

# Kontaktmechanik und Reibungsphysik

## Prof. Popov

### Fragenkatalog zur Vorbereitung auf die mündliche Prüfung

1. Nennen Sie 5 verschiedene Anwendungsbereiche der Kontaktmechanik. Nennen Sie 5 Wissenschaftler, die wesentlich zur Entwicklung der Kontaktmechanik und Reibungsphysik beigetragen haben.
2. Elementare Behandlung des Kontaktproblems: Elastische Energie eines homogenen Blocks, elastische Energiedichte  $\mathbb{E} = \frac{1}{2} E \varepsilon^2 = \frac{\sigma^2}{2E}$ . Erläutern Sie Abschätzungsmethoden für elastische Energie am Beispiel eines starren zylindrischen Indenters mit einem elastischen Halbraum. Durch welche Parameter wird die Steifigkeit des Kontaktes bestimmt? Qualitative Abschätzung für das Hertzsche Kontaktproblem.
3. Adhäsion: Erläutern Sie den Begriff Oberflächenenergie fester Körper. Welche Größenordnung hat Oberflächenenergie für: (a) Metalle, (b) Polymere. Erläutern Sie Idee zur qualitativen Behandlung eines adhäsiven Kontaktproblems. Illustrieren Sie diese mit einem Beispiel Ihrer Wahl (z.B. Klebeband). Erläutern Sie die Abschätzung für die kritische Rauigkeit, bei der zwei Körper vollständig „kleben“ ( $h^2 < \frac{4\gamma_l}{G}$ ).
4. Kapillare Effekte in Kontakten: Erläutern Sie den Begriff Oberflächenspannung. Was ist Kontaktwinkel? Wie hängt Kontaktwinkel mit den Oberflächenspannungen zusammen? Was bedeutet Hysterese des Kontaktwinkels? Erläutern Sie Begriffe „benetzbar“ und „nicht benetzbar“. Was bedeutet „hydrophil“ und „hydrophob“?
5. Leiten Sie die Gleichung für den Druck unter einer sphärisch gekrümmten Oberfläche einer Flüssigkeit her. Wie berechnet man den Druck unter einer beliebig gekrümmten Oberfläche mit zwei verschiedenen Hauptradien (ohne Herleitung)? Leiten Sie den Ausdruck für die Kapillarkraft zwischen einer starren Ebene und einer Kugel her (für den Fall vollständiger Benetzung).
6. Hertzsches Kontaktproblem: Druckverteilung im Hertzchen Kontakt (ohne Herleitung). Wie ist der Zusammenhang zwischen Kontaktradius und Eindringtiefe bzw. Kraft und Eindringtiefe. Wie wendet man diese Gleichung an den Kontakt zwischen: (a) zwei elastischen Körpern, (b) zwei Kugeln mit unterschiedlichen Radien, (c) einem Ellipsoid und einer Ebene, (d) zwei gekreuzten Zylindern. Als Beispiel erläutern Sie den Rad-Schiene-Kontakt.
7. Adhäsives Kontaktproblem: Qualitative Beschreibung der relevanten Phänomene. Adhäsionskraft in der JKR-Theorie ( $F_A = -\frac{3}{2} \gamma_{12} \pi R$ ).
8. Kontakt zwischen rauen Oberflächen (Theorie von Greenwood & Williamson): Qualitative Skizze des Herangehens bei der Berechnung. Diskussion der Ergebnisse ( $\langle \Delta A \rangle \approx Rl$ ,  $\langle \sigma \rangle \approx \frac{F_N}{A} \approx 0,3 \cdot E^* \left( \frac{l}{R} \right)^{1/2}$  oder  $\frac{F_N}{A} = \kappa^{-1} E^* \nabla_z$ ). Welchen Sinn hat „Platizitätsindex“  $\Psi = \frac{E^* \nabla_z}{\sigma_0} > 2$ ?

9. Tangentiales Kontaktproblem: Qualitative Beschreibung der relevanten Phänomene, Spannungsverteilung im Tangentialkontakt, Slip am Rande des Kontaktgebietes, Steifigkeit des Kontaktes (qualitative Behandlung).
10. Rollkontakt: Stick- und Slip-Gebiete, Größe des Haftgebietes:  $\frac{c}{a} = \left(1 - \frac{F_x}{\mu F_N}\right)^{1/2}$  im „Linienkontakt“ und  $\frac{c}{a} = \left(1 - \frac{F_x}{\mu F_N}\right)^{1/3}$  im „Punktkontakt“. Qualitative Diskussion des Schlupfes.
11. Gesetze von Amontons und Coulomb für die Haft- und Gleitreibung. Erläutern Sie den Begriff „Reibungswinkel“.
12. Theorie von Tabor und Bowden.
13. Prandtl-Tomlinson Modell. Qualitative Besprechung des „Phasendiagramms“. Erläutern Sie den Begriff „Elastische Instabilität“.
14. Reiberregte Schwingungen: Untersuchung der Stabilität bei einer Bewegung eines Klotzes mit einer geschwindigkeitsabhängigen Reibungskraft. Was versteht man unter optimalen (oder kritischen) Dämpfung. Wo wird sie eingesetzt?
15. Hydrodynamische Schmierung: Erläutern Sie qualitative (und wenn Sie möchten auch quantitativ Herangehensweise bei der Berechnung hydrodynamischer Schmierung. Von welchen Parametern hängt der Reibungskoeffizient in einem hydrodynamisch geschmierten Lager ab? Was bedeutet „Mischreibung“? Was ist „Stribeck-Kurve“?
16. Viskose Adhäsion: Herangehensweise und qualitative Diskussion.
17. Wie beschreibt man Rheologie von Schmiermittel im nicht linearen Bereich? Wie hängt Viskosität von Schmiermittel von Temperatur ab? Was ist „Druckindex“?
18. Erläutern Sie die Grundbegriffe der Rheologie von Elastomeren: Was ist zeitlich abhängiger Schubmodul? Was ist Komplexer Schubmodul? Was ist Speichermodul? Was ist „Verlustmodul“? Wodurch wird die Energiedissipation in Elastomeren bestimmt?
19. Erläutern Sie rheologische Modelle von Gummi (Maxwell-Element, Standard-Modell, Prony-Rheie). Was sind „Masterkurven“?
20. Erläutern Sie qualitativ Herangehensweise bei der Berechnung des Reibungskoeffizienten zwischen einem Elastomer und einer festen rauen Fläche. Diskutieren Sie die Gleichung  $\mu = \xi \nabla_z \frac{G''(v/r)}{|\hat{G}(v/r)|}$ .
21. Leiten Sie die Verschleißgleichung für den abrasiven Verschleiß her. Diskutieren Sie qualitativ den adhäsiven Verschleiß. Was sind Bedingungen für verschleißarme Reibung?