

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
1.1	Kontakt- und Reibungsphänomene und ihre Anwendung	2
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	44
4.2	Hysterese des Kontaktwinkels	47
4.3	Druck und Krümmungsradius der Oberfläche	48
4.4	Kapillarbrücken	49
4.5	Kapillarkraft zwischen einer starren Ebene und einer starren Kugel	49

XIII

4.6	Flüssigkeiten auf rauen Oberflächen	50
4.7	Kapillarkräfte und Tribologie	52
	Aufgaben	52
5	Rigorese 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	68
5.5	Innere Spannungen beim Hertzschen Kontakt	69
5.6	Methode der Dimensionsreduktion (MDR)	72
	Aufgaben	75
6	Rigorese Behandlung des Kontaktproblems – Adhäsiver Kontakt	85
6.1	JKR-Theorie	86
6.2	Adhäsiver Kontakt rotationssymmetrischer Körper	92
	Aufgaben	94
7	Kontakt zwischen rauen Oberflächen	99
7.1	Modell von Greenwood und Williamson	100
7.2	Plastische Deformation von Kontaktspitzen	106
7.3	Elektrische Kontakte	107
7.4	Thermische Kontakte	110
7.5	Mechanische Steifigkeit von Kontakten	111
7.6	Dichtungen	112
7.7	Rauheit und Adhäsion	113
	Aufgaben	114
8	Tangentiales Kontaktproblem	119
8.1	Deformation eines elastischen Halbraumes unter Einwirkung von Tangentialkräften	120
8.2	Deformation eines elastischen Halbraumes unter Einwirkung von Tangentialspannungsverteilungen	121
8.3	Tangentiales Kontaktproblem ohne Gleiten	123
8.4	Tangentiales Kontaktproblem unter Berücksichtigung des Schlupfes	125
8.5	Abwesenheit des Schlupfes bei einem starren zylindrischen Stempel	128
8.6	Tangentialkontakt axial-symmetrischer Körper	128
	Aufgaben	132

9 Rollkontakt	139
9.1 Qualitative Diskussion der Vorgänge in einem Rollkontakt	140
9.2 Spannungsverteilung im stationären Rollkontakt	142
Aufgaben	149
10 Das Coulombsche Reibungsgesetz	155
10.1 Einführung	155
10.2 Haftreibung und Gleitreibung	156
10.3 Reibungswinkel	158
10.4 Abhängigkeit des Reibungskoeffizienten von der Kontaktzeit	158
10.5 Abhängigkeit des Reibungskoeffizienten von der Normalkraft	160
10.6 Abhängigkeit des Reibungskoeffizienten von der Gleitgeschwindigkeit	160
10.7 Abhängigkeit des Reibungskoeffizienten von der Oberflächenrauheit	161
10.8 Vorstellungen von Coulomb über die Herkunft des Reibungsgesetzes	162
10.9 Theorie von Bowden und Tabor	164
10.10 Abhängigkeit des Reibungskoeffizienten von der Temperatur	166
Aufgaben	168
11 Das Prandtl-Tomlinson-Modell für trockene Reibung	177
11.1 Einführung	178
11.2 Grundeigenschaften des Prandtl-Tomlinson-Modells	179
11.3 Elastische Instabilität	184
11.4 Supergleiten	187
11.5 Nanomaschinen: Konzepte für Mikro- und Nanoantriebe	188
Aufgaben	192
12 Reiberregte Schwingungen	197
12.1 Reibungsinstabilität bei abfallender Abhängigkeit der Reibungskraft von der Geschwindigkeit	198
12.2 Instabilität in einem System mit verteilter Elastizität	201
12.3 Kritische Dämpfung und optimale Unterdrückung des Quietschens	204
12.4 Aktive Unterdrückung des Quietschens	206
12.5 Festigkeitsaspekte beim Quietschen	208
12.6 Abhängigkeit der Stabilitätsbedingungen von der Steifigkeit des Systems	209
12.7 Sprag-Slip	215
Aufgaben	216

13 Thermische Effekte in Kontakten	221
13.1 Einführung	222
13.2 Blitztemperaturen in Mikrokontakten	223
13.3 Thermomechanische Instabilität	224
Aufgaben	226
14 Geschmierte Systeme	229
14.1 Strömung zwischen zwei parallelen Platten	230
14.2 Hydrodynamische Schmierung	231
14.3 „Viskose Adhäsion“	236
14.4 Rheologie von Schmiermitteln	238
14.5 Grenzschichtschmierung	241
14.6 Elastohydrodynamik	241
14.7 Feste Schmiermittel	245
Aufgaben	246
15 Viskoelastische Eigenschaften von Elastomeren	259
15.1 Einführung	259
15.2 Spannungsrelaxation in Elastomeren	261
15.3 Komplexer, frequenzabhängiger Schubmodul	262
15.4 Eigenschaften des komplexen Moduls	264
15.5 Energiedissipation in einem viskoelastischen Material	266
15.6 Messung komplexer Module	266
15.7 Rheologische Modelle	268
15.8 Ein einfaches rheologisches Modell für Gummi („Standardmodell“) ...	270
15.9 Einfluss der Temperatur auf rheologische Eigenschaften	272
15.10 Masterkurven	273
15.11 Prony-Reihen	274
15.12 Anwendung der Methode der Dimensionsreduktion auf viskoelastische Medien	277
Aufgaben	279
16 Gummireibung und Kontaktmechanik von Gummi	287
16.1 Reibung zwischen einem Elastomer und einer starren rauen Oberfläche	288
16.2 Rollwiderstand	293
16.3 Adhäsiver Kontakt mit Elastomeren	296
Aufgaben	297
17 Verschleiß	303
17.1 Einleitung	303
17.2 Abrasiver Verschleiß	304
17.3 Adhäsiver Verschleiß	307
17.4 Bedingungen für verschleißarme Reibung	310

17.5	Verschleiß als Materialtransport aus der Reibzone	312
17.6	Verschleiß von Elastomeren	313
	Aufgaben	315
18	Reibung unter Einwirkung von Ultraschall	321
18.1	Einfluss von Ultraschall auf die Reibungskraft aus makroskopischer Sicht	322
18.2	Einfluss von Ultraschall auf die Reibungskraft aus mikroskopischer Sicht	327
18.3	Experimentelle Untersuchungen der statischen Reibungskraft als Funktion der Schwingungsamplitude	329
18.4	Experimentelle Untersuchungen der Gleitreibung als Funktion der Schwingungsamplitude	332
	Aufgaben	334
19	Numerische Simulationsmethoden in der Kontaktmechanik	339
19.1	Mehrkörpersysteme	340
19.2	Finite Elemente Methode	341
19.3	Randelementemethode	342
19.4	Randelementemethode: tangentialer Kontakt	343
19.5	Randelementemethode: adhäsiver Kontakt	345
19.6	Teilchenmethoden	346
19.7	Methode der Dimensionsreduktion	346
20	Erdbeben und Reibung	349
20.1	Einführung	350
20.2	Quantifikation der Erdbeben	351
20.3	Reibungsgesetze für Gesteine	354
20.4	Stabilität beim Gleiten mit der geschwindigkeits- und zustandsabhängigen Reibung	357
20.5	Nukleation von Erdbeben und Nachgleiten	360
20.6	Foreshocks und Aftershocks	364
20.7	Kontinuumsmechanik von granularen Medien und Struktur von Verwerfungen	364
20.8	Ist Erdbebenvorhersage möglich?	368
	Aufgaben	368
Anhang		373
Bildernachweis		385
Weiterführende Literatur		387
Sachverzeichnis		393