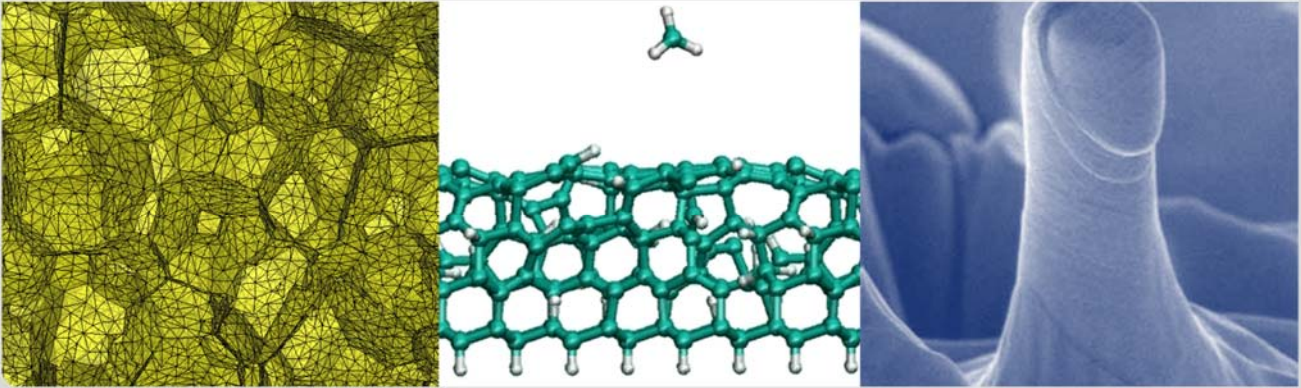


## Schwerpunkt 47: Tribologie

Koordinator: Prof. Dr. Peter Gumbsch, IAM-CMS

INSTITUT FÜR ANGEWANDTE MATERIALIEN -- IAM-CMS



KIT – Universität des Landes Baden-Württemberg und  
nationales Forschungszentrum in der Helmholtz-Gemeinschaft

[www.kit.edu](http://www.kit.edu)

### SP47 Tribologie -- Vorlesungsangebot

Kat.	V.-Nr.	Vorlesung	Dozent/in	SWS	Sem.	LP	Institut
K	2181113	<b>Tribologie (Kernfach)</b>	M. Scherge, M. Dienwiebel	4	W	8	IAM-CMS
E	2182115	Praktikum Tribologie ( <i>neu ab SS 2016</i> )	J. Schneider, M. Dienwiebel	3	S	4	IAM-CMS
E	2181220	Kontaktmechanik (neu ab WS 2015/2016)	L. Pastewka	3	W	4	IAM-CMS
E	2182572	Schadenskunde	C. Greiner, J. Schneider	2	W	4	IAM-CMS
E	2145181	Angewandte Tribologie in der industriellen Produktentwicklung	A. Albers, W. Burger	2	W	4	IPEK
E	2146180	Antriebssystemtechnik A: Fahrzeugantriebssysteme	A. Albers, S. Ott	2	S	4	IPEK
E	2181712	Nanotribologie und -mechanik	M. Dienwiebel, H. Hölscher	2	W	4	IAM-CMS
E	2142861	Nanotechnologie für Ingenieure und Naturwissenschaftler	H. Hölscher, M. Dienwiebel, S. Walheim	2	S	4	IAM-CMS
E	2181740	Atomistic Simulations und Molecular Dynamics	L. Pastewka, P. Gumbsch	2	S	4	IAM-CMS
E	2178643	Aufbau und Eigenschaften verschleißfester Werkstoffe	S. Ulrich	2	S	4	IAM-AWP
E	2177618	Superharte Dünnschichtmaterialien	S. Ulrich	2	W	4	IAM-AWP
E	2173590	Polymerengineering I	P. Elsner	2	W	4	IAM-WK

Weitere Ergänzungsfächer nach Absprache mit Dozent/in und Genehmigung durch Prof. Gumbsch möglich!

Tribologie ist die Wissenschaft und Technik von aufeinander einwirkenden **Oberflächen in Relativbewegung**

### Reibung

- ↪ Vorgang, der zum Verlust an mechanischer Energie bei Beginn, Ablauf oder Beenden einer Relativbewegung sich berührender Stoffbereiche führt.



### Verschleiß

- ↪ fortschreitender Materialverlust aus der Oberfläche eines festen Körpers, hervorgerufen durch mechanische Ursachen, d.h. Kontakt und Relativbewegung eines festen, flüssigen oder gasförmigen Gegenkörpers

### Schmierung

- ↪ Trennung von Festkörperkontakten durch einen hydrostatisch, hydrodynamisch bzw. aerodynamisch erzeugten Schmierfilm

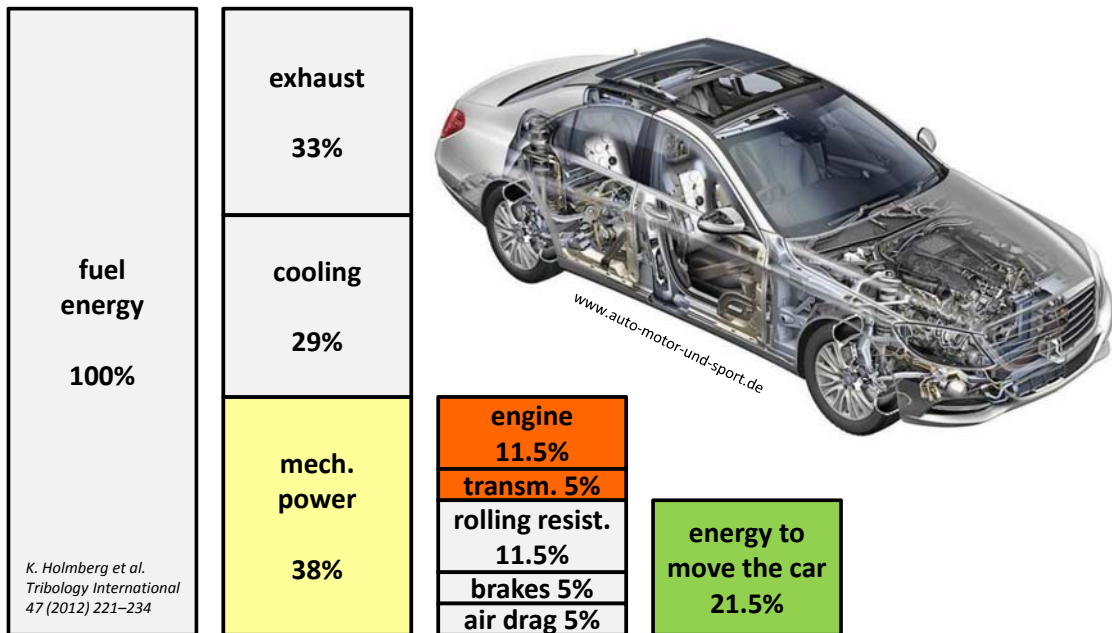
### ökonomische Verluste durch Verschleiß

- ↪ etwa 2 bis 7% des Bruttonettoproduktes (ca. 35 Mrd. € / Jahr alleine in Deutschland!)
- ↪ bis zu 10% der eingesetzten Primärenergie
  - **direkte Verluste** durch Erneuerung oder Überarbeitung von Bauteilen
  - **indirekte Verluste** durch Produktionsausfälle, Wartungskosten, Lagerhaltung
  - **zusätzliche Verluste** durch verteuerte Produktion, verschlechterte Qualität und Produktivität sowie Verlust von Marktanteilen

### Anwendung tribologischen Wissens erlaubt die Nutzung

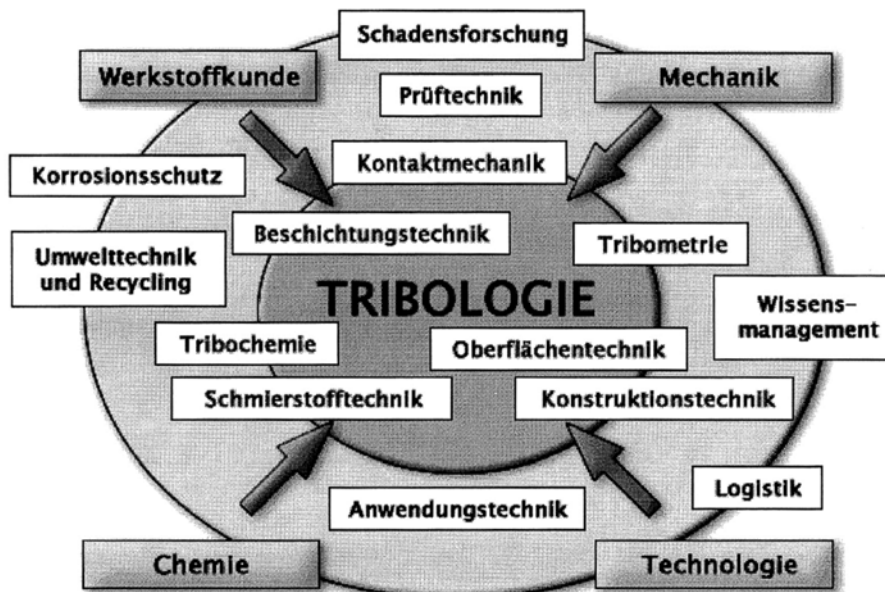
- ↪ **ökonomischer Vorteile** (mit heutigem Wissen 5 Mrd. € / Jahr in D einsparbar!)
  - Erhöhung der Zuverlässigkeit und Lebensdauer
  - Verlängerung von Wartungsintervallen
  - Verzicht auf Schmiermedien
- ↪ **technischer Vorteile**
  - Erhöhung von Leistung, Leistungsdichte und Wirkungsgrad
- ↪ **ökologischer Vorteile**
  - Verringerung der Umweltbelastung durch toxische Medien

**Aufschlüsselung des Energieverbrauchs in einem PKW**



K. Holmberg et al.  
 Tribology International  
 47 (2012) 221-234

*Ideal, wenn der eigene Tellerrand nicht das Ende sein soll ...*

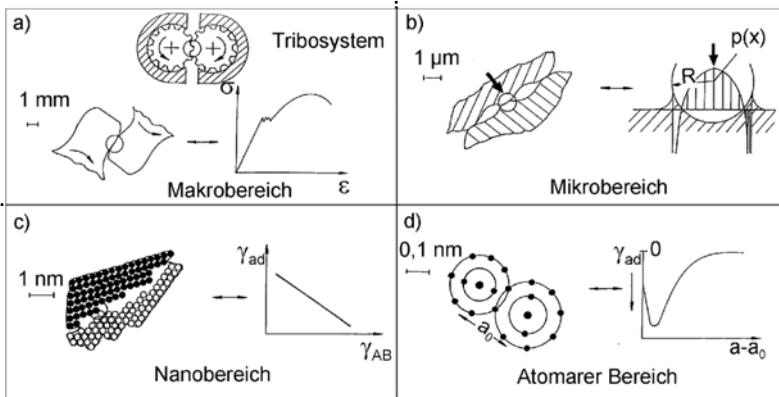


**"Die Tribologie ist ein interdisziplinäres Fachgebiet zur Optimierung mechanischer Technologien durch Verminderung reibungs- und verschleißbedingter Energie- und Stoffverluste."** (Czichos,1992)

- Form und Größe der scheinbaren Kontaktfläche (Flächenpressung)
- Festigkeit, Härte, Elastizitätsmodul

**Makro Mikro**

- elastisch-plastische Verformung einzelner Oberflächenrauheiten
- Bildung von Reaktionsschichten
- Mikrofurchung, Rissbildung



- Entstehung von Gitterbaufehler
- Grenzflächendiffusion
- adhäsive Wechselwirkungen mit molekularen oder atomarem Materialübertrag
- lokales Aufschmelzen, Abdampfen
- Adsorption von Atomen und Molekülen

**Nano Atomar**

- Wirkung von Sekundär- oder Primärbindungen

**Gemeinsam bewegen wir die Welt**

**Zukunft gestalten bei Schaeffler**

Schaeffler - das ist die Passion eines internationalen Technologie-Konzerns, verbunden mit der Kultur eines Familienunternehmens. Als Partner sind besterbeten Autohersteller sowie zahlreicher Kunden im Industriesektor dabei wir ihnen alle Raum für ihre persönliche Entfaltung. Die Basis dafür bildet eine kongeniale Arbeitsatmosphäre - ganz nach unserem Motto: Gemeinsam bewegen wir die Welt.

Wir suchen Sie zur Verstärkung unseres Teams als

**Entwicklungsingenieur/in Grundlagen Tribologie**

Referenzcode: DE-C1-H2A-14-06432  
 Standort(e): Herzogenaurach

Als erfahrener Entwicklungsingenieur werden Sie einen wertvollen Beitrag zu einem ganzheitlichen Verständnis von Reibung und Verschleiß in den Bereichen Ventil- und Kettentriebe, Getriebe, Koppeln, Wippen- und Pleuellager.

**Ihre Aufgaben**

- Entwicklung tribologischer Systeme und Oberflächen
- Beschreibung tribologischer Oberflächen (chemisch und topografisch) mittels Analyse
- Unterstützung bei der Modellentwicklung für die Vorhersage der Reibung und Verschleiß
- Leitung von und Mitarbeit in Projekten sowie Erstellung von Anträgen externer geförderter Projekte
- Durchführung von verteilten Schulungen und Beratungen für Schaeffler-Mitarbeiter sowie Teilnahme an internationalen Konferenzen und Fachtagungen

**Ihr Profil**

- Abgeschlossenes Hochschulstudium im Bereich Tribologie, Materialwissenschaften, Maschinenbau, Verfahrenstechnik, Chemie oder Feldbereich mit entsprechender Vertiefung
- ausgeprägtes Promotum auf dem Gebiet der Tribologie
- langjährige Berufserfahrung in der Entwicklung tribologischer Systeme sowie in der Projektarbeit
- hervorragende Deutsch- und Englischkenntnisse
- Proaktive, lösungsorientierte Arbeitsweise sowie unternehmerisches und vernetztes Denken
- hohe Kunden- und Teamorientierung, Kommunikationsstärke sowie interkulturelle Kompetenz

Spannende Aufgaben und hervorragende Entwicklungsmöglichkeiten werden auf Sie, denn wir gestalten die Zukunft mit Innovationen. Sie wollen mit uns die Welt bewegen? Wir freuen uns, Sie kennenzulernen.

**SCHAEFFLER**  
 LUK INA FAG

**Entwicklungsingenieur/Applikationsingenieur für Reibsysteme/Tribologie (m/w) ☆**

Firma **Hay AG**

Region 80803 München

Vertragsart Andere

Jobinfo

Entwicklung von neuen Reibmaterialien für Synchronringe Optimierung von vorhandenen Reibmaterialien im Bezug auf technische Funktionalität und Qualität Partizipation an diversen Kundenprojekten Produktentwicklung im Bereich Reibkomponenten

**ENTWICKLER (m/w) ORG. REIBBELÄGE / TRIBOLOGIE ☆**

Gehalt 60.000 - 80.000

Region München, Bayern

Jobinfo

PMA-SERVICE - Ihr Partner in allen Personalfragen Einstelldatum: 08. October 2014 ENTWICKLER (m/w) ORG. REIBBELÄGE / TRIBOLOGIE (stellvert. PROJEKTLEITUNG) ? AUTOMOTIVE - GLOBAL PLAYER Kennziffer: ID # 20140094 MANN GKAM PF Arbeitsort: Oberbayern, GR München Unser Mandant ist ein bekannter Automotive-Zulieferer und global player. Mit 6000 Mitarbeitern (in Deutschland 1200) gehört man zu den führenden Unternehmen seiner Branche. Wir suchen ab sofort ENTWICKLER / CHEMIKER (m/w) ORG. REIBBELÄGE / TRIBOLOGIE (stellvert. PROJEKTLEITUNG) ? AUTOMOTIVE - GLOBAL PLAYER Aufgaben: - Entwicklung innovativer...

**Tribologen (m/w) / 253862/1 ☆**

Region Baden-Württemberg

Vertragsart Freelance

Jobinfo

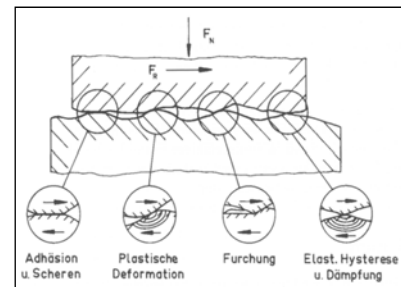
Freelancer Projekt - Wir sind das weltweit führende Rekrutierungsunternehmen für hoch qualifizierte Spezialisten. Unser Unternehmen ist im privaten wie im öffentlichen Sektor tätig und vermittelt Experten im Rahmen der Arbeitnehmerüberlassung, für Festanstellungen und für Projekte. Im deutschsprachigen Raum sind wir auf die Berufsgruppen IT, Engineering, Construction & Property, Finance, Life Sciences, Healthcare, Sales & Marketing, Retail sowie Legal fokussiert. [...] Messung von Reibwerten in einem tribologischen System Untersuchung der Oberflächen Simulation und Berechnung der Reibwerte und -kräfte...



**Kernfach**  
**Tribologie**  
 (Scherge / Dienwiebel, IAM-CMS)

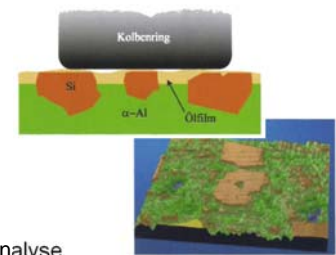
**Ziel**

- Vermittlung der **Grundlagen der Tribologie** als Schnittstelle zwischen Physik, Chemie und Materialwissenschaften
- Vorstellung von **Messmethoden zur Bestimmung tribologischer Größen** und grundlegender Prinzipien **oberflächen-analytischer Methoden** zur Charakterisierung tribologisch belasteter Wirkflächen



**Inhalte**

- **Reibung**  
 Adhäsion, geometrischer + realer Kontakt, Reibungsexperiment, Reibung + Kontaktfläche, Reibleistung, Reibleistungsdichte, tribologische Beanspruchung, Umwelteinflüsse, tribologisches Lebensalter, Kontaktmodelle, Simulation realer Kontakte, ...
- **Verschleiß**  
 plastisches Fließen, Dissipationspfade, mechanische Vermischung, Dynamik dritter Körper, Einlauf, Einlaufdynamik, ...
- **Schmierung**  
 Stribeckkurve, Reibungsregimes, Ölartern, Additive, Ölanalytik, Feststoffschmierung
- **Messtechnik**  
 Tribometrie, Leistungsumsatz, konventionelle + kontinuierliche Verschleißmessung (RNT)
- **Rauheit**  
 Profilometrie, Profilkenngrößen, Traganteilkurve, Messfehler, ...
- **Analytik**  
 skalenübergreifende Topographiemessung, chemische Analytik, Strukturanalyse, mech. Analyse



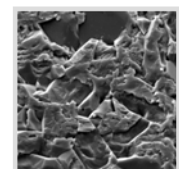
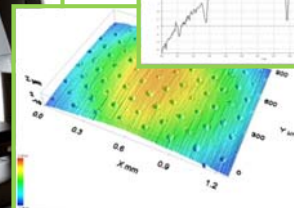
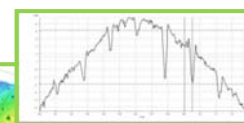
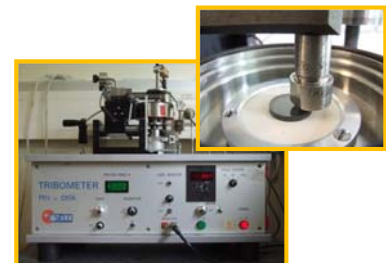
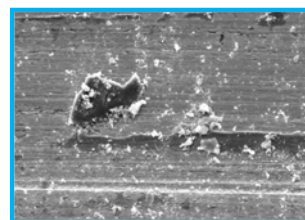
**Ergänzungsfach**  
**Praktikum "Tribologie"**  
 (Schneider / Dienwiebel, IAM-CMS)

**Ziel**

- Anhand unterschiedlicher tribologischer Modellexperimente lernen Sie wichtige **Messmethoden zur Bestimmung von Reibung und Verschleiß-Kennwerten** sowie die grundlegenden **Verfahren zur Charakterisierung tribologisch belasteter Wirkflächen** hinsichtlich von Verschleißerscheinungsformen und -mechanismen

**Inhalte**

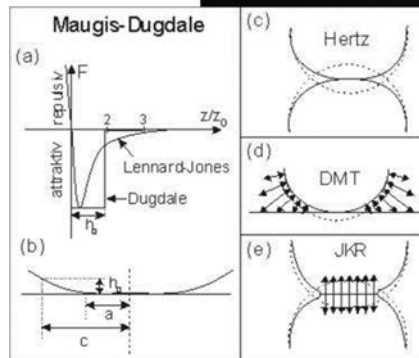
- **Tribologische Modellexperimente**
  - unterschiedliche Beanspruchungsszenarien
  - unterschiedliche Materialpaarungen
  - ...
- **Topographische Charakterisierung**
  - taktile und optische Messverfahren
- **Mikroskopische Charakterisierung**
  - licht- und elektronenmikroskopische Verfahren incl. Oberflächenanalytik
- **Mechanische Charakterisierung**
  - registrierende Mikro-Härteprüfung
- ...



**Inhalt**

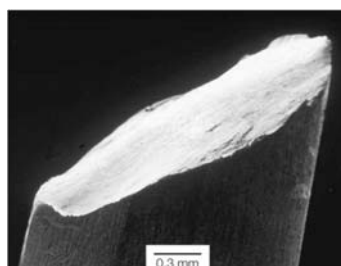
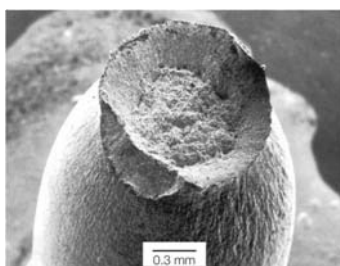
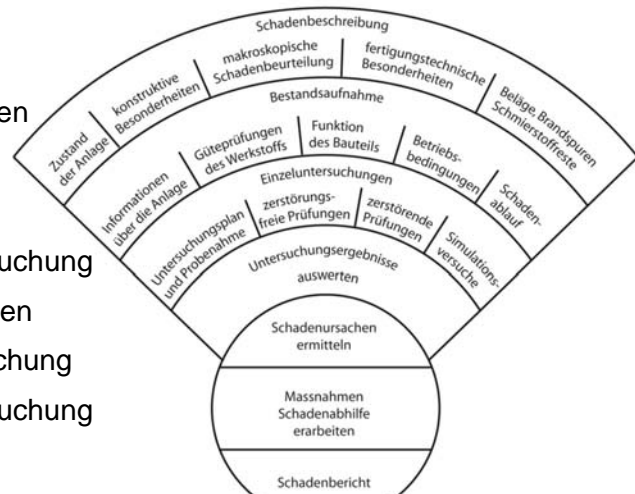
Die Vorlesung gibt eine Einführung in die Kontaktmechanik glatter und rauher Oberflächen in nicht-adhäsiven und adhäsiven Grenzfällen. Parallel zu der Vorlesung wird eine Computerübung angeboten, in der kontaktmechanische Probleme numerisch gelöst werden.

- Einführung: Kontaktfläche und Kontaktsteifigkeit
- Elastische Halbraumtheorie
- Kontakt nichtadhäsiver Kugeln
- Physikalische Grundlagen adhäsiver Wechselwirkungen
- Kontakt adhäsiver Kugeln
- Oberflächenrauigkeit
- Kontakt nichtadhäsiver rauher Oberflächen
- Kontakt adhäsiver rauher Oberflächen
- Kontakt rauher Kugeln
- Tangential- und gleitender Kontakt
- Anwendungen von Kontaktmechanik



**Inhalt**

- Ziel, Ablauf und Inhalt von Schadensanalysen
- Untersuchungsmethoden
- Schadensarten
  - Schäden durch mechanische Beanspruchung
  - Versagen durch Korrosion in Elektrolyten
  - Versagen durch thermische Beanspruchung
  - Versagen durch tribologische Beanspruchung
- Grundzüge der Versagensbetrachtung



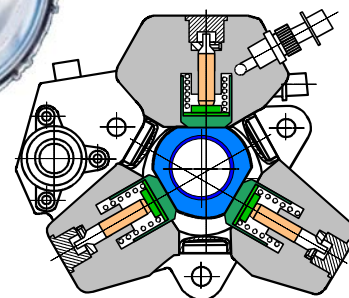
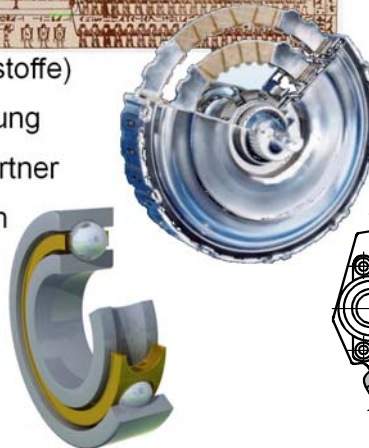
**Ergänzungsfach**  
**Angewandte Tribologie in der industriellen**  
**Produktentwicklung (Albers, Burger, IPEK)**

**Ziel**

Anhand von Beispielen aus der **Automobilindustrie** wird die Vielfalt der Tribologie und die Besonderheiten der **geschmierten Wirkpartner** diskutiert

**Inhalte**

- Reibung
- Verschleiß, Verschleißprüfung
- Schmiermittel (Öle, Fette, Festschmierstoffe)
- Elasto- und hydrodynamische Schmierung
- Tribologische Auslegung der Kontaktpartner
- Messtechnik in geschmierten Kontakten
- Schadensfälle und deren Vermeidung
- Oberflächenschutzschichten
- Gleitlager, Wälzlager
- Zahnradpaarungen, Getriebe



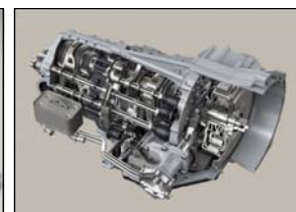
**Ergänzungsfach**  
**Antriebssystemtechnik A: Fahrzeugantriebssysteme**  
**(Albers, Ott, IPEK)**

**Ziel**

Vermittlung der grundlegenden Kompetenzen zum Design energieeffizienter und gleichzeitig komfortabel fahrbarer **Antriebssystemlösungen**

**Inhalte**

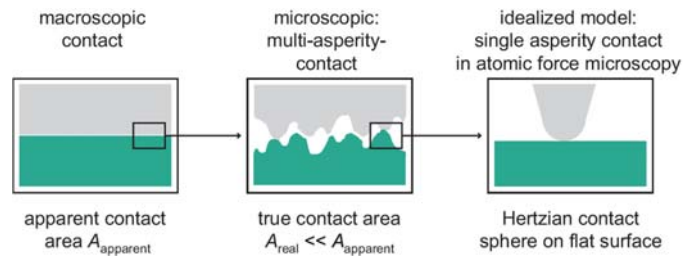
- System Antriebsstrang
- System Fahrer
- System Umgebung
- Systemkomponenten
  - ZMS
  - Kupplung
  - Getriebe
- Entwicklungsprozess
  - real
  - virtuell





**Ziel**

Vermittlung der physikalischen Grundlagen und einfachen Modelle sowie der experimentellen Methoden der **Nanotribologie**



**Inhalte**

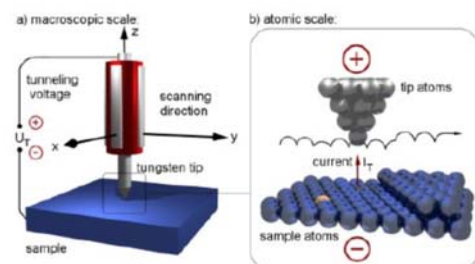
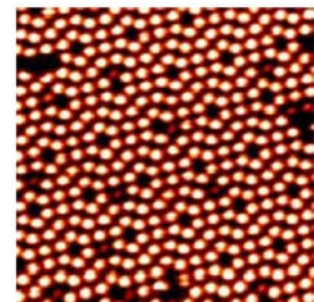
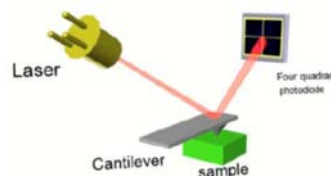
- Nanotechnologie -- Ideen, Prinzipien, Historische Entwicklung
- Kräfte auf der Nanometerskala -- Van-der-Waals Kräfte, Kontaktmodelle (Hertz, JKR, ...)
- Nanoanalytik -- Klassische Methoden, Raster-Sonden-Methoden
- Atomare Reibung -- Tomlinson-Prandtl Modell, Anwendungen
- Abrieb -- Experimentelle Methoden, Theoretische Modelle
- Reibung in Mikrosystemen -- Einfluss von Rauigkeiten, Trockene Schmiermittel

**Ziel**

Einführung in die wesentlichen **Messprinzipien der Raster-Sonden-Methoden** für die Analyse der physikalischen und chemischen Eigenschaften von Oberflächen

**Inhalt**

- Einführung in die Nanotechnologie
- Historie der Rastersondenmethoden
- Rastertunnelmikroskopie (STM)
- Rasterkraftmikroskopie (AFM)
- Dynamische Messmoden (DFM, ncAFM, MFM, ...)
- Reibungskraftmikroskopie & Nanotribologie
- Nanolithographie
- andere Rastersondentechniken





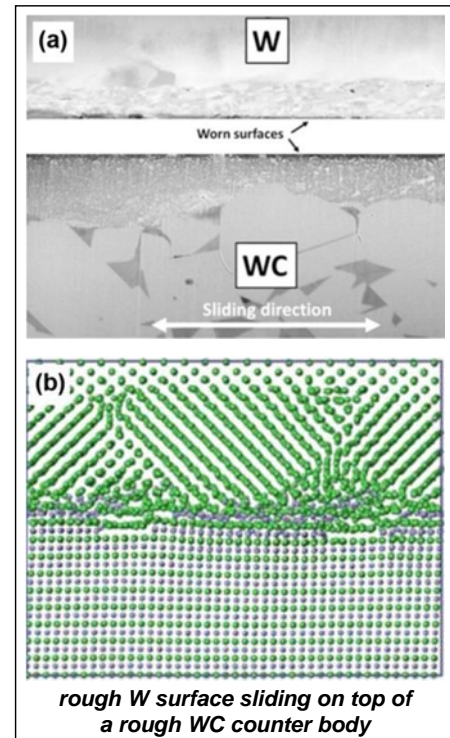
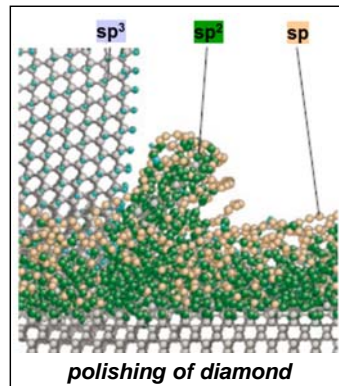
**Ergänzungsfach**  
**Atomistic Simulations and Molecular Dynamics**  
*(Pastewka / Gumbsch, IAM-CMS)*

**Aim**

introduction to the physical foundation of particle based simulation methods focussing on molecular dynamics

**Content**

- physics of materials
- MD basics, atom-billard
  - particle, position, energy, forces, pair potentials
  - initial + boundary conditions
  - time integration
- algorithms
- statics, dynamics, thermodynamics
- MD output
- interaction between particles
  - pair potential, multi body potentials
  - principles of quantum mechanics
  - tight binding methods
  - dissipative particle dynamics
- application of particle based methods



**Ergänzungsfach**  
**Polymer Engineering I**  
*(Elsner, IAM-WK)*

**Ziel**

Vermittlung von Wissen und Fähigkeiten, um den **Werkstoff „Polymer“** anforderungsgerecht, ökonomisch und ökologisch einsetzen zu können

**Inhalt**

- Wirtschaftliche Bedeutung der Kunststoffe
- Einführung in mechanische, chemische und elektrische Eigenschaften
- Überblick der Verarbeitungsverfahren
- Werkstoffkunde der Kunststoffe
- Synthese



### Ziel

Vermittlung des grundlegenden Verständnisses zum **Aufbau verschleißfester Werkstoffe** sowie der Zusammenhänge zwischen **Konstitution, Eigenschaften und Verhalten**

### Inhalt

- Einführung
- Verschleiß
- Einteilung verschleißbeständiger Werkstoffe
- Verschleißfeste Stähle
- Hartlegierungen und Stellite
- Hartstoffe
- Metallreiche und carbidreiche Hartmetalle
- Mehrphasige Hartstoffmaterialien
- Schneidkeramik
- Superharte Stoffe



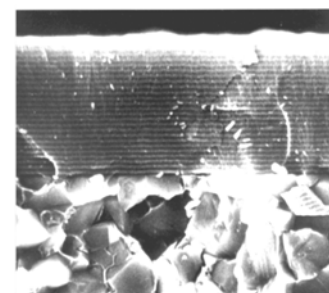
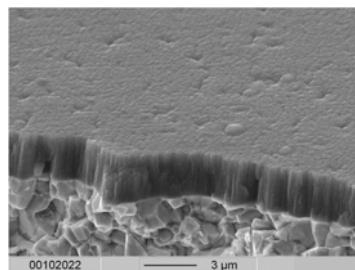
© Friedrich Gloor AG

### Ziel

Vermittlung der grundlegenden Kenntnisse zur **Modellierung, Herstellung, Charakterisierung und Anwendung** superharte Materialien als **Dünnschichten**

### Inhalt

- Einführung
- Grundlagen
- Plasmadiagnostik
- Teilchenflußanalyse
- Sputter- und Implantationstheorie
- Computersimulationen
- Materialeigenschaften, Beschichtungsverfahren,
- Schichtanalyse und Modellierung superharter Materialien
- ausgewählte, superharte Materialien
  - amorpher, hydrogenisierter Kohlenstoff / diamantartiger, amorpher Kohlenstoff / Diamant
  - kubisches Bornitrid / Materialien aus dem System Übergangsmetall-B-C-N-Si



**SP47 Tribologie**  
**Partner-Schwerpunkte**

- SP 2**   ⇒  Antriebssysteme
- SP 24**   ⇒  Kraft- und Arbeitsmaschinen
- SP 25**   ⇒  Materialwissenschaft- und Werkstofftechnik
- SP 33**   ⇒  Mikrosystemtechnik
- SP 46**   ⇒  Thermische Strömungsmaschinen
- SP 48**   ⇒  Verbrennungsmotoren
- SP 49**   ⇒  Zuverlässigkeit im Maschinenbau