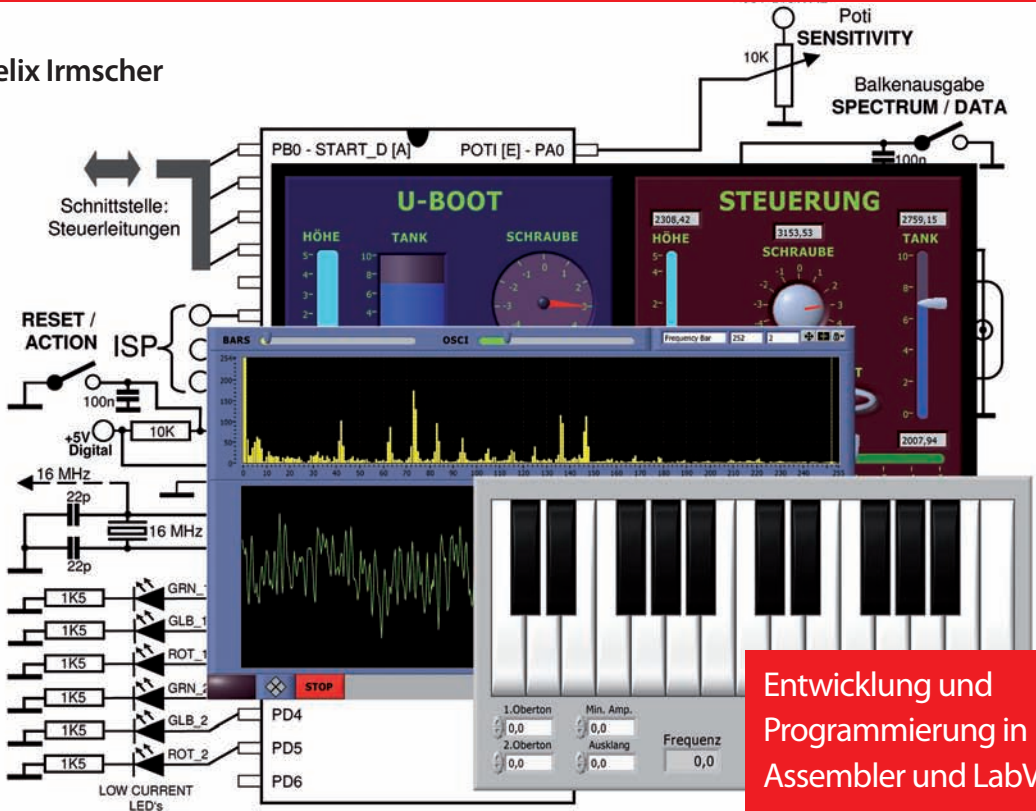


Felix Irmscher



Audiospektrum-Analyse mit Mikrocontrollern

Analyseschaltungen mit dem ATmega644 einfach selbst entwickeln

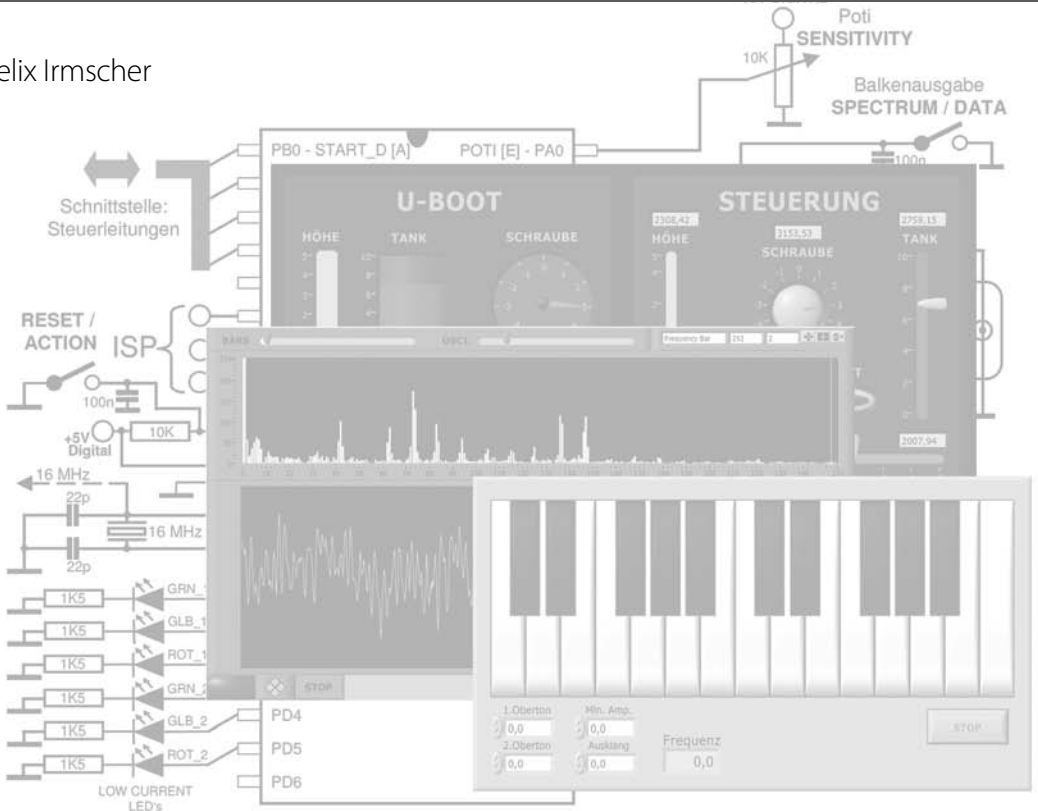
Auf CD-ROM:

- Programme in Assembler und LabVIEW
- Analyse-Tools und Signalgeneratoren
- Informationsmaterial

Felix Irmscher

Audiospektrum-Analyse mit Mikrocontrollern

Felix Irmischer



Audiospektrum- Analyse mit Mikrocontrollern

Analyseschaltungen mit dem ATmega644 einfach selbst entwickeln

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Hinweis: Alle Angaben in diesem Buch wurden vom Autor mit größter Sorgfalt erarbeitet bzw. zusammengestellt und unter Einschaltung wirksamer Kontrollmaßnahmen reproduziert. Trotzdem sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Der Verlag und der Autor sehen sich deshalb gezwungen, darauf hinzuweisen, dass sie weder eine Garantie noch die juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für Folgen, die auf fehlerhafte Angaben zurückgehen, übernehmen können. Für die Mitteilung etwaiger Fehler sind Verlag und Autor jederzeit dankbar. Internetadressen oder Versionsnummern stellen den bei Redaktionsschluss verfügbaren Informationsstand dar. Verlag und Autor übernehmen keinerlei Verantwortung oder Haftung für Veränderungen, die sich aus nicht von ihnen zu vertretenden Umständen ergeben. Evtl. beigefügte oder zum Download angebotene Dateien und Informationen dienen ausschließlich der nicht gewerblichen Nutzung. Eine gewerbliche Nutzung ist nur mit Zustimmung des Lizenzinhabers möglich.

© 2013 Franzis Verlag GmbH, 85540 Haar bei München

Alle Rechte vorbehalten, auch die der fotomechanischen Wiedergabe und der Speicherung in elektronischen Medien. Das Erstellen und Verbreiten von Kopien auf Papier, auf Datenträgern oder im Internet, insbesondere als PDF, ist nur mit ausdrücklicher Genehmigung des Verlags gestattet und wird widrigenfalls strafrechtlich verfolgt.

Die meisten Produktbezeichnungen von Hard- und Software sowie Firmennamen und Firmenlogos, die in diesem Werk genannt werden, sind in der Regel gleichzeitig auch eingetragene Warenzeichen und sollten als solche betrachtet werden. Der Verlag folgt bei den Produktbezeichnungen im Wesentlichen den Schreibweisen der Hersteller.

Herausgeber: Ulrich Dorn

Satz: DTP-Satz A. Kugge, München

art & design: www.ideehoch2.de

Druck: C.H. Beck, Nördlingen

Printed in Germany

ISBN 978-3-645-65138-7

Vorwort

In diesem Buch lernen Sie, ATMEL-Mikrocontroller zur Signalanalyse für Frequenzen im hörbaren Bereich zu nutzen. Der Einstieg in die Assembler-Programmierung von spannenden Anwendungen zur Audiospektrum-Analyse eröffnet sich Ihnen ohne nennenswerten theoretischen Ballast. Sie benötigen keine Kenntnisse in höherer Mathematik!

Um die im Buch aufgeführten Versuche und später auch Ihre eigenen Projekte durchführen zu können, wird der Bau eines komfortablen Experimentiersystems beschrieben.

Damit richtet sich das praxisorientierte Buch an engagierte Hobbyisten und Studierende, die sich mit Signalanalyse und Mikrocontrollertechnik beschäftigen.

Zur Überprüfung der Funktionstüchtigkeit sind auf der beiliegenden CD-ROM auch mehrere Analyse-Tools und Signalgeneratoren für den PC enthalten, die überwiegend in der Programmiersprache LabVIEW verfasst wurden. Da diese Software hierbei eine ideale Ergänzung bietet, ist ihre Darstellung ein weiterer wichtiger Themenschwerpunkt des Buchs. Es wird u. a. beschrieben, wie LabVIEW und ein Lehrbuch zu Lernzwecken sehr kostengünstig erworben werden können. Der Datentransfer zum PC erfolgt über die Serielle Schnittstelle RS-232.

Mikrocontroller zur Signalanalyse zu verwenden, ist eher ungewöhnlich. Sie bieten aber für Frequenzen im hörbaren Bereich zu den nur sehr schwer erhältlichen digitalen Signalprozessoren eine kostengünstige Alternative. Zur Anwendung kommt der *ATMELmega644* im für Experimente praktischen DIL-40-Gehäuse.

Die Programmierung der Mikrocontroller erfolgt zur Geschwindigkeitsoptimierung in Assembler. Diese Programmiersprache hat zu Unrecht das Image, sehr kompliziert zu sein. Es kommen Programmablaufpläne, ausführlich dokumentierte Listings und zusätzliche Erläuterungen zum Einsatz, die das Gegenteil beweisen sollen. Die Anwendung weniger häufig genutzter Funktionen wie z. B. Makros, Puffer und der Watchdog-Timer werden ausführlich beschrieben. Grundkenntnisse in Assembler sollten bereits vorhanden sein.

Die für die Signal-Analyse notwendigen FFT-Algorithmen sind rechenintensiv. Auf dem Mikrocontroller bleiben dann kaum noch Ressourcen für weiterführende Auswertungen. Das ist wohl auch der Grund, warum sich die meisten im Internet verfügbaren Projekte bisher darauf beschränkten, die Machbarkeit der Spektrum-Analyse mithilfe einer kleinen Bargraph-Anzeige zu demonstrieren.

Um leistungsfähigere Schaltungen entwickeln zu können, werden zwei miteinander kommunizierende Mikrocontroller verwendet. Dabei übernimmt der eine die Berechnung der Audiospektren aus den über ein Mikrofon aufgenommenen Signalen. Er wird als *FFT-Baustein* bezeichnet. Der andere, der sogenannte *Analysebaustein*, übernimmt die weiterführenden Berechnungen.

Während der Analysebaustein das letzte Spektrum auswertet, kann der FFT-Baustein bereits neue Daten generieren. Dadurch lässt sich die Arbeitsgeschwindigkeit beträchtlich erhöhen. Für den Anwender hat das zudem den Vorteil, dass er sich nicht mehr mit den komplizierten FFT-Algorithmen beschäftigen muss.

In diesem Buch werden Wege aufgezeigt, wie die Spektren mit dem Analysebaustein weiter ausgewertet werden können. Hierzu steht ein sogenanntes *Basisprogramm* mit vielen nützlichen Routinen zur Verfügung.

Einige Schaltungsbeispiele stellen Anwendungsmöglichkeiten dar. Der Leser wird also letztlich befähigt, mithilfe des vorkonfektionierten FFT-Bausteins und dem Basisprogramm des Analysebausteins eigene Projekte zu realisieren.

Um das Funktionsprinzip der Generierung von Audiospektren bereits vor dem Nachbau des Experimentiersystems nachvollziehen zu können, steht ein einfaches, in LabVIEW erstelltes Simulationsprogramm zur Verfügung.

Mein Dank gilt den Autoren, die mir die Genehmigungen zur Wiedergabe ihrer wertvollen Programme, Schaltungsideen und Beschreibungen ausgesprochen haben. Sie werden im Text namentlich aufgeführt. Besonderer Dank gebührt *National Instruments* und Herrn Backmeyer für die hervorragende Unterstützung bei der Realisierung der LabVIEW-Projekte.

Lübeck, Januar 2013

Felix Irmscher

Inhaltsverzeichnis

1	Theorie zur Fixpunkt-FFT	11
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
2	Simulationsprogramm in LabVIEW	19
2.1	Verwendungszweck	19
2.2	Bedienungsanleitung.....	20
2.3	Soundkarten-Oszilloskope	22
3	Einführung in LabVIEW	25
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
4	Experimentiersystem	39
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
5	Der FFT-Baustein	51
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
6	Der Analysebaustein	71
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 POT1: Sensitivity.....	82
6.4.11	TCNT1 Compare Match A-Interrupt	84
6.4.12	Interrupt-Routine: Check_Time	86
6.4.13	Hauptprogramm	89
7	Parallele Schnittstelle	95
7.1	Funktionsweise	95
7.2	Routine: Parallel_out (FFT-Baustein).....	101
7.3	Routine: Parallel_in (Analysebaustein).....	103
8	Serielle Schnittstelle.....	107
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

9	Analyse	119
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
10	Die FFT-Anzeige in LabVIEW	153
11	Anwendungsbeispiele	157
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
	Stichwortverzeichnis.....	237

4 Experimentiersystem

4.1 Elektronische Schaltung

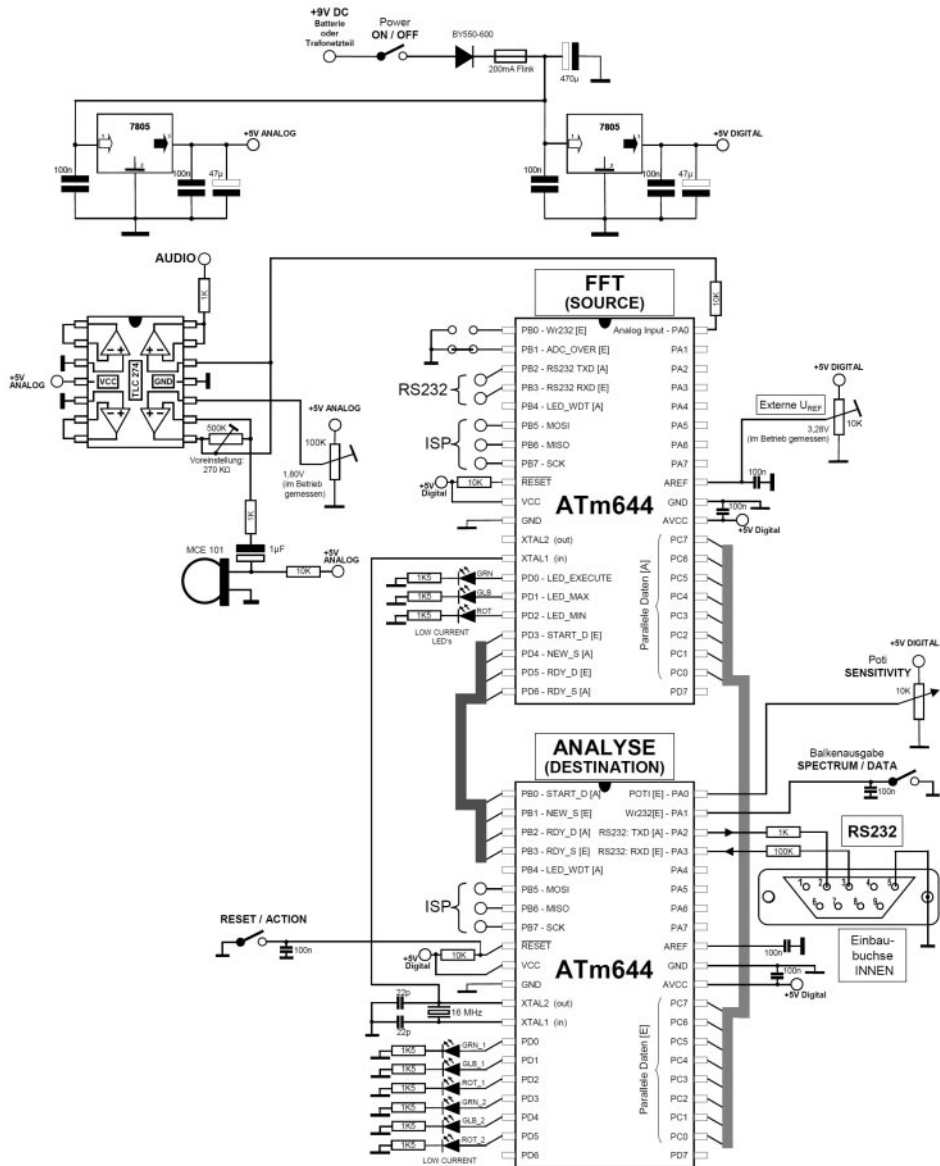


Abb. 4.1: Elektronische Schaltung

Mit der in Abb. 4.1 gezeigten Schaltung lassen sich alle folgenden Beispiele durchführen. Das System hat getrennte Spannungsversorgungen für den digitalen und den analogen Bereich. Dadurch können akustische Störungen bei der Mikrofonverstärkung, die sonst durch die digitale Elektronik entstehen würden, weitgehend vermieden werden. Die Festspannungsregler 7805 haben eine Strombegrenzung von jeweils 1 Ampere (A).

Bei der Inbetriebnahme synchronisieren sich die beiden Mikrocontroller. Das ist nur möglich, wenn beim Anschalten keine Zwischenzustände bei der Spannungsversorgung entstehen. Deshalb muss das Experimentiersystem über einen Ein/Aus-Schalter verfügen. Wackelkontakte bei der Spannungsversorgung sind zu vermeiden.

Beim Experimentieren entstehen leicht versehentliche Kurzschlüsse. Um die wertvollen ICs zu schützen, empfiehlt sich der Einbau einer Feinsicherung 5x20. In dem unten dargestellten Schaltungsaufbau wurde zur Vereinfachung darauf verzichtet. In jedem Fall sollte aber ein Verpolungsschutz eingebaut werden. Die hierzu verwendete Diode *BY 550-600* ist für Ströme bis 5 A geeignet. Alternativ könnte z. B. der Typ *4001* (1 A) zum Einsatz kommen.

Die Mikrofonverstärkung wird mit dem kostengünstigen und gut verfügbaren vierfach-Operationsverstärker *TLC274* realisiert. Von dem IC werden nur zwei OPs benötigt. Dabei übernimmt der erste die analoge Verstärkung, der zweite ist für den Betrieb eines hochohmigen Ohrhörers vorgesehen. Eigentlich würde auch der zweifach-Operationsverstärker *TLC272* ausreichen. Er wird aber aufgrund seiner geringeren Verstärkungsleistung hier nicht verwendet. Die Spannungsversorgung des mit Absicht sehr einfach und übersichtlich gestalteten Mikrofonverstärkers kann nur mit Batterien oder einem herkömmlichen Transformatorennetzteil betrieben werden. Bei der Verwendung der modernen Schaltnetzteile kommt es zu Überschwingungen. Vielleicht findet sich in Ihrer Bastelkiste noch ein älteres Netzteil. Es sollte eine Ausgangsspannung von ca. 9 Volt (V) liefern. Es muss keine Spannungsstabilisierung aufweisen.

4.1.1 Analoge Elektronik

An die Elektret-Mikrofonkapsel (z. B. *MCE-101*) werden keine besonderen Anforderungen gestellt. Es ist sogar wünschenswert, dass das Mikrofon nur eine niedrige obere Grenzfrequenz aufweist, da es dann schon als Tiefpass gegen den *Alias-Effekt* wirksam wird. Die beiden nicht verwendeten OPs sind so verschaltet, dass sie nicht in Schwingung geraten können. Es wäre möglich, sie für den Aufbau eines aktiven Tiefpassfilters zu nutzen.

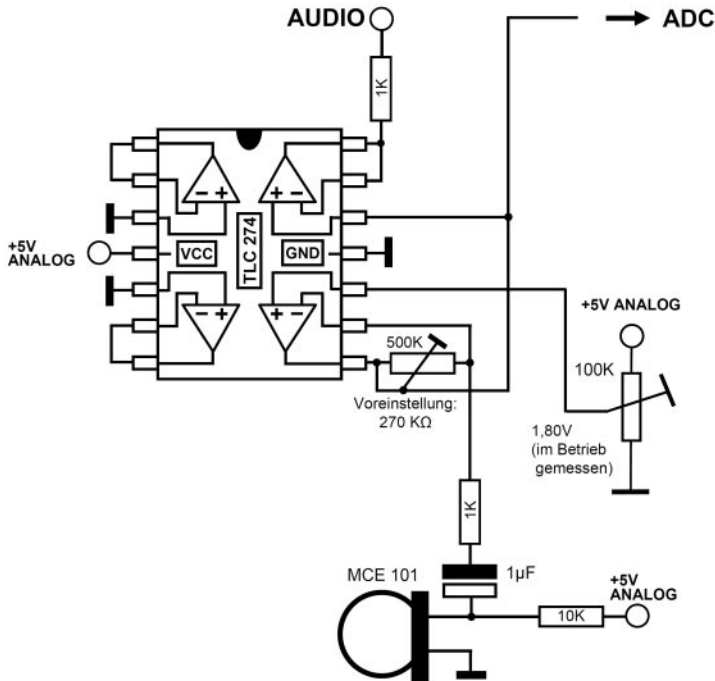


Abb. 4.2: Analoge Elektronik

Vielleicht möchten Sie ein solches Filter entwickeln und eine Möglichkeit finden, das Experimentiersystem auch mit Schaltnetzteilen zu betreiben? Das Online-Elektronikmagazin *ELO* des Franzis Verlags (www.elo-web.de) würde sich gut eignen, um solche Ideen anderen Interessierten zugänglich zu machen.

Bei dem *TLC274* handelt es sich um einen OP, der annähernd sogenanntes *Rail-to-Rail*-Verhalten aufweist. Das bedeutet, dass bei der unipolaren Versorgungsspannung (*Single Supply*) Verstärkungen von 0 V bis fast zur Höhe der Betriebsspannung möglich sind. Dadurch kann ein großer Dynamikbereich des eingehenden Audiosignals erfasst werden, ohne dass es zu Verzerrungen kommt.

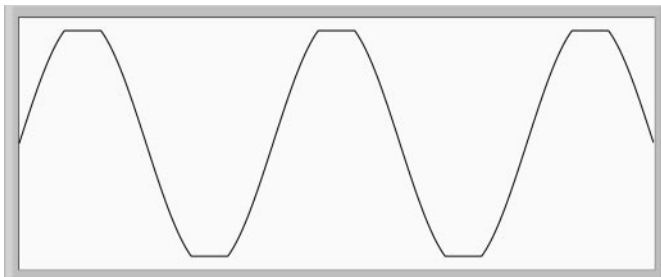


Abb. 4.3: Deformation bei Übersteuerung

Eine möglichst hohe, aber übersteuerungsfreie Verstärkung ist wünschenswert, um den Wertebereich der Analog-Digital-Wandlung zur präziseren Messung in großem Umfang ausnutzen zu können. Bei Praxistests wurde das Signal ab einer Verstärkung von über 3,3 V zunehmend verzerrt. Deswegen sollten höhere Werte nicht erreicht werden. Am AREF-Pin des FFT-Bausteins wird dementsprechend eine externe Referenzspannung von 3,28 V als Maximalwert bei der Digitalisierung angelegt.

Wie in Abb. 4.3 zu erkennen, werden Audiosignale mit Spannungen über dem Referenzwert bei der AD-Wandlung rechteckförmig deformiert. Dadurch entstehen Fehler bei der anschließenden Signalanalyse. Die Verstärkung am 500-k Ω -Trimmer ist deshalb so einzustellen, dass auch bei lauterem Geräuschen noch keine Übersteuerung eintritt. Ein guter Startwert liegt bei ca. 270 k Ω .

Diese sehr einfache Mikrofonverstärkung liefert nur dann akzeptable Ergebnisse, wenn zwischen dem invertierenden Eingang und dem Ausgang ein kleiner sogenannter *Präzisions-Keramiktrimmer* verwendet wird, der in nächster Nähe zum OP positioniert ist (Abb. 4.4). Bei Trimmern mit größeren Bauformen treten vermehrt Störungen auf.

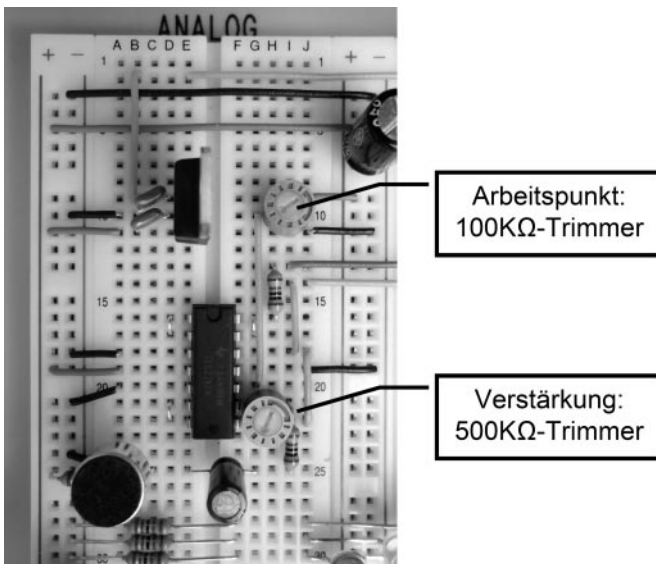


Abb. 4.4: Präzisions-Keramiktrimmer

Am nicht invertierenden Eingang des Operationsverstärkers soll der optimale Arbeitspunkt ebenfalls über einen Keramiktrimmer eingestellt werden. Um die bestmögliche Stellung zu finden, können neben dem in LabVIEW programmierten Simulator und den Soundkarten-Oszilloskopen auch die beiden LEDs *LED_Min* (rot) und *LED_Max* (gelb) zu Hilfe genommen werden: Die rote LED leuchtet, sobald die Eingangsspannung 0 V beträgt. Die gelbe LED schaltet sich ein, sobald die Spannung erreicht wird, die am AREF-Pin des FFT-Bausteins als Maximalwert voreingestellt wurde (3,28 V). Der Arbeitspunkt ist dann so einzustellen, dass bei einem langsam lauter werdenden akusti-

schon Signal etwa zur gleichen Zeit sowohl die rote als auch die gelbe LED zu leuchten beginnen.

Bei eigenen Verstärkerschaltungen ist zu beachten, dass am ADC-Eingang keine negativen Spannungen angelegt werden dürfen, die niedriger als $-0,6\text{ V}$ sind, da sonst die eingebaute Schutzdiode zerstört werden kann. Sollten doch einmal negative Spannungen entstehen und die Schutzdiode im ADC-Eingang leitend werden, wirkt der vorgeschaltete $10\text{-k}\Omega$ -Widerstand strombegrenzend.



Abb. 4.5: Kristallohrhörer

Am Ausgang *Audio* kann ein hochohmiger Kristallohrhörer direkt angeschlossen werden (z. B. S-83 K), um die Qualität der Verstärkung beurteilen zu können. Sie werden stetige leise Klickgeräusche vernehmen, die durch den Betrieb der LEDs entstehen. Sie stören die Signalanalyse nicht und könnten durch verbesserte Abschirmung nahezu vollständig eliminiert werden.

Um Ihren PC über den *Line-in*-Eingang mit dem Ausgang *Audio* direkt zu verbinden, sind die in Abb. 4.6 dargestellten Veränderungen der Schaltung notwendig. Der Ausgang fungiert dann als *Messprüfspitze* für die in Kapitel 2 beschriebene Oszilloskopfunktion des Simulators und für die dort ebenfalls aufgeführten Soundkarten-Oszilloskope. Die Idee wurde aus dem Buch »Elektronische Schaltungen« von Richard Zierl entliehen. Der Spannungsteiler ist demnach notwendig, um dem *Line-in*-Eingang nicht mehr als 2 V zuzuführen. Für beim Experimentieren eventuell auftretende Schäden kann keine Haftung übernommen werden. Wer ganz sicher gehen und den PC keiner Gefahr aussetzen möchte, kann die Messprüfspitze über eine der kostengünstigen USB-Soundkarten betreiben.

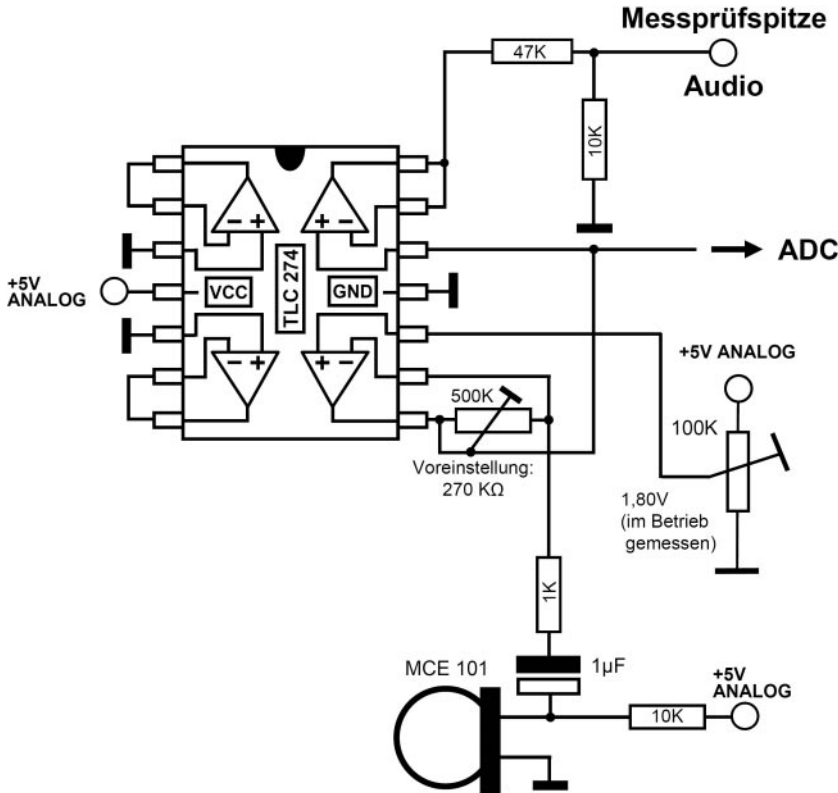


Abb. 4.6: Messprüfzitze für PC-Oszilloskope

4.1.2 Digitale Elektronik

Die Funktionsweise der Mikrocontroller wird in den nächsten Kapiteln noch detailliert erläutert. Die folgende Beschreibung dient einem ersten Überblick.

FFT-Baustein

An PA0 des FFT-Bausteins, hier auch als *Source* bezeichnet, wird das Audiosignal empfangen und mit dem Kanal ADC0 digitalisiert. Dabei wird die am 10-kΩ-Trimmer voreingestellte externe Referenzspannung verwendet. Wenn die Ausgabe des FFT-Spektrums seriell über die RS-232 erfolgen soll (PB2 und PB3), muss eine Drahtbrücke zwischen PB0 und Masse eingesetzt werden. Ohne Brücke ist die parallele Schnittstelle über Port C aktiviert. Für die parallele Übertragung sind auch die Steuerleitungen an PD3 bis PD6 erforderlich.

Mit der standardmäßig eingebauten Drahtbrücke zwischen PB1 und Masse ist die Übersteuerungskontrolle angeschaltet. Über die LEDs *LED_Max* und *LED_Min* wird eine eventuelle Übersteuerung signalisiert. Die *LED_Execute* blinkt stets nach jedem

fertiggestellten FFT-Spektrum. Eventuelle Funktionsstörungen können somit über die LED sichtbar werden. An PB4 kann optional die *LED_WDT* angeschlossen werden, die nach einem *Watchdog System Reset* kontinuierlich aufleuchtet.

Alle verwendeten Leuchtdioden sind *Low-current*-Typen, d. h., sie erreichen schon bei ca. 2 mA ihre volle Helligkeit. Normalerweise wird der FFT-Baustein über den externen 16-MHz-Takt des Analysebausteins am Pin XTAL1 betrieben.

Für die *ISP*-Programmierung des Mikrocontrollers stehen die Anschlüsse PB5 bis PB7 und der Reset-Pin zur Verfügung.

Analysebaustein

Der Analysebaustein, im Weiteren auch *Destination* genannt, empfängt die Audiospektren des FFT-Bausteins über die parallele Schnittstelle an Port C. Hierfür sind zusätzlich die Steuerleitungen an PB0 bis PB3 notwendig. Ebenso wie beim FFT-Baustein können die Audiospektren über die RS-232 (PA2 und PA3) an den PC gesendet werden. Es ist alternativ aber auch möglich, andere Daten seriell zu übertragen. Die Auswahl zwischen diesen beiden Betriebsmodi erfolgt mit dem entprellten Schalter *Spectrum/Data* auf der Frontplatte.

Burkhard Kainka beschreibt in seinem »Lernpaket Mikrocontroller« (Franzis Verlag, 2007) die hier verwendete, aus nur zwei Widerständen aufgebaute serielle Schnittstelle. Über eine neunpolige D-Sub-Einbaubuchse kann der PC angeschlossen werden.

Die sechs LEDs an Port D (PD0 bis PD5) werden je nach Bedarf von den hochgeladenen Programmen verwendet. Optional kann eine an PB4 angeschlossene *LED_WDT* das Auslösen des Watchdog System Reset anzeigen. Der Analysebaustein wird über einen Quarzoszillator mit 16 MHz betrieben. Der sogenannte *Full Swing Crystal Oscillator* ist leistungsstark genug, um auch als Taktgeber für den FFT-Baustein zu dienen (Pin XTAL2).

Die *ISP*-Programmierung erfolgt in der gleichen Weise wie beim FFT-Baustein (PB5 bis PB7 und *Reset*). Je nachdem, welches Programmiermodul verwendet wird, kann es notwendig sein, beim Updating den Reset-Pin manuell auf Masse zu legen. Deswegen ist der entprellte Schalter *Reset/Action* vorgesehen.

Das auf der Frontplatte befindliche Potenziometer *Sensitivity* ist an PA0 (ADC0) angeschlossen. Hiermit lässt sich die Mindestlautstärke einstellen, die ein Frequenzbereich des Audiosignals haben muss, um analysiert zu werden.

4.2 Schaltungsaufbau

Die folgende Beschreibung zeigt eine mögliche Ausgestaltung des Experimentiersystems.

4.2.1 Bauteile

Die für den Aufbau des Experimentiersystems benötigten Bauteile sind u. a. bei den großen Elektronik-Versandhäusern erhältlich.

- 2 Steckplatten 165 mm x 55 mm x 8,5 mm mit je 830 Anschlüssen
- 2 Festspannungsregler 7805 (5 V, 1 A)
- 2 ATMELmega644 im DIL-40-Gehäuse
- 3 Widerstände 1 k Ω
- 9 Widerstände 1,5 k Ω
- 4 Widerstände 10 k Ω
- 1 Widerstand 100 k Ω
- 1 Potenziometer 10 k Ω , linear
- 1 Miniatur-Präzisionstrimmer, liegend, 10 k Ω
- 1 Miniatur-Präzisionstrimmer, liegend, 100 k Ω
- 1 Miniatur-Präzisionstrimmer, liegend, 500 k Ω
- 1 Kondensator 470 μ F
- 2 Kondensatoren 47 μ F
- 1 Kondensator 1 μ F
- 10 Kondensatoren 100 nF
- 2 Kondensatoren 22 pF
- 1 Diode als Verpolungsschutz, z. B. 1N4001 od. BY 550-600
- 1 Quarz 16 MHz
- 3 rote Low-Current-LEDs
- 3 gelbe Low-Current-LEDs
- 3 grüne Low-Current-LEDs
- 3 Kippschalter 1 x Ein/Aus
- 1 Netzgeräte-Einbaukupplung
- 1 Klinkeneinbaukupplung 3,5 Mono
- 1 D-Sub-Einbaubuchse, 9-polig, mit Lötkelchen
- 1 Elektret-Mikrofonkapsel (z. B. MCE-101)
- 1 Kristallohrhörer (z. B. S-83 K)
- 1 Potenziometerknopf
- 4 Gummifüße
- 1 Transformatorennetzteil, ca. 9 V (keine Spannungsstabilisierung nötig)
- 1 USB 2.0-seriell-Adapter
- 1 USB-Kabel

Für Messprüfspitze weiterhin benötigt:

- 1 Widerstand 10 k Ω
- 1 Widerstand 47 k Ω
- 1 Verbindungskabel (2 Adern und Abschirmung) mit Stereo-Klinkensteckern 3,5 mm

4.2.2 Die Grundplatte

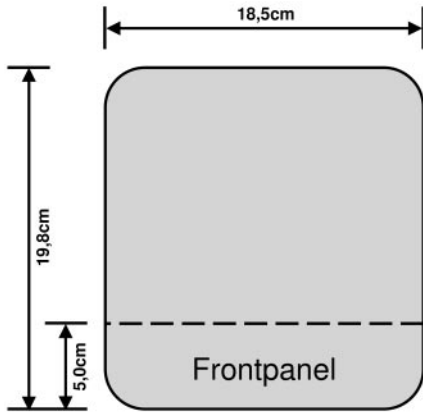


Abb. 4.7: Die Grundplatte

Als Grundplatte dient eine 1,5 mm starke, an den Ecken abgerundete Aluminiumplatte mit den Maßen 18,5 cm x 19,8 cm. Die Frontplatte ist von der längeren Seite mit einer Höhe von 5 cm rechtwinklig hochgebogen. Die Grundplatte muss zur besseren Abschirmung mit der Masseleitung verbunden sein. Um Kurzschlüsse mit herabhängenden Kabeln zu vermeiden, ist die Platte beidseitig mit Klebefolie bezogen.



Abb. 4.8: Die Frontplatte

Beim Einbau der Bedienelemente und Buchsen ist darauf zu achten, dass die Klebefolie Massekontakte mit dem Gehäuse nicht behindert. Auf der horizontalen Fläche der Grundplatte sind zwei Steckplatten mit den Maßen 165 mm x 55 mm x 8,5 mm mit je 830 Anschlüssen aufgeklebt. Gummifüße sorgen für Standfestigkeit und verbessern die Isolation zur Unterlage.

4.2.3 Die Bestückung

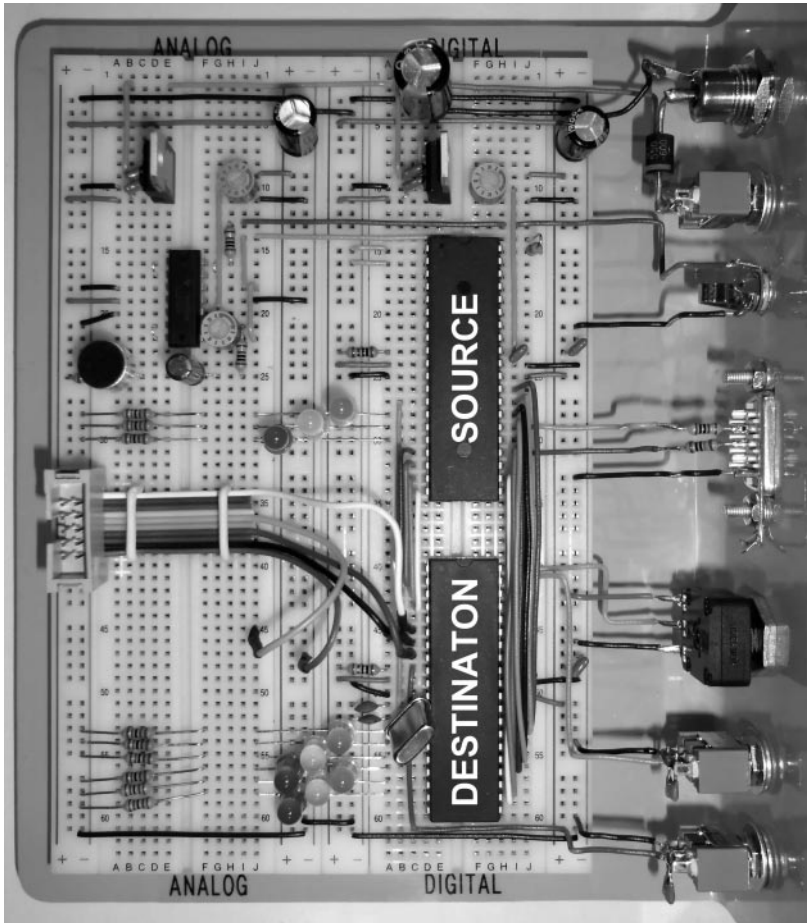


Abb. 4.9: Die Bestückung des Systems

Analoge und digitale Schaltungsbestandteile werden mit unterschiedlichen Spannungsversorgungen betrieben, indem an der linken Steckplatine die analoge und an der rechten die digitale Versorgung anliegt. Die dabei verwendeten Festspannungsregler können übrigens leichter eingesetzt werden, wenn ihre Beinchen zuvor um jeweils 90° gedreht wurden. Die Masse ist für beide Schaltungsteile gleich. Die Masseleitungen der Platinen sind zur besseren Erdung an ihrem oberen und unteren Ende miteinander verbunden.

In der Mitte der analogen Steckplatine ist der Verbindungsstecker für den verwendeten *ISP-Programmer mySmartUSB MK2* zu sehen. Hiermit lassen sich durch Umstecken der Kabel beide Mikrocontroller programmieren. Es steht noch reichlich Platz für eigene Erweiterungen zur Verfügung, wenn dieser Stecker und ggf. auch die darunterliegenden LEDs anders positioniert werden.

Die beiden Mikrocontroller *ATMELmega644* können durch das praktische DIL-40-Gehäuse direkt auf der digitalen Steckplatine platziert werden. Sie kommunizieren über eine speziell angepasste parallele Schnittstelle miteinander.

Mit acht Drahtbrücken ist der Port C des FFT-Bausteins mit dem Port C des Analysebausteins verbunden (PC0 → PC0, PC1 → PC1, usw. ...). Weitere vier Drahtbrücken sind an Port B für die Steuerleitungen eingesteckt (Start_D → Start_D, New_S → New_S usw.). Beachten Sie bitte, dass es sich bei den Mikrocontrollern und dem Operationsverstärker um elektrostatisch empfindliche Bauteile handelt.

Einige Bauteile wurden direkt an den Bedienelementen und Buchsen angelötet. Hierzu gehören die Schutzdiode zwischen der Netzgeräte-Einbaukupplung und dem *On/Off*-Schalter, die Widerstände für die RS-232 und die Kondensatoren zum Entprellen der Schalter *Reset/Action* und *Spectrum/Data*.

11 Anwendungsbeispiele

11.1 Versuche mit dem Basisprogramm

11.1.1 Das Hochladen der ersten Programme

Nun ist es endlich so weit, das Experimentieren kann beginnen. Auf der beiliegenden CD-ROM sind die benötigten Assemblercodes und LabVIEW-Anwendungen in den Ordnern *Assembler* und *LabVIEW* zu finden. Die elektronische Schaltung ist für das sogenannte *In-System-Programming* (ISP) vorbereitet. Das bedeutet, dass die Mikrocontroller für den Programmiervorgang nicht aus den Steckplatinen herausgenommen werden müssen. Das spart viel Zeit und schont vor allem die Pins der wertvollen ICs. Für die Projekte des Buchs wurde der ISP-Programmer *mySmartUSB MK2* verwendet, der über einen Wannenstecker mit den Pins PB5 bis PB7 und dem Reset-Pin verbunden werden kann (Abb. 11.1).

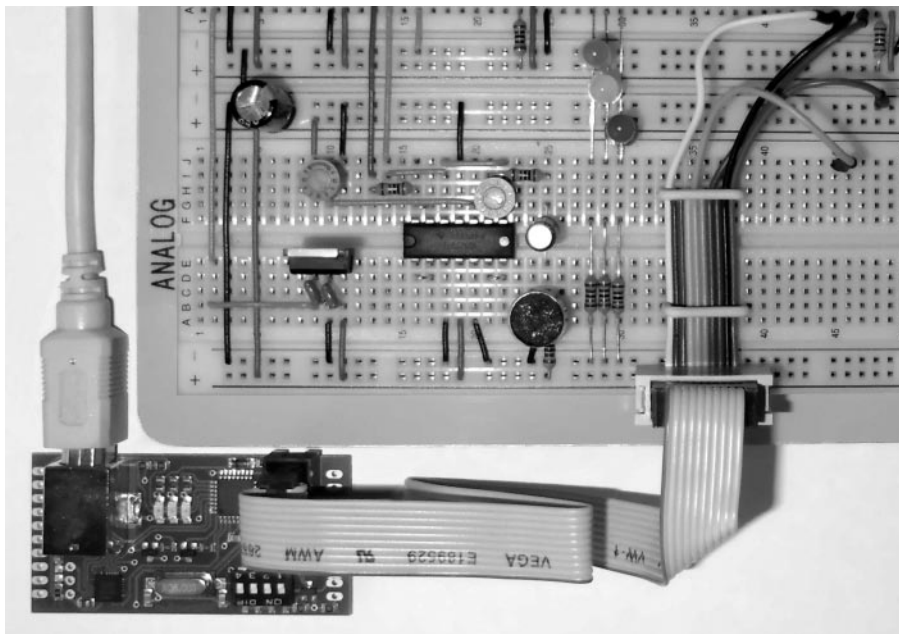


Abb. 11.1: ISP-Programmer mySmartUSB MK2

Bei einigen Modulen ist der Reset-Pin beim Programmieren manuell auf Masse zu legen. Dafür ist der Schalter *Reset/Action* vorgesehen. Auch bei dem hier verwendeten Adapter ist dieses Vorgehen vorteilhaft (Abb. 11.2).

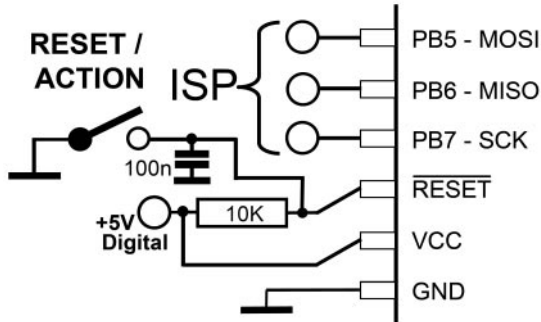


Abb. 11.2: ISP beim Analysebaustein

Im ersten Schritt wird der FFT-Baustein programmiert. Da das nur ein einziges Mal geschehen muss, ist hierfür im Experimentiersystem kein Schalter vorgesehen. Die Programmierung lässt sich einfach durchführen, indem der FFT-Baustein vorerst in die Position des Analysebausteins gesteckt und dort konfiguriert wird. Zunächst ist der Assembler-Code *SOURCE.aps* zu laden, und erst danach sollten die Einstellungen für das *Fuse High Byte* und das *Fuse Low Byte* vorgenommen werden. Im *Low Byte* ist die Zahl 0xE0 und im *High Byte* der Wert 0xC9 zu speichern. Hierbei ist Vorsicht geboten, da der FFT-Baustein auf eine externe Taktquelle eingestellt wird. Nach der Programmierung der Fuses kann der Controller deshalb nur noch mit dem Takt des Analysebausteins betrieben und auch programmiert werden. Danach ist der Baustein betriebsbereit und kann auf seinen endgültigen Platz auf der Platine positioniert werden.

Bevor der Analysebaustein eingesteckt und das erste Mal programmiert wird, ist es zum Schutz beider Controller empfehlenswert, die Spannungsversorgung zu trennen. Sie sollte erst kurz vor dem Aufladen des Codes wieder eingeschaltet werden. Da beide Bausteine an mehreren Pins direkt miteinander verbunden sind, könnte es bei falscher Vorkonfiguration des Analysebausteins zu schädlichen Kurzschlüssen kommen. Nun kann das Programm *BASIS.aps* geladen werden. Gemäß den Angaben aus Kapitel 6.4.1 ist in das *Fuse Low Byte* die Zahl 0xF7 und in das *Fuse High Byte* der Wert 0xC9 zu schreiben.

Nachdem der Schalter *Reset/Action* in den Betriebsmodus geschaltet wurde, sollte die grüne LED (*LED_Execute*) sehr schnell flackern. Das deutet darauf hin, dass das System störungsfrei funktioniert. Bei jedem Aufblitzen dieser LED wird ein Audiospektrum erstellt und über die parallele Schnittstelle an den Analysebaustein gesendet. Der FFT-Baustein kann nur dann mit der Generierung des nächsten Spektrums beginnen, wenn er hierzu vom Zielbaustein aufgefordert wird. Damit ist das fortwährende Blinken auch ein Hinweis auf den regelrechten Betrieb des Ziels.

Normalerweise sind die beiden LEDs des Quellbausteins *LED_Max* und *LED_Min* ausgeschaltet. Nur durch sehr laute Geräusche und z. B. durch Klopfen an das Mikrofon sollten sie fast gleichzeitig kurz aufleuchten. Das zeigt an, dass am Operationsverstärker Arbeitspunkt und Verstärkung richtig eingestellt wurden (Abb. 11.3). Außerdem ist das ein Zeichen für die korrekte Spannungsteilung mit dem Trimmer *Externe U_{REF}* .

Für den Fall, dass die beiden LEDs sich anders verhalten, als oben beschrieben, müssen Anpassungen erfolgen. Wenn die LEDs sich schon bei leisen Geräuschen einschalten oder selbst bei sehr lauten Schallereignissen noch nicht leuchten, muss geprüft werden, ob die Spannung von 3,28 V am Trimmer *Externe U_{REF} im laufenden Betrieb* tatsächlich anliegt (Abb. 5.1). Dieser Wert entspricht den maximal zulässigen Spannungsspitzen (Kapitel 4.1.1).

Danach ist eventuell noch die analoge Verstärkung mit dem 500-k Ω -Trimmer so anzupassen, dass die beiden LEDs nur bei sehr lauten Geräuschpegeln leuchten. Geschieht das schon bei leiseren Signalen, besteht die Gefahr von Übersteuerungen.

Wenn sich dabei immer nur eine der beiden LEDs einschaltet, ist der Arbeitspunkt nicht korrekt gewählt. Er lässt sich mit dem 100-k Ω -Trimmer regulieren. Seine Voreinstellung beträgt 1,80 V. Hierfür sollte ein lauter Dauerton erzeugt werden. Das kann z. B. mit dem Programm *SND-GENERATOR.llb* erfolgen. Es wird in Kapitel 11.1.5 erläutert. Der richtige Arbeitspunkt ist gefunden, wenn bei langsam lauter werdendem Signal etwa zur gleichen Zeit sowohl *LED_Max* als auch *LED_Min* aufleuchten.

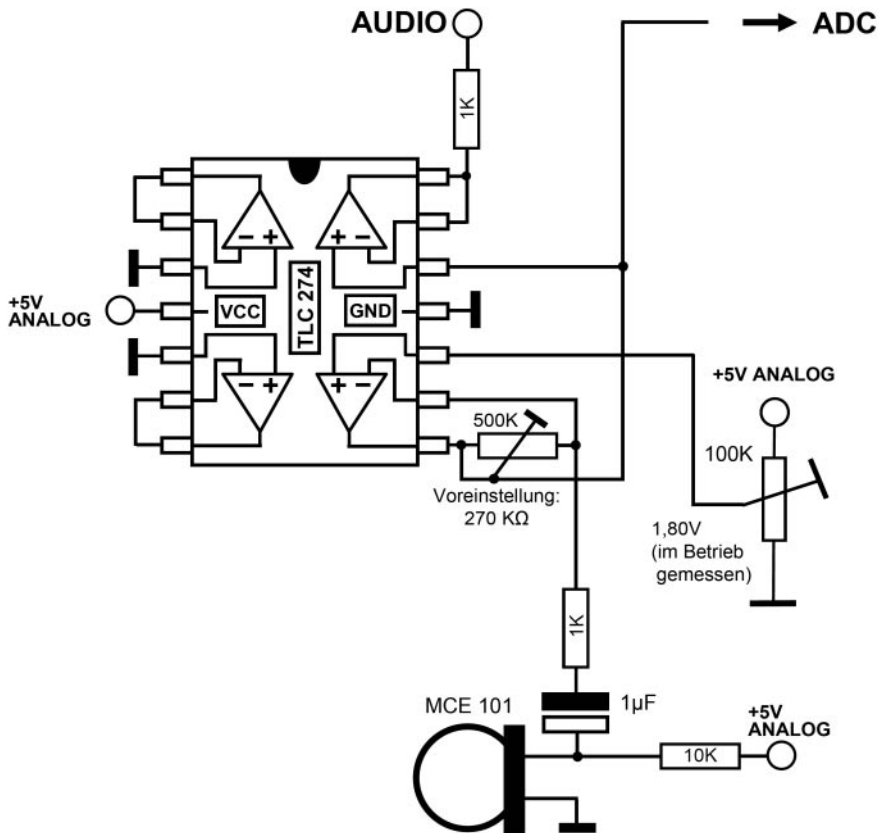


Abb. 11.3: Analoge Verstärkung

Wer kein Oszilloskop zur Verfügung hat, kann die Qualität der empfangenen Audiosignale auch gut mithilfe des Kristallohrhörers beurteilen. Alternativ bietet sich hierzu die Oszilloskopfunktion des Simulators an. Auch eines der in Kapitel 2.3 beschriebenen Soundkarten-Oszilloskope ist geeignet. Um den Analogausgang des Experimentiersystems mit dem Eingang der Soundkarte Ihres PC zu verbinden, wird das in Kapitel 4.1.1 beschriebene Vorgehen empfohlen.

11.1.2 Test der seriellen Übertragung

Bisher wurden die Funktionen innerhalb des Experimentiersystems getestet. Nun sollte auch die Qualität der seriellen Übertragung zum PC geprüft werden. Hierfür ist der *USB-2.0-seriell-Adapter* direkt an die D-Sub Buchse zu stecken und über ein USB-Kabel mit dem PC zu verbinden (Abb. 8.2).

Starten Sie nun die in Kapitel 10 beschriebene LabVIEW-Anwendung *AUDIO-SPECTRUM.vi*. Das Potenziometer *Sensitivity* ist bis zum rechten Anschlag zu drehen und der Schalter *Spectrum/Data* auf *Data* zu stellen. Wenn alles richtig funktioniert, sind jetzt zwei schnell wechselnde auf- und absteigende Dreiecksformen ohne Störungen zu erkennen (Abb. 8.9). Sie werden durch die Assembler-Routine *Test_RS-232* generiert (Kapitel 8.5). Eventuell muss noch der COM-Port angepasst werden. Das ist in Kapitel 10 erklärt.

Die Darstellung der Dreiecksformen kann auch gut dazu genutzt werden, verschiedene äußere Einflüsse auf die Übertragungsqualität zu untersuchen. Die Übermittlung wird z. B. schlechter, wenn an der D-Sub-Einbaubuchse der *USB-2.0-seriell-Adapter* nicht direkt, sondern über ein serielles Kabel angeschlossen wird. Dabei sinkt die Qualität mit zunehmender Kabellänge deutlich. Es treten immer mehr Unregelmäßigkeiten in den Dreiecksformen auf.

Zur Überprüfung der Abschirmung kann ein Mobiltelefon verwendet werden, das der Leitung langsam angenähert wird. Das muss aber mit Vorsicht geschehen, um die Mikrocontroller nicht zu zerstören.

Da *USB-2.0-seriell-Adapter* unterschiedliche Leistungsmerkmale aufweisen können, muss gegebenenfalls noch eine Anpassung der Baudrate vorgenommen werden. Nähere Angaben hierzu finden sie in Kapitel 8.

11.1.3 Darstellung der Audiospektren

Wenn Sie die Schalterstellung *Spectrum* wählen, werden die Balken mit *AUDIO-SPECTRUM.vi* in Echtzeit auf dem PC sichtbar. Sprache, Töne und Geräusche ergeben stets charakteristische Balkenformen. Das Audiospektrum in Abb. 11.4 zeigt z. B. Sprache.



Abb. 11.4: Sprache im Audiospektrum

Welche Anwendung Sie in Zukunft auch zu programmieren beabsichtigen, ist zunächst ein Blick auf die zu analysierenden Audiospektren empfehlenswert, um erste Lösungsansätze entwickeln zu können. Deswegen ist es auch in allen Beispielprogrammen möglich, den Modus *Spectrum* einzustellen.

11.1.4 Der Alias-Effekt

Der *Alias-Effekt* kann mithilfe eines langsam in der Tonhöhe ansteigenden Sinussignals visualisiert werden. Dieses Signal findet sich auf der CD-ROM im Order *Sound* unter dem Namen *SWEEP.mp3*.

Sobald das Signal die obere Frequenzgrenze von 4,8 kHz überschreitet, scheint es im Spektrum wieder zu tieferen Frequenzen zurückzulaufen (Abb. 11.5). Hierfür darf natürlich kein Tiefpass eingebaut sein. Der Alias-Effekt ist für die in diesem Buch beschriebenen Anwendungsbeispiele kaum von Bedeutung. Die meisten Töne in unserer Umgebung haben ihre größte Lautstärke unterhalb von 4,8 kHz. Der Effekt lässt sich mit dem Simulationsprogramm nicht darstellen.

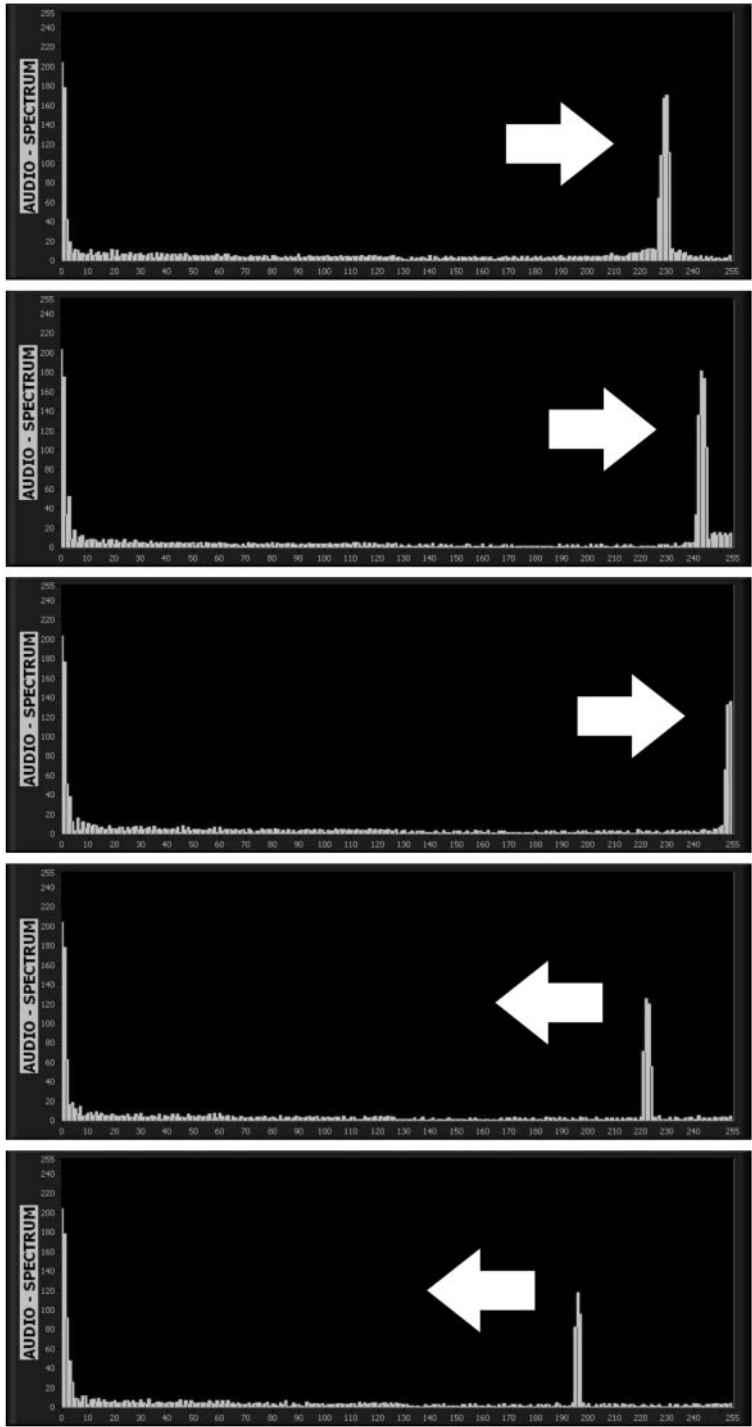


Abb. 11.5: Alias-Effekt

11.1.5 Tongenerator: SND-GENERATOR.llb

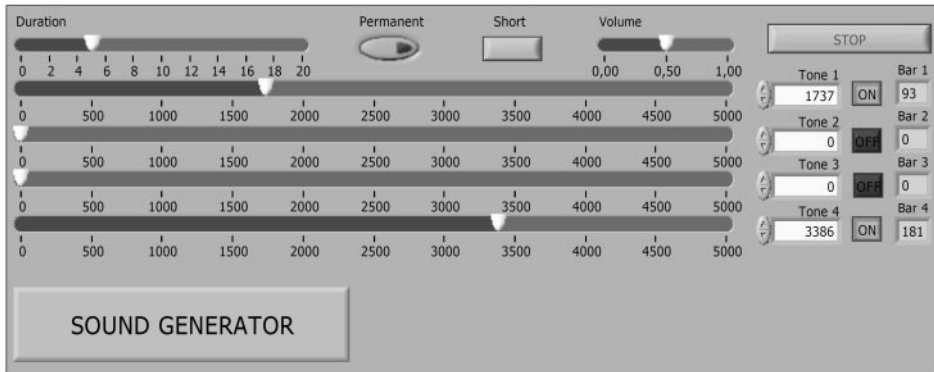


Abb. 11.6: SND-GENERATOR.llb (Front)

Auf der CD-ROM befindet sich im Ordner *LabVIEW* ein einfacher Tongenerator *SND-GENERATOR.llb*, der speziell für die Experimente dieses Buchs entwickelt wurde. Bis zu vier Sinustöne lassen sich gleichzeitig ausgeben. Die Frequenzwahl erfolgt entweder durch Betätigung der Schieberegler oder durch Eingabe der Zahlenwerte in den Feldern *Tone 1* bis *Tone 4*. Die Signale werden erst ausgegeben, wenn der jeweilige Button auf *ON* gestellt wurde. Dann erscheint dahinter auch die Nummer des Balkens im Audiospektrum, der für diese Frequenz zuständig ist. Da keine Frequenzkorrektur durchgeführt wird, kann die Nummer gegebenenfalls um einen Balken abweichen.

Mit dem Schieberegler *Volume* kann die Lautstärke angepasst werden. Bei höheren Werten treten jedoch eventuell Signalverzerrungen auf. Deswegen sollte die Lautstärke überwiegend mit den Einstellungen der Soundkarte gesteuert werden.

Die Tonausgabe erfolgt in schnell aufeinanderfolgenden Intervallen, deren Länge über den Regler *Duration* eingestellt werden kann. Dazu muss man entweder den Taster *Short* gedrückt halten oder den Druckschalter *Permanent* betätigen.

Da auf einem PC mehrere LabVIEW-Anwendungen gleichzeitig laufen können, lässt sich neben dem Tongenerator praktischerweise auch eines der Anzeigeprogramme starten.

Es ist wichtig zu beachten, dass der Amplitudenfrequenzgang von kleinen PC-Lautsprechern alles andere als linear ist. Das bedeutet, dass Frequenzanteile mit gleich großer Amplitude unterschiedlich laut ausgegeben werden. Je kleiner und minderwertiger die Lautsprecher sind, desto mehr werden insbesondere tiefe Töne ganz geschluckt und hohe Frequenzen unnatürlich verstärkt.

Bei Lautsprechern schlechter Qualität kann es außerdem zur Bildung von Resonanzfrequenzen kommen. Im schlimmsten Fall schwingt sich das ganze Laptop-Gehäuse bei einer bestimmten Frequenz so auf, dass das ursprüngliche Signal in lautem Scheppern untergeht. In meinen Versuchen ließen sich Klangverfärbungen durch den externen Anschluss von qualitativ höherwertigen Aktivboxen deutlich vermindern.

Im Blockdiagramm des Generators (Abb. 11.7) wird zunächst die Soundkarte konfiguriert. In der dann folgenden Endlosschleife werden die Übergabeparameter an das Sub-VI *Play 4 Sounds* entsprechend der Eingaben im Frontpanel fortlaufend aktualisiert. Dieses Unterprogramm basiert auf dem *Dialer*, der mit der *NI-Suchmaschine für Beispiele* in manchen LabVIEW-Versionen zu finden ist.

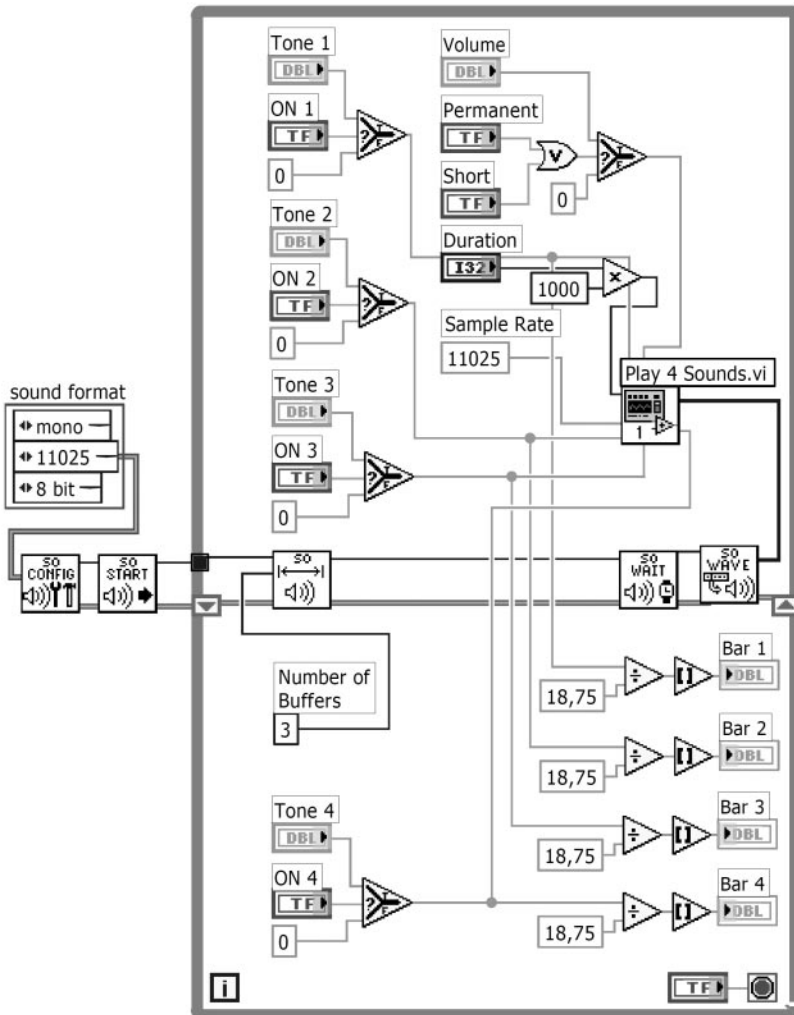


Abb. 11.7: SND-GENERATOR.llb (Block)

Wichtiger Hinweis:

Bei der Installation der mit LabVIEW für dieses Buch entwickelten Tongeneratoren auf einigen älteren PCs ist aufgefallen, dass die eingestellten Tonfrequenzen um bis zu 20 Hz von den tatsächlich erzeugten Signalen abwichen. Da die Differenzen bei den getesteten PCs für den gesamten relevanten Frequenzbereich konstant blieben, können die Sound-Generatoren einfach modifiziert werden, indem die eingestellten Frequenzen stets mit dem gleichen Wert korrigiert werden.

Zur Erzeugung exakter Referenzfrequenzen eignet sich z. B. der auf der CD-ROM im Ordner *Oszi-Signal* befindliche Signalgenerator *generator.exe*.

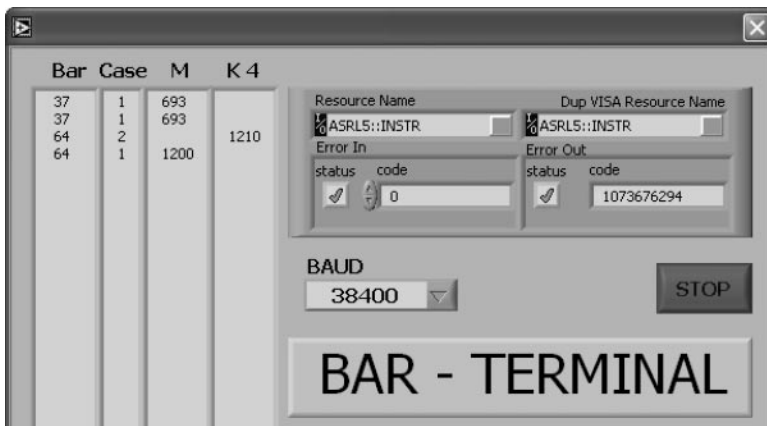
11.1.6 Ausgabe der erkannten Töne

Abb. 11.8: Bar-TERMINAL (Front)

Das Basisprogramm ermittelt im Modus *Data* alle prominenten Balken und entscheidet dabei, ob *Fall 1* oder *Fall 2* vorliegt. Diese Werte werden dann über die RS-232 mit *WrCom_Fast* ausgegeben.

Mit der Anwendung *BAR-TERMINAL.vi* können die Daten auf dem PC visualisiert werden. In der Spalte *Bar* wird die Balkennummer ausgegeben. In der nächsten Spalte *Case* folgt die Unterscheidung zwischen den beiden Fällen. Spalte *M* gibt die korrigierte Frequenz an der Stelle *M* an, falls *Fall 1* eingetreten ist. Bei *Fall 2* wird die korrigierte Frequenz für *K4* in der letzten Spalte angezeigt. Die hier verwendeten Bezeichnungen wurden in Kapitel 9.4 ausführlich erläutert.

Das Blockdiagramm des *BAR-TERMINAL.vi* (Abb. 11.9) weist Ähnlichkeiten zu der in Kapitel 10 beschriebenen *FFT-Anzeige* auf. Vor dem Eintritt in die Endlosschleife wird die serielle Schnittstelle konfiguriert. Wie bei allen Anzeigeprogrammen wird zunächst auf das Start-Byte 255 gewartet, um danach die notwendige Anzahl von Daten einzulesen. In fallabhängigen Formelknoten erfolgen die Frequenzkorrekturen. Mithilfe von Schieberegistern werden die angezeigten Spalten stets aktualisiert.

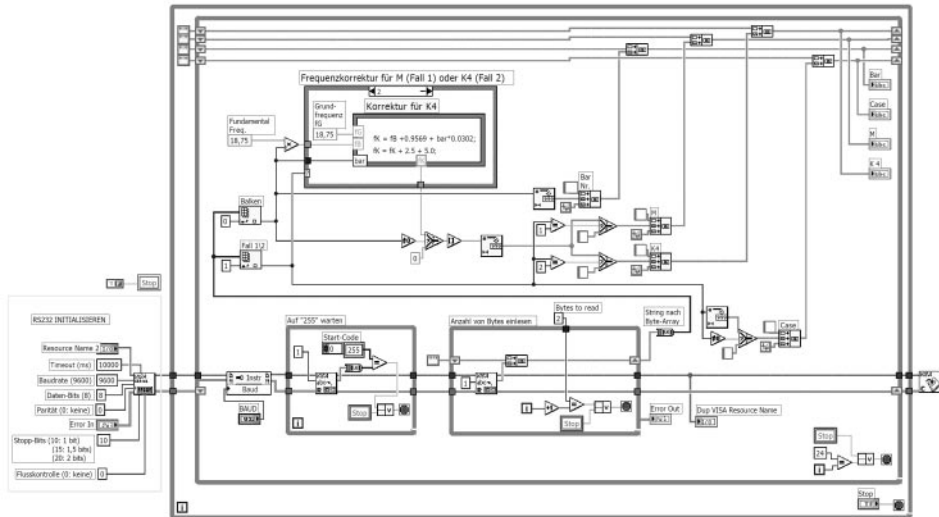


Abb. 11.9: Bar-Terminal (BLOCK)

Starten Sie nun den Tongenerator und das *BAR-TERMINAL.vi*. Beobachten Sie die Anzeigen bei einem oder mehreren aktivierten Tonsignalen. Die Richtigkeit der Analysen lässt sich mit den in Tabelle 9.2 angegebenen Balkennummern und Frequenzen kontrollieren. Wie im Folgenden noch gezeigt wird, kann das Terminal gut bei der Programmentwicklung dienlich sein.

11.2 Schaltung ohne Analysebaustein

Wenn es bei einem Projekt ausreichen sollte, nur die Audiospektren zu verwenden, die über die RS-232 gesendet werden, könnte auf den Analysebaustein ganz verzichtet werden. In diesem Fall müsste der FFT-Baustein anders konfiguriert werden.

Gemäß Kapitel 5.5.1 ist das *Fuse Low Byte* auf 0xF7 einzustellen, um den Mikrocontroller autark takten zu können. Der 16-MHz-Quarz und die beiden 22-pF-Kondensatoren sind so einzusetzen wie beim Analysebaustein. Der Pin PB0 (*Wr232*) muss mit der Masseleitung verbunden werden, um den Modus *Spectrum* dauerhaft zu aktivieren. An Pin PB2 (*TXD*) erfolgt die serielle Datenausgabe. Die geänderten Anschlussbelegungen sind in Abb. 11.10 dargestellt.

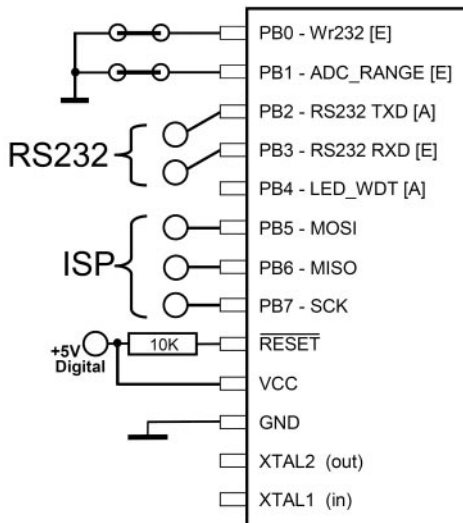


Abb. 11.10: Autarker Betrieb des FFT-Bausteins

Beachten Sie, dass die serielle Datenübertragung viel langsamer als der parallele Transfer ist. Hinzu kommt, dass die serielle Ausgabe nur funktioniert, wenn die Interrupts währenddessen deaktiviert werden. Damit sind die Generierung und die Fortleitung von Audiospektren ohne Analysebaustein ungefähr halb so schnell.

11.3 Erkennung des Kammertons A

11.3.1 Vorbereitung

Mit dem folgenden einfachen Projekt werden Töne mit 440 Hz erkannt. Diese Frequenz entspricht dem sogenannten *Kammerton A*. Anhand dieses Beispiels wird die Nutzung aller bisher vorgestellten Analysewerkzeuge erläutert. Zunächst ist das Basisprogramm auf den Analysebaustein zu laden.

11.3.2 Tonsignal erzeugen

Mithilfe von *SND-GENERATOR.vi* oder einem anderen Signalgenerator wird ein Sinuston von 440 Hz erzeugt. Alternativ kann auch das Freizeichen des Telefons verwendet werden. Hierbei ist aber zu beachten, dass Funktelefone zusätzliche Signale aussenden, die bei der Aufnahme mit dem Mikrofon bei unzureichender Abschirmung zu Störungen führen.

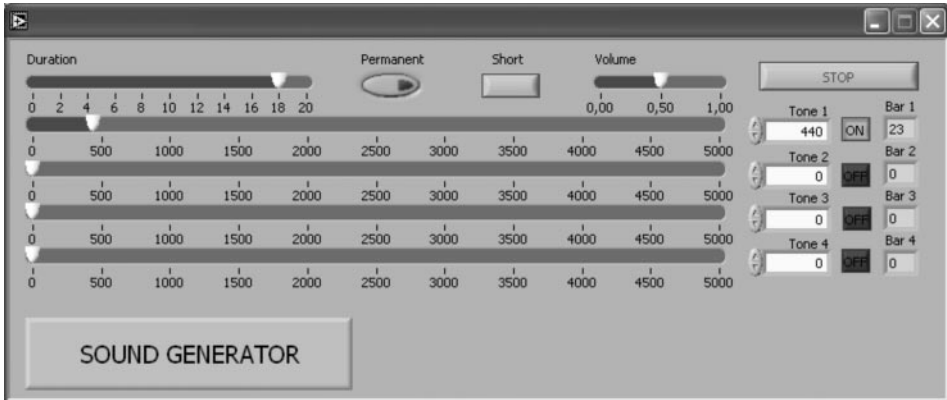


Abb. 11.11: Erzeugung von 440 Hz (Sinus)

11.3.3 Analyse mit Simulator

Mit der Oszilloskop- und der Spektrum-Analysefunktion des Simulators können Sie sich einfach und ohne Elektronik ein erstes Bild von Ihrem zu analysierenden Signal machen. Hierfür ist es auch möglich, das Experimentiersystem über die Schaltung aus Abb. 4.6 mit der PC-Soundkarte zu verbinden.

Starten Sie nun den Simulator und wählen Sie in den Audioeigenschaften je nach Bedarf entweder den Mikrofoneingang oder den Stereo-Mixer aus. Jetzt sollte im oberen Fenster des Simulators wie in Abb. 11.12 ein gelber Balken mit steilen Flanken an Position 23 zu sehen sein. In der unteren Anzeige ist das Sinussignal dargestellt. Optimieren Sie die Anzeigen nun mithilfe der beiden Schieberegler *Bar* und *Osci*. Stellen Sie den gelben Cursor mit der Maus oder mit den Positionstasten, die sich links unten auf dem Frontpanel befinden, auf den prominenten Balken. Sollte dieser nicht die Nummer 23 haben, muss der Simulator kalibriert werden.

Im Blockdiagramm des Simulators lässt sich mit der links unten befindlichen Konstante *MOD Samples* (Abb. 11.13) die Feineinstellung der Anzeige justieren. Senken oder erhöhen Sie diesen Wert geringfügig, bis Signale bekannter Frequenzen zur Anzeige der richtigen Peaks führen. Die Änderungen des Simulatorprogramms lassen sich erst nach Eingabe des Passworts »fft« abspeichern.

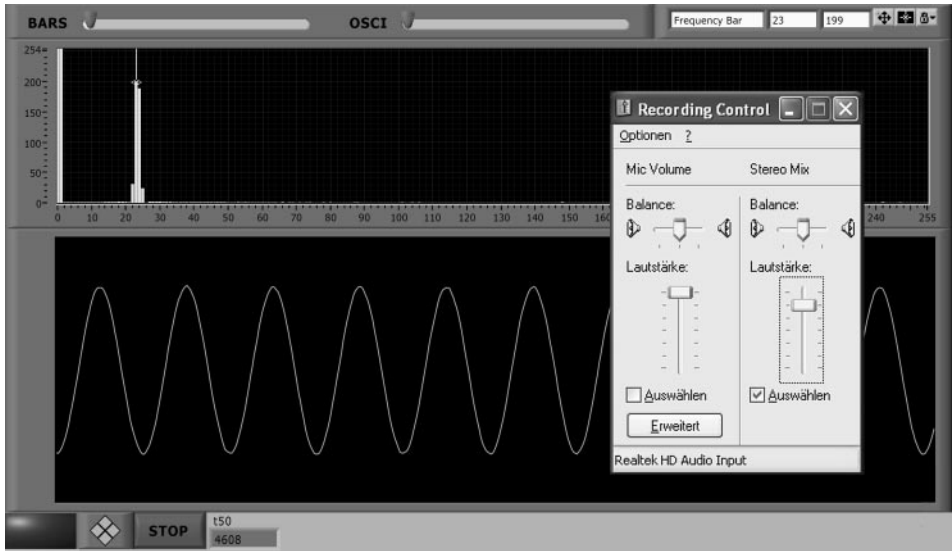
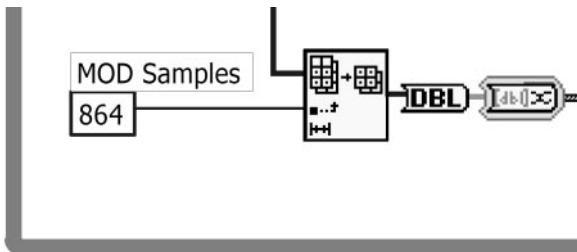


Abb. 11.12: 440 Hz am Simulator

Abb. 11.13:
Kalibration des Simulators

11.3.4 Analyse mit FFT-Anzeige

Im nächsten Schritt sollte geprüft werden, inwieweit das Resultat des Simulators mit den Spektrum-Analysen des FFT-Bausteins übereinstimmt. Hierzu wird *AUDIO-SPECTRUM.vi* geöffnet und am Experimentiersystem der Modus *Spectrum* aktiviert. Der 440-Hz-Ton soll weiterhin eingeschaltet bleiben.



Abb. 11.14: 440 Hz mit FFT-Anzeige

Auch in den vom FFT-Baustein generierten Spektren ist der hohe Peak mit den steilen Flanken zu erkennen (Abb. 11.14). Der größte Balken trägt laut der Anzeige *Bar* die Nummer 23. Ihm entspricht die unkorrigierte Frequenz von 431 Hz. Weiterhin ist im Diagramm zu erkennen, dass keine Obertöne entstanden sind und auch sonst keine relevanten Signalstörungen vorliegen.

Betrachten Sie nun die Spektrum-Analysen bei Veränderungen des Audiosignals. Erhöhen Sie hierzu die Lautstärke mit dem Soundgenerator oder mit der Soundkarte. Variieren Sie die Tonfrequenz. So erhalten Sie ein gutes Gefühl für die Fähigkeiten Ihres Experimentiersystems.

11.3.5 Analyse mit BAR-TERMINAL.vi

Für die folgenden Untersuchungen ist die Schalterstellung *Data* zu wählen und das Bar-Terminal zu starten. Dieses universelle Anzeigeprogramm zeigt fortlaufend alle vom Basisprogramm ermittelten prominenten Balken und gibt, je nachdem, welcher Fall vorliegt, entsprechend korrigierte Frequenzwerte aus (vgl. Kapitel 11.1.6).

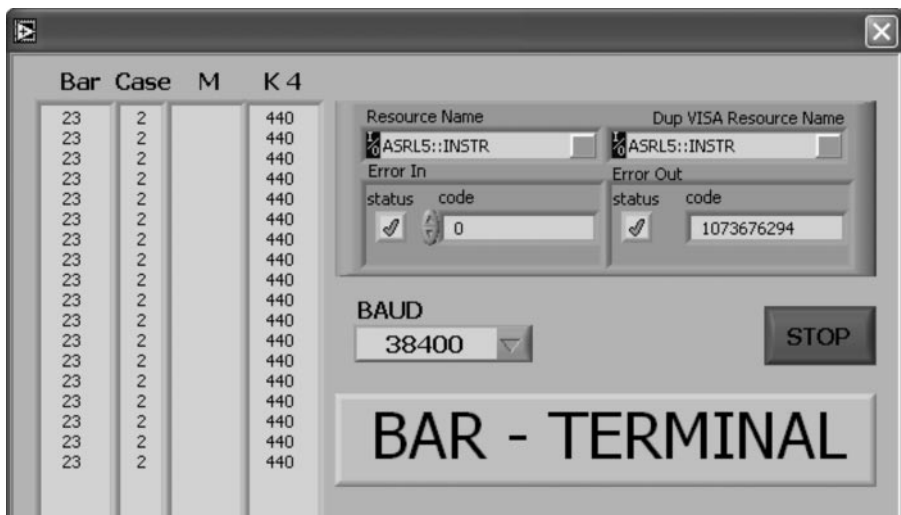


Abb. 11.15: 440 Hz mit *BAR-TERMINAL.vi*

In Abb. 11.15 ist ersichtlich, dass am Balken Nummer 23 bei 440 Hz *Fall 2* vorliegt. Da ausschließlich der 23. Balken ausgegeben wird, lässt sich folgern, dass das Audiosignal verzerrungsfrei und ausreichend laut ist. Außerdem scheint die Empfindlichkeit mit dem Potenziometer *Sensitivity* angemessen eingestellt zu sein. Durch kleine Veränderungen der Tonfrequenz am Signalgenerator kann der Grenzbereich zwischen *Fall 1* und *Fall 2* genauer untersucht werden. Das Bar-Terminal errechnet für *Fall 2* eine korrigierte Frequenz von 440 Hz (*K4*).

11.3.6 Analyse mit *KORR-TERMINAL.vi*

Zur genaueren Frequenzmessung kann das Programm *KORR-TERMINAL.vi* (siehe Kapitel 9.4.5) verwendet werden. Im Basisprogramm für den Analysebaustein sind die in Kapitel 6.4.13 aufgeführten Sprungbefehle zu ändern, um nur die durch das Unterprogramm *Bar_and_Korr* ermittelten Korrektur- und Amplitudenwerte für den zu prüfenden Balken auszugeben. Alternativ kann auch die Datei *BASIS_BAR23.aps* geladen werden. Hier wurden die Sprungbefehle bereits angepasst.

Welcher Balken näher zu untersuchen ist, wird im Hauptprogramm mit der Variable *CL* an die Routine *Find_Tone* übergeben (vgl. Kapitel 9.4.6). Wenn der Balken keine ausreichende Prominenz aufweist, werden nur Nullen an den PC gesendet.

Stichwortverzeichnis

A

Abbruchterminal 33
 ADC 13, 14, 17, 63, 72, 82, 83
 Alias-Effekt 14, 20, 40, 161
 Amplitudenfrequenzgang 163
 Analyse 119
 Analysebaustein 71
 Anschlagsdynamik 214
 Anti-Aliasing 15
 ATmega644 49
 Autarker Betrieb 167

B

Balkenwerte 68, 114, 115, 126
 Basis-Programm 157
 BAUD-Rate 107, 112, 118, 153
 Bauteile 46
 Blockdiagramm 26
 Butterfly-Algorithmus 17, 67

C

CASE-Struktur 148, 186, 204, 225
 Copyleft 52, 76
 Copyright 52
 CTC 84

D

Digitale Elektronik 44
 Drift 142
 DTMF 175
 DTMF-Frequenzen 179

E

Elektronische Schaltung 39, 157
 Elementpalette 27, 28
 ELM-CHAN 12, 60, 68, 76

Experimentiersystem 6, 39, 109, 158, 168
 Expresspalette 30, 33
 Express-VI 30
 Externe U_{REF} 158

F

Fall 1 121
 Fall 2 122
 Fast-Fourier-Transformation 11
 FFT-Anzeige 153
 FFT-Baustein 51
 Flankensteilheit 20, 122
 Formelknoten 165
 Frequenzbereiche 16, 91, 120, 225
 Frequenzhomogenität 123
 Frontpanel 25
 Frontplatte 30, 35, 47
 Full Swing Crystal Oscillator 45
 Fuse Bytes 58, 75

G

Gitarren-Stimmgerät 193
 Gleichstromanteil 14, 123
 GNU 12, 52, 76
 Grafischer Compiler 26
 Grenzfrequenz 12, 40, 136
 Grundplatte 47

H

Hamming-Fenster 65
 Hochpass 14, 123

I

In-System-Programmierung 157
 Interrupt 58, 63, 64, 84, 90, 114, 134
 ISP 45, 48, 98, 157

J

JTAG-Interface 59, 62, 75, 80

K

Kalibration 169

Kammerton A 167

Klavier 213

Komplexe Zahlen 17, 65

Konstanten 61, 77

Korrekturwerte 91, 130, 136, 143

Korrigierte Frequenz 165

Kristall-Ohrhörer 43, 46, 160

L

LabVIEW 25

Lineare Regression 144

M

Makros 60, 76

Messprüfspitze 43, 46

MFV 175

Mikrofon 14, 15, 20, 40, 167

Mindestlautstärke 45, 121

mySmartUSB MK2 48, 157

N

Negative Spannungen 43

NI-Suchmaschine 164, 175

Notation 213

Nyquist-Shannon-Abtasttheorem 14

O

Oberschwingungen 193

On/Off-Schalter 49

Operationsverstärker 40, 42, 49, 158

P

Parallele Schnittstelle 44, 59, 95

Positionierwerkzeug 28, 33

Präzisions-Keramiktrimmer 42

Puffer 229

PWM 235

R

Rail-to-Rail 41

Recording Control 20

Resonanzfrequenz 163

RS-232 5, 107

S

Samplerate 13, 14, 15

Schallreflexionen 224

Segmentierung 135

Segmentmitte 148

Sensitivity 45, 82, 121, 160, 228

Serielle Schnittstelle 45, 107

Serielle Übertragungsqualität 72, 90

Signalpegel 107, 110

Signalverlauf-Graph 27

Simulator 25, 168, 234

Single Supply 41

Sinuston 15, 67, 119, 163, 167, 175, 177,
193

Skalare 17, 67

Soundkarte 20, 25, 35, 168

Soundkarten-Oszilloskop 22, 160

Spannungsversorgung 40, 48, 63, 82, 158

Spectrum 55, 160

SPECTRUM/DATA 45, 89, 160

SRAM 13, 55, 62, 81, 82

Start-Byte 255 35, 130, 148

Stereo-Mixer 20, 168

Steuerpins 95

Studentenversion 38

Sweep-Signal 16

T

Tabellen 66, 67, 68, 144, 146, 147, 151, 166,
175, 179, 180, 181, 193, 194, 198, 204, 206,
210, 213

Terminal-Programm 113

Tiefpass 14, 20, 40, 55

TLC272 40

TLC274 40

Tongenerator 35

U

Übersteuerung 42, 67
Übertragungsrate 107, 110
U-Boot 223
USART Runtime Engine 38
USB-2.0-seriell-Adapter 25, 107

V

Verbindungswerkzeug 31
VI 25, 27

W

Watchdog Timer 59, 63, 75, 82
Wechselspannung 11, 17, 21
While-Schleife 32, 35, 155, 186

Z

Zweipunktegleichung 143

Felix Irmscher

Audiospektrum-Analyse mit Mikrocontrollern

Befreien Sie sich von theoretischem Ballast und steigen Sie ein in die Assembler-Programmierung. Lernen Sie, wie Sie Mikrocontroller zur Signalanalyse für Frequenzen im hörbaren Bereich nutzen – und das ohne Kenntnisse in höherer Mathematik!

Das komfortable Experimentiersystem aus diesem Buch hilft bei der Durchführung der zahlreichen vorgestellten Versuche und ermöglicht es, auch eigene Projekte zu realisieren. Als ideale Ergänzung auf der beiliegenden CD-ROM dienen in der Programmiersprache LabVIEW verfasste Analyse-Tools und Signalgeneratoren, die über die serielle Schnittstelle mit den Mikrocontrollern kommunizieren können.

Für alle, die LabVIEW noch nicht aus der Praxis kennen, bietet dieses Buch einen Einstieg in die Programmiersprache. Ein in LabVIEW erstelltes Simulationsprogramm hilft zudem beim Verständnis der Funktionsprinzipien der Generierung von Audiospektren.

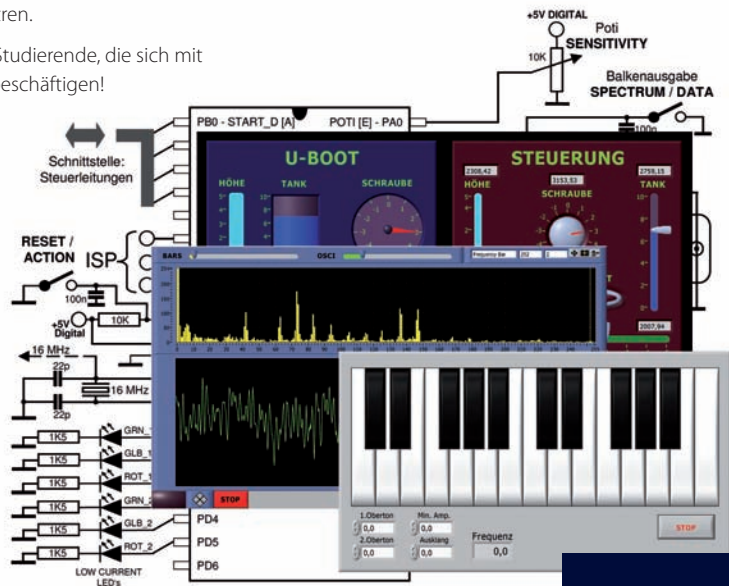
Das Praxis-Buch für engagierte Tüftler und Studierende, die sich mit Signalanalyse und Mikrocontrollertechnik beschäftigen!

Aus dem Inhalt:

- Funktionsschema der FFT
- Einführung in LabVIEW
- Bau des Experimentiersystems
- Parallele und serielle Schnittstelle
- DTMF-Codeschloss
- Gitarrenstimmgerät
- Automatische Notation

Auf CD-ROM:

- Programme in Assembler und LabVIEW
- Analyse-Tools und Signalgeneratoren
- Informationsmaterial



39,95 EUR [D]
ISBN 978-3-645-65138-7

Besuchen Sie unsere Website
www.franzis.de

FRANZIS