

# Inhaltsverzeichnis

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Vorwort zur 3. Auflage</b> .....                     | <b>V</b>  |
| <b>Vorwort zur 1. Auflage</b> .....                     | <b>VI</b> |
| <b>1 Der Schall</b> .....                               | <b>1</b>  |
| 1.1 Schallausbreitung .....                             | 1         |
| 1.2 Schwingung .....                                    | 7         |
| 1.2.1 Sinusschwingung .....                             | 7         |
| 1.2.2 Überlagerung von Schwingungen (Interferenz) ..... | 9         |
| 1.3 Grafische Darstellung von Audiosignalen .....       | 10        |
| 1.4 Tonhöhe und Intervalle .....                        | 12        |
| 1.4.1 Wahrnehmung der Tonhöhe .....                     | 12        |
| 1.4.2 Musikalische Intervalle .....                     | 12        |
| 1.4.3 Intervalle in der Ton- und Messtechnik .....      | 14        |
| 1.5 Ton, Klang, Geräusch und Lärm .....                 | 15        |
| 1.6 Obertöne und Klangfarbe .....                       | 16        |
| 1.7 Formanten .....                                     | 18        |
| 1.8 Übungsaufgaben .....                                | 20        |
| <b>2 Schallkenngrößen</b> .....                         | <b>21</b> |
| 2.1 Schalldruck $p$ und Schalldruckpegel $L_p$ .....    | 21        |
| 2.2 Auslenkung $\xi$ der Luftmoleküle .....             | 24        |
| 2.3 Schallschnelle $v$ .....                            | 24        |
| 2.4 Schallkennimpedanz $Z$ .....                        | 25        |
| 2.5 Schallintensität $I$ .....                          | 26        |
| 2.6 Schalleistung $P$ und Schallenergie $W$ .....       | 27        |
| 2.7 Übungsaufgaben .....                                | 30        |
| <b>3 Grundlagen der Akustik</b> .....                   | <b>31</b> |
| 3.1 Akustische Phänomene .....                          | 31        |
| 3.1.1 Reflexion .....                                   | 31        |
| 3.1.2 Streuung .....                                    | 33        |
| 3.1.3 Beugung und Abschattung .....                     | 33        |
| 3.1.4 Stehende Wellen .....                             | 34        |
| 3.1.5 Kammfiltereffekt .....                            | 34        |
| 3.1.6 Dopplereffekt .....                               | 35        |
| 3.1.7 Absorption von Schall .....                       | 36        |
| 3.2 Nachhall .....                                      | 39        |
| 3.2.1 Raumimpulsantwort .....                           | 39        |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 3.2.2    | Anregung bei Dauerschall.....                             | 40        |
| 3.2.3    | Nachhallzeit $RT_{60}$ .....                              | 41        |
| 3.2.4    | Deutlichkeitsmaß $C_{50}$ und Klarheitsmaß $C_{80}$ ..... | 45        |
| 3.3      | Direktschall und Reflexionen (Hallradius).....            | 46        |
| 3.4      | Übungsaufgaben.....                                       | 50        |
| <b>4</b> | <b>Das menschliche Gehör.....</b>                         | <b>51</b> |
| 4.1      | Anatomie des Gehörs.....                                  | 51        |
| 4.2      | Wahrnehmung durch das Gehör.....                          | 54        |
| 4.2.1    | Lautstärkewahrnehmung.....                                | 54        |
| 4.2.2    | Räumliches Hören.....                                     | 56        |
| 4.2.3    | Verdeckungseffekte.....                                   | 57        |
| 4.2.4    | Schallwahrnehmung bei elektroakustischer Wiedergabe.....  | 59        |
| 4.3      | Hörschäden.....   | 62        |
| 4.4      | Übungsaufgaben.....                                       | 65        |
| <b>5</b> | <b>Lärmschutz.....</b>                                    | <b>67</b> |
| 5.1      | Schutz der Mitarbeiter (LärmVibrationsArbSchV).....       | 67        |
| 5.1.1    | Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung.....         | 67        |
| 5.1.2    | Ermittlung von Beurteilungspegeln aus Messungen.....      | 68        |
| 5.1.3    | Gehörschutzmittel.....                                    | 71        |
| 5.1.4    | Arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchung (G20 Lärm).....  | 73        |
| 5.1.5    | Lärminderungsprogramm.....                                | 73        |
| 5.2      | Schutz des Publikums (DIN 15 905-5).....                  | 74        |
| 5.2.1    | Richtwerte.....   | 74        |
| 5.2.2    | Maßnahmen.....  | 74        |
| 5.2.3    | Zeitbewertung bei Messungen.....                          | 76        |
| 5.3      | Schutz der Anwohner (TA Lärm).....                        | 77        |
| 5.4      | Übungsaufgaben.....                                       | 78        |
| <b>6</b> | <b>Grundlagen der Elektronik.....</b>                     | <b>79</b> |
| 6.1      | Grundbegriffe.....  | 79        |
| 6.2      | Passive Filter.....                                       | 87        |
| 6.3      | Diode und Transistor.....                                 | 92        |
| 6.3.1    | Diode.....  | 93        |
| 6.3.2    | Gleichrichterschaltungen.....                             | 94        |
| 6.3.3    | Transistor.....   | 96        |
| 6.3.4    | Verstärker in Emitterschaltung.....                       | 100       |
| 6.3.5    | Anforderungen an Spannungsverstärker.....                 | 101       |
| 6.3.6    | Gegenkopplung bei Verstärkerschaltungen.....              | 103       |
| 6.4      | Operationsverstärker.....                                 | 104       |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 6.5      | Modulation .....                                       | 107        |
| 6.5.1    | Amplitudenmodulation (AM) .....                        | 108        |
| 6.5.2    | Frequenzmodulation (FM) .....                          | 110        |
| 6.6      | Übungsaufgaben .....                                   | 112        |
| <b>7</b> | <b>Stromversorgung .....</b>                           | <b>113</b> |
| 7.1      | Netzstrom .....  | 113        |
| 7.2      | Netzteile .....  | 116        |
| 7.2.1    | Ungeregelte Netzteile .....                            | 117        |
| 7.2.2    | Stabilisierte Netzteile (Analoge Stabilisierung) ..... | 117        |
| 7.2.3    | Getaktete Netzteile (Schaltnetzteile) .....            | 118        |
| 7.3      | Batterien und Akkus .....                              | 119        |
| 7.3.1    | Technische Parameter .....                             | 119        |
| 7.3.2    | Eigenschaften verschiedener Batterietypen .....        | 121        |
| 7.3.3    | Eigenschaften verschiedener Akkutypen .....            | 122        |
| 7.3.4    | Kenndaten von Akkus .....                              | 123        |
| 7.3.5    | Laden von Akkus .....                                  | 124        |
| 7.4      | Übungsaufgaben .....                                   | 125        |
| <b>8</b> | <b>Der Pegel .....</b>                                 | <b>127</b> |
| 8.1      | Was ist ein Logarithmus? .....                         | 127        |
| 8.2      | Relative Pegel .....                                   | 129        |
| 8.3      | Absolute Pegel .....                                   | 131        |
| 8.4      | Aussteuerung .....                                     | 133        |
| 8.5      | Rechnen mit Pegeln .....                               | 135        |
| 8.6      | Übungsaufgaben .....                                   | 138        |
| <b>9</b> | <b>Mikrofone .....</b>                                 | <b>139</b> |
| 9.1      | Mikrofon-Wandlerprinzipien .....                       | 139        |
| 9.1.1    | Kohlemikrofon .....                                    | 139        |
| 9.1.2    | Dynamische Mikrofone .....                             | 140        |
| 9.1.3    | Kondensatormikrofon .....                              | 142        |
| 9.1.4    | Piezoelektrischer Wandler .....                        | 144        |
| 9.2      | Empfängerprinzipien und Richtcharakteristiken .....    | 145        |
| 9.2.1    | Druckempfänger .....                                   | 146        |
| 9.2.2    | Druckgradientenempfänger .....                         | 147        |
| 9.2.3    | Interferenzempfänger .....                             | 150        |
| 9.2.4    | Mikrofone mit veränderbarer Richtcharakteristik .....  | 152        |
| 9.3      | Technische Daten von Mikrofonen .....                  | 153        |
| 9.4      | Bauarten .....   | 156        |
| 9.4.1    | Kleinmembranmikrofone .....                            | 156        |

|           |  |            |
|-----------|--|------------|
| 9.4.2     | Großmembranmikrofone .....                         | 157        |
| 9.4.3     | Miniaturmikrofone .....                            | 158        |
| 9.4.4     | Grenzflächenmikrofon .....                         | 158        |
| 9.4.5     | Digitale Mikrofone .....                           | 160        |
| 9.4.6     | Messmikrofone .....                                | 161        |
| 9.5       | Übungsaufgaben .....                               | 164        |
| <b>10</b> | <b>Verfahren zur Mikrofonierung .....</b>          | <b>165</b> |
| 10.1      | Einzelmikrofonierung .....                         | 165        |
| 10.1.1    | Schlagzeug .....                                   | 165        |
| 10.1.2    | Percussion / Schlagwerk .....                      | 169        |
| 10.1.3    | Gitarre .....                                      | 170        |
| 10.1.4    | Bass .....   | 171        |
| 10.1.5    | Keyboards .....                                    | 173        |
| 10.1.6    | Flügel und Klavier .....                           | 173        |
| 10.1.7    | Bläser .....                                       | 175        |
| 10.1.8    | Streicher .....                                    | 176        |
| 10.1.9    | Gesang und Sprache .....                           | 178        |
| 10.2      | Stereo-Aufnahmeverfahren .....                     | 180        |
| 10.2.1    | Pegel- bzw. Koinzidenzstereofonie $\Delta L$ ..... | 180        |
| 10.2.2    | Laufzeitstereofonie $\Delta t$ .....               | 183        |
| 10.2.3    | Gemischte Aufnahmeverfahren .....                  | 184        |
| 10.2.4    | Mikrofonierung mit Trennkörper .....               | 185        |
| 10.3      | Surround-Aufnahmeverfahren .....                   | 187        |
| 10.4      | Stützmikrofone .....                               | 192        |
| 10.5      | Übungsaufgaben .....                               | 194        |
| <b>11</b> | <b>Anpassung und Audioleitungen .....</b>          | <b>195</b> |
| 11.1      | Anpassung .....                                    | 195        |
| 11.2      | Audioleitungen .....                               | 197        |
| 11.2.1    | Leitungsbeläge .....                               | 197        |
| 11.2.2    | Lautsprecherkabel .....                            | 199        |
| 11.2.3    | NF-Kabel .....                                     | 203        |
| 11.2.4    | HF-Kabel .....                                     | 211        |
| 11.2.5    | Handhabung von Kabeln .....                        | 214        |
| 11.3      | Übungsaufgaben .....                               | 216        |
| <b>12</b> | <b>Drahtlose Tonübertragung .....</b>              | <b>217</b> |
| 12.1      | Mikroport-Technik .....                            | 217        |
| 12.1.1    | Sendefrequenzen .....                              | 217        |
| 12.1.2    | Signalweg einer UHF-Mikroportanlage .....          | 220        |

|           |   |            |
|-----------|---|------------|
| 12.1.3    | Modulation bei Mikroports .....                     | 220        |
| 12.1.4    | Intermodulation und Frequenzplanung .....           | 221        |
| 12.1.5    | Sender .....  | 223        |
| 12.1.6    | Antennen .....                                      | 225        |
| 12.1.7    | Empfänger .....                                     | 232        |
| 12.1.8    | Diversity-Verfahren .....                           | 232        |
| 12.1.9    | Digitale Mikroports .....                           | 234        |
| 12.2      | Infrarot-Technik .....                              | 234        |
| 12.2.1    | Signalweg einer IR-Anlage .....                     | 235        |
| 12.2.2    | IR-Modulation .....                                 | 235        |
| 12.2.3    | Probleme bei der IR-Übertragung .....               | 236        |
| 12.2.4    | Anlagenteile der IR-Technik .....                   | 236        |
| 12.3      | Übungsaufgaben .....                                | 239        |
| <b>13</b> | <b>Digitale Audiosignale .....</b>                  | <b>241</b> |
| 13.1      | Zahlensysteme .....                                 | 241        |
| 13.2      | Pulsmodulation (PCM) .....                          | 243        |
| 13.3      | Pulsweitenmodulation (PWM) .....                    | 250        |
| 13.4      | Leitungskodierung .....                             | 251        |
| 13.5      | Maßnahmen zur Verhinderung von Datenverlust .....   | 253        |
| 13.6      | Digitale Audioprotokolle .....                      | 255        |
| 13.7      | Synchronisation .....                               | 260        |
| 13.8      | Übungsaufgaben .....                                | 266        |
| <b>14</b> | <b>MIDI .....</b>                                   | <b>267</b> |
| 14.1      | Physikalische MIDI-Schnittstelle .....              | 267        |
| 14.2      | MIDI-Daten .....                                    | 269        |
| 14.3      | MIDI-Signalverteilung .....                         | 273        |
| 14.4      | MIDI über USB und FireWire .....                    | 276        |
| 14.5      | Übungsaufgaben .....                                | 277        |
| <b>15</b> | <b>Mischpulte .....</b>                             | <b>279</b> |
| 15.1      | Bauweisen .....                                     | 279        |
| 15.2      | Einsatzgebiete .....                                | 279        |
| 15.3      | Signalfluss eines analogen Beschallungspultes ..... | 285        |
| 15.3.1    | Mono-Eingangskanal .....                            | 285        |
| 15.3.2    | Gruppen und Matrix .....                            | 293        |
| 15.3.3    | Aux-Master .....                                    | 294        |
| 15.3.4    | Kopfhörerverstärker und Oszillator .....            | 295        |
| 15.3.5    | Central Control Module (CCM) .....                  | 296        |
| 15.4      | Digitale Mischpulte .....                           | 297        |

|           |   |            |
|-----------|---|------------|
| 15.5      | Mischpultautomation .....                                       | 304        |
| 15.6      | Übungsaufgaben .....  | 309        |
| <b>16</b> | <b>Klangbearbeitung.....</b>                                    | <b>311</b> |
| 16.1      | Dynamikbeeinflussung .....                                      | 311        |
| 16.1.1    | Definition der Dynamik .....                                    | 311        |
| 16.1.2    | Regelverstärker .....   | 313        |
| 16.1.3    | Spezielle Regelverstärker.....                                  | 316        |
| 16.2      | Filter (Equalizer).....   | 318        |
| 16.2.1    | Analoge Filter .....  | 319        |
| 16.2.2    | Digitale Filter.....  | 323        |
| 16.3      | Effektgeräte .....  | 325        |
| 16.3.1    | Echo.....   | 325        |
| 16.3.2    | Hall .....  | 327        |
| 16.3.3    | Weitere Effekte .....   | 330        |
| 16.4      | Wie ist ein musikalischer Mix aufgebaut? .....                  | 338        |
| 16.5      | Übungsaufgaben .....  | 342        |
| <b>17</b> | <b>Frequenzweichen, Controller und Leistungsverstärker.....</b> | <b>343</b> |
| 17.1      | Frequenzweichen .....   | 343        |
| 17.2      | Controller.....   | 345        |
| 17.3      | Leistungsverstärker .....                                       | 347        |
| 17.3.1    | Technische Daten von Verstärkern .....                          | 348        |
| 17.3.2    | Clipping bei Endstufen .....                                    | 351        |
| 17.3.3    | Stereo, Parallel Mono und Bridged Mono .....                    | 352        |
| 17.4      | 100 V-Anlagen .....   | 353        |
| 17.5      | Übungsaufgaben .....  | 355        |
| <b>18</b> | <b>Lautsprecher.....</b>  | <b>357</b> |
| 18.1      | Lautsprecher-Wandlerprinzipien.....                             | 357        |
| 18.1.1    | Elektrodynamische Lautsprecher .....                            | 357        |
| 18.1.2    | Elektrostatische Lautsprecher .....                             | 362        |
| 18.1.3    | Piezoelektrische Lautsprecher.....                              | 363        |
| 18.2      | Lautsprecherboxen.....  | 364        |
| 18.2.1    | Akustischer Kurzschluss und unendliche Schallwand .....         | 364        |
| 18.2.2    | Geschlossenes Gehäuse .....                                     | 365        |
| 18.2.3    | Bassreflex-Box .....  | 366        |
| 18.2.4    | Bandpass-Gehäuse .....  | 367        |
| 18.2.5    | Transmissionline-Gehäuse .....                                  | 367        |
| 18.2.6    | Hörner .....  | 368        |
| 18.2.7    | Kriterien zur Beurteilung von Lautsprecherboxen .....           | 371        |

|           |  |            |
|-----------|--|------------|
| 18.3      | Anordnung und Kombination von Lautsprecherboxen .....        | 377        |
| 18.4      | Linienstrahler (Line Arrays) .....                           | 380        |
| 18.5      | Übungsaufgaben .....   | 387        |
| <b>19</b> | <b>Beschallungsanlagen .....</b>                             | <b>389</b> |
| 19.1      | Konzepte für Beschallungsanlagen .....                       | 389        |
| 19.2      | Konzertbeschallung .....                                     | 391        |
| 19.3      | Theaterbeschallung .....                                     | 399        |
| 19.4      | Einmessen von Beschallungsanlagen.....                       | 406        |
| 19.4.1    | Testsignale .....  | 406        |
| 19.4.2    | Elektrisches Einmessen.....                                  | 409        |
| 19.4.3    | Akustisches Einmessen.....                                   | 409        |
| 19.4.4    | Subjektive Kontrolle .....                                   | 412        |
| 19.5      | Installations- und Beschallungspläne .....                   | 413        |
| 19.5.1    | Bühnenanweisungen .....                                      | 413        |
| 19.5.2    | Beschallungspläne.....                                       | 416        |
| 19.5.3    | Signalflusspläne nach dem USITT Sound Graphic Standard ..... | 423        |
| 19.6      | Übungsaufgaben .....   | 428        |
| <b>20</b> | <b>Kommunikationsanlagen (Intercom).....</b>                 | <b>429</b> |
| 20.1      | Kabelgebundene Systeme .....                                 | 429        |
| 20.1.1    | Analoge Partylines .....                                     | 429        |
| 20.1.2    | Digitale Kommunikationssysteme.....                          | 434        |
| 20.2      | Drahtlose Systeme .....                                      | 436        |
| 20.2.1    | Simplex-Funk .....   | 436        |
| 20.2.2    | Duplex-Funk .....  | 436        |
| 20.2.3    | Digitaler Duplex-Funk .....                                  | 437        |
| 20.3      | Übungsaufgaben .....   | 440        |
| <b>21</b> | <b>Medientechnik .....</b>                                   | <b>441</b> |
| 21.1      | Magnetbandaufzeichnung .....                                 | 441        |
| 21.1.1    | Analoge Tonbandtechnik .....                                 | 441        |
| 21.1.2    | Digitale Magnetbandaufzeichnung.....                         | 449        |
| 21.2      | Digitale Audioaufnahmen am Computer .....                    | 452        |
| 21.2.1    | Soundkarten .....  | 452        |
| 21.2.2    | Speichermedien für Audio- und Videodateien.....              | 453        |
| 21.2.3    | Audiodateien.....  | 459        |
| 21.2.4    | Software zur Audibearbeitung .....                           | 461        |
| 21.3      | Anschluss an Netze.....                                      | 464        |
| 21.3.1    | Netz-Topologien .....  | 464        |
| 21.3.2    | OSI-Schichtenmodell .....                                    | 467        |

|   |  |            |
|---|--|------------|
| 21.3.3  | Ethernet.....  | 468        |
| 21.3.4  | Audionetze.....  | 470        |
| 21.4  | Übungsaufgaben.....  | 476        |
| <b>22</b>   | <b>Videotechnik.....</b>                                       | <b>477</b> |
| 22.1  | Videokamera.....   | 477        |
| 22.1.1  | Optisches System.....  | 477        |
| 22.1.2  | Bildwandler.....   | 481        |
| 22.1.3  | Kameraelektronik.....  | 488        |
| 22.2  | Videosignale.....  | 493        |
| 22.2.1  | BAS-Signal.....  | 493        |
| 22.2.2  | Farbsignale.....   | 496        |
| 22.2.3  | Digitale Videosignale.....                                     | 499        |
| 22.3  | Videosignalverteilung.....                                     | 503        |
| 22.4  | Videoaufzeichnung.....   | 505        |
| 22.5  | Bildmischer.....   | 507        |
| 22.6  | Bildschirme.....   | 511        |
| 22.6.1  | CRT-Monitor.....   | 511        |
| 22.6.2  | LCD-/TFT-Monitor.....  | 513        |
| 22.6.3  | Plasmamonitor.....   | 515        |
| 22.6.4  | LED-Monitor.....   | 516        |
| 22.6.5  | Vor- und Nachteile der vorgestellten Display-Technologien..... | 518        |
| 22.7  | Übungsaufgaben.....  | 519        |
| <b>Anhang.....</b>  |  | <b>521</b> |
| Ausbildungsinhalte im Bereich Tontechnik laut Rahmenlehrplan..... |  | 521        |
| Lösungen zu den Übungsaufgaben.....                               |  | 524        |
| Englische Fachbegriffe der Akustik und Tontechnik.....            |  | 551        |
| Abkürzungen.....  |  | 555        |
| Formelsammlung.....   |  | 559        |
| <b>Literatur und Quellen.....</b>                                 |  | <b>565</b> |
| <b>Abbildungsquellen.....</b>                                     |  | <b>571</b> |
| <b>Sachregister.....</b>  |  | <b>573</b> |