

Inhaltsverzeichnis

Seite

Wichtige Vorbemerkung	1
-----------------------------	---

Schwingungen

1 bis 55

Lektion 1 **Entstehung periodischer Bewegungen**

1

1.1	Einordnung der Schwingungslehre in die Entwicklung der Mechanik	1
1.2	Die Schwingung als periodische Bewegung	1
1.3	Der Kurbeltrieb als Beispiel für eine periodische Bewegung	2
1.3.1	Die Schubkurbel	2
1.3.1.1	Die kinematischen Größen des Kurbeltriebes	2
1.3.1.1.1	Der Kolbenweg	3
1.3.1.1.2	Die Kolbengeschwindigkeit	4
1.3.1.1.3	Die Kolbenbeschleunigung	4
1.3.2	Die Kurbelschleife	4

Lektion 2 **Harmonische Schwingungen und harmonische Bewegungen**

6

2.1	Die freie Sinusschwingung	6
2.1.1	Erzeugung einer freien Sinusschwingung	6
2.1.2	Zusammenhang zwischen Kreisbewegung und harmonischer Schwingung	7
2.1.2.1	Die Periodenfrequenz	8
2.1.2.2	Die Kreisfrequenz	8
2.1.2.3	Das Auslenkungs-Zeit-Gesetz (Weg-Zeit-Gesetz)	9
2.1.2.3.1	Die Sinusfunktion der harmonischen Schwingung	9
2.1.2.3.2	Die phasenverschobene Sinusfunktion der harmonischen Schwingung ...	9
2.2	Die harmonische Bewegung	11
2.3	Kraftwirkungen bei gekoppelten Systemen	11
2.3.1	Die Richtgröße der harmonischen Schwingung	12
2.3.1.1	Die Richtgröße als Funktion von Masse m und Kreisfrequenz ω	13
2.4	Energieumwandlungen bei einer harmonischen Schwingung	15
2.4.1	Das Geschwindigkeits-Zeit-Gesetz der harmonischen Schwingung	15
2.4.2	Energieverteilung während einer Schwingung	16
2.4.2.1	Kinetische Energie (Geschwindigkeitsenergie) einer schwingenden Masse	16
2.4.2.2	Potentielle Energie (Lageenergie) einer schwingenden Masse	16
2.4.2.3	Schwingungsenergie	18

Lektion 3 **Pendelschwingungen**

21

3.1	Mathematisches Pendel	21
3.2	Physisches Pendel	22
3.2.1	Ermittlung des Massenmomentes 2. Grades	23
3.2.1.1	Trägheitsmomente einfacher Drehkörper	23
3.2.1.2	Trägheitsmomente zusammengesetzter Körper	23
3.2.1.2.1	Verschiebungssatz von Steiner	24

Lektion 4 **Drehschwingungen (Torsionsschwingungen)**

27

Lektion 5	Schwingungen flüssiger und gasförmiger Körper (Fluide) ...	29
5.1	Freie Schwingungen in Rohrleitungen	29
5.1.1	Fluidpendel mit senkrechten Schenkeln	29
5.1.2	Fluidpendel mit schrägen Schenkeln	30
5.2	Erzwungene Schwingungen in Rohrleitungen	30
Lektion 6	Dämpfung von Schwingungen	32
6.1	Freie gedämpfte Schwingungen	32
6.1.1	Geschwindigkeitsunabhängige Dämpfung	32
6.1.2	Geschwindigkeitsproportionale (viskose) Dämpfung	33
6.1.2.1	Abklinggesetze der Geschwindigkeitsdämpfung	34
6.1.2.1.1	Die Größen der Geschwindigkeitsdämpfung	35
6.2	Dämpfungssysteme und ihre Anwendung	35
6.2.1	Die drei verschiedenen Fälle bei geschwindigkeitsgedämpften Systemen .	35
6.2.2	Anwendungsfälle	36
Lektion 7	Anregung von Schwingungen	38
7.1	Erzwungene ungedämpfte Schwingungen	38
7.1.1	Auslenkung einer erzwungenen ungedämpften Schwingung	38
7.2	Der Resonanzfall	39
Lektion 8	Kritische Drehzahl	42
8.1	Definition der kritischen Drehzahl	42
8.2	Berechnung der kritischen Drehzahl	42
8.2.1	Biegekritische Drehzahl	42
8.2.1.1	Der Einfluß der Exzentrizität auf die biegekritische Drehzahl	43
8.2.2	Drehkritische Drehzahl	45
8.2.3	Überlagerung von Biege- und Drehschwingungen	45
8.3	Möglichkeiten zur Beeinflussung der Laufruhe	46
Lektion 9	Überlagerung von Schwingungen	47
9.1	Superpositionsprinzip und resultierende Schwingung	47
9.2	Spezielle Überlagerungen harmonischer Schwingungen	47
9.2.1	Schwingungen gleicher Raumrichtung und gleicher Frequenz	47
9.2.1.1	Mehr als zwei Schwingungen	47
9.2.1.2	Zwei Schwingungen	47
9.2.1.2.1	Maximale Verstärkung von Schwingungen	48
9.2.1.2.2	Auslöschung von Schwingungen	48
9.2.1.3	Schwebung	49
9.2.1.4	Fourier-Synthese und Fourier-Analyse	50
9.2.1.4.1	Modulation	51
9.2.2	Senkrecht aufeinander stehende Schwingungen mit ganzzahligem Frequenzverhältnis	51
9.2.3	Gekoppelte Schwingungen	52
9.2.3.1	Gleichphasige Schwingung gekoppelter Systeme	53
9.2.3.2	Gegenphasige Schwingung gekoppelter Systeme	53
9.2.3.3	Mischphasige Schwingung gekoppelter Systeme	53
9.2.4	Kippschwingungen	54
9.2.5	Abschließende Bemerkung zur Schwingungslehre	54

Wellen 56 bis 77

Lektion 10	Physikalische Grundbegriffe der Wellenausbreitung	56
10.1	Gemeinsamkeit und Unterschied von Schwingung und Welle	56
10.2	Prinzip von Huygens	56
10.2.1	Das Kontinuum als Voraussetzung für die Wellenausbreitung	57
10.2.2	Energie- und Stofftransport bei der Wellenbewegung	57
10.3	Wellenlänge und Ausbreitungsgeschwindigkeit	58
10.3.1	Physikalische Größen einer Welle	58
10.3.2	Zusammenhang der physikalischen Größen einer Welle	58
10.3.3	Der Unterschied zwischen Ausbreitungs- und Teilchengeschwindigkeit ..	59
10.4	Wellenarten	59
10.4.1	Lineare und räumliche Wellen	59
10.4.2	Längs-, Quer- und Torsionswellen	60
10.4.2.1	Längswelle oder Longitudinalwelle	60
10.4.2.2	Querwelle oder Transversalwelle	60
10.4.2.2.1	Weg-Zeit-Gesetz der linearen Transversalwelle	61
10.4.2.2.2	Geschwindigkeits-Zeit-Gesetz der linearen Transversalwelle	61
10.4.2.3	Torsionswelle	62
10.5	Abhängigkeit der Ausbreitungsgeschwindigkeit vom Medium	62

Lektion 11	Wellenausbreitung	66
11.1	Eigenschaften von Wellen	66
11.1.1	Interferenz und Kohärenz	66
11.1.2	Doppler-Effekt und Mach-Wellen	68
11.1.2.1	Doppler-Effekt bei Schallwellen	68
11.1.2.1.1	Quelle ruht, Beobachter bewegt sich	68
11.1.2.1.2	Quelle bewegt sich, Beobachter ruht	69
11.1.2.1.3	Quelle und Beobachter bewegen sich	69
11.1.2.1.4	Quelle hat Überschallgeschwindigkeit	70
11.1.2.2	Doppler-Effekt bei Lichtwellen (s. auch 13.3.4)	71
11.1.3	Polarisation von Transversalwellen	71
11.2	Ausbreitungshindernisse	72
11.2.1	Erhaltung der Frequenz	72
11.2.2	Reflexion	72
11.2.2.1	Reflexion einer linearen Welle	72
11.2.2.2	Reflexion von räumlichen Wellen	73
11.2.3	Brechung	74
11.2.4	Beugung	75

Optik 78 bis 140

Lektion 12	Geometrische Optik	78
12.1	Gliederung der Optik	78
12.2	Reflexion des Lichts	79
12.2.1	Lichtstrahlen	79
12.2.2	Reflexion an ebenen Flächen	79

	Seite	
12.2.2.1	Reflexionsarten und Reflexionsgesetz	79
12.2.2.2	Der Reflexionsgrad	80
12.2.3	Reflexion an gekrümmten Flächen	80
12.3	Brechung und Dispersion des Lichts	80
12.3.1	Das Brechungsgesetz	80
12.3.2	Dispersion	82
12.3.3	Brechung an einer planparallelen Platte	83
12.3.4	Brechung am Prisma	83
12.3.5	Totalreflexion	85
12.3.5.1	Technische Anwendungen der Totalreflexion	85
12.3.5.1.1	Reflexionsprismen	85
12.3.5.1.2	Lichtleiter	86
12.4	Entstehung optischer Bilder	87
12.4.1	Reelle und virtuelle Bilder	87
12.4.2	Bildentstehung durch Reflexion an ebenen Flächen	88
12.4.3	Bildentstehung durch Reflexion an gekrümmten Flächen	89
12.4.3.1	Die Abbildungsgleichung von sphärischen Spiegeln	90
12.4.3.2	Die Bildkonstruktion bei sphärischen Spiegeln	91
12.4.4	Bildentstehung bei Brechung an ebenen Flächen	92
12.4.5	Abbildung durch Linsen	93
12.4.5.1	Linsenformen	93
12.4.5.2	Strahlenverlauf durch die Linsen und Linsenbrennpunkte	94
12.4.5.3	Brennweite, Brechwert und Abbildungsgleichung einer dünnen Linse	94
12.4.5.4	Gegenstands- und bildseitige Brennpunkte bei Linsen	95
12.4.5.5	Bildentstehung bei Linsen	96
12.4.5.6	Brennweite und Brechwert von dicken Linsen	96
12.4.5.7	Herausnahme von achsfernen Strahlen durch Blenden	97
12.5	Abbildungsfehler	97
12.6	Optische Systeme und optische Instrumente	98
12.6.1	Das menschliche Auge	98
12.6.1.1	Aufbau und Funktion des menschlichen Auges	98
12.6.1.2	Fehlsichtigkeit	99
12.6.1.3	Die Aufgabe der optischen Instrumente	99
12.6.1.3.1	Schwinkel und Bezugssehweite	99
12.6.1.3.2	Die Hauptgruppen der optischen Geräte	100
12.6.2	Exemplarische Beispiele optischer Geräte bzw. optischer Instrumente	101
12.6.2.1	Die Lupe	101
12.6.2.2	Das Mikroskop	102
12.6.2.3	Der Fotoapparat	103
12.6.2.3.1	Objektive und Entfernungseinstellung	103
12.6.2.3.2	Schärfentiefe und Belichtungszeit	104
12.6.2.4	Der Bildwerfer	104
12.6.2.5	Das Fernrohr	105
12.6.2.5.1	Das Galileische Fernrohr	105
12.6.2.5.2	Das Keplersche Fernrohr	106
12.6.2.5.3	Verbesserung des astronomischen Fernrohrs durch eine Feldlinse	106
12.6.2.5.4	Leistungsfähigkeit von Fernrohren bei Dämmerung	107
12.6.2.5.5	Weitere spezielle Fernrohrbauarten	107
Lektion 13		
	Wellenoptik	111
13.1	Das Gesamtspektrum der elektromagnetischen Wellen	111
13.2	Ausbreitungsgeschwindigkeit elektromagnetischer Wellen	112
13.3	Wellenspezifische Eigenschaften in der Optik	113
13.3.1	Interferenz bei Lichtwellen	113

13.3.1.1	Kohärentes Licht	113
13.3.1.2	Technische Anwendungen der Interferenz von Licht	116
13.3.1.2.1	Anlaßfarben	116
13.3.1.2.2	Interferometrie	116
13.3.2	Beugung bei Lichtwellen	117
13.3.3	Polarisation von Licht	118
13.3.3.1	Der Transversalcharakter	118
13.3.3.2	Polarisationszustände	119
13.3.3.3	Polarisationsverfahren	119
13.3.3.3.1	Polarisation durch Reflexion und Brechung	119
13.3.3.3.2	Polarisation durch Doppelbrechung	120
13.3.4	Der Doppler-Effekt des Lichts (s. auch 11.1.2.2)	122

Lektion 14**Photometrie und Farbenlehre** 125

14.1	Die Zweifachnatur des Lichts	125
14.2	Photometrie	126
14.2.1	Energetische (strahlungsphysikalische) und visuelle (lichttechnische) Größen	126
14.2.1.1	Strahlungsleistung und Lichtstrom	127
14.2.1.1.1	Strahlungsleistung	127
14.2.1.1.2	Lichtstrom	127
14.2.1.2	Strahlstärke und Lichtstärke	128
14.2.1.2.1	Strahlstärke	128
14.2.1.2.2	Lichtstärke	129
14.2.1.3	Bestrahlungsstärke und Beleuchtungsstärke	130
14.2.1.3.1	Bestrahlungsstärke	130
14.2.1.3.2	Beleuchtungsstärke	130
14.2.1.4	Strahldichte und Leuchtdichte	131
14.2.1.4.1	Strahldichte	131
14.2.1.4.2	Leuchtdichte	131
14.2.1.5	Zusammenfassung und Ergänzung der photometrischen Größen	132
14.2.2	Meßgeräte in der Photometrie	132
14.2.2.1	Visuelle Photometer	133
14.2.2.2	Physikalische Photometer	134
14.3	Die Spektralfarben des Lichts und die Lehre von den Farben	134
14.3.1	Zerlegung von weißem Licht in die Spektralfarben	134
14.3.1.1	Die verschiedenen Arten des Lichtspektrums	135
14.3.1.2	Die Spektralfarben als Elementarfarben	136
14.3.2	Mischung der Spektralfarben	136
14.3.2.1	Erzeugung von weißem Licht	136
14.3.2.2	Erzeugung von Komplementärfarben	136
14.3.2.3	Additive und subtraktive Farbmischung	137

Akustik 141 bis 184**Lektion 15****Schall und Schallfeld** 141

15.1	Akustik und deren Teilbereiche	141
15.1.1	Schallnatur und Schallarten	141
15.1.2	Die Teilbereiche der Akustik	142

	Seite
15.2	Die Schallgeschwindigkeit 142
15.2.1	Überschallgeschwindigkeit 143
15.3	Weitere Schallfeldgrößen 143
15.3.1	Schalldruck 143
15.3.2	Schallschnelle 144
15.3.3	Schallintensität und Schalleistung 144
15.3.4	Die verschiedenen Schallpegel 146
15.3.4.1	Maße und Pegel als logarithmische Verhältnisse gleicher physikalischer Größen 146
15.3.4.2	Der Schalldruckpegel 146
15.3.4.3	Der Schalleistungspegel 147
15.3.4.4	Weitere Schallpegel 148
Lektion 16	Schallempfindung und Schallbewertung 150
16.1	Aufbau und Empfindlichkeit des Ohres 150
16.2	Lautstärke und Lautheit 150
16.2.1	Die Hörfläche 150
16.2.2	Frequenzanalyse im Oktav- und Terzspektrum 151
16.2.3	Lautstärkepegel und Lautheit 151
16.2.4	Störschall 153
16.3	Schallbewertung 153
16.3.1	Schallpegelmesser 153
16.3.1.1	Bewertungsfilter 154
Lektion 17	Schallerzeugung und Verhalten des Schalls im Freien 155
17.1	Schallerzeugung 155
17.1.1	Mechanische Schallerzeugung 155
17.1.2	Elektrische Schallerzeugung 157
17.1.3	Thermische Schallerzeugung 157
17.1.4	Immissionsschutz 158
17.1.4.1	Immissionsrichtwerte der TA Lärm 158
17.2	Schallausbreitung 159
17.2.1	Das Freifeld 159
17.2.2	Gestörte Schallausbreitung 159
17.2.2.1	Reflexion, Absorption, Dissipation und Transmission 159
17.2.2.2	Beugung, Brechung und Dopplereffekt des Schalls 159
17.2.2.3	Das Entfernungsgesetz 160
17.2.2.4	Mehrere Schallquellen 160
17.2.2.4.1	Subtraktion von Schalldruckpegeln 161
17.2.2.4.2	Addition von Schalldruckpegeln 162
Lektion 18	Verhalten des Schalls in Räumen 166
18.1	Das Schallfeld in geschlossenen Räumen 166
18.2	Akustische Beschreibung eines Raumes 166
18.2.1	Der Schallabsorptionsgrad 166
18.2.1.1	Schalltote Räume und Hallräume 167
18.2.2	Die äquivalente Absorptionsfläche einer Wand 167
18.2.3	Die Nachhallzeit in Abhängigkeit von der äquivalenten Absorptionsfläche 168
18.3	Der Zusammenhang zwischen Schalldruck und Schalleistung 169
18.3.1	Die unterschiedliche Wahrnehmbarkeit von Schalldruck und Schalleistung 169

18.3.2	Richtungsfaktor beim Schalleintritt in den Raum	169
18.3.3	Umrechnung vom Schalleistungspegel auf den Schalldruckpegel	170
18.4	Schalleitung in Rohren	171

Lektion 19	Schalldämmung und Schalldämpfung	174
-------------------	---	------------

19.1	Schallschutzmaßnahmen	174
19.2	Die beiden Wirkprinzipien des Schallschutzes	174
19.2.1	Reflexions-Schalldämpfung	175
19.2.1.1	Gerader Kanal	175
19.2.1.2	Bogen	175
19.2.1.3	Abzweigungen	176
19.2.1.4	Veränderung des Querschnitts	176
19.2.1.5	Spezielle Schalldämpfer	176
19.2.1.6	Die Auslaßreflexion	176
19.2.2	Bewertung des im Raum ankommenden Schalls	177
19.2.3	Absorptions-Schalldämpfung	179
19.2.3.1	Wirkungsweise der Absorptions-Schalldämpfung	179
19.2.3.2	Absorptions-Schalldämpfungstoffe	179

Lektion 20	Ultraschall	181
-------------------	--------------------------	------------

20.1	Definition von Infra-, Ultra- und Hyperschall	181
20.1.1	Das Schallspektrum	181
20.2	Erzeugung von Ultraschall	181
20.3	Wirkungen von Ultraschall	182
20.4	Anwendungen des Ultraschalls in Technik und Naturwissenschaften	182
20.4.1	Ultraschallprüfung und Ultraschallmessung	182
20.4.2	Ultraschallabtragung	183
20.4.3	Ultraschallreinigung	183
20.4.4	Ultraschallschweißen	183
20.4.5	Ultraschallvernebelung	183
20.4.6	Ultraschalldiagnose und Ultraschalltherapie	183

Lösungsgänge zu den Übungsaufgaben 185 bis 204

Ergebnisse der Vertiefungsaufgaben 205 bis 217

Sachwortverzeichnis 218 bis 224

Griechisches Alphabet 225

DIN-Normen, Auswahl zu den Sachgebieten dieses Buches 225