

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

V

8	Verformung und Verspannung	1
8.1	Zusammenspiel verschiedenartiger Steifigkeiten	3
8.2	Besondere Steifigkeitsprobleme von Werkzeugmaschinen	7
8.2.1	Steifigkeitsoptimierung bei Biegung und Torsion	11
8.2.2	Anordnung von Kraftwirkungslinien, Gestellbauformen	13
8.2.3	Das Problem der Nichtlinearität	15
8.2.4	Verrippungen	15
8.2.5	Fugensteifigkeit	18
8.3	Unsymmetrisch belasteter Biegebalken	21
8.4	Abgestufter Biegebalken	23
8.5	Verspannen von Werkzeugmaschinengestellen	26
8.6	Verspannung mit Piezoelementen	30
8.7	Verformungsverhalten von Lagern	36
8.7.1	Verformungsverhalten von Wälzlagern	37
8.7.2	Weitere Lagerbauformen als verspannte Systeme	49
8.7.3	Gegenüberstellung verspannter Lager	76
8.8	Literatur	78
8.9	Aufgaben: Verformung und Verspannung	80
A.8.1	Verformung Aufhängevorrichtung	80
A.8.2	Verformung Rohr und Flacheisen	81
A.8.3	Sicherheitsnadel	82
A.8.4	Schenkelfeder mit elastischen Schenkeln	83
A.8.5	Verformung Gestell Schwenkbohrmaschine I	84
A.8.6	Verformung Gestell Schwenkbohrmaschine II	85
A.8.7	Einlippenbohrer	86
A.8.8	Verformung Fräsmaschinengestell I	87
A.8.9	Verformung Fräsmaschinengestell II	88
A.8.10	Schwimmbadsprungbrett	89
A.8.11	Verformung Spindelwelle	90
A.8.12	Belastung und Verformung einer Stahlbaukonstruktion	91
A.8.13	Belastung und Verformung eines Biegebalkens mit zwei Abschnitten	92
A.8.14	Durchbiegung einer Achse	93
A.8.15	Abgestufte Rohrfeder	94

A.8.16	Verspannung Dreis Scheibenspindelpresse	96
A.8.17	Verspannung Pressengestell	97
A.8.18	Piezokorrektur Umfangsschleifscheibe I	99
A.8.19	Piezokorrektur Umfangsschleifscheibe II	100
A.8.20	Piezokorrektur Rotationsschleifen	101
A.8.21	Vorgespannte Axialwälzlagerung mit zwei gleichen Lagern	102
A.8.22	Vorgespannte Axialwälzlagerung mit zwei unterschiedlichen Lagern	104
A.8.23	Vorgespannte Axialwälzlagerung einer Feinbohrspindel	106
A.8.24	Steifigkeit vorgespannter Axialwälzlagerung	107
A.8.25	Steifigkeit vorgespanntes Radialwälzlager	109
A.8.26	Steifigkeit rollengelagerte Spindel	110
A.8.27	Steifigkeit Spindel (Kugellager und Welle)	111
A.8.28	Steifigkeit von drei wälzgelagerten Spindeln	112
A.8.29	Steifigkeit hydrostatische Spindel	114
A.8.30	Axiales Luftlager	116
A.8.31	Radiales Luftlager	117
9	Reibung, Schlupf, Wirkungsgrad und Verschleiß	121
9.1	Haftreibung und Gleitreibung, Begriff des „Schlupfs“	121
9.2	Rollreibung	130
9.2.1	Rollreibung von Wälzlagern	131
9.2.2	Analytischer Ansatz für Rollreibung Reifen – Straße	132
9.2.3	Experiment: Rollreibung von Fahrradreifen	137
9.2.4	Gegenüberstellung analytischer Ansatz – Experiment	142
9.2.5	Typische Rollreibungsbeiwerte	144
9.3	Verspannung sich bewegender Systeme	144
9.4	Wirkungsgrad von Getrieben	148
9.4.1	Reibungsbedingter Wirkungsgrad am Beispiel des Kettentriebes	150
9.4.2	Lastunabhängiger Verlust von Flachriementrieben	159
9.4.3	Prüfstand zur Ermittlung der Reibung weiterer Getriebe	162
9.4.4	Schlupfbedingter Wirkungsgrad	165
9.5	Verschleiß	184
9.5.1	Verschleißbehaftete Lager	184
9.5.2	Verschleißbehaftete Führungen	188
9.5.3	Verschleiß von Fahrradreifen	189
9.6	Literatur	190
9.7	Aufgaben: Reibung, Schlupf, Wirkungsgrad und Verschleiß	192
A.9.1	Verschraubung mit differenzierter Haft- und Gleitreibung I	192
A.9.2	Verschraubung mit differenzierter Haft- und Gleitreibung II	193
A.9.3	Rollreibung Fahrrad	194
A.9.4	Rollreibung Reibradgetriebe	195
A.9.5	Wirkungsgrad Fahrradkettenantrieb, Variation der Leistung	197
A.9.6	Wirkungsgrad Kettentrieb Fahrrad, Variation der Kettenradgröße	199
A.9.7	Wirkungsgrad Fahrradkettenschaltung, Variation des Übersetzungsverhältnisses	200
A.9.8	Rekord-Liegerad mit Frontantrieb	201

A.9.9	Lastunabhängige Verluste Riemenspannrolle	203
A.9.10	Lastunabhängige Verluste Flachriementrieb Schleifmaschine	204
A.9.11	Verspannung Riementrieb – Kettentrieb	205
A.9.12	Gesamtwirkungsgrad Flachriemenantrieb in Funktion der Leistung	206
A.9.13	Verspannung Riementrieb – Kettentrieb, Suche nach Reibwert μ und dynamischem Elastizitätsmodul E_{dyn}	207
A.9.14	Doppelter Riementrieb, Suche nach Reibwert μ und dynamischem Elastizitätsmodul E_{dyn}	208
A.9.15	Dehnschlupf-Gleitschlupf, Variation der Leistung	209
A.9.16	Dehnschlupf, Variation der Konstruktionsparameter	209
A.9.17	Schlupfkompensierender Riementrieb	210
A.9.18	Wälzgetriebe, Ermittlung des Reibwertes I	211
A.9.19	Wälzgetriebe, Ermittlung des Reibwertes II	212
A.9.20	Gleitlager mit Festkörperreibung	213
A.9.21	Lenkbares Laufrad	214
10	Bremsen	217
10.1	Grundsätzliche Aufgaben	217
10.2	Bremsvorgang	219
10.3	Thermische Belastung	225
10.3.1	Erwärmung bei einmaligem Bremsen	225
10.3.2	Erwärmung bei häufigem oder dauerhaftem Bremsen	225
10.4	Abbremsen von Landfahrzeugen	226
10.5	Bauformen reibschlüssiger Bremsen	232
10.5.1	Scheibenbremse	232
10.5.2	Backenbremse	235
10.5.3	Kegelbremse	246
10.5.4	Bandbremse	250
10.6	Literatur	260
10.7	Normen	260
10.8	Aufgaben: Bremsen	261
A.10.1	Bremsvorgang eines Hubwerks, Variation von Hubmasse und Bremsmoment	261
A.10.2	Bremsvorgang eines Fahrrades, Variation von Bremsmoment und Gefälle	262
A.10.3	Felgenbremse Fahrrad (Seitenzugbremse)	263
A.10.4	Scheibenbremse Mountainbike	264
A.10.5	Vorderradscheibenbremse Motorrad	266
A.10.6	Flugzeugbremse	268
A.10.7	Kranbremse mit Feder	271
A.10.8	Kranbremse mit Bremsvorgang	272
A.10.9	Eisenbahnbremse	273
A.10.10	Vorderradtrommelbremse Motorrad I	275
A.10.11	Vorderradtrommelbremse Motorrad II	277
A.10.12	Kegelbremse	279
A.10.13	Rollgliss	280
A.10.14	Schlagzeugfußmaschine	282

A.10.15	Seilbremse mit Feder	283
A.10.16	Kombination Bandbremse – Freilauf	284
A.10.17	Seilbremse für Stirlingmotor	286
A.10.18	Bandbremse	287
A.10.19	Leistungsbremse Fahrrad	288
A.10.20	Bandbremse für Seilwinde	290
A.10.21	Ankerwinde	292
11	Kupplungen	295
11.1	Grundsätzliche Aufgaben	295
11.2	Nichtschaltbare Kupplungen	297
11.2.1	Unterscheidung nach „fest“ und „beweglich“	297
11.2.2	Steifigkeit und Dämpfung	298
11.3	Schaltbare Kupplungen	301
11.3.1	Kupplungsvorgang	301
11.3.2	Fremdbetätigte Kupplungen	307
11.3.3	Selbsttätig schaltende Kupplungen	319
11.4	Literatur	349
11.5	Normen	351
11.6	Aufgaben: Kupplungen	352
A.11.1	Bremsen und Kuppeln eines Hubwerks	352
A.11.2	Trocken laufende Scheibenkupplung	353
A.11.3	Scheibenkupplung, Optimierung der Reibbelagabmessungen	354
A.11.4	Kegelkupplung	355
A.11.5	Kegelkupplung, Variation der Belastungskriterien	356
A.11.6	Doppelkegelkupplung als fremdbetätigte Kupplung	357
A.11.7	Doppelkegelkupplung als Sicherheitskupplung	358
A.11.8	Scheibenkupplung als Sicherheitskupplung	359
A.11.9	Fliehkraftbremse	360
A.11.10	Fliehkraftkupplung Kettensäge	361
A.11.11	Klemmrollenfreilauf mit Innenstern/Außenstern	363
A.11.12	Baureihe Klemmrollenfreilauf	364
A.11.13	Klemmkörperfreilauf	365
A.11.14	Baureihe Klemmkörperfreilauf	366
12	Getriebe als Bestandteil des Antriebes	367
12.1	Gestufte Getriebe	368
12.1.1	Definition der Abstufung	368
12.1.2	Getriebe- und Drehzahlplan	368
12.1.3	Getriebe mit 2 Stufen und 3 Wellen	372
12.2	Planetengetriebe	377
12.2.1	Geschwindigkeiten	378
12.2.2	Übersetzungsverhältnis	380
12.2.3	Zähnezahlen	381
12.2.4	Reibschlüssiges Planetengetriebe	383

12.3	An- und Abtrieb mehrerer Wellen	385
12.3.1	Gleiche Umschlingungswinkel für An- und Abtriebe	387
12.3.2	Gleichmäßige Aufteilung des optimierten Antriebsumschlingungswinkels auf mehrere Abtriebe	389
12.3.3	Gleichmäßige Aufteilung der Umfangskräfte bei optimiertem Antriebsumschlingungswinkel	389
12.3.4	Antrieb Gurtförderer	393
12.4	Übersetzungsverhältnis für optimale Leistungsübertragung	396
12.5	Literatur	410
12.6	Aufgaben: Getriebe als Bestandteil des Antriebs	411
A.12.1	Getriebeabstufung Fahrradkettenschaltung	411
A.12.2	Getriebeabstufung Fahrradnabenschaltung	412
A.12.3	III-6-Getriebe	412
A.12.4	III-9-Getriebe	413
A.12.5	IV-8-Getriebe	414
A.12.6	III-4-Getriebe, optimale Kombination beider Getriebestufen	416
A.12.7	Planetengetriebe mit vorgegebenen Zähnezahlen	418
A.12.8	Planetengetriebe, Suche nach der Zähnezahl	419
A.12.9	Baureihe Planetengetriebe mit $i = 1,200$ bis $1,500$	419
A.12.10	Baureihe Planetengetriebe mit $i = 1,200$ bis $6,000$	420
A.12.11	Mehrwellenantrieb Förderband	421
A.12.12	Mehrwellenabtrieb Textilmaschine	422
A.12.13	Rollengang Paketbeförderung	423
A.12.14	Mehrwellenabtrieb Nebenaggregate eines KFZ-Motors	424
A.12.15	Mehrwellenabtrieb Nebenaggregate Dieselmotor	425
A.12.16	Leistungsanpassung Fahrrad	427
A.12.17	Leistungsanpassung Gleichstromnebenschlussmotor – Kranhubwerk	431
A.12.18	Leistungsanpassung Asynchronmotor – Gebläse	432
A	Lösungsanhang	435
A.8.1	Verformung Aufhängevorrichtung	435
A.8.2	Verformung Rohr und Flacheisen	435
A.8.3	Sicherheitsnadel	435
A.8.4	Schenkelfeder mit elastischen Schenkeln	436
A.8.5	Verformung Gestell Schwenkbohrmaschine I	436
A.8.6	Verformung Gestell Schwenkbohrmaschine II	437
A.8.7	Einlippenbohrer	438
A.8.8	Verformung Fräsmaschinengestell I	438
A.8.9	Verformung Fräsmaschinengestell II	438
A.8.10	Schwimmbadsprungbrett	439
A.8.11	Verformung Spindelwelle	439
A.8.12	Belastung und Verformung einer Stahlbaukonstruktion	439
A.8.13	Belastung und Verformung eines Biegebalkens mit zwei Abschnitten	440
A.8.14	Durchbiegung einer Achse	440
A.8.15	Abgestufte Rohrfeder	440

A.8.16	Verspannung Dreischeibenspindelpresse	441
A.8.17	Verspannung Pressengestell	442
A.8.18	Piezokorrektur Umfangsschleifscheibe I	442
A.8.19	Piezokorrektur Umfangsschleifscheibe II	443
A.8.20	Piezokorrektur Rotationsschleifen	443
A.8.21	Vorgespannte Axialwälzlagerung mit zwei gleichen Lagern	444
A.8.22	Vorgespannte Axialwälzlagerung mit zwei unterschiedlichen Lagern	444
A.8.23	Vorgespannte Axialwälzlagerung einer Feinbohrspindel	445
A.8.24	Steifigkeit vorgespannte Axialwälzlagerung	445
A.8.25	Steifigkeit vorgespanntes Radialwälzlager	445
A.8.26	Steifigkeit rollengelagerte Spindel	446
A.8.27	Steifigkeit Spindel (Kugellager und Welle)	446
A.8.28	Steifigkeit von drei wälzgelagerte Spindeln	447
A.8.29	Steifigkeit hydrostatische Spindel	448
A.8.30	Axiales Luftlager	448
A.8.31	Radiales Luftlager	449
A.9.1	Verschraubung mit differenzierter Haft- und Gleitreibung I	450
A.9.2	Verschraubung mit differenzierter Haft- und Gleitreibung II	451
A.9.3	Rollreibung Fahrrad	453
A.9.4	Rollreibung Reibradgetriebe	453
A.9.5	Wirkungsgrad Fahrradkettenantrieb, Variation der Leistung	454
A.9.6	Wirkungsgrad Kettentrieb Fahrrad, Variation der Kettenradgröße	454
A.9.7	Wirkungsgrad Fahrradkettenschaltung, Variation des Übersetzungsverhältnisses	455
A.9.8	Rekord-Liegerad mit Frontantrieb	455
A.9.9	Lastunabhängige Verluste Riemen Spannrolle	456
A.9.10	Lastunabhängige Verluste Flachriementrieb Schleifmaschine	456
A.9.11	Verspannung Riementrieb – Kettentrieb	457
A.9.12	Gesamtwirkungsgrad Flachriemenantrieb in Funktion der Leistung	457
A.9.13	Verspannung Riementrieb – Kettentrieb, Suche nach Reibwert μ und dynamischem Elastizitätsmodul E_{dyn}	458
A.9.14	Doppelter Riementrieb, Suche nach Reibwert μ und dynamischem Elastizitätsmodul E_{dyn}	458
A.9.15	Dehnschlupf – Gleitschlupf, Variation der Leistung	458
A.9.16	Dehnschlupf, Variation der Konstruktionsparameter	459
A.9.17	Schlupfkompensierender Riementrieb	459
A.9.18	Wälzgetriebe, Ermittlung des Reibwertes I	459
A.9.19	Wälzgetriebe, Ermittlung des Reibwertes II	459
A.9.20	Gleitlager mit Festkörperreibung	460
A.9.21	Lenkbares Laufrad	460
A.10.1	Bremsvorgang eines Hubwerks	460
A.10.2	Bremsvorgang eines Fahrrades	461
A.10.3	Felgenbremse Fahrrad	464
A.10.4	Scheibenbremse Mountainbike	464
A.10.5	Vorderradscheibenbremse Motorrad	465
A.10.6	Flugzeugbremse	466

A.10.7	Kranbremse mit Feder	467
A.10.8	Kranbremse mit Bremsvorgang	467
A.10.9	Eisenbahnbremse	468
A.10.10	Vorderradtrommelbremse Motorrad I	468
A.10.11	Vorderradtrommelbremse Motorrad II.....	469
A.10.12	Kegelbremse	469
A.10.13	Rollgliss	470
A.10.14	Schlagzeugfußmaschine.....	470
A.10.15	Seilbremse mit Feder	470
A.10.16	Kombination Bandbremse – Freilauf	471
A.10.17	Seilbremse für Stirlingmotor	471
A.10.18	Leistungsbremse Fahrrad	471
A.10.19	Bandbremse	472
A.10.20	Bandbremse für Seilwinde	472
A.10.21	Ankerwinde	473
A.11.1	Bremsen und Kuppeln eines Hubwerks	473
A.11.2	Trocken laufende Scheibenkupplung	474
A.11.3	Scheibenkupplung, Optimierung der Reibbelagabmessungen	474
A.11.4	Kegelkupplung	474
A.11.5	Kegelkupplung, Variation der Belastungskriterien	474
A.11.6	Doppelkegelkupplung als fremdbetätigte Kupplung	475
A.11.7	Doppelkegelkupplung als Sicherheitskupplung	475
A.11.8	Scheibenkupplung als Sicherheitskupplung.....	475
A.11.9	Fliehkraftbremse.....	476
A.11.10	Fliehkraftkupplung Kettensäge	477
A.11.11	Klemmrollenfreilauf mit Innenstern/Außenstern	477
A.11.12	Baureihe Klemmrollenfreilauf	477
A.11.13	Klemmkörperfreilauf	478
A.11.14	Baureihe Klemmkörperfreilauf	478
A.12.1	Getriebeabstufung Fahrradkettenschaltung	478
A.12.2	Getriebeabstufung Fahrradnabenschaltung	479
A.12.3	III-6-Getriebe.....	479
A.12.4	III-9-Getriebe.....	480
A.12.5	IV-8-Getriebe.....	481
A.12.6	III-4-Getriebe, optimale Kombination beider Getriebestufen	482
A.12.7	Planetengetriebe mit vorgegebenen Zähnezahlen	484
A.12.8	Planetengetriebe, Suche nach der Zähnezahl.....	484
A.12.9	Baureihe Planetengetriebe mit $i = 1,200$ bis $1,500$	484
A.12.10	Baureihe Planetengetriebe mit $i = 1,200$ bis $6,000$	485
A.12.11	Mehrwellenantrieb Förderband	485
A.12.12	Mehrwellenabtrieb Textilmaschine.....	486
A.12.13	Rollengang Paketbeförderung	487
A.12.14	Mehrwellenabtrieb Nebenaggregate eines KFZ-Motors	487
A.12.15	Mehrwellenabtrieb Nebenaggregate Dieselmotor	488
A.12.16	Leistungsanpassung Fahrrad.....	489

A.12.17 Leistungsanpassung Gleichstromnebenschlussmotor – Kranhubwerk	489
A.12.18 Leistungsanpassung Asynchronmotor – Gebläse	490

Index	493
--------------	------------