

# Inhaltsverzeichnis

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Theorie zur Fixpunkt-FFT .....</b>         | <b>11</b> |
| 1.1      | Grundlagen .....                              | 11        |
| 1.2      | Hochpassfilter .....                          | 14        |
| 1.3      | Anti-Aliasing- und Tiefpass-Filter .....      | 14        |
| 1.4      | Funktionsschema der FFT .....                 | 16        |
| 1.5      | Weiterführende Literatur .....                | 17        |
| <b>2</b> | <b>Simulationsprogramm in LabVIEW .....</b>   | <b>19</b> |
| 2.1      | Verwendungszweck .....                        | 19        |
| 2.2      | Bedienungsanleitung .....                     | 20        |
| 2.3      | Soundkarten-Oszilloskope .....                | 22        |
| <b>3</b> | <b>Einführung in LabVIEW .....</b>            | <b>25</b> |
| 3.1      | Was ist LabVIEW? .....                        | 25        |
| 3.2      | Der Aufbau eines virtuellen Instruments ..... | 25        |
| 3.3      | Beispielprogramm in LabVIEW .....             | 26        |
| 3.4      | LabVIEW-Programme in diesem Buch .....        | 34        |
| 3.5      | LabVIEW für eigene Projekte nutzen .....      | 35        |
| 3.6      | LabVIEW erwerben .....                        | 38        |
| <b>4</b> | <b>Experimentiersystem .....</b>              | <b>39</b> |
| 4.1      | Elektronische Schaltung .....                 | 39        |
| 4.1.1    | Analoge Elektronik .....                      | 40        |
| 4.1.2    | Digitale Elektronik .....                     | 44        |
| 4.2      | Schaltungsaufbau .....                        | 45        |
| 4.2.1    | Bauteile .....                                | 46        |
| 4.2.2    | Die Grundplatte .....                         | 47        |
| 4.2.3    | Die Bestückung .....                          | 48        |
| <b>5</b> | <b>Der FFT-Baustein .....</b>                 | <b>51</b> |
| 5.1      | Schaltbild .....                              | 51        |
| 5.2      | GNU – General Public License .....            | 52        |
| 5.2.1    | Eigene Projekte mit der GNU-Lizenz .....      | 52        |
| 5.3      | Projekte von ELM-CHAN .....                   | 55        |
| 5.4      | Programmablaufplan .....                      | 56        |
| 5.5      | Programmaufbau .....                          | 58        |
| 5.5.1    | Fuse Bytes .....                              | 58        |
| 5.5.2    | Makros .....                                  | 60        |
| 5.5.3    | Konstanten .....                              | 61        |
| 5.5.4    | Variablen .....                               | 62        |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 5.5.5    | Anschlüsse initialisieren .....                  | 62         |
| 5.5.6    | SRAM initialisieren.....                         | 62         |
| 5.5.7    | ADC-Interrupt initialisieren .....               | 63         |
| 5.5.8    | Reset-Quelle auswerten .....                     | 63         |
| 5.5.9    | ADC-Interrupt starten .....                      | 64         |
| 5.5.10   | Interrupt-Routine: isr_adc .....                 | 64         |
| 5.5.11   | 512 neue Samples erfasst? .....                  | 65         |
| 5.5.12   | Komplexes Array erstellen.....                   | 65         |
| 5.5.13   | Overdrive-Anzeige.....                           | 66         |
| 5.5.14   | FFT-Berechnung (Butterfly) .....                 | 67         |
| 5.5.15   | Umwandlung in skalare Werte (16 Bit) .....       | 67         |
| 5.5.16   | Umrechnung in Balkenwerte (8 Bit) .....          | 68         |
| 5.5.17   | Parallele und serielle Ausgabe .....             | 70         |
| <b>6</b> | <b>Der Analysebaustein.....</b>                  | <b>71</b>  |
| 6.1      | Schaltbild .....                                 | 71         |
| 6.2      | Technische Details.....                          | 72         |
| 6.3      | Programmablaufplan .....                         | 73         |
| 6.4      | Programmaufbau .....                             | 75         |
| 6.4.1    | Fuse Bytes .....                                 | 75         |
| 6.4.2    | GNU-Lizenz .....                                 | 76         |
| 6.4.3    | Makros.....                                      | 76         |
| 6.4.4    | Konstanten .....                                 | 77         |
| 6.4.5    | Variablen .....                                  | 78         |
| 6.4.6    | Anschlüsse initialisieren .....                  | 80         |
| 6.4.7    | SRAM initialisieren.....                         | 81         |
| 6.4.8    | Reset-Quelle auswerten .....                     | 82         |
| 6.4.9    | SRAM löschen.....                                | 82         |
| 6.4.10   | Initialisierung ADC0 für POTI: Sensitivity ..... | 82         |
| 6.4.11   | TCNT1 Compare Match A-Interrupt.....             | 84         |
| 6.4.12   | Interrupt-Routine: Check_Time .....              | 86         |
| 6.4.13   | Hauptprogramm .....                              | 89         |
| <b>7</b> | <b>Parallele Schnittstelle.....</b>              | <b>95</b>  |
| 7.1      | Funktionsweise .....                             | 95         |
| 7.2      | Routine: Parallel_out (FFT-Baustein).....        | 101        |
| 7.3      | Routine: Parallel_in (Analysebaustein).....      | 103        |
| <b>8</b> | <b>Serielle Schnittstelle .....</b>              | <b>107</b> |
| 8.1      | Grundlagen .....                                 | 107        |
| 8.2      | Routine: WrCom_Fast.....                         | 111        |
| 8.3      | Routine: Wait_Start.....                         | 114        |
| 8.4      | Routine: Ausgabe_Y .....                         | 115        |
| 8.5      | Routine: Test_RS-232.....                        | 116        |

|           |  |            |
|-----------|--|------------|
| <b>9</b>  | <b>Analyse.....</b>                        | <b>119</b> |
| 9.1       | Grundlagen .....                           | 119        |
| 9.2       | Routine: Check_Tone_1 .....                | 124        |
| 9.3       | Routine: Fill_Tone_1.....                  | 133        |
| 9.4       | Aufteilung in Segmente.....                | 135        |
| 9.4.1     | Prinzip der Segmentierung .....            | 135        |
| 9.4.2     | Routine: Bar_and_Korr.....                 | 136        |
| 9.4.3     | Drift in den Spektrum-Analysen.....        | 142        |
| 9.4.4     | Errechnen der Segmentmitten .....          | 148        |
| 9.4.5     | KORR-TERMINAL.vi .....                     | 148        |
| 9.4.6     | Routine: Find_Tone .....                   | 150        |
| 9.4.7     | Find_Tone für eigene Programme nutzen..... | 151        |
| <b>10</b> | <b>Die FFT-Anzeige in LabVIEW.....</b>     | <b>153</b> |
| <b>11</b> | <b>Anwendungsbeispiele .....</b>           | <b>157</b> |
| 11.1      | Versuche mit dem Basisprogramm.....        | 157        |
| 11.1.1    | Das Hochladen der ersten Programme .....   | 157        |
| 11.1.2    | Test der seriellen Übertragung .....       | 160        |
| 11.1.3    | Darstellung der Audiospektren.....         | 160        |
| 11.1.4    | Der Alias-Effekt .....                     | 161        |
| 11.1.5    | Tongenerator: SND-GENERATOR.llb .....      | 163        |
| 11.1.6    | Ausgabe der erkannten Töne.....            | 165        |
| 11.2      | Schaltung ohne Analysebaustein .....       | 166        |
| 11.3      | Erkennung des Kammertons A.....            | 167        |
| 11.3.1    | Vorbereitung .....                         | 167        |
| 11.3.2    | Tonsignal erzeugen .....                   | 167        |
| 11.3.3    | Analyse mit Simulator .....                | 168        |
| 11.3.4    | Analyse mit FFT-Anzeige .....              | 169        |
| 11.3.5    | Analyse mit BAR-TERMINAL.vi.....           | 170        |
| 11.3.6    | Analyse mit KORR-TERMINAL.vi .....         | 171        |
| 11.3.7    | Spezielle Ausgabeprogramme.....            | 174        |
| 11.4      | DTMF-Decoder.....                          | 174        |
| 11.4.1    | Grundlagen zu DTMF .....                   | 175        |
| 11.4.2    | DTMF-Dialer .....                          | 175        |
| 11.4.3    | Analyse der DTMF-Codes.....                | 177        |
| 11.4.4    | Listing von DTMF_DECODE.aps.....           | 179        |
| 11.5      | DTMF-Codeschloss.....                      | 185        |
| 11.5.1    | DTMF-TERMINAL.vi .....                     | 186        |
| 11.5.2    | Listing von DTMF_LOCK.aps .....            | 188        |
| 11.6      | Gitarrenstimmgerät.....                    | 193        |
| 11.6.1    | Saitenfrequenzen am Simulator.....         | 193        |
| 11.6.2    | Töne und Frequenzen.....                   | 193        |
| 11.6.3    | Versuche mit dem TUNER-TERMINAL.vi.....    | 195        |
| 11.6.4    | Listing von GUITAR_STRINGS.aps .....       | 198        |
| 11.6.5    | Entwicklung des Gitarrenstimmgeräts .....  | 202        |

|        |  |            |
|--------|--|------------|
| 11.6.6 | Anzeige des Gitarren-Tuners .....        | 203        |
| 11.6.7 | Listing von GUITAR_TUNER.aps .....       | 204        |
| 11.6.8 | Es geht noch genauer ... .....           | 208        |
| 11.7   | Ermittlung der lautesten Frequenz.....   | 209        |
| 11.7.1 | Listing von MAX_PEAK.aps .....           | 209        |
| 11.7.2 | Routine: Search_Max .....                | 211        |
| 11.8   | Automatische Notation .....              | 213        |
| 11.8.1 | Elektronisches Piano.....                | 213        |
| 11.8.2 | Analyse der Keyboard-Töne .....          | 215        |
| 11.8.3 | TONE-TERMINAL.vi.....                    | 216        |
| 11.8.4 | Listing PIANO_DETECT.aps .....           | 218        |
| 11.8.5 | Routine: Piano_Number .....              | 219        |
| 11.9   | U-Bootsteuerung mit Schall.....          | 223        |
| 11.9.1 | Funktionsweise der Schallsteuerung ..... | 223        |
| 11.9.2 | Listing von yC_SUBMARINE.aps .....       | 228        |
| 11.9.3 | Tipps zur Optimierung .....              | 234        |
|        | <b>Stichwortverzeichnis .....</b>        | <b>237</b> |