
Inhaltsverzeichnis

1	Grundlagen	1
1.1	Größen und Einheiten	1
1.1.1	Häufig verwendete Größen in SI-Einheiten	2
1.2	Pegelrechnung	4
1.3	Komplexe Rechnung	6
1.4	Näherungsrechnung und asymptotische Darstellung	8
1.4.1	Meßfehler	8
1.4.2	Näherungen	10
1.4.3	Asymptotische Darstellung	12
1.5	Zeitfunktion und Spektrum	19
1.5.1	Töne und Klänge	20
1.5.2	Rauschen	22
1.5.3	Impulse	27
1.5.4	Amplitudenmodulation	30
1.5.5	Frequenzmodulation	32
1.6	Akustische Kommunikation	36
1.6.1	Sprechorgan	36
1.6.2	Hörorgan	38
1.6.3	Hörfäche	41
1.7	Meßtechnik	44
1.7.1	DIN-Normen (Auswahl)	46
1.7.2	VDI-Richtlinien (Auswahl)	48
2	Schallwellen und Schallfelder	49
2.1	Grundgleichungen des Schallfeldes	49
2.1.1	Thermodynamische und kinetische Grundgesetze	49
2.1.2	Schallabstrahlung	53
2.1.3	Brechung	55
2.1.4	Beugung, Streuung, Reflexion, Absorption	56
2.1.5	Dämpfung, Absorption, Dissipation, Dämmung, Transmission	57
2.2	Die ebene Welle	58
2.3	Die Kugelwelle	62
2.4	Das Schallfeld um eine Kugelschallquelle	67
2.5	Zylinderwellen	69
2.6	Bestimmung der Schalleistung P	72
2.6.1	Ebene Welle	72

2.6.2	Kugelwelle	73
2.7	Die Ergiebigkeit einer sehr kleinen Kugelquelle (Punktquelle)	75
2.8	Das Schallfeld einer Linienschallquelle	77
2.8.1	Näherung über mehrere Punktquellen	77
2.8.2	Grenzübergang zu unendlich vielen Punktquellen	80
2.9	Kenngrößen der Richtwirkung	82
2.9.1	Richtdiagramm, Richtungsfaktor und Richtungsmaß	82
2.9.2	Bündelungsgrad und Bündelungsmaß	85
2.9.3	Abstrahlwinkel Φ	86
2.10	Dipolstrahler	86
2.10.1	Zwei gegenphasige Kugelquellen	86
2.10.2	Praktische Realisierung eines Dipolstrahlers	90
2.11	Konphas schwingende Platte	91
2.11.1	Kolbenmembran	91
2.11.2	Schallfeld der kreisförmigen Kolbenmembran	92
2.11.3	Bündelungsmaß der Kolbenmembran	96
2.11.4	Schalldruck im Nahfeld der Kolbenmembran	96
2.11.5	Unterschied Nahfeld – Fernfeld	98
2.11.6	Die Strahlungsimpedanz der kreisförmigen Kolbenmembran	99
2.11.7	Konusmembran	102
2.12	Anpassung der Kolbenmembran durch Trichter (Hornlautsprecher)	103
2.12.1	Konustrichter	104
2.12.2	Exponentialtrichter	108
2.12.3	Mündungsreflexionen beim Exponentialtrichter	112
2.12.4	Dimensionierungsbeispiel für einen Exponentialtrichter	114
2.12.5	Andere Trichterformen	115
2.12.6	Druckkammer	115
2.12.7	Nichtlineare Verzerrungen im Trichter	117
2.12.8	Akustische Linsen	118
2.13	Schallausbreitung in Flüssigkeiten	119
2.14	Schallausbreitung in Feststoffen, Körperschall	119
3	Elektromechanische Entsprechungen	123
3.1	Grundgleichungen	124
3.2	Mechanische Ersatzschaltbilder	125
3.2.1	Mechanische Quellen	125
3.2.2	Verbindungsstangen	127
3.2.3	Feder s	127
3.2.4	Reibwiderstand W	128
3.2.5	Masse m	128
3.3	Die Zusammenschaltung mechanischer Elemente und deren elektrische Analogie	130

3.4 Einheitswandler und quantitative Transformation	136
3.5 Akustische Impedanzen	139
3.5.1 Akustische Feder s_a	139
3.5.2 Akustischer Widerstand W_a	140
3.5.3 Akustische Masse m_a	141
3.6 Analogien zwischen elektrischen, mechanischen und akustischen Netzwerken	141
3.7 Akustische Filter	145
3.7.1 Helmholtzresonator	145
3.7.2 Schalldämpfer (Tiefpaß)	147
4 Ideale Wandler	149
4.1 Piezoelektrischer Wandler (Kristallwandler)	149
4.2 Dielektrischer Wandler (Kondensatorwandler)	151
4.3 Dynamischer Wandler	153
4.4 Magnetischer Wandler	154
4.5 Matrizendarstellung der Wandlergleichungen	155
4.6 Magnetostriktiver Wandler	160
5 Reale Wandler	161
5.1 Piezowandler	161
5.2 Dielektrischer Wandler	165
5.3 Elektretwandler	170
5.4 Dynamischer Wandler	171
5.5 Magnetischer Wandler	174
5.6 Aktive nichtumkehrbare (irreversible) Wandler	176
5.6.1 Kohlemikrofon	176
5.6.2 Dehnungsmeßstreifen	177
5.6.3 Kondensatormikrofon in HF-Schaltung	178
6 Betriebsverhalten von realen Wählern	181
6.1 Mikrofone	181
6.1.1 Frequenzgänge (Druckempfänger)	183
6.1.2 Richtwirkung	189
6.1.3 Störsignale	196
6.1.4 Verzerrungen	199
6.2 Lautsprecher	199
6.2.1 Frequenzgänge	200
6.2.2 Richtwirkung	208
6.2.3 Nichtlineare Verzerrungen	209
6.2.4 Mehrwegboxen, Frequenzweichen, Lautsprechergruppen	212
6.2.5 Baßreflexbox, passive Lautsprecher	217
6.2.6 Trichterlautsprecher	222
6.2.7 Einschwingverhalten	225
6.2.8 Belastbarkeit	228
6.2.9 Gegengekoppelte Lautsprecher	231

7 Raumakustik	233
7.1 Wandabsorption	233
7.2 Hallradius	235
7.3 Zeitliche Vorgänge	237
7.4 Optimierung der Raumakustik	243
8 Beschallungs- und Aufnahmetechnik	249
8.1 Schallausbreitung im Freien	249
8.2 Beschallungsanlagen für Freiflächen	251
8.3 Beschallungsanlagen für Räume	253
8.4 Kopfhörer	261
8.5 Echo- und Hallgeräte	265
8.6 Aufnahmetechnik	267
8.7 Sprachverständlichkeit	271
8.7.1 Der Artikulationsindex AI	273
8.7.2 Störende Echos: Der Haas-Effekt (Precedence-Effekt)	275
8.7.3 Deutlichkeitsmaß C_{50} und Klarheitsmaß C_{80}	276
8.7.4 Konsonantenverlust AL_{cons}	277
8.7.5 Modulationsübertragungsfunktion MTF (modulation transfer function), RASTI	279
9 Hörbarkeit von Übertragungsfehlern	281
9.1 Eigenschaften des Gehörs	282
9.1.1 Verdeckung und Frequenzselektivität	282
9.1.2 Pegelunterschiedsschwelle	287
9.1.3 Frequenzunterschiedsschwelle	289
9.1.4 Die drei Grenzdauern des Gehörs	290
9.2 Lineare Verzerrungen	291
9.2.1 Verzerrungen des Amplitudenfrequenzganges	291
9.2.2 Verzerrungen des Phasenfrequenzganges	292
9.3 Nichtlineare Verzerrungen	294
9.4 Gleichlaufschwankungen	298
9.5 Eigenrauschen	300
10 Stereophonie	303
10.1 Laufzeitstereophonie	303
10.2 Intensitätsstereophonie	305
10.3 Kopfhörerdarbietung	305
10.4 Stereophone Übertragung	306
11 Schallspeicher	307
11.1 Schallplatte (analoge Speicherung)	307
11.2 Tonband (analoge Speicherung)	313
11.3 Digitale Signalverarbeitung	326
11.3.1 Zeitdiskrete Abtastung	326

11.3.2 Digitale Speicher	331
11.3.3 Compact Disk (CD)	333
11.3.4 DAT-Recorder	336
11.3.5 Perceptual Coding	338
11.4 Rauschverminderungssysteme	340
12 Lärmbekämpfung	345
12.1 Entstehung von Lärm	345
12.2 Messung von Lärm	346
12.2.1 Schallpegelmesser	346
12.2.2 Lautstärkeberechnungsverfahren	347
12.2.3 Lautheits-Meßgerät	349
12.3 Schalldämmung und Schalldämpfung	351
12.4 Verminderung von Lärm	352
Anhang: Zylinderfunktionen	355
A.1 Darstellung der Besselfunktionen durch Integrale über Winkelfunktionen (Auswahl)	355
A.2 Die Struvesche Funktion $H_n(x)$	358
A.3 Die Gammafunktion $\Gamma(n)$	358
A.4 Reihendarstellung (Auswahl)	358
A.5 Funktionsgleichungen (Auswahl)	359
Konstanten	361
Größen und Einheiten	363
Abkürzungen	367
Weiterführende Literatur	369
Sachverzeichnis	375