

# Physik

**Eine Einführung für Ingenieure**

Von Prof. Dr. rer. nat. Eckard Gerlach  
und Prof. Dr. rer. nat. Peter Grosse  
Rhein. Westf. Techn. Hochschule, Aachen

3 überarbeitete Auflage



B. G. Teubner Stuttgart 1995

# Inhaltsverzeichnis

1. EINFÜHRUNG	13
<b>GRUNDBEGRIFFE DER PUNKTMECHANIK UND DER MECHANIK STARRER KÖRPER</b>	
2. KRÄFTE IM GLEICHGEWICHT	17
3. DYNAMIK I (Das dynamische Gleichgewicht)	22
3.1 Kinematik . . . . .	23
4. DYNAMIK II (Trägheitskraft)	27
5. BEWEGUNGEN MIT KONSTANTER BESCHLEUNIGUNG	30
5.1 Fallbeschleunigung, Gewichtskraft . . . . .	32
6. GRÖSSEN, EINHEITEN, DIMENSIONEN	34
7. BEWEGUNG AUF GEKRÜMMTEN BAHNEN, KREISBEWEGUNGEN	36
8. IMPULS	44
9. ARBEIT, ENERGIE	52
10. KRAFT, FELDSTÄRKE, POTENTIAL	60
10.1 Gravitation . . . . .	61
11. PRINZIP DER VIRTUELLEN ARBEIT, MECHANIK STARRER KÖRPER I	64
11.1 Hebel, Drehmoment . . . . .	64
11.2 Massenzentrum . . . . .	68
12. MECHANIK STARRER KÖRPER II (DYNAMIK)	71
12.1 Das Trägheitsmoment . . . . .	71
12.2 Dynamisches Gleichgewicht . . . . .	72
12.3 Drehimpuls . . . . .	73
12.4 Drehung um einen starren Punkt (Kreisel) . . . . .	78

## KONTINUUMSMECHANIK

<b>13.SPANNUNGEN UND VERFORMUNGEN</b>	<b>81</b>
13.1 Normalkräfte, Tangentialkräfte . . . . .	84
13.2 Der Fließvorgang . . . . .	88
13.3 Allseitige Normalspannung: Druck . . . . .	89
13.4 Druck in Flüssigkeiten und Gasen . . . . .	90
13.5 Barometrische Höhenformel . . . . .	94
<b>14.STRÖMUNGSVORGÄNGE</b>	<b>97</b>
14.1 Strom und Stromdichte . . . . .	97
14.2 Die Kontinuitätsgleichung . . . . .	99
14.3 Die Bernoulli-Gleichung . . . . .	100
14.4 Zähne Flüssigkeiten . . . . .	104
14.5 Turbulenz . . . . .	110
<b>15.REIBUNG, RELAXATIONSPROZESSE</b>	<b>112</b>

## PERIODISCHE BEWEGUNGEN

<b>16.SCHWINGUNGEN</b>	<b>115</b>
16.1 Harmonische Schwingungen . . . . .	115
16.2 Gedämpfte Schwingungen . . . . .	121
16.3 Entdämpfte Schwingungen, Rückkopplung . . . . .	126
16.4 Kippschwingungen . . . . .	126
16.5 Erzwungene Schwingungen . . . . .	128
16.6 Gekoppelte Schwingungen . . . . .	131
<b>17.ÜBERLAGERUNG UND ZERLEGUNG VON SCHWINGUNGEN</b>	<b>136</b>
17.1 Amplitudenmodulation (AM) . . . . .	136
17.2 Fourier-Zerlegung . . . . .	137
17.3 Zweidimensionale Superposition . . . . .	142
<b>18.WELLENERSCHEINUNGEN</b>	<b>146</b>
18.1 Phasen- und Gruppengeschwindigkeit . . . . .	147
18.2 Physikalische Realisierungen von Wellen . . . . .	150
18.3 Das Huygens-Prinzip und seine Anwendungen . . . . .	153
18.4 Interferenzerscheinungen . . . . .	163

## OPTIK

<b>19.ELEMENTE DER STRAHLENOPTIK</b>	<b>172</b>
19.1 Ideale Abbildung . . . . .	172
19.2 Anwendungen der Abbildungsgleichung . . . . .	175
19.3 Unschärfe, Verzerrung . . . . .	179

<b>20. ANWENDUNGEN DER STRAHLENOPTIK</b>	<b>184</b>
20.1 Lochkamera . . . . .	184
20.2 Relative Öffnung, Apertur . . . . .	185
20.3 Auge . . . . .	185
20.4 Diaprojektor . . . . .	187
20.5 Lupe . . . . .	189
20.6 Mikroskop . . . . .	190
20.7 Fernrohr . . . . .	192
<b>21. INTERFERENZMUSTER UND BILD</b>	<b>194</b>
21.1 Auflösungsvermögen des Fernrohrs . . . . .	194
21.2 Auflösungsvermögen des Mikroskops . . . . .	195
21.3 Rolle der Beugungsordnungen für die Bildentstehung . . . . .	197
21.4 Holographie . . . . .	198
<b>22. SPEKTROSKOPIE</b>	<b>200</b>
22.1 Interferenzgitter . . . . .	200
22.2 Prisma . . . . .	200
22.3 Fourier-Spektroskopie . . . . .	202
22.4 Filter . . . . .	204
22.5 Kontinuierliche Spektren . . . . .	206
22.5.1 Kirchhoffsches Strahlungsgesetz . . . . .	207
22.6 Linienspektren . . . . .	210
<b>23. LASER</b>	<b>213</b>
<b>TEMPERATUR UND WÄRME</b>	
<b>24. DAS IDEALE GAS</b>	<b>216</b>
24.1 Druck von Gasen . . . . .	216
24.2 Molekularkinetische Deutung des Drucks . . . . .	219
24.3 Die thermodynamische Temperatur . . . . .	222
24.4 Molare Größen . . . . .	226
24.5 Druck- und Volumenänderung beim idealen Gas . . . . .	228
24.6 Die Maxwell-Boltzmannsche Geschwindigkeitsverteilung . . . . .	232
<b>25. REALE GASE, FLÜSSIGKEITEN</b>	<b>236</b>
25.1 Das Van der Waals-Modell . . . . .	236
25.2 Der kritische Punkt . . . . .	238
25.3 Wärme, Wärmekapazität . . . . .	240
25.4 Umwandlungswärme . . . . .	243
<b>26. TEMPERATURMESSUNG</b>	<b>248</b>
<b>27. DIFFUSIONSVORGÄNGE</b>	<b>255</b>

<b>28. IRREVERSIBLE PROZESSE</b>	<b>261</b>
28.1 Die Carnot-Maschine . . . . .	261
28.2 Anwendungen des Carnotschen Kreisprozesses . . . . .	266
<b>ELEKTROSTATIK</b>	
<b>29. ELEKTRISCHE LADUNGEN UND FELDER IM VAKUUM</b>	<b>268</b>
<b>30. POTENTIAL, SPANNUNG, ELEKTRISCHE ENERGIE</b>	<b>277</b>
<b>31. MATERIE IM KONDENSATOR</b>	<b>285</b>
31.1 Metallplatte im Kondensator . . . . .	285
31.2 Isolatorplatte im Kondensator . . . . .	287
31.3 Piezoelektrizität . . . . .	290
31.4 Ferroelektrizität . . . . .	293
<b>STROMTRANSPORT</b>	
<b>32. STROM UND WIDERSTAND</b>	<b>295</b>
<b>33. GENERATOREN IM STROMKREIS</b>	<b>301</b>
<b>34. NETZWERKE</b>	<b>309</b>
34.1 Kirchhoffsche Gesetze . . . . .	309
34.2 Serien- und Parallelwiderstände . . . . .	310
<b>MAGNETISCHE EFFEKTE</b>	
<b>35. STROM UND MAGNETFELD</b>	<b>313</b>
35.1 Definition des Magnetfeldes . . . . .	313
35.2 Homogenes Magnetfeld . . . . .	314
35.3 Magnetisches Moment . . . . .	315
35.4 Kraft auf Leiter . . . . .	317
35.5 Magnetisches Dipolmoment einer Stromschleife . . . . .	319
35.6 Die Lorentz-Kraft . . . . .	322
<b>36. INDUKTIONSEFFEKTE</b>	<b>325</b>
36.1 Wirbelströme . . . . .	325
36.2 Induktion . . . . .	327
<b>37. MATERIE IM MAGNETFELD</b>	<b>329</b>
37.1 Dia- und Paramagnetismus . . . . .	330
37.2 Ferromagnetismus . . . . .	331
37.3 Antiferro- und Ferrimagnetismus . . . . .	337

## ELEKTRODYNAMIK UND IHRE ANWENDUNGEN

<b>38.DIE MAXWELL-GLEICHUNGEN</b>	<b>339</b>
<b>39.ELEKTROMAGNETISCHE WELLEN</b>	<b>343</b>
<b>40.POLARISATIONSERSCHENUNGEN</b>	<b>346</b>
40.1 Lineare Polarisaton . . . . .	346
40.2 Die Fresnel-Gesetze . . . . .	349
40.3 Lineare Doppelbrechung . . . . .	353
40.4 Zirkular polarisiertes Licht . . . . .	356
<b>41.ELEKTROTECHNISCHE ANWENDUNGEN DES WECHSELSTROMS</b>	<b>359</b>
41.1 Gleichstrommotoren . . . . .	359
41.2 Generatoren . . . . .	361
41.3 Betatron, Transformator . . . . .	362
41.4 Wechselstromnetzwerke . . . . .	371
41.5 Drehstrom . . . . .	377
41.6 Gleichrichter, Siebkette . . . . .	379
41.7 Gleichstrommittelwert, Effektivwert . . . . .	381

## ELEKTRISCHE LEITUNGSPHÄNOMENE

<b>42.LEITUNG IN FESTKÖRPERN</b>	<b>385</b>
<b>43.IONENLEITER, ELEKTROLYTE</b>	<b>396</b>
<b>44.ELEKTRISCHER STROM IM HOCHVAKUUM UND IN GASEN</b>	<b>400</b>
44.1 Leitung im Hochvakuum . . . . .	400
44.2 Leitung in Gasen . . . . .	403

## STRUKTUR DER MATERIE

<b>45.DAS ATOM</b>	<b>406</b>
45.1 Protonen, Neutronen, Isotope . . . . .	407
45.2 Bohrsches Atommodell, Elektronen . . . . .	412
<b>46.CHEMISCHE BINDUNG</b>	<b>425</b>
46.1 Kovalente oder homöopolare Bindung . . . . .	425
46.2 Ionische oder heteropolare Bindung . . . . .	427
46.3 Metallische Bindung . . . . .	428
46.4 Van der Waals-Bindung . . . . .	429
<b>47.DIE SCHRÖDINGER-GLEICHUNG</b>	<b>430</b>

<b>48. MATHEMATISCHER ANHANG</b>	<b>435</b>
A1 Vektoren . . . . .	435
A2 Exponentialfunktion und Natürlicher Logarithmus . . . . .	438
A3 Additionstheoreme für Winkelfunktionen . . . . .	439
A4 Entwicklung von Funktionen . . . . .	439
A5 Das Wegintegral . . . . .	440
A6 Komplexe Zahlen . . . . .	441
A7 Beispiele für komplexe Lösungen . . . . .	442
A7.1 Gedämpfte Schwingung . . . . .	442
A7.2 Beugung am Einzelspalt . . . . .	443
A8 Fourier-Reihe . . . . .	445
A9 Mittelwertbildung . . . . .	446
<b>NATURKONSTANTEN</b>	<b>449</b>
<b>SACHVERZEICHNIS</b>	<b>450</b>