

Inhaltsverzeichnis

1. Einführendes und Grundlagen	1
1.1 Kreisel und Kreiselerscheinungen	1
1.2 Zur Bezeichnung von Vektoren und Tensoren	3
1.3 Massengeometrische Grundlagen	4
1.3.1 Trägheits- und Deviationsmomente	4
1.3.2 Wechsel des Bezugspunktes	7
1.3.3 Verdrehen der Bezugsachsen	8
1.3.4 Trägheitseipsoid und Hauptträgheitsachsen	12
1.3.5 Beziehungen zwischen den Trägheitseipsoiden für verschiedene Bezugspunkte	18
1.3.6 Klassifikation und Darstellung von Kreiseltypen	19
1.4 Kinematische Grundlagen	23
1.4.1 Freiheitsgrade und Bewegungszustand	23
1.4.2 Geometrische Beschreibung der Bewegung eines starren Körpers mit Fixpunkt	26
1.4.3 Analytische Beschreibung der Drehbewegung eines starren Körpers	28
1.5 Kinetische Grundlagen	39
1.5.1 Energie und Drall	39
1.5.2 Hauptachsen, Drehachse und Drallachse	44
1.5.3 Drallsatz und Energiesatz	46
1.5.4 Die Bewegungsgleichungen des Kreisels	48
2. Der kräftefreie Kreisel mit Fixpunkt	52
2.1 Die geometrische Deutung der Kreiselbewegung nach POINSON	53
2.1.1 Polkurven	55
2.1.2 Spurkurven	57
2.1.3 Bahnkurven	59
2.2 Die geometrische Deutung der Kreiselbewegung nach MACCULLAGH	61
2.3 Analytische Berechnung nach EULER	64
2.3.1 Integration der Eulerschen Differentialgleichungen	64
2.3.2 Die Bewegung der Hauptachsen	69
2.4 Die Stabilität der Drehungen um die Hauptachsen	74
2.5 Der symmetrische Kreisel	77
2.5.1 Analytische Lösung	77
2.5.2 Geometrische Beschreibung	79
2.5.3 Die Stabilität des symmetrischen Kreisels	82
2.5.4 Der Kugelskeisel	83

3. Die Wechselwirkung von Kräften und Bewegungen am Kreisel . . .	84
3.1 Die Kraftwirkungen geführter Kreisel	84
3.1.1 Die allgemeine Lösung	84
3.1.2 Drehbewegungen um eine raumfeste Achse	85
3.1.3 Drehungen um bewegte Achsen	87
3.1.4 Kurvenkreisel und Kollermühle	92
3.2 Allgemeines zur Bewegung eines Kreisels unter dem Einfluß von Kräften	98
3.2.1 Die Auswirkungen eines Momentes	98
3.2.2 Stöße auf die Figurenachse	101
3.2.3 Allgemeine Näherungen	103
3.3 Der schwere Kreisel	105
3.3.1 Die Bewegungsgleichungen des schweren Kreisels, allgemeine Integrale und Übersicht	105
3.3.2 Der schwere symmetrische Kreisel nach LAGRANGE	109
3.3.3 Der schwere Kreisel nach KOVALEVSKAJA	125
3.3.4 Spezielle Bewegungen des schweren Kreisels	129
3.4 Der selbsterregte Kreisel	143
3.4.1 Die allgemeine Lösung für den selbsterregten symmetrischen Kreisel	144
3.4.2 Anwendung auf den Fall konstanter Erregermomente	145
3.4.3 Erregung des symmetrischen Kreisels durch Momentenstöße	148
3.4.4 Selbsterregung des unsymmetrischen Kreisels	152
3.4.5 Drehzahlabhängige Selbsterregung	155
3.5 Der zwangserregte Kreisel	157
3.5.1 Erregung durch Wechselfelder parallel zum konstanten Feld	159
3.5.2 Erregung durch Wechselfelder quer zum konstanten Feld	162
4. Gyrostat und Kardankreisel	168
4.1 Der Gyrostat	168
4.1.1 Die Bewegungsgleichungen des Gyrostaten	168
4.1.2 Der kräftefreie symmetrische Gyrostat	169
4.1.3 Erzwungene Bewegungen des symmetrischen Gyrostaten	171
4.1.4 Der kräftefreie unsymmetrische Gyrostat	171
4.1.5 Permanente Drehungen eines schweren Gyrostaten	173
4.1.6 Der Gyrostat mit drehzahlgeregeltem Rotor	174
4.2 Allgemeines zum Kardankreisel	176
4.3 Der schwere symmetrische Kardankreisel	178
4.3.1 Die allgemeine Lösung	179
4.3.2 Das Phasenporträt für die Bewegungen	182
4.3.3 Partikuläre Lösungen	185
4.3.4 Die Stabilität des Kardankreisels bei vertikaler Rotorachse	187
4.4 Auswanderungserscheinungen eines astatisch gelagerten symmetri- schen Kardankreisels	189
4.5 Die Stabilität des astatisch gelagerten unsymmetrischen Kardan- kreisels	193
4.5.1 Die Bewegungsgleichungen und partikuläre Lösungen	195
4.5.2 Drehungen um die Rotorachse	196
4.5.3 Drehungen um die äußere Rahmenachse	199
4.5.4 Die Stabilität der Prandtl-Drehungen	201

5. Kreiselsysteme	204
5.1 Bewegungsgleichungen vom Lagrangeschen Typ	204
5.1.1 Elimination der zyklischen Koordinaten	205
5.1.2 Die Bewegungsgleichungen nach KELVIN und TAIT	207
5.1.3 Gyroskopische Kräfte	208
5.2 Aussagen über kleine Schwingungen von Kreiselssystemen	211
5.2.1 Gleichungen für die Nachbarbewegungen einer bekannten Grundlösung	212
5.2.2 Allgemeine Sätze zum Stabilitätsverhalten	215
5.3 Näherungsbetrachtungen für Systeme mit schnellen Kreiseln	221
5.3.1 Gleichungen für Systeme mit schnellen symmetrischen Kreiseln	222
5.3.2 Bewegungsformen und Eigenfrequenzen in Systemen mit schnellen Kreiseln	224
5.3.3 Beispiel: ein gefesselter 3-Rahmen-Kreisel	229
5.4 Bewegungsgleichungen vom Eulerschen Typ	234
5.4.1 Die Bewegungsgleichungen für einen Teilkörper	235
5.4.2 Die Bewegungsgleichungen für ein System von starren Körpern	237
6. Drehbewegungen nicht-starrer Körper	239
6.1 Verformbar feste Kreisel	239
6.2 Kreisel mit Flüssigkeitsfüllung	246
6.3 Kreisel mit veränderlicher Masse	252
6.3.1 Die allgemeinen Bewegungsgleichungen	253
6.3.2 Einfache Beispiele	255
6.3.3 Strahldämpfung taumelnder Raketen	256
7. Drehbewegungen starrer Körper ohne Fixpunkt	259
7.1 Kreiselerscheinungen an geworfenen Körpern	260
7.1.1 Das Kreiselverhalten von Geschossen	261
7.1.2 Der Bumerang	263
7.2 Starre Körper auf horizontaler Unterlage	266
7.2.1 Gleichungen für den Spielkreisel	267
7.2.2 Grenzfälle	270
7.2.3 Eine notwendige Stabilitätsbedingung für den allgemeinen Fall	270
7.2.4 Folgerungen aus dem Stabilitätsdiagramm	272
7.2.5 Allgemeine Fälle	274
8. Kreisel im zentralsymmetrischen Schwerfeld	275
8.1 Das Moment der Schwerkraft für einen starren Körper	275
8.2 Kreisel mit Fixpunkt	278
8.2.1 Energie- und Drallintegral	278
8.2.2 Der Kugelkreisel	279
8.2.3 Der verallgemeinerte Euler-Kreisel	279
8.2.4 Der verallgemeinerte Lagrange-Kreisel	283
8.2.5 Verallgemeinerte Staude-Drehungen	284
8.3 Kreiselbewegungen künstlicher Satelliten	285
8.3.1 Partikuläre Lösungen der allgemeinen Bewegungsgleichungen	286
8.3.2 Näherungen für kleine Satelliten	290
8.3.3 Symmetrische Satelliten auf einer Kreisbahn	292

8.3.4 Satelliten beliebiger Form auf einer Kreisbahn	295
8.3.5 Störende Einflüsse	300
9. Kreiselwirkungen an Rotoren	304
9.1 Die Kopplung der Drehbewegungen bei Fahr- und Flugzeugen . .	304
9.2 Schwingungen eines Kardankreisels mit nachgiebiger Rotorwelle .	308
9.2.1 Die Bewegungsgleichungen für einen Kardankreisel mit Unwucht und elastischer Rotorwelle	309
9.2.2 Eigenschwingungen bei ausgewuchtetem Rotor	311
9.2.3 Zwangsschwingungen des Kardankreisels mit Unwucht . . .	316
9.3 Die Beeinflussung von Biegeschwingungen durch Kreiselwirkung .	320
9.3.1 Schwingungen einer freifliegend gelagerten rotierenden Scheibe	320
9.3.2 Kritische Drehzahlen bei Rotoren mit mehreren Freiheitsgraden	325
9.3.3 Der Einfluß der Unsymmetrie von Rotor und Welle	327
10. Ansätze einer technischen Kreiseltheorie	329
10.1 Vereinfachte Bewegungsgleichungen für Kreiselssysteme	329
10.2 Kreisel in drehenden Bezugssystemen	335
10.3 Das Übertragungsverhalten von Kreiseln	338
10.3.1 Strukturdiagramme eines Kreiselpendels	338
10.3.2 Übertragungsfunktionen und Übertragungsmatrizen	340
10.3.3 Blockschaltbilder für Untersuchungen mit Analogrechenanlagen	342
11. Kreiselgeräte, Klassifikation und allgemeines Verhalten	345
11.1 Klassifikation von Kreiselgeräten	345
11.2 Reibungseffekte	348
11.2.1 Viskose Dämpfung in den Rahmenlagern eines gefesselten Kardankreisels	349
11.2.2 Das Kreiselpendel mit Coulomb-Reibung in den Kardanlagern	350
11.2.3 Die Auswirkung von Coulomb-Reibung im Rahmenlager eines Kreisels mit zwei Freiheitsgraden	357
11.3 An- und Auslauf von Kreiseln	359
11.4 Schwingungseffekte	362
11.4.1 Auswirkungen der Rahmenträgheit	362
11.4.2 Auswirkungen des gestörten Momentengleichgewichtes um die Rotorachse	367
11.4.3 Auswirkungen der Elastizität der Bauelemente eines Kreiselgerätes	369
12. Lagekreisel	373
12.1 Der kinematische Fehler kardanisch aufgehängter Lagekreisel . .	373
12.2 Der Kurskreisel	380
12.2.1 Allgemeines Verhalten, Führung und Stützung	380
12.2.2 Der Taumelfehler gestützter Kurskreisel	383
12.3 Der Lotkreisel	385
12.3.1 Das Einschwingen des geführten Lotkreisels	386
12.3.2 Elementare Theorie des Lotkreisels bei bewegtem Träger .	388
12.3.3 Störungstheorie des Lotkreisels bei beliebigen Bewegungen seines Aufhängepunktes längs der Erdoberfläche	393

13. Kreiselkompass	399
13.1 Richtungfindende Kreiselgeräte	399
13.2 Das Verhalten ortsfester Kreiselkompass	403
13.3 Der Kreiselkompaß auf bewegtem Träger	407
13.3.1 Der Fahrtfehler	407
13.3.2 Der Beschleunigungsfehler	408
13.3.3 Der Schlingerfehler	411
13.4 Der Raumkompaß	414
14. Stabilisierungs- und Stellkreis	420
14.1 Direkt wirkende Kreiselstabilisatoren	420
14.2 Kreisdämpfer	424
14.3 Kraftgestützte Stabilisatoren	428
14.3.1 Der zweiachsige Ein-Kreis-Stabilisator	429
14.3.2 Der Einfluß der Gegenspannung im Stützmotor	431
14.3.3 Der Einfluß der Nachgiebigkeit der Konstruktion	432
14.3.4 Zwei-Kreis-Stabilisatoren	433
14.4 Stellkreis	435
15. Wendekreis	439
15.1 Allgemeiner Aufbau und Bewegungsgleichungen	439
15.2 Der Proportionalwendekreis (P-Wendekreis)	441
15.3 Integrierende und differenzierende Wendekreis	444
15.4 Ein Wendekreis mit unsymmetrischem Rotor (U-Wendekreis)	447
15.5 Der Einfluß von Vibrationen auf das Verhalten eines Wendekreises	449
16. Trägheitsplattformen	455
16.1 Die Grundgedanken der Trägheitsnavigation	455
16.2 Einachsige Plattformen	457
16.2.1 Die einachsige Plattform mit I-Wendekreis	458
16.2.2 Die einachsige Plattform mit Lagekreis	459
16.3 Dreiachsige Plattformen	462
16.3.1 Die Plattform mit drei I-Wendekreisen	462
16.3.2 Die Plattform mit zwei Lagekreisen	467
16.4 Die Abstimmung von Plattformen	471
16.4.1 Die Abstimmung eines künstlichen Pendels	471
16.4.2 Die horizontierte Plattform mit Nachführung über einen Servokreis	473
16.4.3 Der Wegfehler bei abgestimmten Plattformen	475
16.4.4 Das Blockschaltbild einer erdorientiert nachgeführten Plattform	478
16.5 Die Ausrichtung einer Plattform	479
Literaturverzeichnis	483
Namen- und Sachverzeichnis	487