

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung	1
1.1 Kontakt- und Reibungssphänomene und ihre Anwendung	1
1.2 Zur Geschichte der Kontaktmechanik und Reibungsphysik	3
1.3 Aufbau des Buches	8
2 Qualitative Behandlung des Kontaktproblems – Normalkontakt ohne Adhäsion	9
2.1 Materialeigenschaften	10
2.2 Einfache Kontaktaufgaben	13
2.3 Qualitative Abschätzungsmethode für Kontakte mit einem dreidimensionalen elastischen Kontinuum	17
Aufgaben	21
3 Qualitative Behandlung eines adhäsiven Kontaktes	27
3.1 Physikalischer Hintergrund	28
3.2 Berechnung der Adhäsionskraft zwischen gekrümmten Oberflächen	32
3.3 Qualitative Abschätzung der Adhäsionskraft zwischen elastischen Körpern	33
3.4 Einfluss der Rauigkeit auf Adhäsion	35
3.5 Klebeband	36
3.6 Weiterführende Informationen über van-der-Waals-Kräfte und Oberflächenenergien	37
Aufgaben	38
4 Kapillarkräfte	43
4.1 Oberflächenspannung und Kontaktwinkel	43
4.2 Hysterese des Kontaktwinkels	47
4.3 Druck und Krümmungsradius der Oberfläche	47
4.4 Kapillarbrücken	48
4.5 Kapillarkraft zwischen einer starren Ebene und einer starren Kugel	49
4.6 Flüssigkeiten auf rauen Oberflächen	50
4.7 Kapillarkräfte und Tribologie	51
Aufgaben	52
5 Rigorose Behandlung des Kontaktproblems – Hertzscher Kontakt	59
5.1 Deformation eines elastischen Halbraumes unter der Einwirkung von Oberflächenkräften	60
5.2 Hertzsche Kontakttheorie	63
5.3 Kontakt zwischen zwei elastischen Körpern mit gekrümmten Oberflächen	65
5.4 Kontakt zwischen einem starren kegelförmigen Indenter und dem elastischen Halbraum	67

x Inhaltsverzeichnis

5.5 Innere Spannungen beim Hertzschen Kontakt	68
Aufgaben	71
6 Rigorose Behandlung des Kontaktproblems – Adhäsiver Kontakt	75
6.1 JKR-Theorie	76
Aufgaben	81
7 Kontakt zwischen rauen Oberflächen	85
7.1 Modell von Greenwood und Williamson	86
7.2 Plastische Deformation von Kontaktspitzen	92
7.3 Elektrische Kontakte	93
7.4 Thermische Kontakte	96
7.5 Mechanische Steifigkeit von Kontakten	97
7.6 Dichtungen	97
7.7 Rauheit und Adhäsion	99
Aufgaben	99
8 Tangentiales Kontaktproblem.....	109
8.1 Deformation eines elastischen Halbraumes unter Einwirkung von Tangentialkräften	110
8.2 Deformation eines elastischen Halbraumes unter Einwirkung von Tangentialspannungsverteilungen	111
8.3 Tangentiales Kontaktproblem ohne Gleiten	113
8.4 Tangentiales Kontaktproblem unter Berücksichtigung des Schlupfes	115
8.5 Abwesenheit des Schlupfes bei einem starren zylindrischen Stempel	118
Aufgaben	118
9 Rollkontakt.....	123
9.1 Qualitative Diskussion der Vorgänge in einem Rollkontakt	124
9.2 Spannungsverteilung im stationären Rollkontakt	126
Aufgaben	132
10 Das Coulombsche Reibungsgesetz	137
10.1 Einführung	137
10.2 Hafreibung und Gleitreibung	138
10.3 Reibungswinkel	139
10.4 Abhängigkeit des Reibungskoeffizienten von der Kontaktzeit	140
10.5 Abhängigkeit des Reibungskoeffizienten von der Normalkraft	142
10.6 Abhängigkeit des Reibungskoeffizienten von der Gleitgeschwindigkeit	143
10.7 Abhängigkeit des Reibungskoeffizienten von der Oberflächenrauheit	143
10.8 Vorstellungen von Coulomb über die Herkunft des Reibungsgesetzes	145
10.9 Theorie von Bowden und Tabor	146
10.10 Abhängigkeit des Reibungskoeffizienten von der Temperatur	149
Aufgaben	150

11 Das Prandtl-Tomlinson-Modell für trockene Reibung	161
11.1 Einführung	161
11.2 Grundeigenschaften des Prandtl-Tomlinson-Modells.....	163
11.3 Elastische Instabilität.....	167
11.4 Supergleiten	171
11.5 Nanomaschinen: Konzepte für Mikro- und Nanoantriebe	172
Aufgaben	177
12 Reiberregte Schwingungen.....	181
12.2 Reibungsinstabilität bei abfallender Abhängigkeit der Reibungskraft von der Geschwindigkeit	182
12.3 Instabilität in einem System mit verteilter Elastizität	185
12.4 Kritische Dämpfung und optimale Unterdrückung des Quietschens	187
12.5 Aktive Unterdrückung des Quietschens.....	189
12.6 Festigkeitsaspekte beim Quietschen	192
12.7 Abhängigkeit der Stabilitätsbedingungen von der Steifigkeit des Systems	193
12.8 Sprag-Slip	198
Aufgaben	199
13 Thermische Effekte in Kontakten	205
13.1 Einführung	206
13.2 Blitztemperaturen in Mikrokontakten.....	206
13.3 Thermomechanische Instabilität.....	208
Aufgaben	210
14 Geschmierte Systeme	213
14.1 Strömung zwischen zwei parallelen Platten	214
14.2 Hydrodynamische Schmierung.....	215
14.3 „Viskose Adhäsion“.....	219
14.4 Rheologie von Schmiermitteln	222
14.5 Grenzschichtschmierung.....	224
14.6 Elastohydrodynamik	225
14.7 Feste Schmiermittel	227
Aufgaben	228
15 Viskoelastische Eigenschaften von Elastomeren.....	235
15.1 Einführung	235
15.2 Spannungsrelaxation in Elastomeren	236
15.3 Komplexer, frequenzabhängiger Schubmodul.....	238
15.4 Eigenschaften des komplexen Moduls.....	240
15.5 Energiedissipation in einem viskoelastischen Material	241
15.6 Messung komplexer Module	242
15.7 Rheologische Modelle	243
15.8 Ein einfaches rheologisches Modell für Gummi („Standardmodell“) ...	246

15.9 Einfluss der Temperatur auf rheologische Eigenschaften.....	248
15.10 Masterkurven	249
15.11 Prony-Reihen	250
Aufgaben	253
16 Gummireibung und Kontaktmechanik von Gummi	257
16.1 Reibung zwischen einem Elastomer und einer starren rauen Oberfläche.....	257
16.2 Rollwiderstand	263
16.3 Adhäsiver Kontakt mit Elastomeren	266
Aufgaben	268
17 Verschleiß.....	275
17.1 Einleitung.....	275
17.2 Abrasiver Verschleiß	276
17.3 Adhäsiver Verschleiß.....	279
17.4 Bedingungen für verschleißarme Reibung.....	282
17.5 Verschleiß als Materialtransport aus der Reibzone.....	284
17.6 Verschleiß von Elastomeren	285
Aufgaben	287
18 Reibung unter Einwirkung von Ultraschall.....	289
18.1 Einfluss von Ultraschall auf die Reibungskraft aus makroskopischer Sicht.....	290
18.2 Einfluss von Ultraschall auf die Reibungskraft aus mikroskopischer Sicht	295
18.3 Experimentelle Untersuchungen der statischen Reibungskraft als Funktion der Schwingungsamplitude	297
18.4 Experimentelle Untersuchungen der Gleitreibung als Funktion der Schwingungsamplitude	300
Aufgaben	302
19 Numerische Simulationsmethoden in der Reibungsphysik.....	309
19.1 Kontakt und Reibung in verschiedenen Simulationsmethoden: Eine Übersicht.....	310
19.1.1 Mehrkörpersysteme	310
19.1.2 Finite Elemente Methode	311
19.1.3 Randelementemethode	312
19.1.4 Teilchenmethoden	314
19.2 Reduktion von dreidimensionalen Kontaktaufgaben auf eindimensionale	314
19.3 Kontakt in einem makroskopischen tribologischen System	315
19.4 Reduktionsmethode für ein Mehrkontaktproblem	320
19.5 Dimensionsreduktion und viskoelastische Eigenschaften.....	324
19.6 Adhäsion in der Reduktionsmethode	325

19.7 Abbildung von Spannungen im Reduktionsmodell	326
19.8 Das Berechnungsverfahren in der Reduktionsmethode	328
19.9 Schmierung, Kavitation und plastische Deformation in der Reduktionsmethode	328
Aufgaben	329
20 Erdbeben und Reibung.....	335
20.1 Einführung	336
20.2 Quantifikation der Erdbeben.....	337
20.2.1 Gutenberg-Richter-Gesetz.....	338
20.3 Reibungsgesetze für Gesteine	339
20.4 Stabilität beim Gleiten mit der geschwindigkeits- und zustandsabhängigen Reibung.....	343
20.5 Nukleation von Erdbeben und Nachgleiten	346
20.6 Foreshocks und Aftershocks.....	349
20.7 Kontinuumsmechanik von granularen Medien und Struktur von Verwerfungen	350
20.8 Ist Erdbebenvorhersage möglich?.....	354
Aufgaben	355
Anhang	359
Weiterführende Literatur.....	363
Bildernachweis.....	369
Index.....	371