

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

Modulverantwortliche/r: Stephan Tremmel

Lehrende: Tim Hosenfeldt, Stephan Tremmel

Startsemester: SS 2020

Dauer: 1 Semester

Turnus: jährlich (SS)

Präsenzzeit: 50 Std.

Eigenstudium: 100 Std.

Sprache: Deutsch

### Lehrveranstaltungen:

Im Praktikum besteht zum Teil Anwesenheitspflicht.

Tribologie und Oberflächentechnik (SS 2020, Vorlesung, 2 SWS, Tim Hosenfeldt et al.)

Tribologie und Oberflächentechnik Praktikum (SS 2020, Praktikum, 2 SWS, Stephan Tremmel et al.)

### 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 erlangen die Studierenden praxisorientierte, grundlegende Kenntnisse über die Themenfelder Tribologie und Oberflächentechnik. Weitere wesentliche Kompetenzen sind Theorie und Einsatz der Methoden und Prüfeinrichtungen für eine anwendungsbezogene Schichtenentwicklung im Rahmen eines Praktikums.

Auf dem Teilgebiet Tribologie erwerben die Studierenden im einzelnen Wissen bezüglich der folgenden Themenbereiche.

Die Studierenden

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

Im Bereich der Oberflächentechnik eignen sich die Studierenden die Grundlagen über die verschiedenen Verfahren zur Erzeugung und Prüfung von Oberflächen an. In Bezug auf die Entwicklung

und Erzielung individueller Oberflächen für die Vielzahl an Anwendungen (z. B. Motorelemente, Wälzlager, Werkzeuge für die spanende und spanlose Fertigung) lernen sie die heute in Wissenschaft und Industrie eingesetzten Beschichtungstechnologien und Charakterisierungsmethoden kennen. Die zugehörigen Themenbereiche im Einzelnen lauten wie folgt.

Die Studierenden

- kennen die Grundlagen zur Oberflächentechnik: Definition und Ziele, Einordnung der Fertigungsverfahren nach DIN 8580.
- kennen die mechanische Oberflächenbehandlung: Funktion, Verfahren, Anwendungen.
- kennen chemisch nicht schichtbildende Oberflächenbehandlungen: Reinigen und Entfetten von Oberflächen, Verfahrensvarianten und Anlagentechnik.
- kennen Prinzip und Einsatz von Oberflächenbehandlungsverfahren: Thermische Randschichtänderungen (z. B. Induktionshärten), thermochemisch Randschichtänderungen (z. B. Eigenschaften von Diffusionsschichten), nichtmetallisch-anorganische Oberflächenschichten (z. B. Emaillieren, Spritzverfahren), organische Schichten (z. B. Lackieren), Metallschichten (z. B. elektrochemisch).
- kennen die Herstellung von Dünnschichten: Prinzip, Verfahrensabläufe und Anlagentechnik zu elektrochemischen Verfahren, chemischen Gasphasenabscheidung (CVD), physikalischen Gasphasenabscheidung (PVD) und plasmaunterstützten Gasphasenabscheidung (PACVD).
- kennen die Einordnung und Anwendung tribologisch wirksamer Dünnschichtsysteme: Schichtdesign und chemische Zusammensetzung, Schichtwachstum, Klassifikation tribologischer Dünnschichten, Nomenklatur und Einordnung von Kohlenstoffschichten nach VDI 2840, tribologisches Verhalten.
- kennen Schichtcharakterisierungen: Tribometrie (u. a. Kategorien tribologischer Prüftechnik nach DIN 50322, Prüfprinzipien), Mechanisch-strukturelle Schichtcharakterisierung (z. B. Kallottenschleifverfahren nach DIN EN ISO 26423:2016, Ritztest nach DIN EN ISO 20502:2016, Mikrohärtemessung nach DIN EN ISO 14577 1:2015), chemisch-strukturelle Schichtcharakterisierung (u. a. Kontaktwinkelmessung, fokussierter Ionenstrahl, Rasterelektronenmikroskopie, Energiedispersive Röntgenspektroskopie).

### Verstehen

Durch die Lehrveranstaltung TO erwerben die Studierenden ein grundlegendes Verständnis 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.

Die Studierenden

- verstehen die Eigenschaften von tribologischen Systemen, deren Funktion, Struktur und Unterteilung sowie den Zusammenhang zwischen Reibung, Verschleiß und Schmierung mit der Systemstruktur und dem Lastkollektiv.
- verstehen die Reibungs- und Verschleißprozesse in tribologischen Kontakten. Neben der Oberflächenstruktur vollziehen die Studierenden die Zusammenhänge mit atomaren, mechanischen, tribochemischen und energetischen Vorgängen nach, sodass ein Verständnis über die Zusammenhänge zwischen den Erscheinungsformen und den tribometrischen Kenngrößen mit den zugrundeliegenden Tribomechanismen und darüber hinaus ein Verständnis über den Einfluss des Zwischenmediums und der tribologischen Beanspruchung geschaffen wird.
- verstehen die Eigenschaften und Eignung von Werkstoffen (z. B. Stahl, Keramik, Polymere) für tribologische Anwendungen.
- verstehen die verschiedenen Oberflächenverfahren, deren Charakteristika, Prozessabläufe und Einsatzmöglichkeiten für die Erzielung tribologisch günstiger Oberflächen.
- verstehen die Charakterisierung von tribologisch wirksamen Oberflächen und deren Beziehung zu Prozessen in den untersuchten tribologischen Kontakten.

### Anwenden

Die Studierenden können im Rahmen eines Praktikums Gelerntes anwenden. Dabei wird auf Basis

einer Aufgabenstellung aus der Industrie ein ausgewähltes tribotechnisches System von Studierenden 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 Haftsichten) 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*

Die Studierenden

- analysieren Querverweise zu den in der Lehrveranstaltung Produktionstechnik zu erwerbenden Kompetenzen über die Hauptgruppen der Fertigungsverfahren nach DIN 8580.
- analysieren Querverweise zu den in der Lehrveranstaltung Werkstofftechnik zu erwerbenden Kompetenzen über Materialkunde.
- analysieren Querverweise 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 sind 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 können durch die erlernten Grundlagen, konkrete Verbesserungsvorschläge zu bestehenden technischen Systemen hinsichtlich verbesserten tribologischen Verhaltens eigenständig erarbeiten. Zudem sind sie in der Lage (beschichtete) tribotechnische Systeme so zu gestalten, dass diese verschiedenste technische (Reibungsoptimierung, Verschleißschutz) und nicht-technische Anforderungen (fertigungsbezogene Anforderungen, Kostenanforderungen, Umweltaforderungen, Nutzeranforderungen, etc.) bedienen. Darüber hinaus versetzt das Praktikum die Studierenden in die Lage, eigenständig erarbeitete Lösungsvorschläge für neuartige tribologisch wirksame Schichtsysteme an realen Bauteilen selbst verwirklichen und die Optimierung tribotechnischer Systeme eigenständig erproben zu können.

## 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.

---

## Verwendbarkeit des Moduls / Einpassung in den Musterstudienplan:

Das Modul ist im Kontext der folgenden Studienfächer/Vertiefungsrichtungen verwendbar:

### [1] Mechatronik (Master of Science)

(Po-Vers. 2020w | TechFak | Mechatronik (Master of Science) | Gesamtkonto | M3 Technische Wahlmodule | Tribologie und Oberflächentechnik)

---

## 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], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [20], [21], [22], [23], [24], [25], [26], [27], [28])

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 2020, 1. Wdh.: WS 2020/2021

1. Prüfer: Stephan Tremmel

Tribologie und Oberflächentechnik (Prüfungsnummer: 905098)

(englische Bezeichnung: Tribology and Surface Technology)

(diese Prüfung gilt nur im Kontext der Studienfächer/Vertiefungsrichtungen [19])

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 2020, 1. Wdh.: WS 2020/2021

1. Prüfer: Stephan Tremmel