

1	Einführung	1
2	Bewegung von Teilchen	7
2.1	Der Aufbau der Materie aus Teilchen	8
2.2	Bahnlinien oder Trajektorien	9
2.3	Geschwindigkeiten	10
2.3.1	Von der Geschwindigkeit zum Ort	12
2.3.2	Die Kinematik eines Teilchens	13
2.4	Beschleunigungen	14
2.4.1	Der freie Fall	16
2.4.2	Die Wurfparabel	17
2.4.3	Die Kinematik eines Teilchens II	19
2.5	Die Kinematik der Kreisbewegung	20
2.6	Die Bewegungen der Planeten	23
2.6.1	Die Keplerschen Gesetze	23
2.6.2	Die Bewegung auf einer Ellipse	24
2.7	Raum und Zeit	26
2.7.1	Abstände in Raum und Zeit	27
2.7.2	Eigengeschwindigkeit und Eigenzeit	30
2.7.3	Die Einheit der Geschwindigkeit	32
2.8	Wie geht es weiter?	32
3	Die Änderung von Bewegungen	33
3.1	Das Newtonsche Bewegungsgesetz	34
3.1.1	Schwere Masse und Massendichte	34
3.1.2	Massenteilchen und ihre Eigenschaften	35
3.1.3	Das Konzept des Drucks	35
3.1.4	Die kinetische Energie	37
3.2	Die relativistische Mechanik	37
3.2.1	Gravitation als Ursache von Drehungen der Eigengeschwindigkeit	37

3.2.2	Elektromagnetische Wechselwirkungen	40
3.2.3	Vom intrinsischen zum allgemein gültigen Koordinatensystem . . .	40
3.2.4	Das vierdimensionale Potential	41
3.2.5	Trennung von Raum- und Zeitanteilen	42
3.2.6	Elektromagnetische und Gravitationsfelder.	43
3.2.7	Die relativistische Energie	44
3.2.8	Der relativistische Impuls	45
3.2.9	Von der relativistischen zur klassischen Impulsgleichung.	46
3.3	Ausblick auf die Elektrodynamik	47
3.4	Ausblick auf die Gravitationstheorie	48
3.5	Die Lagrangesche Mechanik	49
3.5.1	Die Euler-Lagrange-Gleichung	51
3.5.2	Beschleunigte Bezugssysteme	52
3.5.3	Die Lagrangesche als Newtonsche Mechanik	54
3.5.4	Die Lagrangesche Bahnableitung	54
3.5.5	Der Energieerhaltungssatz in der Lagrangeschen Mechanik.	55
3.5.6	Der relativistische Lagrange-Formalismus	56
3.6	Naturphilosophische Zusammenfassung	58
4	Das Newtonsche Gravitationsgesetz	59
4.1	Theorie der Gravitation	59
4.1.1	Das Gravitationspotential einer homogenen Kugel	60
4.1.2	Das Gravitationspotential von Punktmassen	62
4.2	Das Gravitationsfeld	64
4.2.1	Der Gradient des reziproken Abstands.	65
4.2.2	Wirkt das Gravitationsfeld auch auf seine Quellen?	66
4.2.3	Das Gravitationsfeld der Erde	67
4.2.4	Gravitationskraft zwischen zwei Punktmassen	69
4.3	Newton und die Keplerschen Gesetze	71
4.3.1	Zentrifugal- und Zentripetalkraft auf der Kreisbahn	72
4.3.2	Das Keplersche Abstandsgesetz.	72
4.3.3	Die Bahngeschwindigkeit der Planeten	74
4.3.4	Die Abhängigkeit der Gravitation vom Abstand	74
4.3.5	Das dritte Keplersche Gesetz	75
4.4	Unser Sonnensystem modellieren	77
4.5	Das Zweikörper-Problem.	80
4.5.1	Die Bewegungen des Erde-Mond-Systems	81
4.5.2	Die Bewegung des Erde-Mond-Systems um die Sonne	83
4.6	Die Periheldrehung	84
4.6.1	Bewegungen der Erd- und der Mondbahn	85

4.6.2	Die Periheldrehung des Merkur	86
4.7	Die Dynamik des Photons im Gravitationsfeld	87
4.7.1	Die gravitative Rotverschiebung	88
4.7.2	Die Ablenkung des Lichts	90
4.8	Zusammenfassung	91
5	Die Coulombsche Wechselwirkung	93
5.1	Ladungsdichte und Ladungen	95
5.1.1	Elektronen und Protonen	96
5.1.2	Der elektrische Strom.	97
5.1.3	Die Erhaltung der elektrischen Ladung und ihre Kontinuitätsgleichung	99
5.1.4	Die infinitesimale Massenbilanz	100
5.2	Das elektrische Potential	100
5.2.1	Das elektrische Feld und seine Gesetze.	103
5.2.2	Punktladungen	104
5.2.3	Das Coulombsche Gesetz.	104
5.2.4	Das Gaußsche Gesetz des elektrischen Feldes.	105
5.2.5	Die elektrische Spannung.	106
5.2.6	Lösung der Poissongleichung in MATLAB.	107
5.3	Das Wasserstoffatom und die Atomphysik	111
5.3.1	Das Rutherfordsche Atommodell.	111
5.3.2	Das Bohrsche Atommodell	113
5.4	Gibt es ein gemeinsames gravitoelektrisches Potential?	114
6	Magnetische Wechselwirkungen	117
6.1	Elektromagnetische Wechselwirkungen	117
6.1.1	Die Bewegungsgleichung einer Ladung	119
6.1.2	Die potentielle Energie einer Ladung	121
6.2	Magnetische Kraft und magnetisches Feld	122
6.2.1	Magnetfeld eines stationär durchflossenen Leiters	123
6.2.2	Das Gaußsche Gesetz des magnetischen Feldes	123
6.2.3	Das Durchflutungsgesetz der Magnetostatik	124
6.2.4	Die rotierende homogen geladene Kugel.	127
6.2.5	Der Spin von Elektron und Proton.	130
6.3	Polarlichter.	132
6.4	Gravitomagnetismus	135
7	Retardierung	137
7.1	Retardierte Potentiale.	139
7.1.1	Numerische Lösung der Wellengleichungen	140
7.1.2	Die retardierte potentielle Energie.	142
7.1.3	Der Gradient des retardierten Potentials	143

7.1.4	Beweis für die Wellengleichung des elektrischen Potentials	144
7.1.5	Die Lorenz-Eichung als Erhaltung der Ladungen	145
7.1.6	Liénard-Wiechert-Potentiale	147
7.2	Retardierte elektromagnetische Felder	149
7.2.1	Die Maxwellschen Gleichungen	149
7.2.2	Äquivalenz zu den inhomogenen Wellengleichungen	150
7.2.3	Die Jefimenko-Gleichungen für die elektromagnetischen Felder	151
7.2.4	Lienard-Wiechert-Felder	153
7.2.5	Der Hertzsche Dipol.	154
7.3	Die Energiebilanz in der Elektrogravitation	155
7.4	Elektrogravitation oder allgemeine Relativitätstheorie?	156
7.4.1	Gravitationswellen	157
7.4.2	Die Heaviside-Gleichungen der Gravitation	157
7.4.3	Liénard-Wiechert-Gravitationsfelder.	159
7.5	Die Morphologie der Spiralgalaxien	159
7.6	Die Philosophie der Natur	162
8	Ausblick	165
	Literatur	167