

1 Die Anziehung der Massen	1
1.1 Die Gravitationskraft und das Gravitationspotential	1
1.2 Das Newton'sche Gravitationsgesetz	3
1.2.1 Vektorielle Darstellung des Gravitationsgesetzes	4
1.2.2 Die Erdbeschleunigung	5
1.3 Sonne, Erde und Mond	6
1.3.1 Die Kinematik der Kreisbewegung	7
1.3.2 Das Newton'sche Bewegungsgesetz	9
1.3.3 Die Bewegung der Erde um die Sonne	9
1.3.4 Die Bewegungen des Erde-Mond-Systems	11
1.3.5 Die Bewegung des Erde-Mond-Systems um die Sonne	13
1.3.6 Einige Hilfsbeziehungen	16
1.3.7 Das Gravitationspotential von Sonne, Erde und Mond	17
1.4 Die Bewegung auf einer Ellipse	18
1.4.1 Die Geometrie der Ellipse	18
1.4.2 Die Kinematik der nichtgeradlinigen Bewegung	20
1.4.3 Das Kepler'sche Abstandsgesetz	21
1.4.4 Die Bewegungen der elliptischen Bahn	22
1.4.5 MATLAB-Programme	23
1.5 Die Gravitation verteilter Massen	25
1.5.1 Die Poisson-Gleichung für das Gravitationspotential	26
1.5.2 Das Schwarze Loch	26
1.6 Zusammenfassung	27
2 Das Leben auf einem Karussell	29
2.1 Siderischer und solarer Tag	29
2.2 Eigenrotationsanteile	31
2.3 Die absolute Bewegung im Erde-Sonne-Mond-System	33

2.4	Rotierende Bezugssysteme	35
2.4.1	Die Wirkung der Zentrifugal- auf die Erdbeschleunigung	37
2.4.2	Die Periode des tropischen Monats	39
2.4.3	Die Corioliskraft	40
2.5	Die Kraftbilanz einer Masse auf der Erdoberfläche	41
2.6	Zusammenfassung	44
3	Gezeitenkräfte	47
3.1	Gezeitenkraft der Sonne	48
3.1.1	Polardiagramm der Gezeitenbeschleunigung der Sonne	49
3.1.2	Das nautische Dreieck	52
3.1.3	Die Position eines Gestirns am Himmel	54
3.1.4	Die Änderung des Zenitwinkels eines Gestirns	56
3.1.5	Die globale Verteilung der Gezeitenbeschleunigung der Sonne	57
3.2	Die Gezeitenkräfte des Mondes	61
3.2.1	Verteilung der Mondgezeitenbeschleunigung über den Globus	64
3.2.2	Das MATLAB-Programm	65
3.2.3	Die Dominanz der M_2 -Gezeit	67
3.3	Die Theorie des Gezeitenpotentials	68
3.3.1	Das Gezeitenpotential der Sonne	68
3.3.2	Die Entwicklung des Gezeitenpotentials	69
3.3.3	Das Gezeitenpotential des Mondes	73
3.3.4	Die Gezeitenbeschleunigung	74
3.3.5	Die Gezeitenkonstante G	74
3.4	Zusammenfassung	75
4	Die Vorhersage des Tidewasserstands	77
4.1	Pegelmessungen von Wasserständen	77
4.1.1	Schwimmer- und Radarpegel	78
4.1.2	Nomenklatur	81
4.2	Die Partialtidenanalyse	82
4.3	Der Partialtidenzoo	83
4.3.1	Hauptfrequenzen der Gezeiten	84
4.3.2	Flachwasserfrequenzen der Gezeiten	85
4.3.3	Die Least-Square-Approximation	86
4.3.4	Das diskrete Partialtidenspektrum	87
4.3.5	Die Partialtidensynthese	87
4.4	Charakteristika des Gezeitensignals	89
4.4.1	Spring-Nipp-Zyklus	89
4.4.2	Die tägliche Ungleiche	91

4.4.3	Ganztägige und halbtägige Gezeiten	93
4.4.4	Die Asymmetrie der Tide	93
4.5	Zusammenfassung	95
5	Schwerewellen	97
5.1	Die Wasserhaushaltsgleichung	100
5.1.1	Dichte und Volumen	101
5.1.2	Massenflüsse und Strömungsgeschwindigkeit	102
5.1.3	Verallgemeinerung für beliebige Berandungsflächen	103
5.1.4	Beliebig geformte Berandungsflächen	104
5.2	Die Massenbilanz für eine Wassersäule	106
5.2.1	Die Divergenz in kartesischen Koordinaten	108
5.2.2	Mechanismen der Wasserspiegelveränderung	109
5.3	Die Impulsbilanz	111
5.3.1	Die Gravitationskraft	112
5.3.2	Druckkräfte	112
5.3.3	Der hydrostatische Druck	114
5.3.4	Die hydrostatische Druckapproximation	114
5.3.5	Betrachtung für eine Wassersäule	115
5.4	Die Wellengleichung	116
5.4.1	Die Theorie der Flachwasserwellen	117
5.4.2	Wellenfunktion und Wellengleichung	117
5.4.3	Die Ausbreitungsgeschwindigkeit von Flachwasserwellen	119
5.4.4	Die Länge von Tidewellen	120
5.4.5	Die Strömungsgeschwindigkeit unter Tidewellen	122
5.4.6	Tidefall und Tidedstieg	123
5.5	Die Entstehung von Flachwassertiden	124
5.6	Partialtidenverhältnisse in der Deutschen Bucht	125
5.7	Von der Gezeitenbeschleunigung zur Gezeitenwelle	130
5.8	Zusammenfassung	133
6	Tidedynamik in Ästuaren	135
6.1	Die Saint-Venant-Gleichungen	138
6.1.1	Die Massenbilanz in einem Fließgewässerquerschnitt	138
6.1.2	Die Impulsbilanz in einem Fließgewässerquerschnitt	139
6.1.3	Die Kornrauheit	144
6.1.4	Lösung der Saint-Venant'schen Gleichungen in MATLAB	145
6.1.5	Randbedingungen	147
6.1.6	Strömungsgeschwindigkeiten im Ästuar	149
6.2	Tidekennwerte und ihre Analyse	150
6.2.1	Tidekennwerte des Wasserstandes	152
6.2.2	Tidekennwerte der Strömungsgeschwindigkeit	153

10 Die Theorie idealer Wellen	257
10.1 Die Massenbilanz für einen Punkt	260
10.2 Die ideale rotationsfreie Strömung	262
10.2.1 Die Euler-Gleichungen	262
10.2.2 Die rotationsfreie Strömung	263
10.3 Lineare Theorie langer Wellen kleiner Amplitude	265
10.3.1 Die Form der freien Oberfläche	268
10.3.2 Die Orbitalgeschwindigkeiten	269
10.3.3 Der Vergleich mit den Messungen	271
10.3.4 Der Druck unter Airy-Wellen	273
10.3.5 Phasen- und Gruppengeschwindigkeit von Airy-Wellen	273
10.3.6 Die Tide als ideale Welle	276
10.4 Wellenausbreitung in beliebige Richtungen	277
10.5 Orbitalbahnen und Driftbewegungen	279
10.5.1 Die Orbitalbahnen unter Airy-Wellen	280
10.5.2 Die Stoke'sche Driftgeschwindigkeit	281
10.6 Stokes-Wellen	283
10.7 Hydromechanische Belastungen von Offshoreanlagen	286
10.7.1 Die Morison-Formel	288
10.7.2 Die Kräfte der Gezeitenströmungen	289
10.7.3 Wellenkräfte auf Pfeilerbauwerke	290
10.8 Zusammenfassung	293
11 Die Grenzschicht unter Wellen	295
11.1 Die laminare Wellengrenzschicht	298
11.2 Die turbulente Wellengrenzschicht	302
11.2.1 Die turbulente Viskosität in der Grenzschicht unter Wellen	302
11.2.2 Das turbulente logarithmische Profil	304
11.2.3 Die Sohlschubspannungsformel von Bagnold	305
11.2.4 Der Maximalwert der Wellensohlschubspannung	308
11.2.5 Die Grenzschichtdicke	308
11.2.6 Die oszillierende turbulente Grenzschicht	310
11.3 Die Kombination von Strömung und Welle	310
11.3.1 Die kombinierte Sohlschubspannungsgeschwindigkeit	311
11.3.2 Die Beeinflussung der mittleren Strömung durch Wellen	311
11.3.3 Die kombinierte Sohlschubspannung unter Strömung und Welle	314
11.4 Zusammenfassung	316

12 Die Transformation der Welleneigenschaften	319
12.1 Die Veränderung von Wellenzahl und Wellenlänge	320
12.2 Die Energie von Oberflächenwellen	321
12.2.1 Der Energiebegriff der Hydromechanik	321
12.2.2 Die Bilanz der Wellenenergiedichte	323
12.2.3 Wellenenergieflüsse	326
12.2.4 Shoaling	327
12.2.5 Energie aus Seegang und Gezeiten	330
12.2.6 Wellenenergieverluste durch Sohl Schubspannungen	331
12.2.7 Shoaling und Sohlreibung	332
12.2.8 Der Energieeintrag durch den Wind	333
12.3 Refraktion von Wellen	334
12.3.1 Das Snellius'sche Brechungsgesetz	334
12.3.2 Das Fermat'sche Prinzip	335
12.3.3 Die Kombination von Refraktion und Shoaling	336
12.3.4 Die Phasenfunktion	337
12.3.5 Das Gesetz von der Erhaltung der Wellengipfel	338
12.4 Das Brechen der Wellen	339
12.4.1 Das Kriterium von Miche	340
12.4.2 Brecherarten	341
12.4.3 Der Auflaufbereich	344
12.5 Zusammenfassung	345
13 Seegang	347
13.1 Die Erfassung des Seegangs	348
13.2 Die Stochastik des Seegangs	350
13.2.1 Die Rayleigh-Verteilung der Wellenhöhe	351
13.2.2 Die kumulative Verteilung oder Summenkurve der Wellenhöhen	352
13.3 Die spektrale Verteilung der Seegangenergie	354
13.3.1 Die spektrale Energiedichte	354
13.3.2 Empirische Bestimmung des Energiedichtespektrums	355
13.3.3 Bestimmung des Energiedichtespektrums	359
13.4 Modellfunktionen für Seegangsspektren	361
13.4.1 Die Phillips-Funktion	361
13.4.2 Das Pierson-Moskowitz-Spektrum	362
13.4.3 Signifikante Seegangparameter	364
13.4.4 Das JONSWAP-Spektrum	367
13.4.5 Signifikante Parameter des jungen Seegangs	367
13.4.6 Die Kitaigorodskii-Funktion	371
13.4.7 Das TMA-Spektrum	373
13.4.8 Die Richtungsabhängigkeit der Energieverteilung	373