



Schallpegel-Messgerät SPM 100

Technischer Kundendienst

Für Fragen und Auskünfte stehen Ihnen unsere qualifizierten technischen Mitarbeiter gerne zur Verfügung.

ELV • Technischer Kundendienst • Postfach 1000 • D - 26787 Leer

Reparaturservice

Für Geräte, die aus ELV-Bausätzen hergestellt wurden, bieten wir unseren Kunden einen Reparaturservice an. Selbstverständlich wird Ihr Gerät so kostengünstig wie möglich instand gesetzt. Im Sinne einer schnellen Abwicklung führen wir die Reparatur sofort durch, wenn die Reparaturkosten den halben Komplettbausatzpreis nicht überschreiten. Sollte der Defekt größer sein, erhalten Sie zunächst einen unverbindlichen Kostenvoranschlag. Bitte senden Sie Ihr Gerät an:

ELV • Reparaturservice • Postfach 1000 • D - 26787 Leer



Schallpegel- Messgerät SPM 100

Im Bereich des akustischen Umweltschutzes gehört das Schallpegel-Messgerät zu den wichtigsten Hilfsmitteln zur korrekten Beurteilung von Schallereignissen. Das mikroprozessor-gesteuerte SPM 100 verfügt über normgerechte Zeit- und Frequenzbewertungsfiler und ist somit für die meisten Aufgaben im Bereich der Schallmesstechnik geeignet.

Allgemeines

Ohne ein entsprechendes Messgerät ist eine objektive Beurteilung von Schall nicht möglich, der als Lärm oder als Genuss empfunden werden kann.

Damit Schall überhaupt entstehen kann, ist eine Schallquelle und ein elastisches Medium (z. B. Luft) erforderlich, in dem sich die von der Schallquelle ausgehenden Schwingungen ausbreiten können. Die Schallquelle erzeugt Zonen mit Verdichtungen und Verdünnungen der Luftmoleküle und somit Luftdruckschwankungen, die dem immer vorhandenen atmosphärischen Luftdruck überlagert sind. Da die

Ausbreitung wellenförmig erfolgt, spricht man von Schallwellen.

Sinusförmige Schwingungen erzeugen

reine Töne, während Geräusche aus einer Vielzahl von überlagerten Sinusschwingungen bestehen.

Technische Daten: SPM 100

Erfassungsbereich:	30 dB - 125 dB (130-dB-Impuls)
Messbereiche:	30 dB - 70 dB, 50 dB - 100 dB, 80 dB - 130 dB
Genauigkeit:	± 1 dB
Auflösung:	0,1 dB, 2,5 dB bei Balkenanzeige
Bewertungsfiler:	A, C
Zeitkonstanten:	Slow, Fast, Impuls
Spannungsversorgung:	9-V-Blockbatterie
Abmessungen (B x H x T):	71 x 170 x 28 mm
• Analogausgang (AC, DC) • RS-232-Schnittstelle	
• Auto-Range-Funktion • Auto-Power-Off (deaktivierbar)	

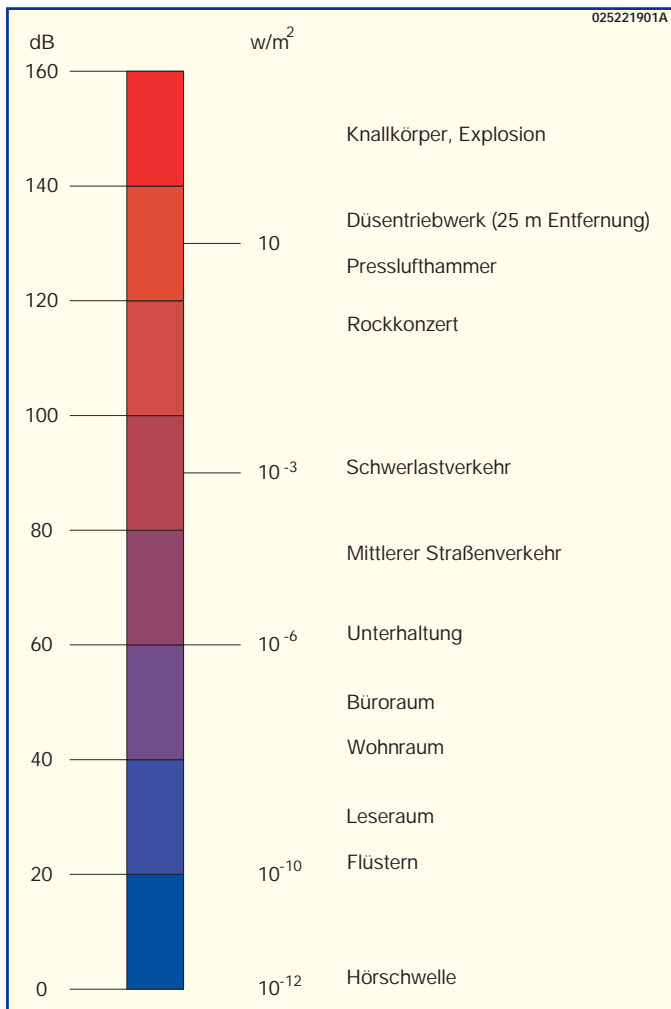


Bild 1: Typische Schalldruckpegel von verschiedenen Geräuschen

schwingungen aufnehmen und verarbeiten, die innerhalb eines bestimmten Frequenzbereichs liegen. So unterscheidet man zwischen Infraschall (unterhalb des Hörbereichs), Hörschall und Ultraschall (Schallschwingungen oberhalb des Hörbereichs).

Für Schallmessungen und insbesondere auch für Lärmschutzmaßnahmen interessiert in erster Linie der Hörschall in einem Frequenzbereich von 16 Hz bis 16 kHz. Aber auch innerhalb des Hörbereichs ist das Hörvermögen des Menschen über den Frequenzbereich keineswegs linear und nimmt mit steigendem Alter stark ab. Daher ist es bei vielen Messungen sinnvoll, die frequenzabhängige Pegelverteilung zu ermitteln.

Ebenfalls ist die Lautstärkeempfindlichkeit des Menschen nicht linear, so dass bei geringer Lautstärke wesentlich feinere Unterschiede wahrgenommen werden als bei großen Lautstärken. Der Unterschied der Schallintensität zwischen der Reizschwelle (gerade wahrnehmbar) und der Schmerzgrenze ist enorm und reicht von $10^{-12} W/m^2$ bis $10 W/m^2$. Um einen derart großen Wertebereich vernünftig darstellen zu können, erfolgt die Skalierung des Schallpegels (genaugenommen Schalldruckpegels) in Dezibel (dB).

Die Skala ist so ausgelegt, dass bei 0 dB die Hörschwelle liegt und bei 130 dB die Schmerzgrenze mit $10 W/m^2$ erreicht wird. Typische Schalldruckpegel (Schallpegel) von verschiedenen Geräuschen sind in der Grafik in Abbildung 1 zu sehen. Dadurch ist die Zuordnung der Schallpegel in dB

Der Schalldruck, bzw. die Amplitude der Druckänderungen im elastischen Medium bestimmt die Lautstärke und die Frequenz die Tonhöhe. Neben Luft können als Ausbreitungsmedium auch feste Stoffe oder Flüssigkeiten dienen. Man spricht daher entweder von Körper-, Flüssigkeits- oder Luftschall. Das häufigste und wichtigste Ausbreitungsmedium ist natürlich die Luft.

Als Schallquelle kann jeder feste Körper dienen, der zu elastischen Schwingungen angeregt wird. Wenn dieser Körper von Luft umgeben ist, hat man bereits eine Luftschall erzeugende Schallquelle.

Neben den zur Schallerzeugung konzipierten Lautsprechern gibt es sehr viele unerwünschte Schallquellen, deren Schallerzeugung häufig mit viel Aufwand unterdrückt werden muss. Unerwünschter Schall, als Lärm bezeichnet, wird unter anderem von Motoren, Maschinen oder dem Straßenverkehr hervorgerufen und kann bei zu großer Belastung die Gesundheit gefährden.

Um die akustische Umweltverschmutzung durch Lärm in Grenzen zu halten, gibt es gesetzliche Regelungen, Vorschriften und Richtlinien. Zur Überprüfung der Grenzwerte sind dann entsprechende Messgeräte erforderlich, an die je nach Aufgabe

unterschiedliche Genauigkeitsanforderungen gestellt werden.

Das menschliche Gehör kann nur Schall-

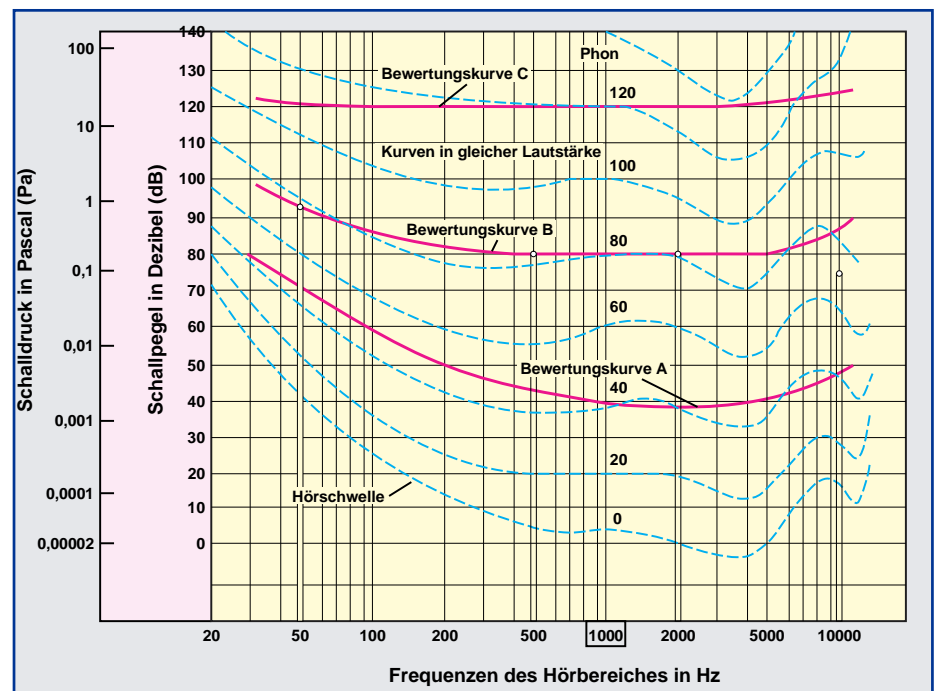


Bild 2: Die Grafik zeigt die erforderlichen Schalldruckpegel über die Frequenzen, die vom menschlichen Gehör als Kurven gleicher Lautstärke empfunden werden. Zusätzlich sind die frequenzabhängigen Bewertungsfilter A, B und C eingezeichnet.

Tabelle 1: Relativer Frequenzgang der genormten Frequenzbewertungskurven A, B, C und D

Frequenz in Hz	Relativer Frequenzgang in dB			
	Kurve A	Kurve B	Kurve C	Kurve D
10	-70,4	-38,2	-14,3	
12,5	-63,4	-33,2	-11,2	
16	-56,7	-28,5	-8,5	
20	-50,5	-24,2	-6,2	
25	-44,7	-20,4	-4,4	
31,5	-39,4	-17,1	-3,0	
40	-34,6	-14,2	-2,0	-14
50	-30,2	-11,6	-1,3	-12
63	-26,2	-9,3	-0,8	-11
80	-22,5	-7,4	-0,5	-9
100	-19,1	-5,6	-0,3	-7
125	-16,1	-4,2	-0,2	-6
160	-13,3	-3,0	-0,1	-5
200	-10,9	-2,0	0	-3
250	-8,6	-1,3	0	-2
315	-6,6	-0,8	0	-1
400	-4,8	-0,5	0	0
500	-3,2	-0,3	0	0
630	-1,9	-0,1	0	0
800	-0,8	0	0	0
1000	0	0	0	0
1250	+0,6	0	0	2
1600	+1,0	0	-0,1	6
2000	+1,2	-0,1	-0,2	8
2500	+1,3	-0,2	-0,3	10
3150	+1,2	-0,4	-0,5	11
4000	+1,0	-0,7	-0,8	11
5000	+0,5	-1,2	-1,3	10
6300	-0,1	-1,9	-2,0	9
8000	-1,1	-2,9	-3,0	6
10000	-2,5	-4,3	-4,4	3
12500	-4,3	-6,1	-6,2	0
16000	-6,6	-8,5	-8,5	

zur Lautstärkeempfindung relativ einfach möglich.

L ist das Symbol für den Schalldruckpegel unter dem man den zwanzigfachen Logarithmus des im Augenblick der Messung herrschenden Schalldrucks (Symbol p) im Verhältnis zum international vereinbarten Bezugsschalldruck (p₀) versteht.

Der Bezugsschalldruck beschreibt die Hörschwelle und ist mit 20 µN/m² definiert.

$$L = 20 \cdot \lg \frac{p}{p_0}$$

Für die Druckwerte werden jeweils die Effektivwerte verwendet.

Da die Skala des Schalldruckpegels nicht linear ist, bedeutet jede Verdopplung des abgegebenen Schallpegels eine Steigerung um 6 dB. Kommt zu einer Schallquelle mit einem Schalldruckpegel von z. B. 70 dB eine zweite Schallquelle mit der gleichen Schallenergie (also ebenfalls 70 dB) hinzu, so steigt der Gesamtschalldruckpegel auf 76 dB.

Das menschliche Gehör hat, wie bereits

erwähnt, nicht bei allen Frequenzen innerhalb des Hörbereichs die gleiche Empfindlichkeit, wie die Kurven mit gleichem Schalldruck bzw. gleichem Schalldruckpegel in Abbildung 2 über die Frequenz zeigen. Dies muss bei der Messung und der Bewertung von Schallpegeln durch Zuschalten entsprechender Filter berücksichtigt werden.

Das subjektive Empfinden (ein störendes Geräusch wird eher laut empfunden als ein angenehmes) kann bei Messungen natürlich nicht berücksichtigt werden.

Die Frequenzbewertung bei Schallpegel-Messgeräten erfolgt nach genormten Filterkurven gemäß DIN IEC 651. Man unterscheidet dabei zwischen A-, B-, C- und D-Bewertung (Tabelle 1), wobei die Filterkurve A die weitaus wichtigste ist, da diese Kurve auf die frequenzabhängige Empfindlichkeit des menschlichen Gehörs abgestimmt ist. Im Bereich der Lärm-Messtechnik kommt nahezu ausschließlich diese Filterkurve zum Einsatz. Bewertungen nach Filterkurve C sind nur in wenigen Fällen vorgeschrieben, während die Filterkurve B die geringste Bedeutung hat. Die Filterkurve D dient ausschließlich zur Frequenzbewertung bei der Messung von Flugzeuglärm.

Zur Ermittlung von Schalldruckpegeln gelten je nach Messaufgabe unterschiedliche Messvorschriften und Normen. Darin ist unter anderem festgelegt, welche Filterkurve zu verwenden ist und welche Genauigkeitsanforderungen an das Schallpegelmessgerät mindestens gestellt werden.

Bei der Messung von Schallpegeln muss neben der Frequenzbewertung auch eine Zeitbewertung erfolgen. Drei verschiedene Zeitbewertungen S (Slow), F (Fast) und I (Impuls) sind genormt und sollten daher bei einem guten Schallpegel-Messgerät nicht fehlen.

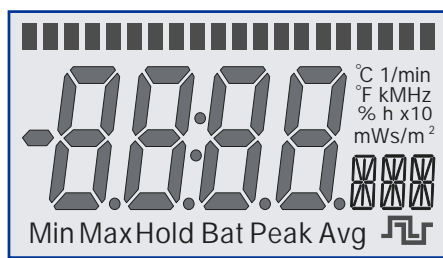


Bild 3: LC-Display des SPM 100 während des Displaytests.

Da Schallpegel häufig sehr stark schwanken, sollte eine möglichst große Anzeigedynamik vorhanden sein und verschiedene Messbereiche müssen sich hinreichend überlappen. Des Weiteren sollten Schallpegel-Messgeräte Anzeigen für Übersteuerung und die Messbereichsunterschreitung haben.

Die Genauigkeit von genormten Schallpegel-Messgeräten ist in DIN IEC 651 in vier Genauigkeitsklassen aufgeteilt, deren Fehlergrenzen in Tabelle 2 zu sehen sind.

Da das Schallfeld durch den Schallpegelmessgerät möglichst wenig beeinflusst werden soll, werden auch an die mechanische Konstruktion gewisse Anforderungen gestellt. Wichtig ist dabei, dass durch ein stromlinienförmiges Gehäuse im Mikrophonbereich Reflektionen verhindert werden.

ELV-Schallpegel-Messgerät SPM 100

Alle zuvor aufgestellten Forderungen werden vom neuen ELV-Schallpegel-Messgerät erfüllt. In drei Messbereichen ist das SPM 100 in der Lage Schallpegel zwischen 30 dB und 125 dB (130-dB-Impuls) zu erfassen und anzuzeigen, wobei auch eine Autorangefunktion zur Verfügung steht.

Der Dynamikumfang jedes Messbereichs beträgt 50 dB mit 0,1 dB Auflösung. Neben der digitalen Anzeige steht auch eine zwanzigstufige Analog-Balkenanzeige mit 2,5 dB Auflösung je Teilstrich zur Verfügung.

Die Frequenzbewertung kann wahlweise nach Filterkurve A oder C erfolgen und für die Zeitbewertung stehen die Zeitkonstanten Fast (F), Slow (S) und Impuls (I) zur Verfügung.

Eine Max-Hold-Funktion bringt den maximal gemessenen Schallpegel ständig zur Anzeige.

Tabelle 2: Nach DIN IEC 651 sind für Schallpegel-Messgeräte 4 Genauigkeitsklassen definiert

Genauigkeitsklasse	0	1	2	3
Fehlergrenzen	± 0,4 dB	± 0,7 dB	± 1,0 dB	± 1,5 dB

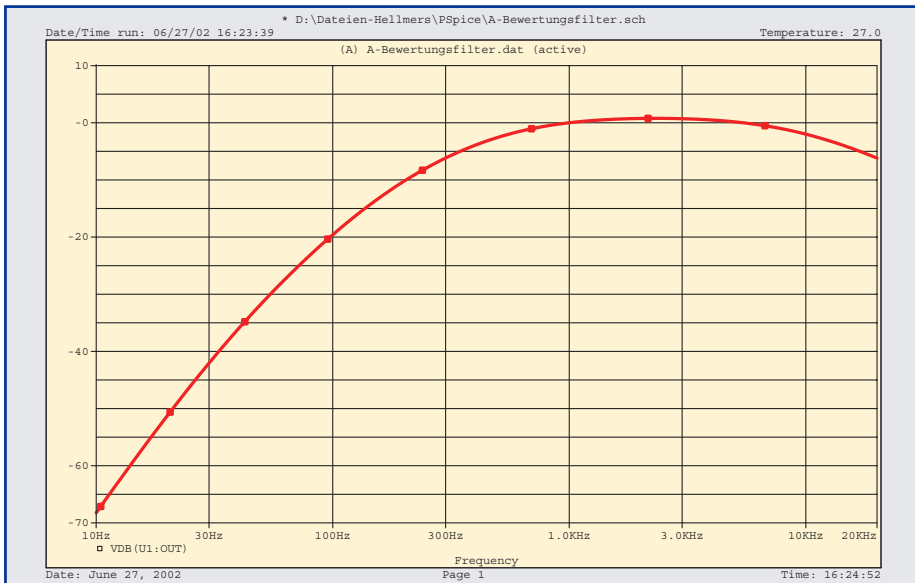


Bild 4: Frequenzverlauf des A-Bewertungsfilters

An Besonderheiten sind ein Analogausgang und eine serielle Schnittstelle vorhanden. Über den Analogausgang ist das Gerät als Front-End einsetzbar und mit Hilfe der seriellen Schnittstelle können Messwerte zu einem PC übertragen und weiterverarbeitet werden.

Sobald die Batteriespannung des Gerätes unterhalb des erlaubten Wertes absinkt, wird dies im Display angezeigt.

Bedienung und Funktion

Dank Mikroprozessorsteuerung und einem großen LC-Display (Abbildung 3) ist die Bedienung des Gerätes sehr übersichtlich und einfach. Die komplette Bedienung des Gerätes erfolgt über eine 8-Tasten-Folientastatur, wobei die beiden oberen Taster zum Ein- und Ausschalten des SPM 100 dienen.

Die Max-Hold-Funktion kann mit einer darunter angeordneten Taste aktiviert und deaktiviert werden. Bei aktiver Max-Hold-

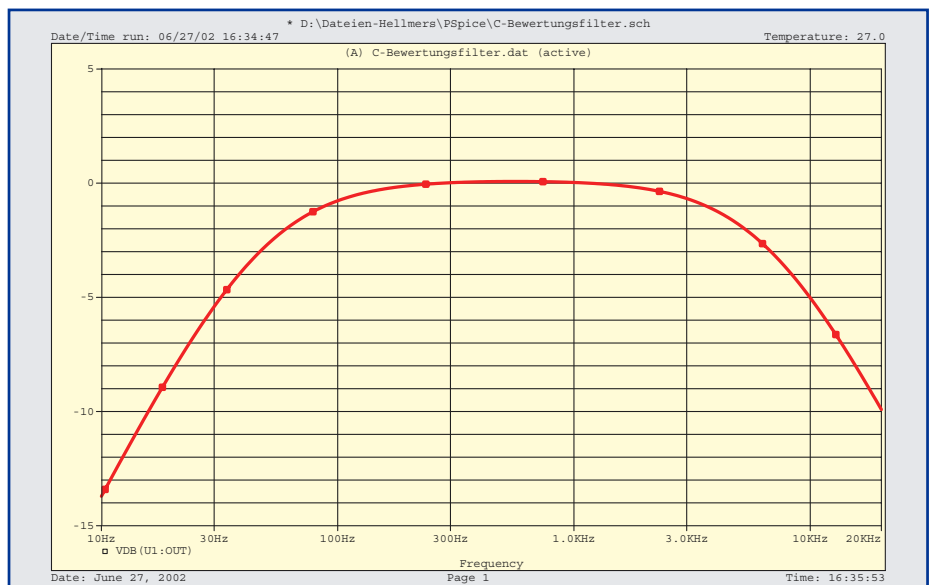


Bild 5: Frequenzverlauf des C-Bewertungsfilters

Funktion wird während des Messzeitraumes der jeweils auftretende Maximalwert gespeichert und ständig zur Anzeige ge-

bracht. Im Display erscheint die Anzeige „Max Hold“.

Mit Hilfe der Taste F/S/I kann die gewünschte Zeitbewertung ausgewählt werden. Bei den Zeitbewertungen F und S wird grundsätzlich der Effektivwert des Signals angezeigt, wobei entsprechende Mittelungszeiten festgelegt sind. Die Zeitkonstante für F (Fast) beträgt 125 ms und für S (Slow) 1000 ms. Laut DIN IEC 651 darf nach dem Abschalten des Signals für einen Abfall der Anzeige um 10 dB bei F höchstens 0,5 Sekunden und bei S höchstens 3 Sekunden benötigt werden. Für die langsame Zeitbewertung (S) erscheint im Display zusätzlich „AVG“ für die Mittelwertbildung. Bei eingeschalteter Zeitbewertung I (zusätzliche Displayanzeige Peak) bezieht sich die Anzeige des Schallpegelmessers auf das Maximum des Kurzzeiteffektivwertes des Signals. Ein Effektiv-

wert-Gleichrichter mit kurzer Mittelungszeit und ein Spitzenwertdetektor mit langer Abfallzeitkonstante ermöglichen diese Funktion.

Die Taste „A/C“ dient zur Auswahl des Frequenzbewertungsfilters, wobei die beiden in Abbildung 4 und Abbildung 5 dargestellten Kurvenverläufe zur Verfügung stehen.

Durch einen kurzen Tastendruck auf die Taste „Aurorange“ wird je nach Signalpegel automatisch die Messbereichsauswahl vorgenommen. Die Aurorangefunktion kann jederzeit durch einen kurzen Tastendruck auf „Up“ oder „Down“ beendet werden. Mit Hilfe dieser Tasten ist dann manuell einer der drei zur Verfügung stehenden Messbereiche (30 - 70 dB, 50 - 100 dB oder 80 - 130 dB) auszuwählen.

Zusätzlich verfügt das Gerät über einen analogen Messwertausgang, so dass das SPM 100 auch als Front-End in einer Messanordnung zu nutzen ist. Eine serielle Schnitt-

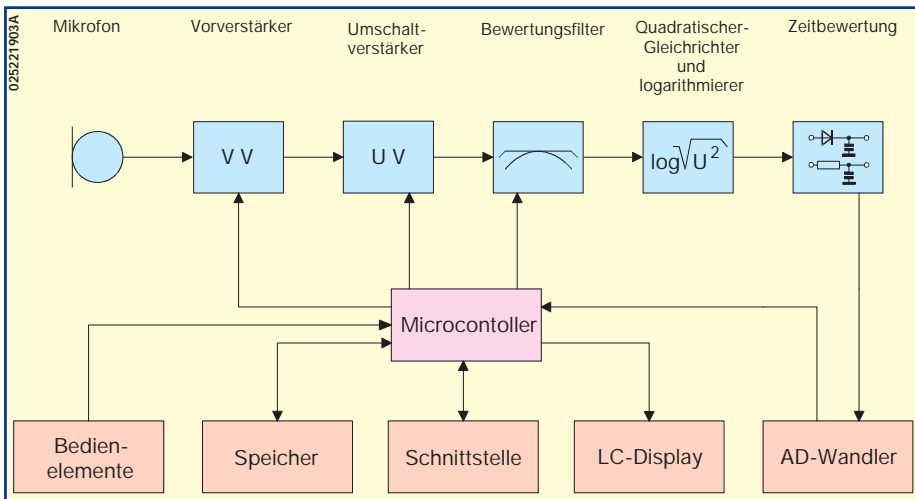


Bild 6: Das Blockschaltbild verschafft einen Überblick über die einzelnen Baugruppen des SPM 100

stelle steht an einer 6-poligen Western-Modular-Buchse zur Verfügung und dient zur Messwertübertragung zu einem PC.

Blockschaltbild

Die einzelnen Baugruppen des SPM 100 sind in Abbildung 6 zu sehen und ermöglichen einen Überblick über die prinzipielle Funktionsweise des Gerätes. Der zu erfassende Schalldruckpegel wird zuerst von einem hochwertigen Elektret-Mikrofon aufgenommen. Von da aus gelangt das Signal auf einen empfindlichen, rauscharmen Vorverstärker, dessen Verstärkung je nach Schalldruckpegel in drei Stufen veränderbar ist.

Um die extrem unterschiedlichen Schalldruckpegel verarbeiten zu können, ist zur Messbereichsumschaltung ein Umschaltverstärker nachgeschaltet, dessen Verstärkung ebenfalls vom Mikrocontroller vorgegeben wird.

Es folgen zwei vom Mikrocontroller umschaltbare Bewertungsfilter, wobei zwischen „dBA“ und „dBC“ gewählt werden kann.

Vom Ausgang des Bewertungsfilters gelangt das im Pegel angepasste NF-Signal auf einen quadrierenden Effektivwert-Gleichrichter mit nachgeschalteter Zeitbewertung. Hier können vom Mikrocontroller zwei verschiedene Integrationszeiten und die Impulsmessung ausgewählt werden.

Über einen Dual-Slope-AD-Wandler mit hoher Auflösung werden die analogen Messwerte in digitale Daten umgewandelt und zur weiteren Verarbeitung zum zentralen Mikrocontroller gegeben. Der Controller sorgt für die korrekte Anzeige auf dem LC-Display, transferiert die Informationen in digitaler Form zur seriellen Schnittstelle und sorgt für die Speicherung der gewünschten Einstellungen im extern angeschlossenen EEPROM nach dem Ausschalten der Betriebsspannung.

Wie bereits erwähnt, erfolgt die Bedienung des SPM 100 über eine 8-Tasten-Folientastatur, die direkt am Mikrocontroller angeschlossen ist.

Schaltung

Nachdem die einzelnen Funktionsgruppen des Schallpegel-Messgerätes erläutert wurden, kommen wir nun zur detaillierten Schaltungsbeschreibung. Zur besseren Übersicht ist das Gesamtschaltbild in die Teilschaltbilder Analogteil mit AD-Wandler (Abbildung 7), Mikrocontroller-Einheit (Abbildung 8) und Spannungsversorgung (Abbildung 9) aufgeteilt.

Analogteil

Betrachten wir zuerst den Analogteil in

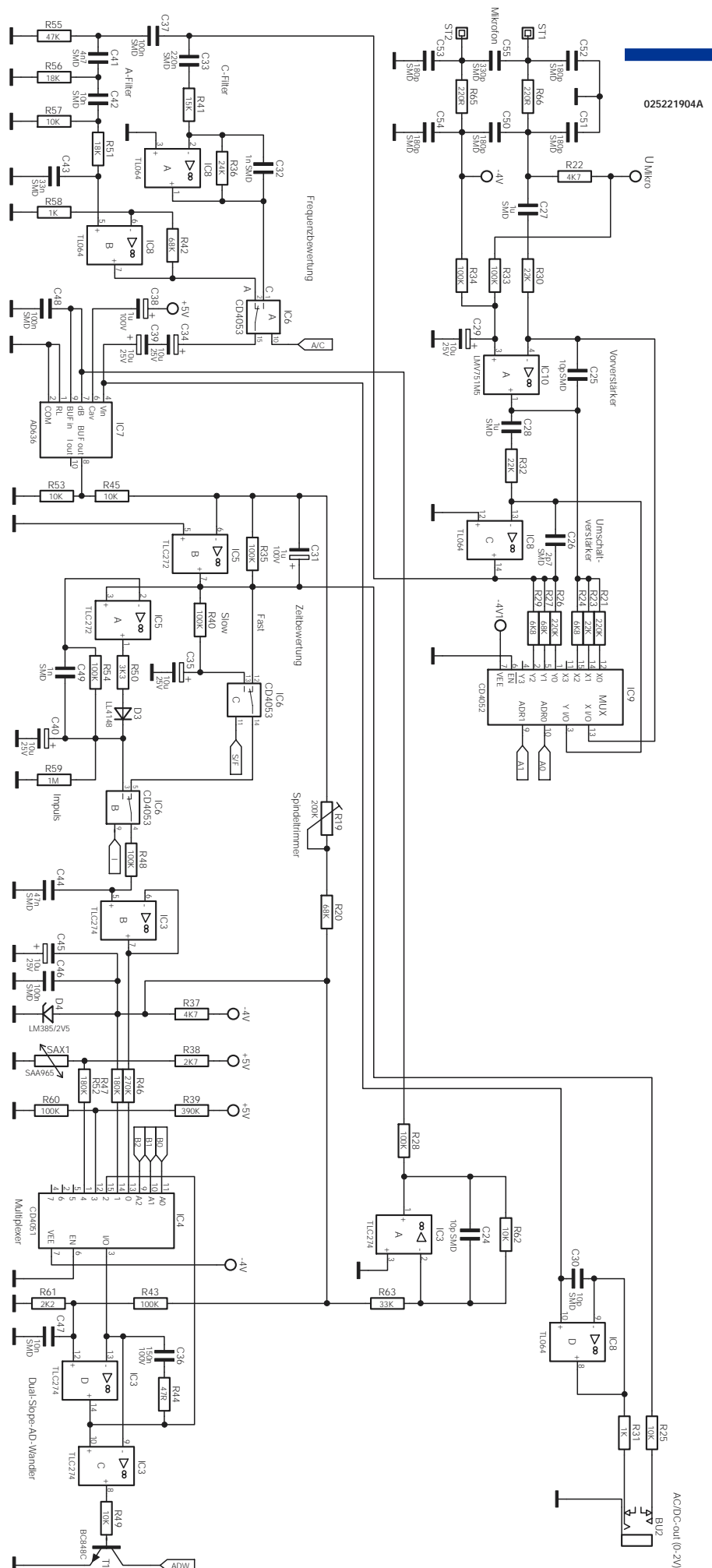


Bild 7: Analoger Schaltungsteil des SPM 100

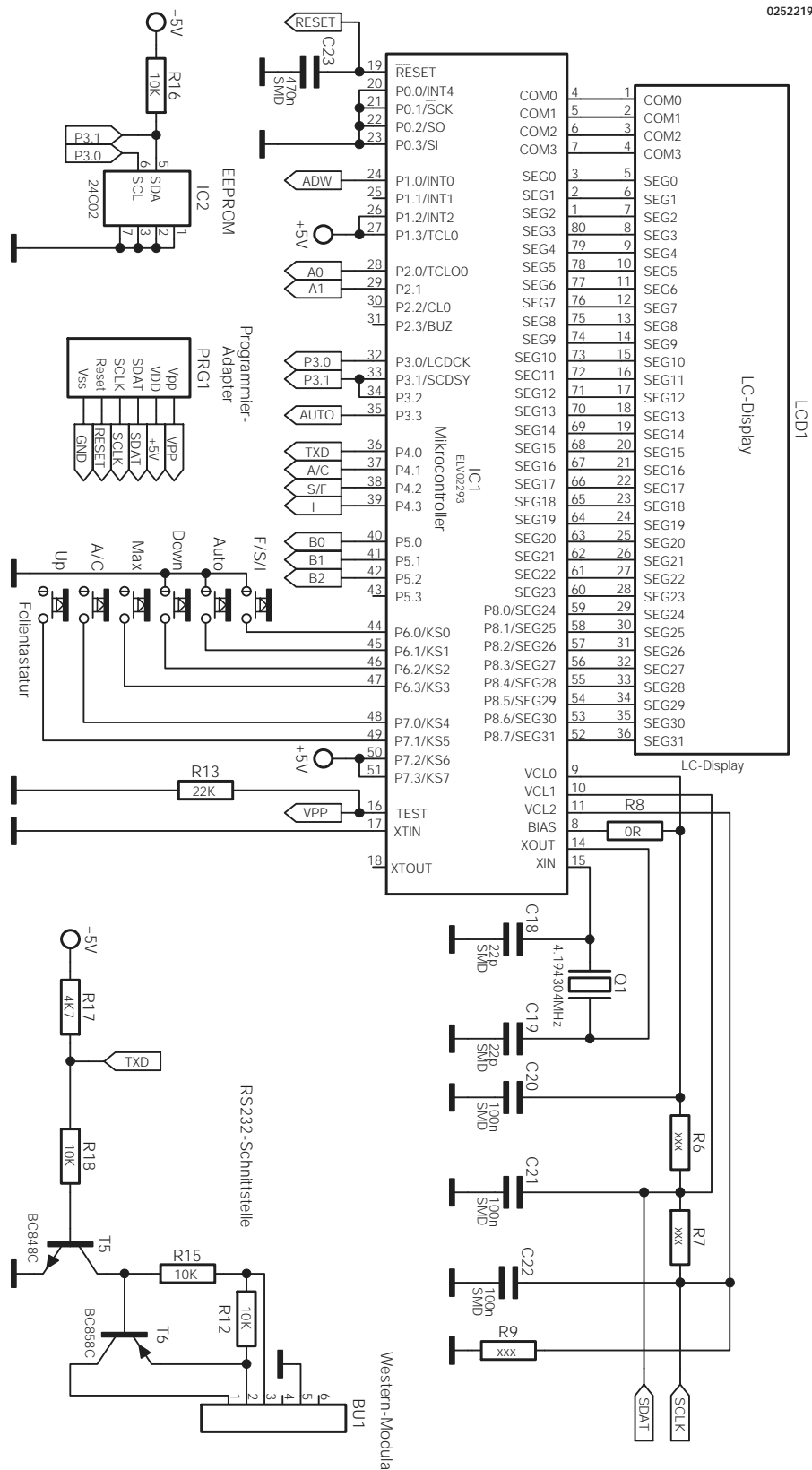


Bild 8: Mikrocontrollereinheit des SPM 100

Abbildung 7, wo das hochwertige selektierte Mikrofon über ein abgeschirmtes Kabel an ST 1 und ST 2 angeschlossen wird. C 55 dient zur Linearisierung des Frequenzganges und die nachgeschalteten RC-Kombinationen verbinden hochfrequente

Störeinkopplungen auf dem Vorverstärkereingang. Ein im Mikrofon integrierter hochempfindlicher Vorverstärker wird über R 22, R 66 mit Spannung versorgt und über C 27 gelangt das Signal wechsellspannungsmä-

ßig entkoppelt auf den Eingang von IC 10.

Die Verstärkung des mit IC10 realisierten rauscharm-invertierenden Vorverstärkers wird durch den Widerstand im Rückkopplungszweig (R 21, R 23, R 24) im Verhältnis zum Widerstand R 30 bestimmt. Je nachdem welcher Kanal vom CMOS-Multiplexer IC 9 durchgeschaltet ist, erhalten wir eine Signalverstärkung von - 10,2 dB, 0 dB oder + 20 dB. Der Kondensator C 25 im Rückkopplungszweig dient ausschließlich zur Schwingneigungsunterdrückung.

Über den zur galvanischen Entkopplung dienenden Kondensator C 28 gelangt das Signal auf den, ebenfalls als invertierender Verstärker arbeitenden Umschaltverstärker (IC 8 C). Bei diesem Verstärker wird ebenfalls durch Umschalten der Rückkopplungswiderstände mit IC 9 die Verstärkung eingestellt, wobei die Verstärkungsstufen -10,2 dB, +9,8 dB und +20,0 dB zur Verfügung stehen.

Vom Ausgang des Umschaltverstärkers gelangt das Audiosignal dann auf die beiden mit IC 8 A, B und externe Komponenten realisierten Bewertungsfiler. Die Filtercharakteristik wird durch die jeweilige RC-Beschaltung bestimmt (Abbildung 4 und Abbildung 5).

Welches Filter-Ausgangssignal letztendlich weiterverarbeitet wird, bestimmt der Mikrocontroller mit Hilfe des CMOS-Analog-Multiplexers IC 6 A.

Eines der wichtigsten Bauelemente im Schallpegel-Messgerät SPM 100 ist der echte Effektivwert-Gleichrichter IC 7 des Typs AD 636, der bereits über einen logarithmischen Ausgang verfügt und somit eine Ausgangsspannung liefert, der dem Logarithmus des Gleichrichterwertes entspricht.

Der Gleichspannungswert am Ausgang des Bausteins (Pin 8) entspricht dem Effektivwert des Signals und wird mit IC 5 B in der Verstärkung angepasst und um 180° in der Phase gedreht.

Je nach gewünschter Zeitbewertung wird über den CMOS-Analogschalter IC 6 C entweder das Signal direkt von IC 5 B, Pin 7 (schnelle Zeitkonstante) oder das Signal über den mit R 40, C 35 aufgebauten Tiefpass (langsame Zeitkonstante) zum Ausgang (Pin 14) durchgeschaltet.

Der Spitzenwert-Gleichrichter für die Impulsanzeige ist mit dem Operationsverstärker IC 5 A und externer Beschaltung realisiert. Die Aufladezeitkonstante bestimmen R 59, C 40 und die Entladezeitkonstante R 50, C 40. Die endgültige Auswahl der Zeitbewertung wird mit IC 6 B vorgenommen, wobei das Signal dann an IC 6, Pin 4 zur Verfügung steht.

Über den mit R 48, C 44 aufgebauten Tiefpass gelangt das Signal auf den mit IC 3 B aufgebauten Pufferverstärker für den Dual-Slow-AD-Wandler.

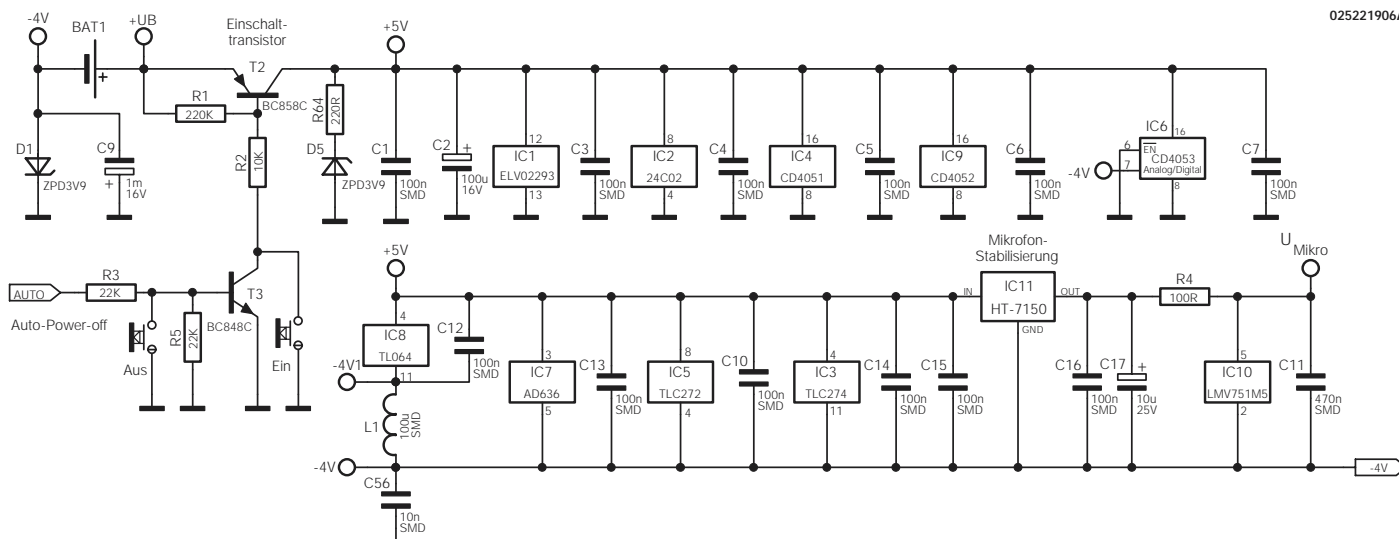


Bild 9: Spannungsversorgung des SPM 100

Der Bezugswert für die beiden OPs des AD-Wandlers IC 3 C, D wird durch den Spannungsteiler R 43, R 61 bestimmt und über den 8fach-Analog-Multiplexer IC 4 erfolgt die Eingangsauswahl.

Im Ruhezustand ist Kanal 2 (Pin 15) des Multiplexers mit dem Ausgang (Pin 3) verbunden, wodurch der Wandler auf 0 gehalten wird. Zum Aufintegrieren des Messwertes wird Kanal 0 (Pin 13) durchgeschaltet. R 46 und C 36 bestimmen dann die Integrationszeitkonstante. Nach Beendigung des Aufintegrierens wird der Wandler auf Abintegrieren geschaltet.

In dieser Funktion ist der an $-2,5$ V liegende Widerstand R 47 mit dem Eingang des Wandlers verbunden. Aus der Zeit, die der Wandler zum Abintegrieren benötigt, berechnet der Prozessor den aktuellen Messwert.

Da der AD636 eine relativ große Temperaturdrift aufweist, muss eine Temperaturkompensation erfolgen. Dazu wird die Gehäuseinnentemperatur mit dem Temperatursensor SAX1 ermittelt und mit Hilfe des AD-Wandlers in der gleichen Weise erfasst wie der Messwert.

Als weiterer Messwert wird über den Spannungsteiler R 39, R 60 die Batteriespannung zur Low-Bat-Anzeige gemessen.

Letztendlich steuert der Ausgang des Komparators IC 3 C (Pin 8) über R 49 den Transistor T 1, dessen Kollektor mit dem für die Messung zuständigen Port (P 1.0) des Mikrocontrollers verbunden ist.

Damit das Schallpegel-Messgerät SPM 100 auch als Front-End in einer Messanordnung nutzbar ist, steht an der Klinkebuchse BU 2 ein Analogausgang zur Verfügung. An der Stereo-Klinkebuchse steht über dem Pufferverstärker IC 8 D das AC-Signal vom Eingang des Effektivwert-Gleichrichters und das Schalldruckpegel-proportionale-DC-Signal vom Ausgang des

Operationsverstärkers IC 5 B zur Verfügung. Letztendlich erfolgt die DC-Auskopplung über R 25 und die AC-Auskopplung über R 31 zur Klinkebuchse.

Mikrocontroller

Die Mikrocontrollereinheit mit der zugehörigen Peripherie und der Schnittstelle ist in Abbildung 8 dargestellt. Neben der Messwertanzeige erfolgt vom Mikrocontroller die Steuerung von sämtlichen Funktionen des Gerätes.

Das LC-Display verfügt über 32 Segmentleitungen und vier Ebenen (COM 0 bis COM 3), die direkt mit den entsprechenden Ports des Controllers verbunden sind.

Die I²C-Bus-Leitungen des EEPROMS (IC2) sind mit Port 3.0 bis Port 3.2 verbunden und der Programmieradapter PRG1 wird ausschließlich zum Programmieren des Prozessors benötigt.

Der im Controller integrierte Taktoszillator wird extern nur mit einem Quarz (Q1) und den beiden Kondensatoren C 18 und C 19 beschaltet. Über die Widerstände R 6 bis R 9 erfolgt die optimale Anpassung des Display-Kontrastes.

Von den insgesamt 8 zur Verfügung stehenden Tastern des Gerätes (Folientastatur) sind sechs Taster direkt an den Ports des Mikrocontrollers angeschlossen. Da diese Ports interne Pull-up-Widerstände besitzen, wird hier keine weitere Beschaltung benötigt.

Die serielle Schnittstelle des Gerätes steht an der Western-Modular-Buchse BU 1 zur Verfügung. Über Port 4.0 werden die Daten vom Mikrocontroller ausgegeben und gelangen auf die Basis des Transistors T 5. Die für RS-232 erforderlichen Signalpegel werden mit Hilfe der Transistoren T 5, T 6 sowie R 12 und R 15 aus den Handshake-Signalen gewonnen.

Der Kondensator C 23 sorgt im Ein-

schaltmoment des Gerätes für einen definierten Power-On-Reset des Mikrocontrollers.

Spannungsversorgung

Das recht einfache Netzteil ist in Abbildung 9 dargestellt, wobei eine 9-V-Blockbatterie als Spannungsquelle dient. Die Batterie, die Z-Diode D 1 und der Verbraucher bilden eine Reihenschaltung, so dass wir einen Spannungsabfall von ca. 4 V-5 V, je nach Batteriezustand, am Verbraucher erhalten. Die Z-Dioden-Spannung von D 1 bildet dann die negative Versorgungsspannung.

Grundvoraussetzung für die sichere Funktion ist in unserem Fall eine höhere Strombelastung im positiven Versorgungszweig als im negativen Zweig.

Da beim SPM 100 im positiven Spannungszweig wesentlich mehr Komponenten zu versorgen sind, ist die Erfüllung dieser Forderung immer sichergestellt. Der Innenwiderstand des positiven Versorgungszweiges dient somit als Vorwiderstand für die Z-Diode D 1.

D 5, R 64 dienen im positiven Zweig als Schutzbeschaltung. Die positive Spannung gelangt direkt auf den Emitter des Transistors T 2. Dieser Transistor kann über den Taster „Ein“ oder den Transistor T 3 in den leitenden Zustand versetzt werden. Sobald die Taste betätigt wird, erhält der Prozessor seine Betriebsspannung. Dieser wiederum gibt sofort an Port 3.3 ein „High-Signal“ aus und steuert über R 3 den Transistor T 3 durch, der wiederum den „Ein-Zustand“ des Gerätes hält.

Zum Ausschalten des SPM 100 gibt es nun zwei Möglichkeiten. Zum einen kann dies mit Hilfe des Tasters „Aus“ erfolgen und zum anderen kann T3 über den Prozessorport wieder in den Sperrzustand versetzt werden. Dadurch ist dann auf einfache Weise eine Auto-Power-Off-Funktion

realisiert, die das Gerät ausschaltet, wenn länger als 10 Minuten kein Schallereignis eintritt, das mehr als 25% des Messbereichsendwertes entspricht (bei Autorange 45 dB) und wenn innerhalb dieser Zeit keine Tastenbetätigung erfolgt.

Die Auto-Power-Off-Funktion ist auch komplett deaktivierbar. Dazu ist dann die „F/S/I-Taste“ beim Einschalten des Gerätes während des Segmenttests zu drücken.

Der Spannungsregler IC 11 versorgt das Mikrofon und den Vorverstärker IC 10 mit einer stabilisierten Spannung, wobei C 17 am Ausgang zur Pufferung dient. R 4 und C 11 dienen zur weiteren Siebung.

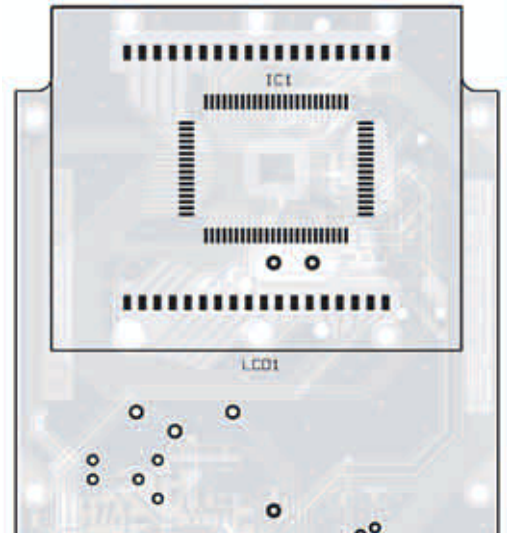
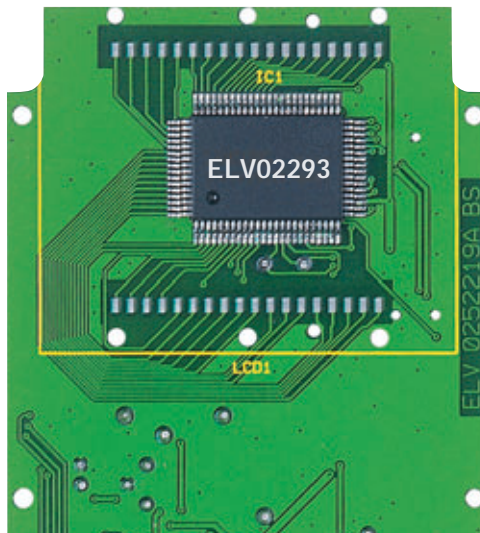
An weiteren Komponenten sind im Netzteil noch der Elko C 2 zum Puffern der Betriebsspannung und die zur Abblockung an den Versorgungspins der einzelnen integrierten Schaltkreise angeordneten Keramik-Kondensatoren vorhanden.

Nachbau

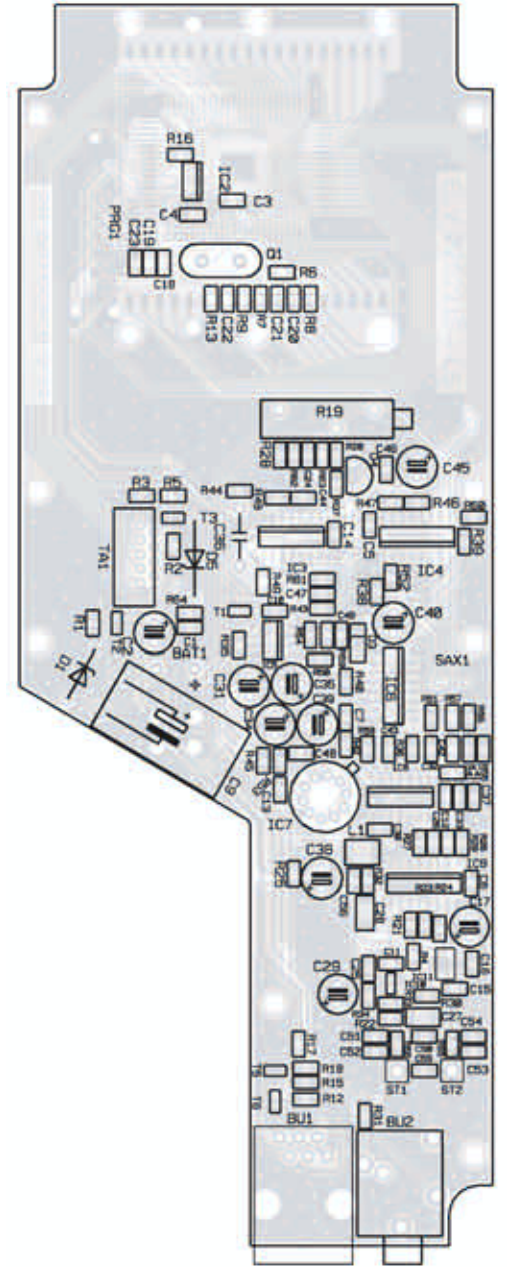
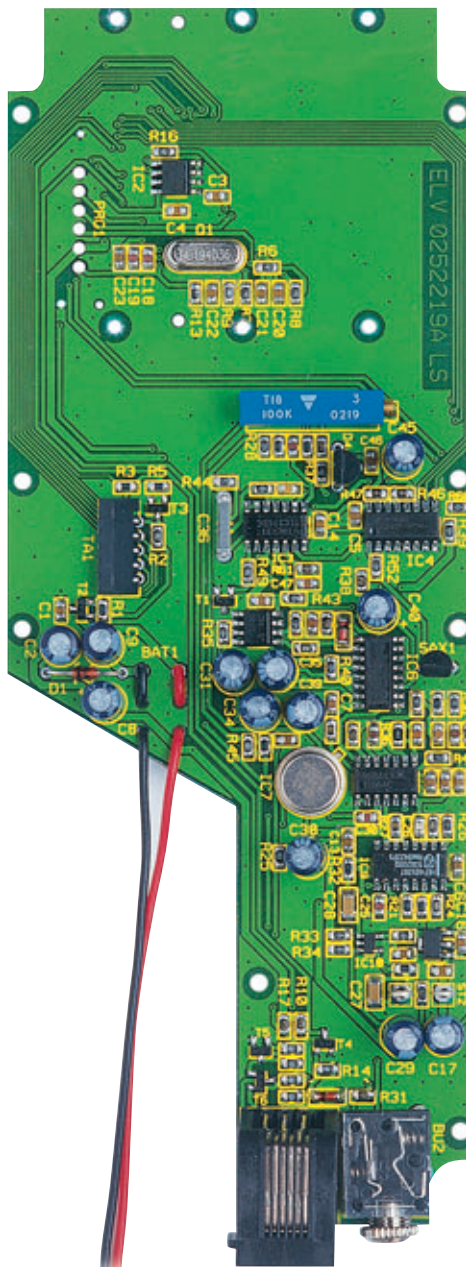
Nur mit Miniatur-Bauelementen für die Oberflächenmontage ist der kompakte Aufbau des Gerätes realisierbar. Die Verarbeitung von SMD-Komponenten setzt jedoch Lötferfahrung und eine besonders sorgfältige Arbeitsweise voraus. Des Weiteren ist ein Minimum an Spezialwerkzeugen für die Verarbeitung der zum Teil winzigen Bauteile Voraussetzung.

So sind ein LötKolben mit sehr feiner Lötspitze und eine gute Pinzette zum Fassen und Positionieren der kleinen Teile erforderlich. Außerdem sollten dünnes SMD-Lötzinn und Entlötauglitze nicht fehlen. Lötfehler sind ohne eine Lupe kaum zu erkennen. Aber auch das genaue Positionieren und Verlöten der winzigen Teile ist ohne entsprechende Hilfsmittel nicht gerade einfach.

Das einzige Bauelement an der Displayseite ist, abgesehen vom Display, der Single-Chip-Mikrocontroller IC1. Aufgrund der insgesamt 80 Anschlusspins und dem damit verbundenen geringen Pinabstand ist dieses Bauteil auch am schwierigsten zu verarbeiten. Ganz wichtig ist beim Mikrocontroller die Beachtung der korrekten Einbaulage. Es ist nahezu unmöglich, einen versehentlich mit falscher Polarität



Ansicht der fertig bestückten Platine des SPM 100 mit zugehörigem Bestückungsplan, oben ein Teilausschnitt von der Displayseite, unten komplett von der Lötseite



Stückliste: Schallpegel-Messgerät SPM 100

Widerstände:	Kondensatoren:	CD4053/SMD IC6
0Ω/SMD R8	2,7pF/SMD C26	AD636 IC7
47Ω/SMD R44	10pF/SMD C24, C25, C30	TL064/SMD IC8
100Ω/SMD R4	22pF/SMD C18, C19	LMV751/SMD IC10
220Ω/SMD R64-R66	180pF/SMD C50-C54	HT7150/ SMD IC11
1kΩ/SMD R31, R58	330pF/SMD C55	BC848C T1, T3-T5
2,2kΩ/SMD R61	1nF/SMD C32, C49	BC858C T2, T6
2,7kΩ/SMD R38	4,7nF/SMD C41	ZPD3,9V/0,4W D1, D5
3,3kΩ/SMD R50	10nF/SMD C42, C47, C56	LL4148 D2, D3
4,7kΩ/SMD R10, R17, R22, R37	33nF/SMD C43	LM385-2,5V D4
6,8kΩ/SMD R24, R29	47nF/SMD C44	
10kΩ/SMD R2, R11, R12, R14-R16, R18, R25, R45, R49, R53, R57, R62	100nF/SMD C1, C3-C7, C10, C12-C16, C20-C22, C37, C46, C48	Sonstiges:
15kΩ/SMD R41	150nF/100V C36	LC-Display LCD1
18kΩ/SMD R51, R56	220nF/SMD C33	Quarz, 4,194304MHz, HC49 U70/U4 Q1
22kΩ/SMD R3, R5, R13, R23, R30, R32	470nF/SMD C11, C23	Spule 100μH/SMD L1
24kΩ/SMD R36	1μF/SMD C27, C28	Temperatursensor, KTY81-121 (SAA965) SAX1
27kΩ/SMD R37	1μF/100V C31, C38	Western-Modular-Buchse 6P6C, print BU1
33kΩ/SMD R63	10μF/25V C17, C29, C34 C35, C39, C40, C45	Klinkenbuchse, 3,5 mm, stereo, print BU2
47kΩ/SMD R55	100μF/16V C2	Folientastatur, 8 Tasten, selbstklebend TA1
68kΩ/SMD R20, R27, R42	1000μF/16V C9	Lötstifte mit Lötöse ST1, ST2
100kΩ/SMD R28, R33-R35, R40, R43, R48, R54, R60	Halbleiter:	9-V-Batterieclip BAT1
180kΩ/SMD R47, R52	ELV02293 IC1	1 Mikrofonkapsel, 1/4", ausgemessen
220kΩ/SMD R1, R21, R26	24C02/SMD IC2	1 Gehäuse, komplett, bearbeitet und bedruckt, mit Display-Rahmen
270kΩ/SMD R46	TLC274BCD/SMD IC3	15 cm Tonarmlitze, 2-adrig, abgeschirmt
390kΩ/SMD R39	CD4051/SMD IC4	
1MΩ/SMD R59	CD4052/SMD IC9	
Spindeltrimmer, 200kΩ R19	TLC272/SMD IC5	

eingebauten Mikrocontroller wieder ohne Beschädigung von der Leiterplatte zu entfernen.

Zuerst wird an einer beliebigen Gehäuseecke ein Lötpad der Leiterplatte vorverzinnt und dann der Prozessor polaritätsrichtig exakt positioniert. Nach dem Verlöten dieses Anschlusspins wird sorgfältig überprüft, ob alle weiteren Anschlüsse exakt mittig auf den zugehörigen Löt pads aufliegen. Wenn dies der Fall ist, werden alle weiteren Anschlusspins verlötet.

Sollte dabei versehentlich Löt zinn zwischen die Prozessoranschlüsse laufen, so ist dieses überschüssige Löt zinn am einfachsten mit Entlöt litze abzusaugen.

An der Haupt-Bestückungsseite werden im nächsten Arbeitsschritt alle ICs in der gleichen Arbeitsweise wie der Prozessor aufgelötet. Die korrekte Polarität ist bei SMD-ICs daran zu erkennen, dass die Pin 1 zugeordnete Gehäusesseite leicht angeschragt ist. Diese Gehäusesseite muss mit dem Bestückungsdruck übereinstimmen. Überschüssiges Löt zinn ist auch hier am einfachsten mit Entlöt litze wieder zu entfernen.

Durch die Pinkonstruktion ist ein Verpolen bei den danach aufzulötenden SMD-Transistoren kaum möglich. Auch nach dem Auflöten dieser Bauteile bleibt die Beschriftung lesbar.

Weiter geht es dann mit den SMD-Widerständen, deren Wert direkt auf dem Gehäuse aufgedruckt ist. Die letzte Ziffer gibt grundsätzlich die Anzahl der Nullen an.

Vorsicht ist bei den SMD-Kondensatoren geboten. Diese Bauteile besitzen keinerlei Kennzeichnung und sind daher leicht zu verwechseln.

Die SMD-Dioden sind an der Katoden-seite (Pfeilspitze) durch einen Ring gekennzeichnet. Damit sind dann alle SMD-Komponenten bestückt. Eine grundsätzliche Sichtkontrolle hinsichtlich Löt- und Bestückungsfehlern ist bereits an dieser Stelle anzuraten. Die jetzt noch fehlenden bedrahteten Bauelemente sind wesentlich einfacher zu verarbeiten.

Nach dem Einlöten des Quarzes Q 1 und des Folien-Kondensators C 36 sind die Elektrolyt-Kondensatoren mit Ausnahme von C 9 an der Reihe. Wichtig ist bei den üblicherweise am Minuspol gekennzeichneten Elkos die korrekte Polarität. An der Displayseite werden danach alle überstehenden Drahtenden abgeschnitten, ohne die Lötstelle selbst dabei zu beschädigen.

Das Metallgehäuse des Effektivwert-Gleichrichters IC7 ist durch eine kleine Metallfahne am unteren Gehäuserand gekennzeichnet. Diese Fahne muss mit der Kennzeichnung im Bestückungsdruck übereinstimmen. Des Weiteren ist beim

Einbau darauf zu achten, dass die Gehäuseunterseite ca. 1 mm Abstand zur Platinoberfläche aufweist.

Nun werden der Temperatursensor und der Abgleichtrimmer bestückt, die beim Löt vorgang nicht zu heiß werden dürfen. Die Klinkenbuchse BU 2 und die Western-Modular-Buchse BU 1 müssen vor dem Verlöten der Anschlusspins plan auf der Leiterplattenoberfläche aufliegen.

Die Anschlussleitungen des 9-V- Batterieclips sind vor dem Verlöten zur Zugentlastung durch die zugehörigen Bohrungen der Leiterplatte zu fädeln, wie auf dem Platinenfoto zu sehen ist. Danach wird C 9 in liegender Position bestückt.

Nun wenden wir uns wieder der Prozessorseite der Leiterplatte zu, wo noch das Display zu montieren ist. Dazu wird das Display so in den Klarsicht-Halterahmen gelegt, dass die Glasverschweißung an der linken Displayseite in die zugehörige Aussparung des Rahmens ragt.

Alsdann ist der Befestigungsrahmen von der rechten Seite aufzuschieben und mit zwei Leitgummistreifen zu bestücken.

Die Montage der zusammengebauten Displayeinheit auf der Leiterplatte erfolgt mit sechs Knippingschrauben. Nach dem Verschrauben befindet sich der Mikrocontroller unter dem Display.

Nun ist die Folientastatur mit eingeleg-

ter Tastaturbeschriftung an die richtige Position auf die Gehäuseoberhalbschale zu kleben und an die zugehörige Buchse der Leiterplatte anzuschließen.

Acht Knippingschrauben dienen zur Montage der komplett fertiggestellten Leiterplattenkonstruktion mit Front- und Rückplatte in das Gehäuseoberteil. Nach Anschluss einer 9-V-Blockbatterie kann ein erster Funktionstest des Gerätes erfolgen. Bevor das Gehäuse komplett verschraubt wird, ist der recht einfach durchzuführende Abgleich des SPM 100 erforderlich.

Abgleich

Der Abgleich des Schallpegel-Messgerätes SPM 100 ist trotz der umfangreichen und recht empfindlichen analogen Baugruppen einfach durchzuführen und vollständig über die Software des Gerätes gesteuert.

Um in den Abgleich-Mode zu gelangen sind bei ausgeschaltetem Gerät die Tasten „Max-Hold“ und „Aurorange“ gedrückt zu halten und dann ist das Gerät bei gedrückten Tasten einzuschalten. Im Display erscheint die Anzeige „00.0 CAL“.

An Hardware-Abgleichpunkten ist innerhalb des Gerätes nur ein einziger Trimmer vorhanden, der als erstes abzugleichen ist. Dazu sind zunächst IC 7 Pin 4 und Pin 2 über eine kurze Drahtbrücke miteinander zu verbinden. Mit Hilfe des Trimmers R19 wird dann am Ausgang von IC 5 B (Pin 7)

exakt 0 V eingestellt. Damit ist der Hardware-Abgleich bereits vollständig erledigt.

Durch eine kurze Betätigung der „Up-Taste“ werden automatisch die Offset-Werte ermittelt und gespeichert, worauf im Display die Anzeige „80 dB“ erscheint.

Die Drahtverbindung zwischen IC 7 Pin 4 und Pin 2 (GND) wird wieder entfernt und am Mikrofon-Eingang (ST 1, ST 2) ein 1-kHz-Sinussignal mit 6,33 mV (17,9 mV_{SS}) Amplitude angelegt.

Nach einer erneuten kurzen Betätigung der „Up-Taste“ führt die Software automatisch den Skalenfaktor-Abgleich für beide Filterkurven durch.

Im Display erscheint daraufhin die Anzeige „130 dB“. Die Spannung am Mikrofon-Eingang ist jetzt auf 2 V (5,66 V_{SS}) zu erhöhen und danach die „Up-Taste“ zu betätigen.

Nun erscheint im Display die Anzeige „100 dB“. Die Signalspannung am Mikrofon-Eingang wird auf 63,23 mV (178,8 mV_{SS}) verringert und zum Abgleich des mittleren Messbereiches für beide Filterkurven erneut die „Up-Taste“ betätigt.

Im Display erscheint jetzt die Anzeige „70 dB“. Im empfindlichsten Messbereich ist am Mikrofon-Eingang eine Signalspannung von 2 mV (5,66 mV_{SS}), entsprechend 2 V -60 dB erforderlich. Zum Abgleich der Skalenfaktor-Werte für diesen Messbereich ist dann im Abgleich-Mode ein letztes Mal die „Up-Taste“ zu betätigen, worauf das Gerät dann in den normalen Betriebs-Mode schaltet.

Die Abgleich-Parameter für die gesamte Hardware, mit Ausnahme des Mikrofons, sind nun ermittelt und abgespeichert.

Mit Hilfe eines Schall-Kalibrators sind die Daten des Mikrofons besonders einfach zu erfassen und abzuspeichern. Dazu sind die Tasten „Up“ und „Down“ gleichzeitig gedrückt zu halten und das SPM 100 einzuschalten. Nun ist das Gerät in den Kalibrator zu setzen, also das Mikrofon mit einem Schallpegel von 94 dB zu beaufschlagen. Sollte der Kalibrator einen von 94 dB abweichenden Schallpegel erzeugen, so ist mit Hilfe der „Up“ und „Down“-Tasten dieser Wert einzustellen. Wenn der abgegebene Schallpegel und die Anzeige auf dem Display übereinstimmen, ist die Taste „Aurorange“ zum Abspeichern der Kalibrierdaten zu betätigen.

Da im Hobbybereich nur selten ein Schall-Kalibrator zur Verfügung steht, befindet sich in jedem Bausatz ein exakt ausgemessenes Mikrofon, dessen Kalibrierfaktor auf der Verpackung notiert ist. Zur Eingabe dieses Faktors ist dann im Kalibrier-Mode (Anzeige 94,0 CAL) die Taste „A/C“ zu betätigen. Im Display wird nun „94,0 DAT“ angezeigt. Die Eingabe des auf der Mikrofon-Verpackung angegebenen dB-Werte erfolgt mit den „Up/Down“-Tasten, wobei mit der Taste „Max-Hold“ zwischen der letzten und der vorletzten Stelle beliebig umgeschaltet werden kann. Die Beendigung des Kalibriermodos erfolgt auch hier mit der „Aurorange-Taste“.

ELW

ELV Elektronik AG • Postfach 1000 • D-26787 Leer
• Telefon 04 91/600 888 • Telefax 04 91/6008-244