

Inhaltsverzeichnis

Liste der Definitionen, Wissen und Rezepte	xiii
Wie verwendet man dieses Buch?	1
Motivation und Überblick	5
1 Wissenschaftliche Arbeitsweisen	9
1.1 Gemeinsamer Ausgangspunkt	9
1.2 Beobachten	11
1.3 Genauer Beobachten	12
1.4 Beschreiben / Empirie	14
1.4.a Korrelationen suchen	14
1.4.b Empirische Gleichungen finden	16
1.4.c Wert von Korrelation und Empirie	16
1.5 Verstehen / Theorie	18
1.5.a Selbst Nachdenken	18
1.5.b Recherchieren und Lesen	19
1.5.c Hypothese – Modell	19
1.5.d Theorie	21
1.6 Vorhersagen	24
1.6.a Empirie-basierte Vorhersagen	24
1.6.b Theorie-basierte Vorhersagen	25
1.6.c Hybride Vorhersagen	26
1.7 Bewusst Herbeiführen / Experiment	26
1.8 Gedankenexperiment	28
1.9 Mitteilen und Erzählen	30
1.9.a Publikation	31
1.9.b Interner Bericht – Abschlussarbeit	31
1.9.c Brief an die Chefin	32
1.9.d Allgemeinverständliche Darstellung	32
1.9.e Poster	33
1.9.f Diskurs	33
2 Größen, Dimensionen und Einheiten	37
2.1 Physikalische Größen	37
2.1.a Definition von physikalischen Größen	38
2.1.b Dimension und Größenart	39
2.1.c Das internationale System der Größen	40
2.1.d Vektorgrößen und Skalare	42
2.2 Einheiten	42
2.2.a Einheiten angeben	43
2.2.b Das internationale System der Einheiten – SI	44
2.2.c Umrechnen von Einheiten	48

2.3	Rechnen mit Größen	51
2.4	Dimensionsanalyse	53
2.4.a	Einfache Dimensionsanalyse und Einheitenanalyse	53
2.4.b	Dimensionsanalyse für Fortgeschrittene	55
2.4.c	Dimensionsanalyse für Experten	57
3	Mathematik für die Physik	61
3.1	Anwendbarkeit der Mathematik	61
3.1.a	Unabhängigkeit der Mathematik von der physikalischen Anwendung	62
3.1.b	Unterschied Mathematik – Physik	62
3.1.c	Physik mit Mathematik	63
3.2	Statistik	64
3.2.a	Basiskennzahlen	64
3.2.b	Mittelwert	65
3.2.c	Varianz	66
3.2.d	Standardabweichung	67
3.2.e	Kovarianz	67
3.2.f	Korrelation	68
3.2.g	Weitere Anwendungen der Residuensumme	69
3.2.h	Gauß-Verteilung	70
3.3	Funktionen	72
3.3.a	Warum Funktionen in der Physik nützlich sind	72
3.3.b	Stetigkeit	73
3.3.c	Grenzwerte und andere besondere Stellen	73
3.3.d	Ableitung	74
3.3.e	Integration	77
3.3.f	Spezielle Funktionen	80
3.3.g	Differenzialgleichungen	83
3.3.h	Mehrdimensionale Funktionen	85
3.3.i	Partielle Ableitung	86
3.3.j	Totales Differenzial	87
3.4	Lineare Algebra	89
3.4.a	Vektoren	89
3.4.b	Skalarprodukt	91
3.4.c	Matrizen	93
3.4.d	Kreuzprodukt	94
3.4.e	Spezielle Vektoren	95
3.4.f	Bra-Ket-Schreibweise	97
4	Rechnen ohne Rechner	99
4.1	Darstellung von Zahlen	100
4.2	Grundrechenarten	101
4.2.a	Addition und Subtraktion von Zahlen	101
4.2.b	Multiplikation von Zahlen	102
4.2.c	Division von Zahlen	103
4.2.d	Vorsicht mit der Null	104
4.3	Kopfrechnen für Fortgeschrittene	105
4.3.a	Wurzeln von Zahlen	105
4.3.b	Winkelfunktionen	105
4.3.c	e-Funktion und Logarithmus	106
4.4	Kopfrechnen für Spezialisten	109

5	Diagramme und Visualisierung von Daten	113
5.1	Grundregeln Diagramme	113
5.1.a	Achsenbeschriftung und Skalierung	114
5.1.b	Originaldaten	115
5.2	Häufigkeitsverteilung	115
5.2.a	Einfache Häufigkeitsverteilungen	115
5.2.b	Histogramm	116
5.3	x - y -Diagramme	118
5.3.a	x - y -Diagramme – ein Datensatz	118
5.3.b	x - y -Diagramme – mehrere Datensätze	119
5.3.c	Logarithmische Darstellung	122
5.4	Ausgleichskurven	123
5.4.a	Grundgedanken zu Ausgleichsfunktionen	123
5.4.b	Polynome	124
5.4.c	Andere empirische Funktionen	125
5.4.d	Theoriebasierte Ausgleichsfunktion	125
5.4.e	Empirische Funktionen suchen	128
5.5	Wie liest man Diagramme	129
6	Symmetrien	133
6.1	Symmetrien	133
6.1.a	Mathematische Beschreibung von Symmetrien	135
6.1.b	Physikalische Symmetrien	139
6.1.c	Nutzen von Symmetrien	140
6.2	Skalierungen	142
6.2.a	Skalierungsfaktor und Skalierungsexponent	143
6.2.b	Geometrische Skalierungen	144
6.2.c	Allgemeine Skalierungen	146
6.3	Bezugssysteme	148
7	Modellbildung	151
7.1	In vier Schritten zur Lösung	152
7.1.a	Variablen und grafisches Modell	152
7.1.b	Mathematisches Modell: Die Formel	154
7.1.c	Annahmen treffen, Werte schätzen	154
7.1.d	Ausrechnen	155
7.2	Grundlegendes und Tipps zur Modellbildung	156
7.2.a	Reduktion der Komplexität	156
7.2.b	Rückführen auf Bekanntes	157
7.3	Prognose oder Szenario?	161
8	Messungen und Auswertung	163
8.1	Grundlagen einer Messung	163
8.1.a	Aufgabe einer Messung	164
8.1.b	Einzelmessung	166
8.1.c	Messstrategie	166
8.1.d	Dokumentation	167
8.1.e	Messunsicherheiten	168
8.1.f	Kalibrieren, Eichen, Korrektion und Justierung	169
8.2	Wiederholungsmessungen	171
8.2.a	Verteilung der Messwerte – Histogramm	172
8.2.b	Auswahl der Messwerte	172
8.2.c	Schnellanalyse	173
8.2.d	Mittelwert und Standardabweichung	174

8.2.e	Typ-A Unsicherheit des Bestwertes	175
8.2.f	Addition der Unsicherheiten	175
8.2.g	Darstellung eines Messergebnisses	176
8.3	Kombinierte Unsicherheiten	178
8.3.a	Aufstellen eines mathematischen Modells	178
8.3.b	Bestwert bei einer indirekten Messung	179
8.3.c	Kombination von Unsicherheiten (Fortpflanzung)	180
8.3.d	Vereinfachungen	182
8.4	Zusammenfassung zum Auswerten von Messungen	185
8.5	Optimierung von Experimenten	187
8.6	Andere Unsicherheiten	188
9	Erhaltungsgrößen und Bilanzen	191
9.1	System	191
9.2	Mengenartige Größen	194
9.2.a	Mengenartige Größen finden	194
9.2.b	Erhaltungsgrößen	195
9.2.c	Dichte einer mengenartigen Größe G	196
9.2.d	Erhaltungsgrößen aus dem Nichts?	197
9.3	Ströme und Zustandsänderung	198
9.3.a	Das Stromkonzept	198
9.3.b	Strom von Erhaltungsgrößen	199
9.3.c	Umdrehen der Bilanzrichtung	200
9.3.d	Mehrere Austauschkanäle zwischen zwei Systemen	202
9.3.e	Bilanzgleichung eines Systems	203
9.3.f	Zwischenstand Bilanzgleichung und deren Einsatzgebiet	204
9.3.g	Welche Mechanismen von Strömen gibt es? Stromarten	208
9.3.h	Beschreibung von Stromwegen	209
9.3.i	Stromdichten	210
9.4	Mengenartige Ströme und Energie	211
9.4.a	Energieform	211
9.4.b	Intensive Größe finden	212
9.4.c	Reservoir	213
9.4.d	Stromrichtung einer freien Strömung	214
9.5	Steckbriefe mengenartiger Größen	214
10	Spezielle mengenartige Größen und Ströme	217
10.1	Masse	217
10.2	Volumen	218
10.3	Elektrische Ladung	220
10.4	Impuls	221
10.4.a	Was ist Impuls?	221
10.4.b	Impulserhaltung	222
10.4.c	Einfache Anwendungen der Impulserhaltung	224
10.4.d	Mathematische Notation des Impulsstroms	227
10.5	Drehimpuls	228
10.5.a	Was ist Drehimpuls	228
10.5.b	Drehimpulsströme und Drehimpulsänderung	230
10.6	Stoffmenge und Teilchenzahl	232
10.7	Entropie	234
10.7.a	Was ist Entropie?	235
10.7.b	Entropie erzeugen	235
10.7.c	Entropie und Zeit	235
10.7.d	Entropie und Wahrscheinlichkeit	236

10.7.e	Prozesse mit Entropieerzeugung	237
10.7.f	Entropiebilanz	239
10.8	Energie	239
10.9	Übersicht physikalische Erhaltungsgrößen	240
11	Energie	243
11.1	Energie Vokabeln	243
11.1.a	Energie eines Systems	244
11.1.b	Energie und Arbeit	244
11.1.c	Energiedichte	246
11.1.d	Energiestromstärke	247
11.1.e	Energiestromdichte	248
11.1.f	Energiespeicher	249
11.1.g	Energieträger	250
11.1.h	Energiequellen	250
11.2	Energieversorgung der Erde	251
11.2.a	Sonnenenergie	251
11.2.b	Energie aus dem Erdinnern	252
11.2.c	Rotationsenergie Erde	252
11.3	Energieaustausch zwischen 2 Systemen	253
11.3.a	Energieformen	253
11.3.b	Übertragung durch ideale Leitungen	253
11.3.c	Energetisches Gleichgewicht	254
11.3.d	Erreichen des Gleichgewichts – der Weg dahin	258
11.3.e	Energieverbrauch	261
11.3.f	Umsetzer, Maschinen, Lebewesen	262
11.3.g	Qualitätsmaß für Energieumsetzer	264
11.3.h	Energetische Analyse von Anlagen	267
11.4	Gibbssche Fundamentalform	268
12	Besserwissen	271
12.1	Kinematik	271
12.1.a	Beschreibung von Punkten im Raum	272
12.1.b	Bewegung von Punkten im Raum	272
12.1.c	Geradlinige Bewegung	274
12.1.d	Kreisbewegung	275
12.1.e	Harmonische Schwingung	278
12.1.f	Kinematik auf einen Blick	279
12.2	Wie man mit Impuls die Welt beschreibt	280
12.2.a	Was ist bereits über Impuls bekannt?	280
12.2.b	Was geschieht, wenn einem System Impuls übertragen wird?	281
12.2.c	Muss ich warten, bis mich jemand anschiebt? Impulstrennung	285
12.2.d	Impulspumpe	286
12.2.e	Wo kommt der Impuls her und wo geht er hin?	287
12.2.f	Impulsübertrag durch Felder / Gravitation	288
12.2.g	Freier Fall und Schwerelosigkeit	291
12.2.h	Impulsübertrag durch direkten Kontakt	292
12.2.i	Impulsleitung (konduktiver Impulsübertrag)	295
12.2.j	Impulstransport durch Konvektion	297
12.2.k	Ziehen einer Kiste	297
12.2.l	Wie misst man eine Impulsstromstärke?	298
12.3	Energieerhaltungssatz in der Punktmechanik	300
12.3.a	Energiebilanz zwischen Zuständen	300
12.3.b	Energiebilanz eines energetisch isolierten Systems	301

12.3.c	Energiebilanz eines energetisch offenen Systems	303
12.4	Warum fliegt ein Flugzeug?	304
12.4.a	Beobachtung: Ein Flugzeug fliegt.	304
12.4.b	Recherche: Warum fliegt ein Flugzeug?	304
12.4.c	Nachhaken: Stimmt das?	305
12.4.d	Andere Erklärung, Verbesserung der Theorie	305
12.4.e	Warum sind Flugzeugflügel gewölbt?	306
12.4.f	Fazit Flugzeugbetrachtung	307
12.5	Gedanken zu Einheiten und Dimensionen	308
12.5.a	Sind Größen mit eigenen Einheiten wichtiger als andere?	308
12.5.b	Ist ein Mol eine gewisse Anzahl an Teilchen?	309
A	Tabellen	311
B	Literatur	315