

---

**Modulbezeichnung:** Tribologie und Oberflächentechnik (TO) 5 ECTS  
 (Tribology and Surface Technology)

Modulverantwortliche/r: Stephan Tremmel

Lehrende: Stephan Tremmel, Tim Hosenfeldt

Startsemester: SS 2019

Dauer: 1 Semester

Turnus: jährlich (SS)

Präsenzzeit: 60 Std.

Eigenstudium: 90 Std.

Sprache: Deutsch

---

### Lehrveranstaltungen:

Im Praktikum besteht zum Teil Anwesenheitspflicht.

Tribologie und Oberflächentechnik (SS 2019, Vorlesung, 2 SWS, Stephan Tremmel)

Tribologie und Oberflächentechnik Praktikum (SS 2019, Praktikum, 2 SWS, Stephan Tremmel)

---

### Inhalt:

- Einführung und Übersicht
- Grundlagen der Tribologie (Tribotechnische Systeme, Technische Oberflächen, Tribologischer Kontakt, Reibung, Verschleiß)
- Werkstoffe
- Schmierung und Schmierstoffe
- Oberflächenbehandlungsverfahren
- Dünnschichttechnologie
- Methoden und Werkzeuge für die Oberflächen- und Schichtcharakterisierung
- Gestaltungsrichtlinien
- Modellbildung und Simulation
- Anwendungsbeispiele

### Lernziele und Kompetenzen:

#### *Fachkompetenz*

#### *Wissen*

Im Rahmen von TO werden praxisorientiert den Studierenden grundlegende Kenntnisse über die Themenfelder Tribologie und Oberflächentechnik vermittelt. Wesentlicher Lehrinhalt der Vorlesung ist zudem die Theorie und Einsatz der Methoden und Prüfeinrichtungen für eine anwendungsbezogene Schichtenentwicklung im Rahmen eines Praktikums. Auf dem Teilgebiet Tribologie wird im einzelnen Wissen bezüglich der folgenden Themenbereiche vermittelt:

- Wissen über die Tribologie im Allgemeinen: Definition und Aufgaben, technisch-wirtschaftliche Bedeutung, Tribologie im Kontext von Konstruktion und Entwicklung, Struktur und Funktion tribotechnischer Systeme
- Wissen über technische Oberflächen: Physikalisch-chemischer Aufbau, Mikrogeometrie
- Wissen über tribologische Kontaktvorgänge: atomare und molekulare Wechselwirkungen, Kontaktmechanik und Werkstoffanstrengung, Kinematik, thermische Vorgänge
- Wissen zur Reibung: Reibungsmessgrößen, Reibungsmechanismen, Reibungsarten, Maßnahmen zur Beeinflussung der Reibung in tribologischen Systemen
- Wissen zum Verschleiß: Verschleißmessgrößen, Verschleißmechanismen, Verschleißarten, Zusammenhang zwischen Verschleiß, Lebensdauer und Zuverlässigkeit, Maßnahmen zur Verschleißreduzierungen in tribologischen Systemen
- Wissen zur Schmierung: Hydrodynamische Schmierung, Elastohydrodynamische Schmierung, Schmierung im Bereich der Misch- und Grenzreibung, Schmierstoffe (u.a. Schmieröle, Schmierfette, Festschmierstoffe) und Wirkungsweisen von Additiven
- Wissen über tribotechnische Werkstoffe: Charakteristika und tribologische Eigenschaften von Metallen, Ingenieurkeramiken und Polymeren, Anwendungsbeispiele

Im Bereich der Oberflächentechnik sollen den Studierenden die Grundlagen über die verschiedenen Verfahren zur Erzeugung und Prüfung von Oberflächen vermittelt werden. In Bezug auf die Entwicklung und Erzielung maßgeschneiderter Oberflächen für die Vielzahl an Anwendungen (z.B. Motorenelemente, Wälzlager, Werkzeuge für die spanende und spanlose Fertigung) werden

die heute in Wissenschaft und Industrie eingesetzten Beschichtungstechnologien und Charakterisierungsmethoden gelehrt. Die zugehörigen Themenbereiche im Einzelnen lauten wie folgt:

- Wissen über die Grundlagen zur Oberflächentechnik: Definition und Ziele, Einordnung der Fertigungsverfahren nach DIN 8580,
- Wissen zur mechanischen Oberflächenbehandlung: Funktion, Verfahren, Anwendungen
- Wissen über chemisch nicht schichtbildende Oberflächenbehandlung: Reinigen und Ent-fetten von Oberflächen, Verfahrensvarianten und Anlagentechnik
- Wissen über Prinzip und Einsatz von Oberflächenbehandlungsverfahren: Thermische Randschichtänderungen (z.B. Induktionshärten), thermo-chemisch Randschichtänderungen (z.B. Eigenschaften von Diffusionsschichten), nichtmetallisch-anorganische Oberflächenschichten (z.B. Emaillieren, Spritzverfahren), organische Schichten (z.B. Lackieren), Metallschichten (z.B. elektrochemisch)
- Wissen über die Herstellung von Dünnschichten: Prinzip, Verfahrensabläufe und Anlagentechnik zu elektrochemischen Verfahren, chemischen Gasphasenabscheidung (CVD), physikalischen Gasphasenabscheidung (PVD) und plasmaunterstützten Gasphasenabscheidung (PACVD)
- Wissen über die Einordnung und Anwendung tribologischer Dünnschichtsysteme: Schichtdesign und chemische Zusammensetzung, Schichtwachstum, Klassifikation tribologischer Dünnschichten, Nomenklatur und Einordnung von Kohlenstoffschichten nach VDI 2840, tribologisches Verhalten
- Wissen zur Schichtcharakterisierung: Tribometrie (u.a. Kategorien tribologischer Prüftechnik nach DIN 50322, Prüfprinzipien), Mechanisch-strukturelle Schichtcharakterisierung (z.B. Kallottenschleifverfahren nach EN 1071-2:2002, Ritztest nach DIN EN 1071-3:2005, Mikrohärtmessung nach DIN EN ISO 14577-1:2003), chemisch-strukturelle Schichtcharakterisierung (u.a. Kontaktwinkelmessung, Fokussierter Ionenstrahl, Raster-elektronenmikroskopie, Energiedispersive Röntgenspektroskopie)

#### *Verstehen*

Die Lehrveranstaltung TO fördert das grundlegende Verständnis der Studierenden über tribotechnische Systeme und zwar von ihrer wirtschaftlichen und technischen Bedeutung bis hin zum Verständnis der vorliegenden komplexen Wechselwirkungen zwischen den Strukturelementen unter tribologischer Beanspruchung. In diesem Zusammenhang steht die Oberflächentechnik zur Erzielung reibungs- und verschleißoptimierter technischer Systeme das Kernthema dar. Weiterhin steht besonders das Verständnis der folgenden Inhalte im Fokus:

- Verständnis über die Eigenschaften von tribologischen Systemen, deren Funktion, Struktur und Unterteilung sowie den Zusammenhang zwischen Reibung, Verschleiß und Schmierung mit der Systemstruktur und dem Lastkollektiv.
- Verständnis der Reibungs- und Verschleißprozesse in tribologischen Kontakten, neben der Oberflächenstruktur werden die Zusammenhänge mit atomaren, mechanischen, tri-bochemischen und energetischen Vorgängen nachvollzogen, Verständnis über die Zusammenhänge zwischen den Erscheinungsformen und den tribometrischen Kenngrößen mit den zugrunde liegenden Tribomechanismen, Verständnis über den Einfluss des Zwischenmediums und der tribologischen Beanspruchung.
- Verständnis über Eigenschaften und Eignung von Werkstoffen (z.B. Stahl, Keramik, Polymere) für tribologische Anwendungen.
- Verständnis über die verschiedenen Oberflächenverfahren, deren Charakteristika, Prozessabläufe und Einsatzmöglichkeiten für die Erzielung tribologisch günstiger Oberflächen.
- Verständnis über die Charakterisierung von tribologisch wirksamen Oberflächen und deren Beziehung zu Prozessen in den untersuchten tribologischen Kontakten.

#### *Anwenden*

Die Studierenden werden im Rahmen eines Praktikums befähigt, Gelerntes anzuwenden. Dabei wird auf Basis einer Aufgabenstellung aus der Industrie ein ausgewähltes tribologisches System von Studenten im Rahmen eines Planspiels analysiert und hierfür ein geeignetes Schichtsystem entwickelt, mittels PVD/PACVD Beschichtungstechnologie abgeschieden, charakterisiert und mechanisch-tribologisch erprobt. Dies beinhaltet im Einzelnen:

- Ausarbeiten eines Schichtlastenhefts auf Basis einer detaillierten Systemanalyse, Analyse der

Systemstruktur und des Beanspruchungskollektivs, Definieren der Randbedingungen und Ermittlung der Einsparpotentiale durch Reduzierung von Reibung und Verschleiß im tribotechnischen System.

- Schichtdefinition, eigenständige Entwicklung eines gebrauchsfähigen Schichtsystems für den betrachteten Anwendungsfall auf Grundlage der Lehrinhalte, Festlegung der Schichtart und des Schichtaufbaus (Deckschicht, eventuell Zwischenschichten und Haftschichten) aus einem vorgegebenen Schichtkatalog, Festlegung der Prozessparameter für den Beschichtungsprozess innerhalb vorgegebener Grenzen, Festlegung etwaiger Anforderungen an die vorgelagerten Schritte des Beschichtungsprozesses.
- Durchführung eines Beschichtungsprozesses mit realen Bauteilen, mechanische Vorbehandlung (Schleifen, Polieren), Reinigen im Ultraschallbad, Chargieren in der Beschichtungskammer, Erstellen des Schichtrezepts an der Beschichtungsanlage.
- Durchführen mechanisch-tribologischer Schichtcharakterisierungen, technologische Kenngrößen (Schichtdicke mittels Kalottenschliffverfahren, Oberflächenrauheit mittels Tastschnittverfahren), mechanische Kenngrößen (Härte und Eindringmodul mittels instrumentierter Eindringprüfung, Haftfestigkeit qualitativ mittels Rockwell-Eindringversuch und quantitativ mittels Ritztest), tribologische Kenngrößen (Reibungsuntersuchungen mittels Modellversuchen an einem Stift-Scheibe-Rotationstribometer, nachgelagerte Verschleißauswertung am beschichteten Grundkörper mittels Tastschnittverfahrens und am Gegenkörper mittels Lichtmikroskop).
- Analyse und Auswertung der Ergebnisse (in berichtsform), Vorstellung und Interpretation der Ergebnisse (in präsentationsform) vor einem Expertenkreis aus Forschung und Industrie.

#### *Analysieren*

- Aufzeigen von Querverweisen zu den in der Lehrveranstaltung Produktionstechnik zu erwerbenden Kompetenzen über die Hauptgruppen der Fertigungsverfahren nach DIN 8580.
- Aufzeigen von Querverweisen zu den in der Lehrveranstaltung Werkstofftechnik zu erwerbenden Kompetenzen über Materialkunde.
- Aufzeigen von Querverweisen des Praktikums zu den in der Lehrveranstaltung Konstruktive Projektarbeit zu erwerbenden Kompetenzen über das systematische Entwickeln und konstruktiven Ausgestaltung eines Produktes und deren Vorstellung vor dem Auftraggeber.

#### *Evaluieren (Beurteilen)*

Anhand der erlernten Grundlagen aus der anwendungsorientierten Schichtentwicklung vor dem Hintergrund tribologischer und/oder korrosiver Vorgänge sowie deren Berücksichtigung bei der Gestaltung technischer Oberflächen durch die Oberflächenbeschaffenheit, Zusammensetzung und Eigenschaften werden die Studierenden befähigt, anwendungsfähige Schichtsysteme auszuwählen und deren Anwendbarkeit einzuschätzen. Zudem sind sie in der Lage die entwickelten Lösungen mit geeigneten Prüfmethoden zu charakterisieren und die Ergebnisse zu analysieren und zielgerecht zu interpretieren.

#### *Erschaffen*

Die Studierenden werden durch die erlernten Grundlagen befähigt, konkrete Verbesserungsvorschläge zu bestehenden technischen Systemen hinsichtlich verbesserten tribologischen Verhaltens eigenständig zu erarbeiten. Zudem sind sie in der Lage (beschichtete) tribologische Systeme so zu gestalten, dass diese verschiedenste technische (Reibungsoptimierung, Verschleißschutz) und nicht-technische Anforderungen (fertigungsbezogene Anforderungen, Kostenanforderungen, Umweltauflagen, Nutzeranforderungen, etc.) bedienen. Darüber hinaus werden die Studierenden durch das Praktikum in die Lage versetzt, eigenständig erarbeitete Lösungsvorschläge für neuartige tribologisch wirksame Schichtsysteme an realen Bauteilen selbst zu verwirklichen und die Optimierung tribotechnischer Systeme eigenständig zu erproben.

#### **Literatur:**

- Czichos, Habig: Tribologie-Handbuch. Reibung und Verschleiss, Vieweg.
- Müller: Praktische Oberflächentechnik, Vieweg.
- Kienel: Vakuumbeschichtung, Springer.
- Boxmann, Martin, Sanders: Handbook of Vacuum Arc Science and Technology, Noyes.

### Studien-/Prüfungsleistungen:

Tribologie und Oberflächentechnik (Vorlesung mit Praktikum) (Prüfungsnummer: 71161)

(diese Prüfung gilt nur im Kontext der Studienfächer/Vertiefungsrichtungen [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [14], [15])

Prüfungsleistung, Klausur, Dauer (in Minuten): 120

Anteil an der Berechnung der Modulnote: 100%

weitere Erläuterungen:

Die Modulleistung besteht aus der Klausur und der Teilnahme an dem Praktikum (Anwesenheitspflicht im Praktikum!) Die Note ergibt sich zu 100% aus der Klausur.

Erstablingung: SS 2019, 1. Wdh.: WS 2019/2020

1. Prüfer: Stephan Tremmel

Tribologie und Oberflächentechnik (Prüfungsnummer: 905098)

(englische Bezeichnung: Tribology and Surface Technology)

(diese Prüfung gilt nur im Kontext der Studienfächer/Vertiefungsrichtungen [13])

Prüfungsleistung, Klausur, Dauer (in Minuten): 120

Anteil an der Berechnung der Modulnote: 100%

weitere Erläuterungen:

Die Note ergibt sich zu 100% aus der Klausur.

Prüfungssprache: Deutsch

Erstablingung: SS 2019, 1. Wdh.: WS 2019/2020

1. Prüfer: Stephan Tremmel