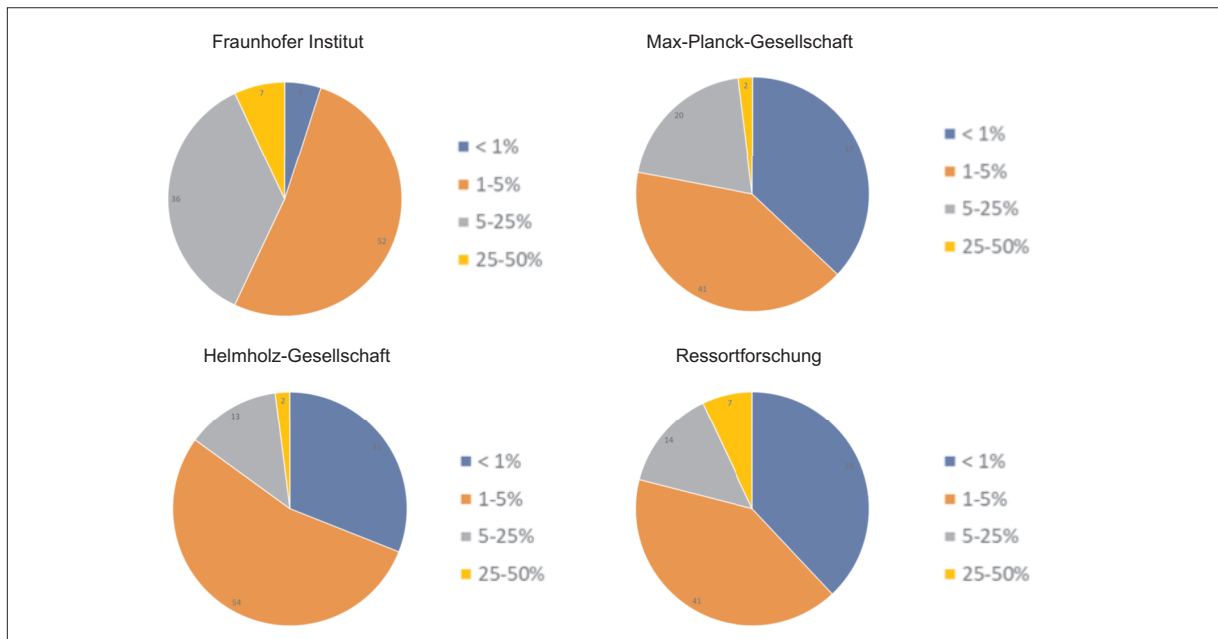


Bild 12: Anteil an tribologischen / relevanten Themen am Gesamtbudget der folgenden Institute?

sogar bei <1 %. Qualitativ befassen sich die Fraunhofer-Institute und die Ressortforschung mehr mit der Tribologie.

Anteil Mitarbeiter in industrieller Forschung

Mit der hier gestellten Frage „Wie hoch schätzen sie die Anzahl der Mitarbeiter in der tribologischen Forschung in der Industrie?“ sollte eine erste Abschätzung getroffen werden, die genannten Zahlen (Mittelwerte) sind hier aufgeführt:

- Geräteproduktion 4030
- Transport; PKW, LKW, Off-Road, Marine, Luftfahrt 75119
- Energie, Erzeugung, Anlagen, Verteilung 18291
- Chemie, Schmierstoffhersteller und Zulieferer 17600

Leider ist die Frage nur bedingt auswertbar, da Antworten in unterschiedlichen Einheiten angegeben wurden. Dies wird unter „Ergänzende und persönliche Befragung einzelner unterstützender Teilnehmer“ nochmals aufgegriffen.

Anteil-Projekte in Forschungslandschaft

Auch die Frage „Schätzen sie die Anzahl an jährlich vergebenen Projekten und die Gesamtsumme der Forschungsförderung durch DFG, AiF, Bundes- und Landesregierungen.“ soll einen ersten Überblick geben:

- (Landes-)Regierungen (Anzahl an Projekten):1680
Gesamtsumme in Mio.€: 24,3
- Stiftungen (Anzahl an Projekten): 281
Gesamtsumme in Mio.€: 55,4

Als kleines Fazit kann man anmerken, dass die staatlich geförderten Projekte in einer viel höheren Anzahl erscheinen. Jedoch wird das Gesamtbudget gegenüber den Stiftungen kleiner eingeschätzt.

Tagungen / Workshops

In der **Tabelle 5** sind die Ergebnisse der Befragung zu den unterschiedlichen Konferenzen aufgeführt.

Die TAE und die World Tribology Conference (WTC) sind neben der GfT-Jahrestagung weitgehend bekannt, wobei sich darunter auch viele Referenten dieser Veranstaltungen befinden. Ähnlich zu den Weiterbildungsangeboten sind die mehr auf Schmierstoffe fokussierten Konferenzen der ELGI, UEIL, Uniti und OilDoc weniger bekannt. Dazu sind die eher auf Maschinenbau ausgerichteten Veranstaltungen der FVA (Bearing World, Getlub,

Tabelle 5: Verteilung der Konferenzteilnahmen mit tribologischen Themen in %

	Bekannt	Unbekannt	Teilgenommen	Vorgetragen
GfT	38	4	12	46
UNITI	41	46	9	4
ÖTG	45	48	2	5
TAE	36	17	16	31
Oil Doc	41	44	6	9
Bearing World	38	47	10	5
Getlub	44	40	7	9
Getpro	38	58	4	0
World Tribology Conference	49	25	7	19
ELGI	25	73	0	2
UEIL	14	84	2	0
STLE	36	56	1	7

Getpro) auch nur der Hälfte der Befragten bekannt. Neben den in der Tabelle aufgelisteten Veranstaltungen wurden noch folgende Veranstaltungen genannt: Eurobrake, Ecotrib Conference, FVA Infotagung, Young Tribological Reseacher Symposium, Nordtrib, International Conference on BioTribology, ESMATS, LeedsLyon Symposium, Gordon Tribology, WOM (Wear of Material).

Nationale und internationale Tribologie-Normen und sonstige technische Regeln

Die Befragten führten die ihnen bekannten Gremien und Arbeitskreise auf. Genannt wurden im Einzelnen: IMechE – Gold Medal, GfT-Arbeitsblätter, VDI-Richtlinien, VDA, ASTM-Normen, DIN-ISO-Normen, SRV (DIN, ASTM), DIN AK 51808 und 51810, DIN 50320, VDMA, FVA-Richtlinien FVA-Wälzlager, FAM-Schmierfette Anforderungen und Prüfung, FAM-Ringversuche für die Prüfung von Schmierfetten, die „Jungen Tribologen“. Der Großteil der o. g. Stichworte waren Mehrfachnennungen, so dass man diese als das anerkannte und genutzte „Handwerkszeug des Tribologen“ betrachten kann.

Ergänzende und persönliche Befragung einzelner „unterstützender Teilnehmer“

Wie oben erwähnt, wurden im Nachgang an die Online-Befragung Kurzinterviews geführt. Dies hatte zum Ziel, einerseits einen vertiefenden Blick auf bestimmte Bereiche zu erhalten und andererseits, um Fragen, die aufgrund der teilweise missverstandenen Einheiten, beispielsweise „Angabe in Prozent“ oder „Angabe absolut“ aufkamen, zu klären (beispielsweise die nachfolgend gestellte Interviewfrage 1).[8]

Interviewfrage 1:

In welchen der folgenden Bereiche schätzen Sie die Mitarbeiteranzahl in der Forschung am höchsten? Sortieren Sie die folgenden Kategorien von groß nach klein nach Ihrer Mitarbeiteranzahl in der Forschung:

- Geräteproduktion
- Transportwesen (LKW, PKW, Marine, Luftfahrt, ...)
- Energie, Erzeugung, Anlagen, Verteilung
- Chemie, Schmierstoffhersteller und Zulieferer

Die Antworten zu Frage 1 lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Die Branche mit den geschätzt meisten Mitarbeitern ist demnach die Geräteproduktion (Consumer und Antriebstechnik). Nur knapp dahinter gefolgt vom Transportwesen. Mit einem größeren Abstand wird die Branche Chemie, Schmierstoffhersteller und Zulieferer geschätzt. Als die Branche mit den wenigsten Mitarbeitern gilt die der Energie mit Energieerzeugung, Anlagen und deren Verteilung. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass

die Consumer-Branche und die Antriebstechnik bzw. die Transportindustrie die stärksten Branchen in den nächsten Jahren sein werden.

Interviewfragen(n) 2:

Laut Studie befassen sich Mitarbeiter in ihrem beruflichen Alltag mit der Tribologie. Ihre Haupttätigkeit liegt jedoch in einem anderen Fachgebiet. Haben Sie in Ihrem Unternehmen Spezialisten für tribologische Fragestellungen? Halten Sie es für sinnvoll, Spezialisten einzustellen, die abteilungsübergreifend zu tribologischen Fragestellungen beraten? Nutzen Sie, externe Fachfirmen zur Beratung bei tribologischen Fragestellungen/Problemen?

Die Antworten lassen sich auch hier zusammenfassend darlegen:

Spezialisten in einem Unternehmen werden als wertvoll erachtet. Dabei gilt eine interdisziplinäre Ausrichtung am angebrachten. Spezialisten sollen in den jeweiligen Abteilungen integriert werden und dort die tribologischen Probleme lösen. Eine separate Abteilung wird hier nicht als Option gesehen. Externe Fachfirmen, die als Dienstleister agieren, werden als nicht erforderlich angesehen, da diese zum einen die Unternehmensphilosophie und die Unternehmensstruktur nicht kennen und zum anderen wäre diese Lösung auch nur schwer abteilungsübergreifend umsetzbar. Bei sehr kleinen Betrieben sollte die Hilfe von externen tribologischen Fachfirmen jedoch in Betracht gezogen werden, da hier meistens die Erfahrung und die Austauschmöglichkeiten fehlen. Des Weiteren wäre ein regelmäßiger Kontakt mit Fachfirmen oder Fortbildungen sinnvoll. Auch der regelmäßige Austausch mit Forschungsstellen und Instituten, auch zur GfT sowie den jungen Tribologen, sollte gepflegt werden.

Interviewfrage 3:

Wie viele Mitarbeiter (in Prozent) sollten bei einem Industrieunternehmen Tribologie-Experten sein?

Antworten:

Die Anzahl an Experten in einem Unternehmen hängt sehr stark von der Tätigkeit des Unternehmens ab. Jedoch kann man schätzen, dass im Schnitt ca. 1-2 % der Mitarbeiter Tribologen sein sollten oder zumindest sich mit tribologischen Fragestellungen auseinandersetzen können. In der Biotechnologie liegt die Tendenz eher unter 1 %, in der Automobilbranche bei geschätzten 5 %. Bei Firmen, die direkt mit tribologisch beanspruchten Produkten zu tun haben, wie zum Beispiel Wälzlagerhersteller, sollte die Anzahl solcher Experten jedoch deutlich höher sein.

Interviewfrage 4:

Inwieweit sind Sie mit Weiterbildungsmaßnahmen im Bereich Tribologie vertraut und erachten Sie diese als

ausreichend? Haben Sie schon an Weiterbildungsmaßnahmen teilgenommen? Wenn ja, haben Sie davon profitiert?

Antworten:

Die Anzahl an Angeboten für tribologische Weiterbildungsmaßnahmen wird als ausreichend betrachtet. Meistens entscheidet der Wille über die Teilnahme an solchen Fortbildungen und nicht die Anzahl an Angeboten. Der allgemeine Bekanntheitsgrad könnte etwas größer sein. Teilweise erreichen die Informationsblätter die falschen Zielgruppen. In der Kunststoffindustrie wird der Bekanntheitsgrad als ausreichend eingestuft. Eine Plattform aller übersichtlichen Fortbildungen mit Standorten und Themen wäre wünschenswert. Genannte, somit weitergehend bekannte Weiterbildungen sind: VDI (mehrmalig), TAE, Tribologie der Kunststoffe, Kompetenzzentrum Tribologie Mannheim, SDKZ-Infoletter.

Interviewfrage 5:

Sollten mehr tribologische Veranstaltungen an den Universitäten und Hochschulen belegt werden? Halten Sie einen eigenen Studiengang der Tribologie für sinnvoll?

Die Antworten hierzu fallen recht differenziert aus und dies ist stark fachspezifisch. Im Maschinenbau sollten in jedem Fall Vorlesungen zur Tribologie angeboten werden. In anderen technisch und naturwissenschaftlich orientierten Studiengängen, wie etwa Elektrotechnik, Mechatronik, Biologie, sollte zumindest die Tribologie innerhalb eines Faches erwähnt und behandelt oder als Wahlfach angeboten werden. So könnte man zum Beispiel in der Biologie im Bereich der Bionik oder Rheologie tribologische Inhalte implementieren. Ein separater Studiengang der Tribologie sollte nicht angeboten werden, da die Tribologie systemübergreifend funktionieren und interdisziplinär genutzt werden sollte. Ein weiterer Nachteil wäre für den Studierenden die genaue Festlegung auf ein Spezialgebiet und eine daraus resultierend geringe Flexibilität im Berufsleben. Für Firmen wäre dies jedoch im Gegenzug von Vorteil. Bereits in der Schule werden im Rahmen des Physikunterrichts erste Grundlagen zur Tribologie gelegt, in der Regel ohne die Disziplin „Tribologie“ namentlich zu erwähnen. Hierbei werden Begriffe wie Hangabtriebskraft, der Luftwiderstand, der Reifenabrieb und der Reibungskoeffizient eingeführt. Jedoch sollte auch hier schon die komplexe Problematik im Zusammenhang mit Reibungsphänomenen greifbarer, bildlicher und anschaulicher gestaltet werden. Auch die gesellschaftliche Bedeutung und die Bedeutung im Alltag sollten stärker verdeutlicht werden. Somit wird mutmaßlich das Wissen der Schülerinnen und Schüler geweckt.

3.3 Implementierung, Relevanz und Ausblick

Wie in der Einleitung erwähnt, liefert dieser Artikel eine Bestandsaufnahme zur Tribologie in Deutschland. Erste

Aussagen zu den noch zu erstellenden eigenständigen 6 Modulen sind in diesem Abschnitt zusammengestellt. Zur besseren Darstellung der Einzelaussagen der Befragten wurden die Kommentare nach Bereichen gruppiert.

Umsetzung in Produkte

Die Kommentare zu diesem Modul sind nach Bedeutung, Prozess, Zeitschiene, bestehenden Lücken, Beispiele und Wissen aufgelistet.

Bedeutung

Die Wichtigkeit für die Umsetzung von Tribologie-KnowHow in Produkte wurde klar herausgestellt und als das wichtigste Modul in dieser Auflistung angesehen. Ferner sehen einige die Umsetzung als die Hauptaufgabe des Tribologie-Experten an und die besten Möglichkeiten in der angewandten Forschung.

Prozess und Zeitschiene

Hier wird die Umsetzung als „mäßig“, „zu spät“, „zu gering“, „schleppend“ und „langwierig“ angesehen. Verbesserungsbedarf besteht auch bei der Entwicklung und Erforschung neuer (Reib-) Materialien. Der Fokus liegt oftmals mehr auf Kosten als auf technisch sinnvoller Umsetzung. Dies ist eine branchespezifisch unterschiedliche Sichtweise.

Lücken

Verschenktes Potenzial ist mehrfach genannt und auf das nicht gegenwärtige Bewusstsein zurückgeführt, mittels tribologischer Erkenntnisse nutzbringende Optimierungen ansteuern zu können. Die Darstellung der Potentiale hadert auch mit der Annahme, dass die Umsetzung durch die Anstrengungen der vergangenen Jahrzehnte vorausgesetzt wird.

Beispiele

Genannt wurden:

- verschleißfeste Beschichtungen in KFZ-Motoren, im Antriebsstrang und in der Fertigungstechnik
- angepasste Schmierstoffe und Additive
- Reibungsminimierung bei Sportgeräten

Wissen

Einige Kommentare verwiesen auf:

- Mangelnde Umsetzung von Erkenntnissen
- Fehlen von theoretischem Wissen
- zu wenig Wissen der Entwickler
- Wie kritisch ist das tribologische Wissen für das Produkt?

Betriebswirtschaftliche Bedeutung

Die Kommentare zu diesem Modul sind nach Relevanz, Lücken, Potential, und Umdenken gruppiert:

Relevanz

Durchweg wurde die Wichtigkeit der betriebswirtschaftlichen Bedeutung der Tribologie als sehr hoch bis hoch eingestuft. Es wurde auf schon veröffentlichte Zahlen und auf die Relevanz hinsichtlich der Kommunikation mit den Geldgebern verwiesen.

Lücken

Nach Aussagen der Befragten wird die betriebswirtschaftliche Bedeutung häufig unterschätzt, ist nicht bekannt, nicht quantifiziert, unklar vermittelt, nicht ausgeschöpft und deren Bewusstsein muss verbessert werden. Die „Total Cost of Ownership-Betrachtung“ wird nicht flächendeckend angewendet, daher wird auch die Verschleiß- und Kostenoptimierung nur unzureichend betrieben.

Potential

Die Tribologie hat einen signifikanten Anteil an der Kostensenkung. Genannt wurden:

- Energie
- Material
- verlängerte Lebensdauer von Produkten
- längere Standzeiten von Werkzeugen
- Verlängerung von Wartungsintervallen

Umdenken

Herausgehoben wurde, dass der Punkt der betriebswirtschaftlichen Bedeutung immer quantifiziert werden sollte, um Entscheider stärker zu sensibilisieren. Durch konservatives Denken verzögert sich das Umsetzen einer neuen Technologie bei gleichzeitiger Änderung von Werkstoffen. Als Beispiel wurde eine bestehende Vorschrift nur mineralöhlhaltige Produkte einzusetzen angeführt, obwohl man mineralölfrei fahren könnte.

Volkswirtschaftliche Bedeutung

Die Antworten zu der volkswirtschaftlichen Bedeutung der Tribologie wurden ähnlich der betriebswirtschaftlichen Bedeutung in Relevanz, Lücken und Potential eingeordnet.

Relevanz

Hier wurde die Wichtigkeit mit extrem hoch bis hoch beschrieben und auf diese Punkte verwiesen:

- insbesondere auch unter dem Aspekt CO₂-Reduktion
- im Hinblick auf Ressourcenschonung

- aber auch im Hinblick auf Innovation
- hinsichtlich Kommunikation in Richtung Geldgeber
- durch positiver Energie- und Umweltbeeinflussung
- steigend
- gerade in Bezug auf Optimierung existierender Systeme
- höher als mancher glaubt

Lücken

Neben der geringen Wahrnehmung der Tribologie im Bereich der Volkswirtschaft wird die Bedeutung deutlich unterschätzt; steht nicht im Fokus und ist nicht quantifiziert.

Potential

Das Potential durch die Tribologie, eine Effizienzsteigerung und CO₂-Reduzierung zu erreichen, ist zu wenig präsent in unserer Gesellschaft. Die Tribologie trifft jeden auch im Alltag und sichert direkt und indirekt Arbeitsplätze. Das Einsparpotential ist eine interessante und relevante Größe, welche jedoch für den Einzelnen nicht leicht greif- und quantifizierbar ist.

Umwelt

Die Antworten zum Modul Umwelt wurden ähnlich der zwei Vorangehenden Module in Relevanz und Potential eingeordnet sowie mit dem Thema Problematik ergänzt.

Relevanz

Die Relevanz wurde zum Thema Umwelt ähnlich denen der wirtschaftlichen Bedeutung als wichtig, steigend, extrem entscheidend, sehr wichtig, ausschlaggebend und hoch bewertet.

Potential

Die beispielhaften Antworten sind hier in den folgenden Fragmenten zitiert und bedürfen keiner weiteren Kommentierung:

- Tribologie = aktiver Umweltschutz.
- Rohstoff Ressourcen schützen.
- Die Verbesserung tribologischer Eigenschaften ist direkter Umweltschutz. Geringere tribologische Verluste verursachen weniger Schadstoffemission und Energieverbrauch.
- Tribologie ist eines der wichtigen Kriterien hinsichtlich CO₂-Reduktion und Ressourcenschonung. Hier besteht großes Potential.
- Zu wenig Bedeutung wird der Energieeinsparung durch verlängerte Lebensdauer beigemessen.
- Ressourcenschonung durch Recycling und MRO (Maintenance Repair Overhaul).

- Tribologie kommt jetzt und in Zukunft enorme Bedeutung im Bereich der Reduktion von CO₂-Emissionen und dem Erreichen der Klimaziele zu.

Problematik

Als kritisch werden folgende Kommentare der Befragten eingestuft:

- Die Tribologie wird jedoch meist nicht zielführend angewandt und als gegeben (*,nice to have'*) hingenommen.
- Die Kostenminimierung ist oft wichtiger. Bestimmte tribologisch wirkende Werkstoffe enthalten Feinstaub, Mikroplastik, die Substitution von Schadstoffen (Asbest, Schwermetalle) ist möglich, um einen Beitrag zur Brems-, Reifen- und Asphaltstaubreduzierung zu liefern.
- (Reibungs-)Verluste interessieren meist erst, wenn die Funktion z. B. durch erhöhte Temperaturen nicht mehr gewährleistet ist.

Aktuelle Forschungsthemen

Die Antworten zu den aktuellen Forschungsthemen sind sehr umfangreich und es stechen die Themen **E-Mobilität, Bio-/Medizintechnik, Schmierstoffe, Umwelt, Reibung/Verschleiß/Materialien** und **Sonstige** als Gruppierung heraus. Generell wurde kritisch angemerkt, dass oft leider nur an aktuellen Problemen/Fehlern gearbeitet wird. Zudem wird zu wenig an Grundlagen geforscht, um neue Wege zu eröffnen und Starrheit aufzubrechen.

E-Mobilität

Hierzu gab es mehrfache Nennungen zu den Themen *Bearbeitung neuer Legierungen* sowie *Werk- und Schmierstoffe*.

Bio-Medizintechnik

Biotribologie und Medizintechnik wurden mehrfach erwähnt mit Verweisen auf 100 %-fähige Systeme und künstliche Gewebe.

Schmierstoffe

Genannte Themen sind:

- fluidfreie Schmiersysteme
- intelligente Schmierung/Schmierstoffe
- Festschmierstoffe
- Einfluss von Schmierstoffen auf die Bauteillebensdauer bzw. -beanspruchung
- Wechselwirkungen Schmierstoff – Oberfläche
- Reibungsminderung durch Schmierstoffe

Umwelt

Umweltverträglichkeit wurde mehrfach genannt, neben:

- Emissionen
- Größe und Anzahl von Emissionspartikel
- regenerative Energieerzeugung und Nutzung

Reibung Verschleiß Materialien

Genannte Themen sind:

- Oberflächenbeschichtung und -strukturierung
- Schmierung in engen Spalten
- Reibungsreduktion bei Dichtungen
- Entwicklung von hochverschleißfesten Werkstoffen (metallisch)
- höhere Energieeffizienz durch Reibungsminderung in Hydrauliksystemen
- Tribologische Werkstoffe
- kein Öl, Fett oder Gleitlack in Reibpaarungen, jedoch Schmierstoffe (Nanotechnologie, Dampfphasenschmierung)
- neue Werkstoffe mit exzellenten tribologischen Eigenschaften
- Verschleißschutz/Reibminderung durch konstruktive Maßnahmen (u. a. auch Laserstrukturieren etc.)
- Verschleißbildung,

Sonstige

Andere nicht zu den o. g. Gruppierungen zählende Themen sind:

- Hochtemperatur(HT-) Tribologie
- Wechselwirkung Polymere – Schmierstoff – Metalle
- Übertragbarkeit von Modellversuchen auf Bauteile, z. B. Zahnräder
- Reifen
- Powertrain
- Kavitationserosion und tribokorrosive Wasserstoffentstehung
- bessere Abschätzung von Risiken bzgl. Ausfallmechanismen
- Mikro- und Nanotribologie
- Schadensvermeidung
- Digitalisierung
- Simulation

Zukünftige Entwicklungen

Für die zukünftigen Entwicklungen bieten sich die Gruppierungen Kommentare, Umwelt, Energie, Schmierung, alternative Antriebe, Informationstechnologie und Sonstige an. Im Vergleich zu den aktuellen Forschungsthemen ist die zukünftige Betrachtung weitreichender und zementiert, dass es der Tribologie nicht an Ideen und Konzepten fehlt.

Kommentare

Wenn die enorme Bedeutung der Tribologie für die insbesondere klimapolitischen Herausforderungen unserer Zeit bei den jeweiligen Entscheidungsträgern erkannt werden, ist mit einer verstärkten Förderung der Tribologie-Forschung und damit mit großen Fortschritten in allen vorher genannten Feldern zu rechnen.

Weitere stichpunktartige Antworten sind hier gelistet:

- Entscheidungsträger müssen die Wichtigkeit der Tribologie erkennen
- keine Revolution zu erwarten, sondern kleine Schritte
- wird leider politisch beeinflusst
- Tribologie schafft es nicht die Relevanz hervorzuheben
- es wird von vielen anderen Fachbereichen der Begriff gekapert und genutzt, obwohl die Arbeitsweisen und Inhalte nicht in der Tiefe behandelt werden, wie es in „reinen“ Tribologie Fachkreisen üblich ist
- viele unsinnige Arbeiten laufen, teilweise auch durch einfaches herumstochern in der Problematik
- Fragestellungen zu komplex für Kaufleute

Umwelt

Die Kontrolle von flüchtigen Stoffen und Partikelemissionen ist das dominierende Thema. Auch eine große Bedeutung hat der Umweltschutz und damit Kosten durch Energieeinsparung zu vermeiden.

Energie

Insbesondere im Bereich Energieverbrauch und Umweltbelastung durch Schmierstoffverbrauch besteht deutlicher Nachholbedarf.

Schmierung

Hier liegen die Herausforderungen alternative Schmierstoffe zu entwickeln, durch Minimierung des Einsatzes von Mineralöl; durch Einsatz von Trockenschmierung; sehr niedriger Viskosität und gleichzeitiger Kapazität zu kühlen sowie zu schmieren. Damit einhergeht ein sinkender Bedarf an Schmierstoffen durch die Elektrifizierung des Straßenverkehrs, die Substitution von Werk- und Schmierstoffen aufgrund von Umweltauflagen, und

veränderte Anforderungen an Werk- und Schmierstoffe durch alternative Antriebstechniken.

Alternative Antriebe

E-Mobilität erfordert höhere Drehzahlen, Wasserstofftechnologie bringt werkstoffspezifische Anforderungen mit sich. Triboakustik wird für die Elektromobilität und Aktuatorik an Relevanz zunehmen. Extrem erhöhte Lebensdauer- und Zuverlässigkeitsanforderungen werden beispielsweise im Bereich „Autonomes Fahren“ gefordert. Weiterhin ist die Antriebstechnik weiterzuentwickeln, um neue Antriebsstrangkonzepte (Batterie elektrisch, Hybrid, FC - Wasserstoff) voranzubringen. Alternative Antriebe ohne Batterie und keramische Werkstoffe sind weitere Themen, mit denen die Befragten in Zukunft beschäftigt sein werden.

Informationstechnologie

Um die Informationstechnologie sind die genannten Themen durch folgende Listung umfassend beschrieben:

- Datenvernetzung
- Künstliche Intelligenz
- Vorhersagbarkeit der Servicelebensdauer von Maschinenelementen
- Digital Twin, Digitalisierung im Schmierstoffmanagement
- Rechenmodelle zur Reibungsvorhersage auf Basis der Schmierstoffmolekülstruktur
- Modelle zur Beurteilung gebrauchter Schmierstoffe
- Rechenmodelle zur Beanspruchung in Bauteilen unter tribologischen Gesichtspunkten

Andere

Die oben nicht aufgeführten Themen sind:

- Oberflächenbeschichtung
- Langlebigkeit / Zuverlässigkeit
- Vermehrter Einsatz und Verwendung von Hochleistungspolymeren
- Optimierte Bauteiloberflächen

4 Weitere Aktivitäten und Zukunft der Tribologie

Alle bisher fokussierten Themenfelder geben einen guten Überblick zur Entwicklung der Tribologie bis hin zur Gegenwart. Von besonderem Interesse ist nunmehr die Frage, in welchen technischen, wirtschaftlichen als auch gesellschaftspolitischen Bereichen die Tribologie eine mitunter tragende Rolle spielen wird. Diese zukunftsgerichtete Betrachtung kann naturgemäß nicht frei

von spekulativen Aussagen und subjektiven Annahmen sein. Die in öffentlichen Medien seit geraumer Zeit laufenden Diskussionen über künftige Energieträger und Antriebstechnologien besitzen ebenfalls einen teils hochspekulativen Charakter.

Demgemäß sind die nachfolgenden ergänzenden Fragen inklusive deren Antworten einzustufen.[8]

1. In welchen Branchen beziehungsweise Themen liegt nach Ihrer Einschätzung in der Zukunft das größte Potenzial für die Tribologie. Betrachten Sie hierbei auch die aktuellen sowie zukünftigen politischen Zielrichtungen, Themen zur Umwelt, Zuwanderung, Arbeitsmarkt, (Diesel-)Fahrverbote usw.

Die Antworten fielen bei solch breitgefächelter Sichtweise ebenso vielschichtig aus, dennoch lässt sich folgendes zusammenfassende Resumé ziehen:

Mit dem Titel des Buchs von Werner Stehr „Tribologie ist überall“ lässt sich diese Frage optimal beantworten, da sich hierin die Mannigfaltigkeit der tribologischen Fragestellungen widerspiegelt. Jeder Teilnehmer der Interviews sah in seiner Branche noch Verbesserungspotenzial und somit auch künftig Bedarf an Erkenntnissen aus der Tribologie. Beispielhaft wurden Themen wie Gleit-/Reibkontakte sowie Branchen und Technologien wie Consumer electronics, Elektromobilität oder die Biomedizin genannt. Die Kunststoffindustrie sollte zudem mehr Anteile in der Antriebstechnik erhalten. Die Haptik bei elektronischen Kommunikationsmitteln wie Smartphones, Tablets und Computern ist aktuell ein relevantes Thema. In der Biotribologie, bei Implantaten wie etwa künstlichen Hüftgelenken oder Themen wie „die Reibung zwischen Zunge und Gaumen“, folglich der Nahrungsmittelindustrie, wird noch viel Potenzial zur Optimierung gesehen.

Jedoch steht eines der ursprünglichen Ziele der Tribologie nach wie vor im Vordergrund: die Verminderung der Reibung und die damit verbundene Verbesserung von Wirkungsgraden soll einen wesentlichen Beitrag zur Einsparung von Energie und somit Ressourcen liefern.

Im Hinblick auf die Lebensdauer von Produkten und somit die Minimierung von Verschleiß bleibt auch das zweite wichtige Thema in der Tribologie von höchstem Interesse. Es wird jedoch auch klar geäußert, dass hierbei durchaus wirtschaftliche Interessen dem entgegenstehen können, wenn die erhöhte Lebensdauer von Produkten folglich auch die Anzahl erforderlicher Erzeugnisse mindert, respektive den Umsatz und Gewinn von Industrieunternehmen.

Es wird ebenso gesehen, dass die Tribologie einen positiven Beitrag liefert hinsichtlich umweltfreundlicher Technologie und Produktion.

2. Wie ist Ihre Meinung zur E-Mobilität sowie zu anderen alternativen Antrieben? Sehen Sie hier neue tribologische Fragestellungen?

Die Antworten fielen differenziert und weitgefächert

aus, jedoch wird die E-Mobilität allgemein als gute Alternative zu Verbrennungsmotoren angesehen. Der mechanische Wirkungsgrad eines Elektromotors ist in etwa doppelt so hoch wie der eines Verbrennungsmotors. Auch die Politik und die Automobil-Industrie sehen derzeit die E-Mobilität als Zukunftstechnologie an, zumindest zu einem gewissen Anteil.

Betrachtet man diese Thematik jedoch im Detail wird offensichtlich, dass der technische Stand von Elektrofahrzeugen bislang noch nicht massentauglich ist. Für Kurzstrecken und Fahrten innerhalb einer Stadt reicht der aktuelle technische Stand aus, jedoch fehlen noch einige Entwicklungsschritte. Zum Beispiel der Bau, die Entsorgung und die Lebensdauer der Lithium-Ionen-technik sind erwiesenermaßen umweltschädlich und noch zu wenig effizient. Hierbei muss in andere Speichermedien investiert werden. Durch diese vielen Problematiken wird auch die Chance gesehen in andere alternative Antriebe zu investieren, um Entwicklungen voranzutreiben. Somit kann die Tribologie auch durchaus als ein Innovationstreiber verstanden werden, um Schlüsseltechnologien zu einem Durchbruch zu verhelfen.

Der Wasserstoffantrieb ist von der Energiedichte her der Batterie deutlich überlegen. Dies könnte ein wichtiger Faktor zum Umdenken in die Wasserstofftechnik sein. Diese Technologie wäre zudem umweltfreundlicher umzusetzen, zumindest aus heutiger Sicht. Die dafür zu nutzenden Rohstoffe wären langfristig und quasi uneingeschränkt verfügbar. Dies beträfe folglich unmittelbar die Mineralölindustrie, jedoch wird aus Sicht der Befragten hier auch eine Chance gesehen, dass heutige Mineralölfirmen künftig auch als Energielieferanten agieren könnten. Kritiker sehen im Bau und der Umsetzung eines Wasserstoffantriebes den aktuellen Stand mit seinem Umfeld noch nicht als ausreichend fortgeschritten im Vergleich zur E-Mobilität an.

Diese Antworten zur Einschätzung, welche Technologie mittel- und längerfristig Einzug erhalten, lassen noch keine klaren Aussagen ableiten, an welcher technologischen Stelle die Tribologie gefordert sein wird. Da sich sowohl die Beanspruchungskollektive (Lasten, Relativgeschwindigkeiten, Temperaturen) sowie die Werkstoffe und Medien ändern werden, liegen auch hier vermutlich die Themen der Zukunft.

3. Wie ist Ihre Meinung zu tribologischen Forschungen an Technologien zur Erzeugung erneuerbarer Energien? Sehen Sie hier neue tribologische Fragestellungen?

Anhand der nachfolgend zusammengefassten Argumente auf Basis der Antworten lässt sich schon jetzt ableiten, dass hier ein weiteres Themenfeld zu erkennen ist, in dem die Tribologie ihren Anteil haben wird. Laut Aussage der Teilnehmer gibt es im Themenfeld erneuerbare Energien noch erheblichen Entwicklungsbedarf. Da die Politik aktuell die Klimawende einleiten will und immer mehr auf erneuerbare Energien setzt, wird diese Branche ein Teil der Zukunft sein. Die Optimierung dieser Technologien wird unterstützend sein,

die Energieeffizienz zu erhöhen, die Produktlebensdauer zu verbessern und die Ressourcenschonung voranzutreiben. Auch die Geräuschreduzierung in der Windkraft hat Optimierungspotenzial, um die gesellschaftliche Akzeptanz weiterhin zu verbessern. Durch Schmutz und Wechselbeanspruchungen der Lagerungen ist deren Lebensdauer bisher noch nicht maximiert. Verbesserungen in diesem Bereich würden die Wirtschaftlichkeit von Windkraftanlagen nochmals deutlich erhöhen.

4. Wie hoch stufen Sie den Einfluss der Politik auf die zukünftigen Trends der Technologien ein?

Die hierauf geäußerten Antworten zielen im Wesentlichen darauf ab, dass man auf politischer Ebene die notwendigen Sachkenntnisse als nicht ausreichend vorhanden ansieht.

Grundsätzlich sehen die Befragten einen klaren Auftrag in der Politik, gewisse Ziele vorzugeben, hierfür jedoch auch die erforderlichen Ressourcen, respektive Forschungsgelder, zur Verfügung zu stellen. Nur durch eine stringente Forschungsstrategie lassen sich an die Politik, Gesellschaft und schlussendlich die Tribologie gestellten Aufgaben auch bewältigen.

Die nachfolgende und abschließende Interviewfrage zielt auf die grundsätzliche Relevanz der Tribologie ab und lautet:

5. Spielt die Tribologie nach Ihrer Einschätzung im Umwelt- und Klimaschutz eine relevante Rolle und wenn ja, welche?

Die Antworten ergaben hierauf einen interessanten Aspekt, der die Nachhaltigkeit erwähnt, die durch tribologische Optimierung gesehen wird.

Demnach kann eine tribologische Optimierung in Umwelt und Klimaschutz sehr kurzfristig eher wenig bewirken. Sicherlich könnte beispielsweise im Bereich der Reifenindustrie der Abrieb von Reifen noch weiterhin reduziert werden. Dies wäre jedoch auch nur innerhalb gewisser Grenzen möglich.

Betrachtet man jedoch die Aufgaben und Ziele der Tribologie auf einer größeren Zeitskala, so wirken sich Maßnahmen durch die Optimierung tribologischer Systeme sicherlich positiv und nachhaltig auf den Energieverbrauch als auch den Verbrauch wertvoller Ressourcen aus.

In einigen seitens der Bundesregierung aufgelegten Förderprogrammen werden diese Nachhaltigkeitsaspekte bereits seit Jahren gezielt adressiert, um zu gewährleisten, dass Forschungsprojekte, welche mit öffentlichen Mitteln finanziert sind, auch diesen Aufgaben nachgehen.

Eine Sonderstellung, welche der Tribologie aufgrund der Interdisziplinarität zweifelsfrei zukommt gegenüber anderen singulären Disziplinen, scheint jedoch nach wie vor noch nicht auf politischer Ebene durchgängig anerkannt zu sein.

Tribologie in Deutschland – Querschnittstechnologie zur Minderung von CO₂-Emissionen und zur Ressourcenschonung [9]

Eine Expertengruppe aus Mitgliedern des Vorstandes und des Beirats der GfT hat ein detailliertes Technologiepapier mit dem folgenden Inhalt verfasst:

- A. Volkswirtschaftliche Bedeutung
- B. Energetische Bedeutung der Tribologie
- C. Reibungsoptimierung in der Mobilität
- D. Umweltpolitische Bedeutung im Licht gesellschaftspolitischer Diskussionen
- E. Alternative Antriebe
- F. Lehre und Forschung

In der Zusammenfassung zeigen sie mehrere Punkte, bei denen die Tribologie einen hohen Beitrag leisten kann, auf.

– CO₂-Einsparungen durch Reibungsminderungen

Motorische Reibungsverluste haben ein Einsparpotential von 30 %, wenn tribologische Maßnahmen wie niedrig viskoseres Öl, gemeinsam mit neuen Oberflächentechnologien eingesetzt werden. Darüber hinaus offeriert die Tribologie Lösungen zur mechanischen Rekuperation von Abgaswärme. Zusätzliche Reibreduktionspotenziale im Antriebsstrang (Getriebe, Radlager, Nebenaggregate etc.) sind auch für Antriebskonzepte neben dem Verbrennungsmotor anwendbar.

– Elektromobilität

Neuentwicklungen von Funktionsflüssigkeiten wie Schmierfette für Wälzlager, Kühlmittel (für Batterie, E-Motor und Leistungselektronik) und Getriebeöle (z. B. für hochdrehende Planetenradsätze) sind notwendig, um die Effizienz zu steigern. Die multidisziplinäre Tribologie wird die Kompatibilität mit elektrischen Modulen unterstützen.

– Luftreinhaltung

Neben Stickoxiden spielen Partikelemissionen eine große Rolle in der Luft. Die Rußpartikelemissionen durch Verbrennungsmotoren sind nur ein kleiner Bestandteil. So haben Abrieb von Bremsen und Reifen einen großen Anteil hieran. Die Tribologie, insbesondere in der Feststoffschmierung, kann einen großen Beitrag zur Entlastung dieser Emissionen beitragen.

– CO₂-neutrale Energieträger

Neben der Nutzung von Biomasse und synthetischen flüssigen Kraftstoffen werden in dem Energie-Mix auch synthetische Gase wie Methan und Wasserstoff zum Tragen kommen. Letzteres stellt die Tribologie vor neue

Herausforderungen bei der Verdichtung, Lagerung, Verteilung und Nutzung im Fahrzeug. Steckverbindungen, Lager, dynamische und statische Dichtungen, Kolbenringe, Ventile und andere Gleitpaarungen benötigen Materialien, die gegen Wasserstoffversprödung beständig sind und gleichzeitig wirtschaftlich bleiben.

– Umweltschonung

Der Anteil an mineralölbasierenden Schmierstoffen liegt bei über 90 %, wobei die Gesamtschmierstoffmenge in Deutschland ca. 1 % der Kraftstoffmenge entspricht. Synthetische Schmierstoffe können ebenso wie synthetische Kraftstoffe aus erneuerbarer Energie gewonnen werden und haben eine deutlich längere Einsatzzeit im Vergleich zu mineralölbasierenden. Anwendungen, bei denen sich ein Eintrag in die Umwelt nicht vermeiden lässt, können sehr gut mit Bioschmierstoffen bedient werden.

– Substitute für Verbote

Über Jahrzehnte sind durch die Umwelt- & Chemikalienpolitik und die Chemische Industrie als Lieferant große Fortschritte in der Eliminierung von toxischen Substanzen erzielt worden. Diese Eliminierung wird durch weitere Substitutionen für bewährte und eingeführte Beschichtungen oder Werkstoffe sowie für viele in Schmierstoffen gebräuchlichen Funktionsadditive weitergehen. Hier leistet die Tribologie durch die Entwicklung von Alternativen einen erheblichen Beitrag.

– Forschung

Die Forschung für tribologische Themen wurde in den 60er Jahren durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) mit dem Schwerpunktprogramm „Grundlagenforschung Verschleiß, Reibung und Schmierung“ gefördert. Darauf folgten die Förderung von 181 Einzelvorhaben mit dem Schwerpunkt „Tribologie“ durch das Bundesministerium für Forschung und Technologie (BMFT) und nochmals von 1986-1991 der Förderbereich „Tribologie“, ebenfalls durch das BMFT. Die Tribologie stellte danach innerhalb der Forschungsträger kein Förderungsfeld mehr dar, obwohl es als omnipräsente Querschnittstechnologie bedeutende Beiträge leisten konnte. Im Jahre 2017 hat das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) das „Forschungsfeld Tribologie“ initiiert. Hier ist das Ziel die Verringerung von CO₂ durch Reibungsreduktion.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Die Befragung umfasste die Bereiche zum **persönlichen Umfeld der Teilnehmer**, zur **Bestandsaufnahme der Tribologie** und den **Ausblick** hinsichtlich künftig erwarteter Schwerpunkte.

Der/die *Tribologe/in* ist mit hoher Wahrscheinlichkeit promoviert im Fach Maschinenbau, in Fachverbänden

mit tribologischem Bezug aktiv, bei kleinen, mittleren und gleichermaßen großen Unternehmen mit Auslandsaktivitäten beschäftigt. Innerhalb der Unternehmen gibt es Stellen mit sehr wenig bis hin zu hauptsächlichem Bezug zur Tribologie. Sein hoher Anteil an täglichen tribologischen Fragestellungen haben mit Reibung/Verschleiß und deren Prüfung/Analytik zu tun.

Die Anzahl von Hochschulen mit tribologischen Anteilen wurden weitgefächert mit einem Mittelwert von 27 angegeben. Diese Zahl steht im Widerspruch zur Studie von 2014 und resultiert aus einer nicht ausreichenden Kenntnis der aktuellen Hochschullandschaft. Zu den Weiterbildungseinrichtungen und Tagungen/Workshops stellt sich eine Verteilung auf Maschinenbau ausgerichteten Veranstaltungen und solche mit Schmierstoff Lastigkeit heraus. Der Tribologische Anteil am Gesamtbudget von Forschungseinrichtungen bei Instituten beträgt meistens nur 1-5 % mit einem großen Teil nur bei <1 %. Qualitativ befassen sich die Fraunhofer-Institute und die Ressortforschung mehr mit der Tribologie. Bei den Projekten kann man als Fazit anmerken, dass die staatlich geförderten Projekte in einer viel höheren Anzahl erscheinen. Jedoch wird das Gesamtbudget gegenüber den Stiftungen kleiner eingeschätzt. Eine erste Abschätzung zur Anzahl der Mitarbeiter in der industriellen tribologischen Forschung ergab eine Verteilung auf die Bereiche Geräteproduktion, Transport, Energie und Chemie.

Beim Ausblick hinsichtlich der tribologischen Umsetzung in Produkte wird das verschenkte Potenzial klar herausgestellt und auf das nicht gegenwärtige Bewusstsein zurückgeführt, mittels tribologischer Erkenntnisse nutzbringende Optimierungen ansteuern zu können. Die Antworten zu der volkswirtschaftlichen und betriebswirtschaftlichen Bedeutung der Tribologie wurden bezüglich ihrer Relevanz, und ihres Potentials klar herausgestellt, jedoch müssen diese quantifiziert sein, um zu sensibilisieren. Ähnlich verhält es sich beim Thema Umwelt mit Relevanz und Potential. Hinzu kommt die Problematik, dass die Tribologie meist nicht zielführend angewandt wird, die Kostenminimierung oft wichtiger ist und Reibungsverluste erst interessieren, wenn die Funktion nicht mehr gewährleistet ist. Die aktuellen Forschungsthemen sind sehr umfangreich und es stechen die Themen E-Mobilität, Bio-/Medizintechnik, Schmierstoffe, Umwelt, Reibung/Verschleiß/Materialien heraus. Generell wurde kritisch angemerkt, dass oft leider nur an aktuellen Problemen gearbeitet und zudem zu wenig an Grundlagen geforscht wird. Für die zukünftigen Entwicklungen liegen die Schwerpunkte auf Umwelt, Energie, Schmierung, alternative Antriebe und Informationstechnologie. Herauszuheben ist, dass im Gegensatz zu den aktuellen Forschungsthemen die zukünftige Betrachtung weitreichender ausgeführt wird. Das zementiert, dass es der Tribologie nicht an Ideen und Konzepten fehlt.

Die Studien aus der Vergangenheit verdeutlichen die Aktualität und Notwendigkeit wiederkehrender Studien. Diese sollten fester Bestandteil bleiben, insbesondere zur Quantifizierung der Potentiale und als Plattform einer engeren Zusammenarbeit/Kommunikation mit den angrenzenden Disziplinen. Dies kommt auch in den beiden beispielhaft aufgeführten abschließenden Kommentaren der Befragten zum Ausdruck. Diese merken an, dass mehr Lobbyarbeit für tribologische Themen notwendig ist und der Teil des Ausblicks einer deutlichen Weiterführung bedarf.

Danksagung

Dank gilt der Gesellschaft für Tribologie, die diese Studie in Auftrag gegeben hat, sowie der Hochschule Mannheim durch die Unterstützung des Kompetenzzentrums Tribologie.

Literatur

- [1] K. Kirschke, H. Czichos, K.-H. Habig und P. Studt, Tribologie – Forschungsbericht zum Schwerpunktprogramm Reibung, Verschleiss, Schmierung; 1971, Franz Steiner Verlag GmbH, Wiesbaden
- [2] O. Pinkus and D.F. Wilcock, Strategy for Energy Conservation through Tribology, 1977, The American Society of Mechanical Engineers, New York, NY 10016-5990, USA
- [3] H.P. Jost and J. Schofield, Energy savings through tribology: a techno-economic study, Proc. Instn. Mech. Eng., 1981, 195(16):151–73.
- [4] W.J. Bartz, Energieeinsparung durch tribologische Maßnahmen, 6. Int. Colloquium Tribology, 1988, Vol. I, 1.2-1/1.2.12, ISBN 3-924813-19-1
- [5] K. Holmberg, P. Andersson and A. Erdemir, Global Energy Consumption due to Friction in Passenger Cars, Tribology International 47 (2012) 221–234
- [6] R. W. Schmitt: „Studie zur Ermittlung der tribologischen Aktivitäten an deutschen Hochschulen“, Gesellschaft für Tribologie e.V., 2014
- [7] STLE Emerging Trends Report., 2017 www.stle.org.
- [8] S. Stolz, Tribologie in Deutschland – eine nationale Studie zur Ermittlung des Umsetzungsgrades tribologischer Erkenntnisse im industriellen Umfeld hinsichtlich Technologie sowie betriebs- und volkswirtschaftlicher Relevanz, Bachelorarbeit Hochschule Mannheim, 2019.
- [9] M. Woydt, T. Gradt, T. Hosenfeldt, R. Luther, A. Rienäcker, F.-J. Wetzel, C. Wiencierz, Tribologie in Deutschland – Querschnittstechnologie zur Minderung von CO₂-Emissionen und zur Ressourcenschonung, www.gft-ev.de, 2019.