



# Audio-Dummy-Load mit Leistungsanzeige

Beim ADL 9000 ist neben einer Stereo-Lautsprechernachbildung, die je Kanal eine 4-Ohm- oder 8-Ohm-Impedanz mit 100 W Belastbarkeit zur Verfügung stellt, auch ein präziser Leistungsmesser integriert. Ein regelbarer Mithörlautsprecher und die Möglichkeit im Brückenbetrieb (Mono) auch 200 W Belastbarkeit bereitzustellen, runden die Features ab.

## Allgemeines

Für den Test, die Inbetriebnahme oder die Reparatur von Audio-Endstufen kommt eine ohmsche Lautsprechernachbildung (Dummy Load) zum Einsatz, die es erlaubt, den Verstärker unabhängig von angeschlossenen Lautsprechern zu betreiben. So lässt sich verhindern, dass der Lautsprecher auf den Verstärker zurückwirkt und sich beide Komponenten gegenseitig beeinflussen. Dabei verhält sich die „künstliche“ Last ADL 9000 mit seiner Belastbarkeit von 100 W pro Kanal und den einstellbaren üblichen Nennimpedanzen von 4  $\Omega$  und 8  $\Omega$  wie ein entsprechend idealisiertes Lautsprecherpaar. Im Stereobetrieb sind beide Kanäle galvanisch voneinander getrennt, während beim Monobetrieb durch Zusammenschalten der beiden internen Leistungsteile eine mit 200 W belastbare Nennimpedanz von 2  $\Omega$ , 4  $\Omega$ , 8  $\Omega$  oder 16  $\Omega$  zur Verfügung steht.

Die Bestimmung von Verstärkernennwerten, wie Ausgangsleistung, Frequenzgang, Klirrfaktor, Dämpfungsverhalten usw., kann nur mit Hilfe einer nahezu ohmschen Lautsprechernachbildung geschehen, da sich ansonsten keine vergleichbaren Daten ergeben. Jeder Lautsprecher hat seinen ganz eigenen Frequenzgang, eine zugehörige Belastbarkeit, einen speziellen Impedanzverlauf über der Frequenz etc. All diese Eigenschaften machen eine Ver-

stärker – Lautsprecher Zusammenschaltung zu einer individuellen Kombination, die sich mit keiner in irgendeiner Form abweichenden Kombination direkt vergleichen lässt. Um vergleichbare Ergebnisse bei der Bewertung von Verstärkern zu erhalten, ist eine reproduzierbare Last mit konstantem, idealerweise ohmschem Impedanzverlauf unerlässlich. Dieser Impedanzverlauf ist die am Lautsprecheranschluss gemessene Impedanz (Wechsel-

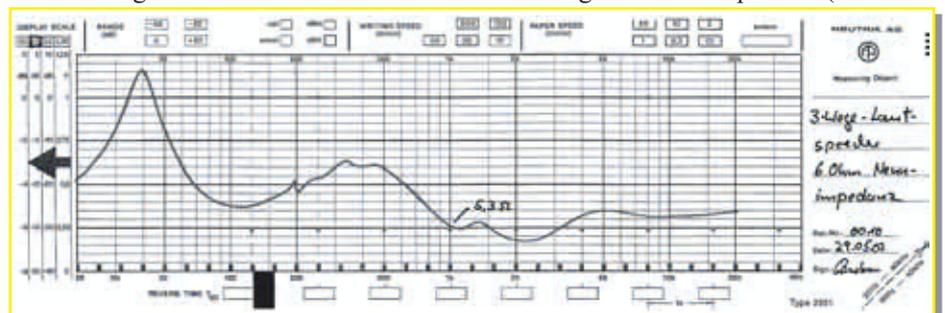


Bild 1: Impedanzverlauf eines 3-Wege-Lautsprechers

**Technische Daten ADL 9000:**

<b>Impedanz:</b>	
- Stereobetrieb: .....	4 Ω, 8 Ω; je Kanal unabhängig einstellbar
- Brückenbetrieb: .....	2 Ω, 4 Ω, 8 Ω, 16 Ω
<b>Max. Belastung:</b>	
- Stereobetrieb: .....	100 W je Kanal (Dauerlast) 200 W je Kanal (T < 2 min.)
- Brückenbetrieb: .....	200 W (Dauerlast) 300 W (T < 2 min.)
Bargraph-Leistungsanzeige: .....	10-stellig; permanente Anzeige für beide Kanäle parallel
<b>Leistungsmessung:</b>	
- Anzeige: .....	3-stellige 7-Segmentanzeige
- Messbereich: .....	0 bis 300 W, umschaltbar zwischen beiden Kanälen
- Modi: .....	Autorange, manuelle Bereichswahl
- Messbereiche, Auflösung: .....	bis 9,99 W, 10 mW bis 99,9 W, 100 mW bis 300 W, 1 W
Monitorlautsprecher: .....	umschaltbar zwischen beiden Kanälen
Übertemperaturschutzschaltung: .....	2-stufig; Übertemperaturwarnung, Übertemperaturabschaltung
Stromversorgung: .....	230 V~ / 50 Hz / 100 mA
Gewicht: .....	3,5 kg
Abmessungen (BxHxT): .....	355 x 225 x 115 mm

stromwiderstand) über der Frequenz aufgetragen.

Standard-Lautsprecher haben einen Impedanzverlauf über der Frequenz, der mit der angegebenen Nennimpedanz nur an der Messfrequenz etwas gemeinsam hat. Es kommt hier aufgrund von Resonanzerscheinungen zu Impedanz erhöhungen oder Impedanz einbrüchen, die teilweise nicht unerheblich sind. Abbildung 1 zeigt beispielsweise den typischen Impedanzverlauf eines hochwertigen 3-Wege-Lautsprechers. Die Nennimpedanz ist mit 6 Ω angegeben. Bei 1 kHz liegt der Messwert bereits bei 5,3 Ω und sinkt bei ca. 2,2 kHz auf 4,2 Ω ab. Im anderen Extremwert ergibt sich ca. 41 Ω bei 40 Hz. Diese große Spanne in der Lastimpedanz lässt keine definierten Aussagen bei der Bewertung eines HiFi-Verstärkers zu. So schwankt die abgegebene Leistung unter der Voraussetzung einer konstanten Verstärker Ausgangsspannung und 50 W Ausgangsleistung bei 1 kHz zwischen 6,5 W (bei 40 Hz) und 63 W (bei 2,2 kHz). Eine objektive Beurteilung ist so schon nicht mehr möglich.

Der Impedanzverlauf der ELV Lautsprechernachbildung ADL 9000 in Abbildung 2

zeigt dagegen ein sehr gutes, lineares Verhalten. Wobei die dort im Diagramm zu sehenden Schwankungen auch noch auf Pegelschwankungen des speisenden Verstärkers bei der Messung zurückzuführen sind. Der eigentliche Impedanzverlauf ist somit noch linearer, so dass ein zu testender Verstärker bei dieser Art der Belastung über den gesamten Frequenzbereich eine konstante Leistung abgeben muss.

Ein solch lineares Impedanzverhalten kann aber nur mit sehr induktivitätsarmen Hochlastwiderständen realisiert werden. Die hier verwendeten Spezialwiderstände sorgen vor allem dafür, dass im hochfrequenten Bereich kein Impedanzanstieg entsteht. Die von Bastlern oft verwendete Zusammenschaltung verschiedener Hochlast-Keramikwiderstände hat genau diesen Nachteil. Im Bereich ab 10 kHz beginnt die Impedanz merklich zu steigen. Dies lässt sich auch sehr einfach mit den technischen Daten der Widerstände nachvollziehen. Im Kasten rechts sind die wichtigsten technischen Daten der verwendeten Spezialwiderstände aufgelistet. Auffallend ist hier die Induktivität von nur 0,2 μH. Standard-Hochleistungswiderstände gleicher Bau-

form, aber anderen inneren Aufbaus, besitzen eine 10-fach höhere Eigeninduktivität, während einfache Keramikwiderstände etwa 20 μH haben. Berechnet man hieraus die Impedanz Z, die sich ja aus dem Wirkwiderstand R (Realteil) und dem induktiven Blindwiderstand X<sub>L</sub> (Imaginärteil) zusammensetzt, so erhält man gemäß folgender Gleichung einen Einblick in die Größenordnung der Unterschiede zwischen den verschiedenen Widerstandstypen.

$$|Z| = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{R^2 + (2 \cdot \pi \cdot f \cdot L)^2}$$

Abbildung 3 zeigt den typischen theoretischen Impedanzverlauf der drei Widerstandsvarianten. Bei einer Frequenz von 50 kHz ergibt sich für den einfachen Keramikwiderstand ein Wert von |Z<sub>K</sub>| = 10,12 Ω, für den normalen Hochleistungswiderstand |Z<sub>HS</sub>| = 8,02 Ω und für den im ADL 9000 verwendeten niederinduktiven Hochleistungswiderstand beträgt die Impedanz nur |Z<sub>NHS</sub>| = 8,0025 Ω. Schon bei dieser Frequenz ist der Unterschied erheblich und unter Berücksichtigung der Tatsache, dass die meisten HiFi-Verstärker eine Leistungsbandbreite bis weit über 50 kHz haben, wird der Vorteil der induktivitätsarmen Widerstände noch gravierender.

Für eine professionelle Ermittlung von Verstärker Ausgangsdaten kommt somit nur eine Lautsprechernachbildung mit extrem niederinduktiven Widerständen in Frage. Die einzige Berechtigung für den Anschluss eines Lautsprechers ist ein Hörtest, der für die Bewertung eines Verstärkers unumgänglich ist. Gute technische Daten sind zwar eine Voraussetzung für einen guten Klang, aber das Klangerlebnis an sich kann nur im Zusammenspiel zwischen Lautsprecher und Verstärker bewertet werden.

Ein weiteres Einsatzfeld der neuen ELV-Audio-Lautsprechernachbildung beim Test von HiFi-Verstärkern sind Langzeitprüfungen. Auch hier kommt eine Widerstandslast zum Einsatz, da beispielsweise der Testbetrieb und die Beurteilung bei einem Volllastdauertest mit einem Lautsprecher praktisch gar nicht durchführbar

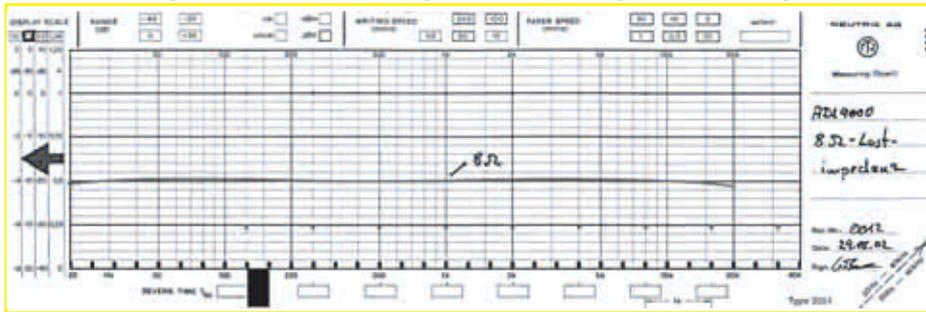
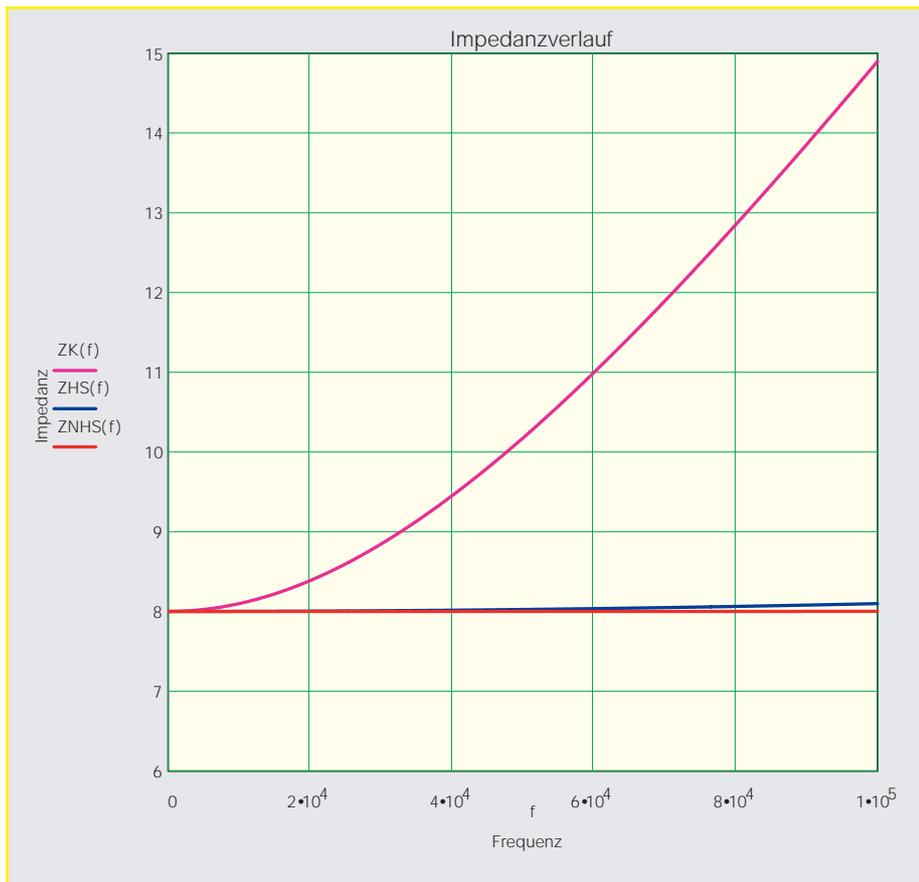


Bild 2: Impedanzverlauf des ADL 9000 im 8-W-Betriebsmode

**Leistungswiderstand im Aluminiumgehäuse**

**Typ: NHS 50**

Toleranz: .....	±5 %
Temperaturkoeffizient: .....	50 ppm/°C
<b>Max. Verlustleistung:</b>	
ohne Kühlkörper: .....	20 W
mit Kühlkörper: .....	50 W
<b>Max. Widerstandstemperatur: 200 °C</b>	
<b>Induktivität: .... vom Widerstandswert abhängig, typ. 0,2 μH @ 4 Ohm</b>	
<b>Max. Arbeitsspannung: .....</b> 1250 V	
<b>Abmessungen (LxBxH):</b>	
	49,1 x 29,7 x 14,8 mm



**Bild 3: Impedanzverläufe verschiedener Widerstandstypen**

sind. Zum einen besteht immer die Gefahr der Überlastung der Lautsprecher, mit dem zusätzlichen Risiko, dass es dann auch noch zu einer Kettenreaktion kommt: Die Überlastung zerstört den Lautsprecher und verursacht hier ggf. einen Windungsschluss in der Tauchspule. Dies bedeutet praktisch, es entsteht ein Kurzschluss am Lautsprecherausgang des Verstärkers, was u. U. zum „Abrauchen“ der Endstufe führt. Damit hat sich dann auch der Volllasttest des Verstärkers erledigt.

Neben der Überlastung der Lautsprecher ist zum anderen eine „Dauerberieselung“ mit hoher Lautstärke nervend und gesundheitsgefährdend. Hier ist eine Last, die keine Schallleistung abgibt, d. h. ein Lautsprecher-Dummy, die einzig brauchbare Lösung.

Auch bei der Reparatur und der Inbetriebnahme von Audio-Endstufen ist dies ein wichtiger Vorteil. In diesem Einsatzbereich steht aber die wesentlich höhere Robustheit im Vergleich zu einem Lautsprecher im Vordergrund. Wird eine defekte Endstufe an einem Lautsprecher betrieben, ist die Gefahr sehr groß, dass auch der Lautsprecher zerstört wird. Liegt beispielsweise aufgrund des Verstärkerdefektes eine Gleichspannung am Lautsprecherausgang an, so erfolgt nur eine einmalige Auslenkung des angeschlossenen Lautsprechers. Anschließend verharrt die Membran in diesem Zustand, so dass die gesamte zuge-

führte (Gleichstrom-)Leistung in Wärme umgesetzt wird. Je nach Lautsprecher und zugeführter Leistung kann dadurch die Spule im Magneten festbrennen. Auch der NF-Signalspannung überlagerte Gleichspannungsanteile, so wie sie bei einem falsch abgeglichenen Arbeitspunkt auftreten, können den oben beschriebenen Effekt nach sich ziehen und einen Lautsprecher zerstören.

Solche fehlerhaften Ansteuerungen mit einer zu hohen Leistung bzw. mit Gleichspannung lassen die neue ELV-Lautsprechernachbildung „kalt“. Einer ohmschen Last ist es prinzipiell egal, ob die Ansteuerung mit Gleich- oder Wechselspannung erfolgt, und eine Überlastung führt nur zu einer gesteigerten Erwärmung, die im Extremfall von der implementierten Temperaturüberwachung kontrolliert wird.

Neben der Nachbildung eines idealisierten Lautsprechers besitzt das ADL 9000 noch weitere für den Laboreinsatz nützliche Features. So ist bei allen oben aufgeführten Einsatzbereichen einer passiven Lautsprechernachbildung, die umgesetzte Leistung ein wichtiger Parameter. Daher verfügt das ELV ADL 9000 auch über einen eingebauten Leistungsmesser. Hier kann schnell und komfortabel die am Lastwiderstand umgesetzte Leistung abgelesen werden.

So lässt sich z. B. einfach prüfen, wie weit die Ausgangsleistung bei verschiede-

nen Lastimpedanzen schwankt. Dies ist ein wichtiges Kriterium bei der Beurteilung eines Verstärkers, da hiermit Rückschlüsse auf die Leistungsreserven seines Netztesiles möglich sind. Außerdem kann durch die direkte Leistungsanzeige sehr komfortabel die Leistungsbandbreite eines Verstärkers ermittelt werden.

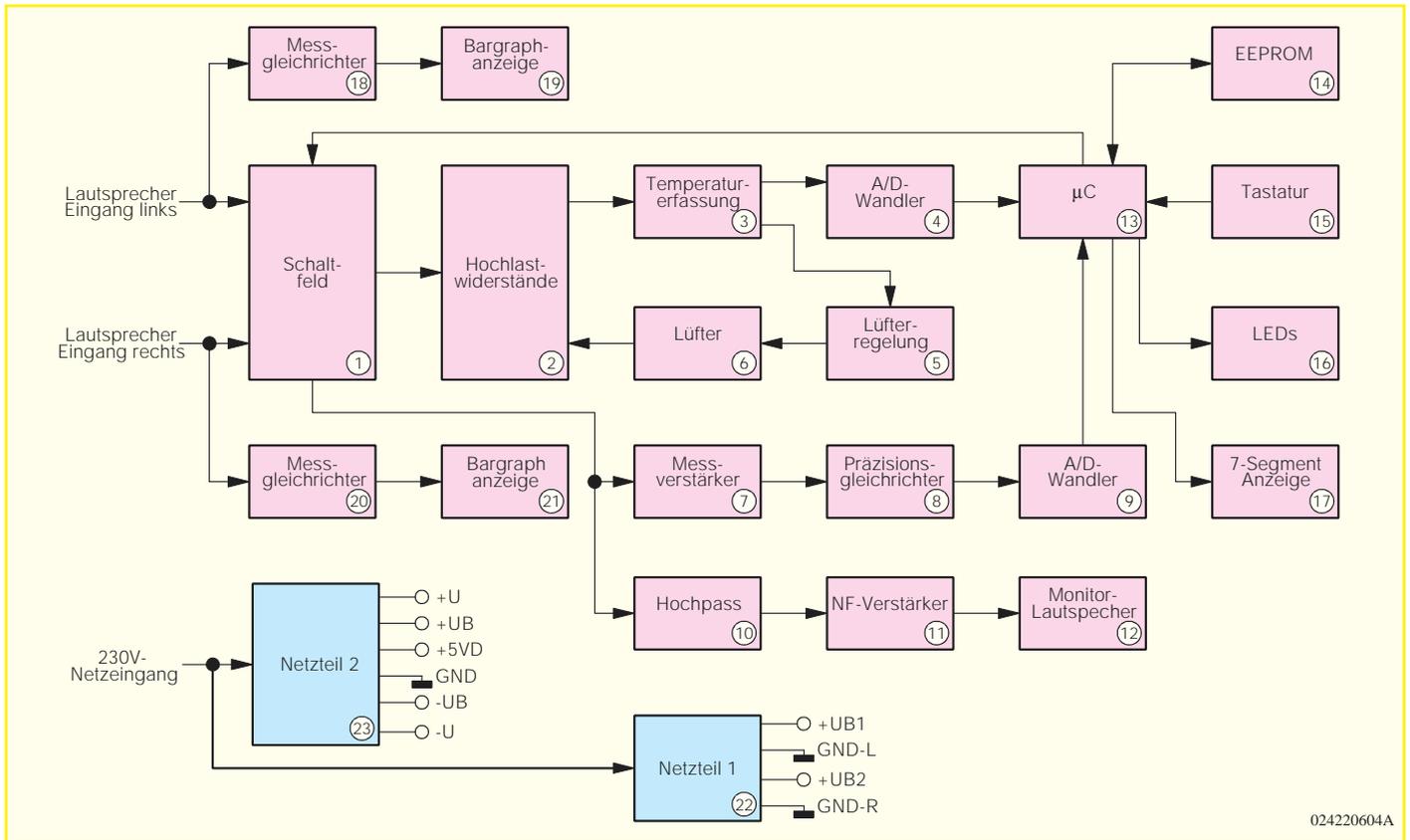
Die beiden Bargraph-Anzeigen, die unabhängig von der Leistungsanzeige des 7-Segment-Displays arbeiten, ermöglichen eine kontinuierliche und schnelle Überwachung beider Kanäle gleichzeitig. So fällt beispielsweise ein plötzlicher Leistungsabfall auf einem Kanal sofort auf.

Bei allen Tests ist es weiterhin wichtig, das an der Last anliegende Signal auch hören zu können. Dazu verfügt die ELV-Lautsprechernachbildung über einen eingebauten Monitorlautsprecher. Dieser lässt sich wahlweise auf das Signal des linken oder rechten Kanales schalten. Eine Übersteuerung des speisenden Verstärkers lässt sich so schnell erkennen und auch Übernahmeverzerrungen sind leicht zu lokalisieren.

Das ELV ADL 9000 kommt somit immer dann zum Einsatz, wenn es um den Test, die Inbetriebnahme oder die Reparatur von Audio-Endstufen geht, denn kein Techniker schließt einen ggf. defekten oder noch nicht einwandfrei abgeglichenen Verstärker an seine oftmals teuren und empfindlichen Lautsprecher an.

## Blockschaltbild

Zur näheren Erläuterung der Funktionsweise und des Aufbaus ist in Abbildung 4 das Blockschaltbild dargestellt. Die wesentliche Baugruppe ist der Leistungsteil mit den Hochlast-Widerständen (2). Diese bilden die eigentliche Lautsprechernachbildung. Mit dem vorgelagerten Schaltfeld (1) werden die Lautsprechereingänge mit den entsprechend gewählten Impedanzen verschaltet, wobei hier auch die Umschaltung zwischen Stereo- und Monobetrieb erfolgt. Um die Hochlastwiderstände vor dem „Hitzetod“ zu schützen, sorgt ein temperaturgeregelter Lüfter (5) und (6) für eine entsprechende Kühlung. Die Hochlastwiderstände sind auf einem Lüfterkühlkörper-Aggregat montiert, das die maximale Verlustleistung von 200 W gut abführen kann. Sollte aufgrund einer dauerhaften Überlastung die Temperatur jedoch extrem ansteigen, so wird die integrierte Temperaturschutzschaltung aktiviert. Mittels der Temperaturerfassung (3) und des A/D-Wandlers (4) ermittelt der Mikrocontroller (13) die Kühlkörpertemperatur. Ab einem Warnwert wird der Benutzer über die Überlastung oder die mangelnde Wärmeabfuhr informiert. Steigt die Temperatur dann noch weiter an, so schaltet das



024220604A

Bild 4: Blockschaltbild des ADL 9000

Gerät die Lastwiderstände aus Sicherheitsgründen ab.

Neben der Temperaturüberwachung ist der Mikrocontroller für die Abfrage der Tasten (15) und die Ansteuerung der zu den entsprechenden Betriebsarten zugehörigen LEDs (16) zuständig. Auch die Bestimmung der zugeführten Leistung übernimmt der Controller. Hierzu wird das anliegende NF-Signal zunächst über den Messverstärker (7) und den Präzisionsgleichrichter (8) aufbereitet. Mit Hilfe des A/D-Wandlers (9) gelangt dann die Information über den anliegenden NF-Pegel zur Weiterverarbeitung in den µC. Hier findet die Leistungsberechnung statt, deren Ergebnis auf der 3-stelligen 7-Segmentanzeige (17) erscheint. Die für die Leistungsbestimmung benötigten Abgleichwerte befinden sich in dem nicht flüchtigen Speicher (14).

Die Darstellung der Leistung über die Bargraph-Anzeigen (19) und (21) erfolgt für beide Kanäle gleichzeitig, unabhängig von der Leistungsmessung via Mikrocontroller. Hier wird das NF-Eingangssignal jeweils über einen Messgleichrichter (18) und (20) aufbereitet und dann den Anzeigeeinheiten zugeführt.

Die Ansteuerung des Monitor-Lautsprechers (12) übernimmt der NF-Verstärker (11). Damit der Lautsprecher nicht von leistungsstarken niederfrequenten NF-Signalen überlastet wird, sorgt das vorgeschaltete Hochpassfilter (10) für eine entsprechende Frequenzgangkorrektur.

Um die galvanische Trennung zwischen den beiden Audio-Lastkanälen sicherstellen zu können, ist das Netzteil entsprechend aufwendig. Die beiden Bargraph-Anzeigen werden unabhängig voneinander über das Netzteil 1 (22) versorgt, während das Netzteil 2 (23) alle übrigen Schaltungssteile des Gerätes speist.

## Bedienung

### Einschaltzustand

Die Bedienung des Gerätes gestaltet sich aufgrund der Prozessorsteuerung recht einfach. So werden alle Tasten direkt vom Mikrocontroller abgefragt. Eine Ausnahme bildet nur der ganz links befindliche, mechanische Netzschalter mit dem sich das Gerät ein- und ausschalten lässt. Die oberhalb des Schalters angeordnete LED zeigt den Betriebszustand an.

Ist das Gerät ausgeschaltet, so sind die Lautsprecher-Eingänge offen, d. h. die NF-Eingangsklemmen sind nicht beschaltet. Dies ist besonders dann zu beachten, wenn die Last im vollen Betrieb ausgeschaltet wird. Einige Verstärkertypen (z. B. Röhrenverstärker) verlangen zwingend eine Belastung am Ausgang und könnten so durch das Abschalten des ADL 9000 beschädigt werden.

Nach dem Einschalten nimmt das Gerät seinen Grundzustand ein. Dann sind beide Kanäle im Stereobetrieb auf 8 Ω eingestellt. Das Signal des linken Eingangskana-

les wird für die Messung verwendet und ist auch auf dem Monitor-Lautsprecher zu hören. Weiterhin befindet sich die Leistungsanzeige im Autorange-Modus.

Die LEDs über den Eingangsbuchsen zeigen an, welche der Buchsen in dem jeweiligen Betriebsmode als Signaleingang zu verwenden sind. Im Stereobetrieb leuchten hier alle 4, d. h. die Buchsen sind intern gemäß des Frontplattenaufdruckes beschaltet. Im Brückenbetrieb ist der linke Eingangskanal zu verwenden, entsprechend leuchten hier dann auch nur die beiden hierzu gehörenden LEDs.

### Impedanzumschaltung

Die Umschaltung der Eingangsimpedanz erfolgt im Stereobetrieb für jeden Kanal separat. Die Taste unterhalb der Bargraph-Anzeige besitzt eine Togglefunktion und schaltet zwischen den als Lautsprecherimpedanz üblichen Werten von 4 Ω und 8 Ω um. Die zugehörigen LEDs oberhalb der Taste zeigen den aktuellen Zustand an. So ist es möglich, auf einem Kanal eine 8 Ω Last einzustellen, während der andere auf 4 Ω geschaltet ist. Im Brückenbetrieb sind diese Tasten ohne Funktion, denn dann erfolgt die Impedanzumschaltung mit der „Bridge“-Taste.

### Leistungsmessung

Die an der Last umgesetzte Leistung wird zum einen auf den beiden Bargraph-Anzeigen dargestellt, zum anderen erfolgt

eine weitere, genauere Ermittlung über den Mikrocontroller, die aber jeweils nur für einen Kanal möglich ist. Der so bestimmte Leistungswert erscheint auf der 3-stelligen 7-Segment-Anzeige. Zu beachten ist, dass beide Leistungsanzeigen nur für rein sinusförmige Testsignale gedacht sind.

Die beiden Bargraph-Anzeigen zeigen im Stereobetrieb stets die an den Eingangsbuchsen anliegende Leistung an. Prinzipiell wird hier die anliegende Spannung gemessen und auf der in Watt eingeteilten Skala angezeigt. Aufgrund des nichtlinearen Zusammenhanges zwischen Spannung und Leistung ist auch die Skaleneinteilung nichtlinear. Weiterhin hat die Leistungsbestimmung über die anliegende Spannung zur Folge, dass für 4  $\Omega$  und für 8  $\Omega$  unterschiedliche Skaleneinteilungen notwendig sind. Daher sind die Bargraph-Anzeigen jeweils mit 2 Skalen versehen. Die jeweils innere Skala gilt für 4- $\Omega$ -Lastimpedanz, während die äußere für den 8- $\Omega$ -Betriebsmode ausgelegt ist. Die LEDs der zugehörigen Impedanzanzeige sind auch entsprechend unterhalb der dann gültigen Skala angeordnet, so dass hierüber leicht der Zusammenhang hergestellt werden kann.

Der Messbereich erstreckt sich für 8 Ohm von 3 W bis 200 W, im 4- $\Omega$ -Bereich von 6 W bis 240 W, wobei die beiden oberhalb von 240 W liegenden LEDs schon mit „OL“ für overload bezeichnet sind.

Obwohl eingespeiste Leistungen oberhalb von 100 W pro Kanal auf Dauer gesehen eine Überlastung darstellen, dürfen die einzelnen Kanäle kurzzeitig (Belastungsdauer < 2 Minuten) bis 200 W bzw. 240 W belastet werden. Hier ist dann aber zu beachten, dass die Temperaturüberwachung nach einiger Zeit ansprechen wird und vor einer Überhitzung warnt und ggf. später auch die Last abschaltet.

Eine wesentlich genauere Leistungsmessung erfolgt über die 7-Segment-Anzeige. Diese arbeitet nur für einen Kanal, d. h. es besteht die Möglichkeit zwischen einer Leistungsmessung für den rechten und den linken Kanal umzuschalten. „Channel Select“ wählt zwischen den beiden Kanälen aus, die zugehörigen LEDs „L“ und „R“ kennzeichnen den gerade aktiven Kanal. Im Brückenbetrieb ist diese Taste deaktiviert, da hier keine Umschaltung notwendig ist. Entsprechend erlischt auch die zugehörige LED.

Nach dem Umschalten zwischen den Kanälen im Stereobetrieb wird der aktuelle Messwert gelöscht und es erscheinen bis zur Ermittlung des neuen Wertes drei waagerechte Balken („---“) in der Anzeige. Der Messbereich erstreckt sich hier bis maximal 300 W, bei höheren Leistungen erscheint die Überlaufanzeige „OF“ für overflow.

Im Autorange-Mode, der durch die LED „Auto.“ gekennzeichnet ist, wird der Messbereich automatisch so gewählt, dass sich die größtmögliche Auflösung ergibt. Dies ist auch der übliche Betriebsmodus, der auch bei nahezu allen Anwendungsfällen zum Einsatz kommt. Neben dem Autorange-Mode verfügt das ADL 9000 auch noch über eine manuelle Bereichswahl. Dieser Modus kann dann sinnvoll sein, wenn stark schwankende Leistungswerte gemessen werden. Die Umschaltung zwischen den einzelnen Messbereichen erfolgt über die „Range“-Taste in folgendem Zyklus:

- 1.) Messbereich bis 9,99 W  $\Rightarrow$
- 2.) bis 99,9 W  $\Rightarrow$  3.) bis 300 W  $\Rightarrow$
- 4.) Autorange  $\Rightarrow$  5.) bis 9,99 W usw.

Die Kennzeichnung der einzelnen Bereiche geschieht durch das Verschieben des Dezimalpunktes in der Anzeige des ADL 9000. Somit verfügt das Display über vier verschiedene Anzeigemodi: bis 9,99 W, bis 99,9 W, bis 300 W und Autorange.

### Brückenbetrieb

Um die maximale Verlustleistung zu erhöhen, besteht die Möglichkeit, die beiden Stereokanäle zu einem Monokanal zu brücken. Somit stehen dann maximal 200 W Dauerbelastbarkeit zur Verfügung. Eine kurzzeitige (Belastungsdauer < 2 Minuten) Überlastung mit bis zu 300 W ist aber zulässig.

In diesem Betriebsmode kann zwischen den vier verschiedenen Belastungswiderständen 2  $\Omega$ , 4  $\Omega$ , 8  $\Omega$  und 16  $\Omega$  gewählt werden. Der erste Tastendruck auf die „Bridge“-Taste aktiviert den Brückenbetrieb mit einer Last von 2  $\Omega$ . Jeder weitere Druck wählt die nächste Belastungsstufe aus. Hierbei folgt nach der 16- $\Omega$ -Stufe das Zurückschalten zum normalen Stereobetrieb. Folgender Zyklus wird durchlaufen:

- 1.) 2  $\Omega$   $\Rightarrow$  2.) 4  $\Omega$   $\Rightarrow$  3.) 8  $\Omega$   $\Rightarrow$
- 4.) 16  $\Omega$   $\Rightarrow$  5.) Stereobetrieb  $\Rightarrow$
- 6.) 2  $\Omega$  usw.

Die entsprechend aktive Stufe wird durch die jeweilige LED gekennzeichnet. Dabei erfolgt die eigentliche hardwaremäßige Umschaltung der Impedanz erst 2 Sekunden nach dem letzten Tastendruck. So kann man beispielsweise durch 2-maliges Drücken der „Bridge“-Taste innerhalb von 2 Sekunden vom Stereobetrieb direkt den 4- $\Omega$ -Brückenbetrieb anwählen, ohne dass die 2- $\Omega$ -Impedanz aktiviert wird. Die zugehörigen LEDs werden jedoch sofort nach jeder Tastenbetätigung umgeschaltet.

Im Brückenbetrieb sind die Kanalauswahl „Channel Select“ und die Auswahl der Impedanz der einzelnen Kanäle deaktiviert. Die Leistungsmessung erfolgt dann automatisch für den Monokanal, wobei aber beide Bargraph-Anzeigen keine sinnvollen Messwerte mehr anzeigen. Weiterhin bekommt auch der Monitorverstärker das Signal des Monokanals.

### Monitorlautsprecher

Der Monitorlautsprecher dient als Mithörmöglichkeit. Hier ist immer der Kanal zu hören, der auch mittels „Channel Select“ auf den Leistungsmesser geschaltet ist. Mit dem Potentiometer „Monitor Level“ lässt sich die Lautstärke anpassen. Dabei ist zu beachten, dass die Lautstärke natürlich von der eingespeisten Leistung abhängig ist. So kommt es bei entsprechend hohen Leistungen vor, dass der Monitorlautsprecher übersteuert wird. Dies ist am extrem verzerrten Klang sofort zu erkennen. Dann muss mit dem „Monitor Level“-Regler die Lautstärke so weit zurückgeregelt werden, bis keine Verzerrungen mehr hörbar sind.

### Temperaturüberwachung / -schutzschaltung

Die Temperatur des Kühlkörpers wird zum Schutz der Leistungswiderstände kontinuierlich überwacht. Die Auswertung der Temperatur erfolgt mit zwei Grenzen: der Warn-temperatur und der Abschalttemperatur. Sobald der Kühlkörper die Warn-temperatur überschritten hat, beginnt die „Temp.“-LED zu blinken. Damit wird dem Benutzer frühzeitig angezeigt, dass die Kühlkörpertemperatur stark steigt und somit das Abschalten der Belastung bevorsteht. Unter normalen Betriebsbedingungen tritt dieser Fall nicht auf, so dass entweder eine Überlastung vorliegt (mehr als 200 W Verlustleistung) oder die Luftzirkulation aufgrund von versperrten Zu- oder Abluftöffnungen behindert ist. In diesem Fall muss die eingespeiste Leistung reduziert und die freie Luftzirkulation wieder hergestellt werden.

Steigt die Temperatur jedoch noch weiter an, so wird mit Erreichen der Abschalttemperatur die Belastung komplett abgeschaltet. In diesem Betriebszustand leuchtet die „Temp.“-LED ständig und das Display gibt als Fehlermeldung „Err“ aus.

Die Lautsprecher-Eingangsbuchsen sind dann offen, d. h. ein angeschlossener Verstärker läuft im Leerlauf. Transistorendstufen sind für diesen Betriebsfall ausgelegt. Anders sieht dies bei Röhrendstufen aus, denn diese dürfen im Allgemeinen nicht (!) ohne eine angeschlossene Last betrieben werden. Hier ist besondere Vorsicht geboten und das Abschalten der Last durch rechtzeitiges Reduzieren der eingespeisten Leistung unbedingt zu verhindern.

Die Belastungswiderstände werden erst dann wieder zugeschaltet, wenn die Temperatur des Kühlkörpers bis unter die Warn-temperatur gefallen ist.

### Schaltung

#### Leistungsteil

Das Kernstück der Lautsprechernach-

Tabelle 1: Relaiszustände im Überblick

Betriebsart	Impedanz	REL 1	REL 2	REL 3	REL 4	REL 5	REL 6	REL 7
Stereo	4 Ω	1	0	0	1	0	0	0
Stereo	8 Ω	0	1	0	0	1	0	0
Mono	2 Ω	1	0	0	1	0	1	1
Mono	4 Ω	0	1	0	0	1	1	1
Mono	8 Ω	1	0	1	1	0	0	1
Mono	16 Ω	0	1	1	0	1	0	1

Abbildung 5 zeigt den in Abbildung 5 dargestellten Leistungsteil mit den Hochlastwiderständen und dem zugehörigen Schaltfeld. An ST 7 bis ST 10 sind die Eingangsbuchsen angeschlossen, an denen das NF-Signal eingespeist wird. Für den linken Kanal sind hier die Hochlastwiderstände R 60 bis R 62 zuständig, die Nennimpedanz für den rechten Kanal stellen die Widerstände R 63 bis R 65 dar. Das Umschalten zwischen den

einzelnen Widerständen erfolgt mit den Relais REL 1 bis REL 7. Die Stellung der Relais ist für den stromlosen Zustand gezeichnet. In dieser Konstellation sind die Eingangsbuchsen nicht mit den Lastwiderständen verbunden, d. h. sie liegen offen. Welches Relais für die Realisierung der jeweiligen Lastimpedanz eingeschaltet ist, lässt sich aus der Tabelle 1 ersehen. Die Ansteuerung der Relais erfolgt über den

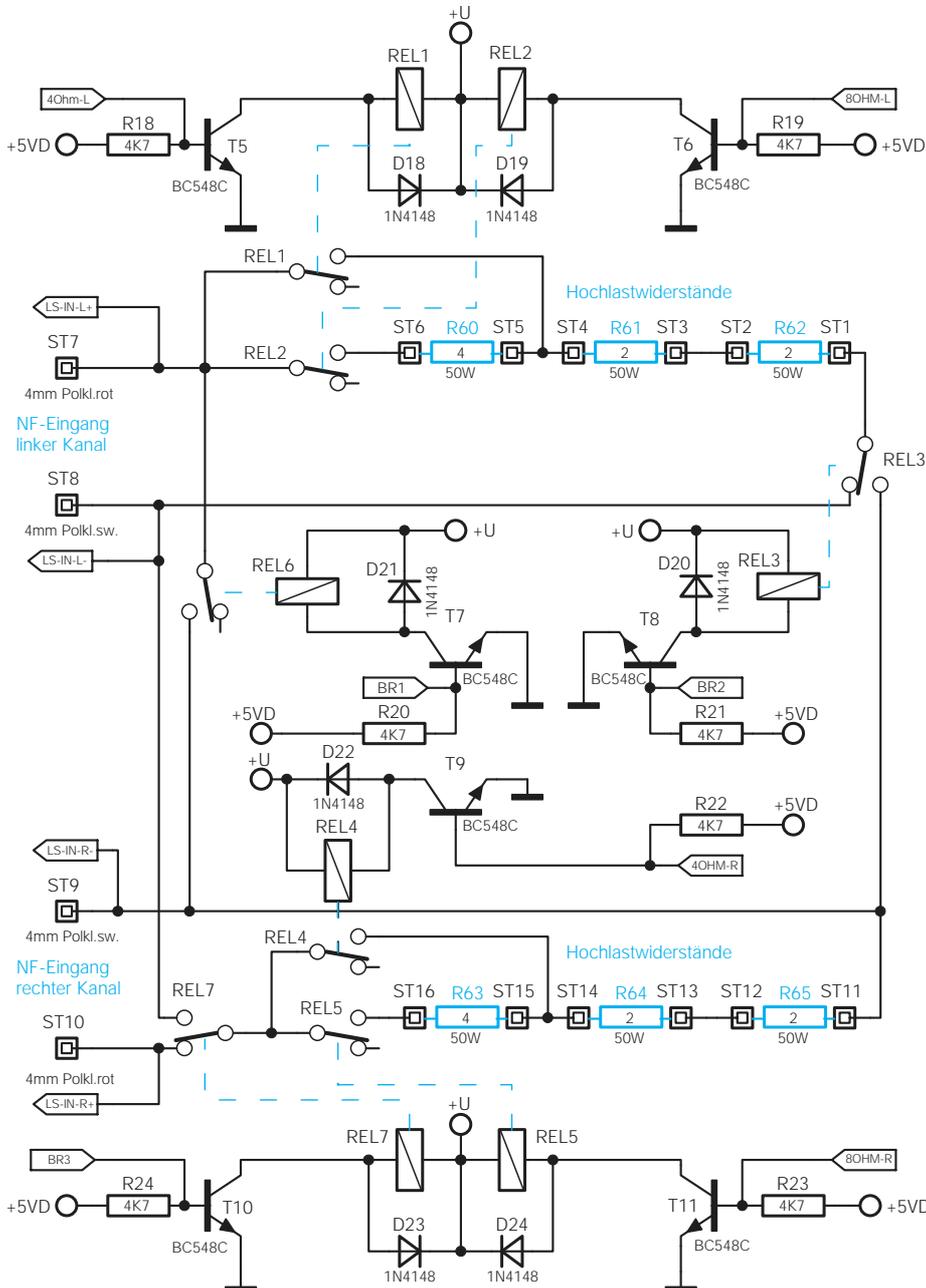


Bild 5: Hochlastwiderstände mit Schaltfeld

Mikrocontroller, der die Bedieneingriffe entsprechend umsetzt. Da die Portausgänge des Mikrocontrollers nicht die benötigte Ansteuerleistung aufbringen können, ist jedem Relais eine Treiberstufe vorgeschaltet. Diese Treiberstufen aus T 5 bis T 11 mit Beschaltung werden direkt vom Prozessor aktiviert und schalten dann das entsprechende Relais.

### Monitorverstärker

Damit das anliegende NF-Signal auch im Klang bewertet werden kann, verfügt die Lautsprecherlastnachbildung über einen eingebauten Monitorverstärker. Abbildung 6 zeigt im mittleren Teil den entsprechenden Schaltungsausschnitt. Die Umschaltung zwischen den auf den Verstärker schaltbaren Kanälen erfolgt mit dem Relais REL 8. Im stromlosen Zustand (gezeichnet) liegt das NF-Signal des linken Eingangskanals an. Zur Einstellung der Lautstärke bilden R 4 und das auf der Frontplatte befindliche Potentiometer R 127 einen Spannungsteiler. Mit den beiden Dioden D 14 und D 15 wird der als Eingangspuffer arbeitende Operationsverstärker IC 8 A gegen zu hohe Eingangsspannungen geschützt. Der nachfolgende Operationsverstärker IC 8 B bildet in Verbindung mit seiner Beschaltung einen Hochpass 2. Ordnung mit einer Grenzfrequenz von 200 Hz. Hierin eingebunden ist auch die Treiberstufe aus T 3 und T 4, welche die Leistung für die Ansteuerung des Lautsprechers aufbringt.

Die Implementierung des Hochpasses ist notwendig, um die tiefen Frequenzen von dem nur kleinen Lautsprecher, der an ST 17 und ST 18 angeschlossen ist, fern zu halten. Ohne diese Maßnahme leidet die Verständlichkeit der Wiedergabe extrem, da der Lautsprecher sofort von den leistungsstarken Tiefbasssignalen übersteuert wird. Die Reihenschaltung aus R 6 und C 33 sorgt für eine Schwingneigungsunterdrückung.

### Messgleichrichter

Neben dem Monitorlautsprecher wird auch das NF-Signal für die Leistungsmessung am Relais REL 8 ausgekoppelt. Hier geht das NF-Signal über den Spannungsteiler aus R 9 und R 17 auf den Eingangspuffer IC 6 B. Für die Umschaltung des Messbereiches wird mittels IC 9 der Widerstandsteiler verändert. Das Steuersignal „Range“, das direkt vom Mikrocontroller kommt, schaltet die beiden Widerstände R 15 und R 16 über die internen Schalter in IC 9 parallel zu R 17.

Die nachfolgende Schaltung aus IC 6 C und IC 6 A mit Beschaltung stellt den Präzisionsgleichrichter dar. Prinzipiell arbeitet dieser Gleichrichter mit einer Einweggleichrichtung und einem nachfolgen-

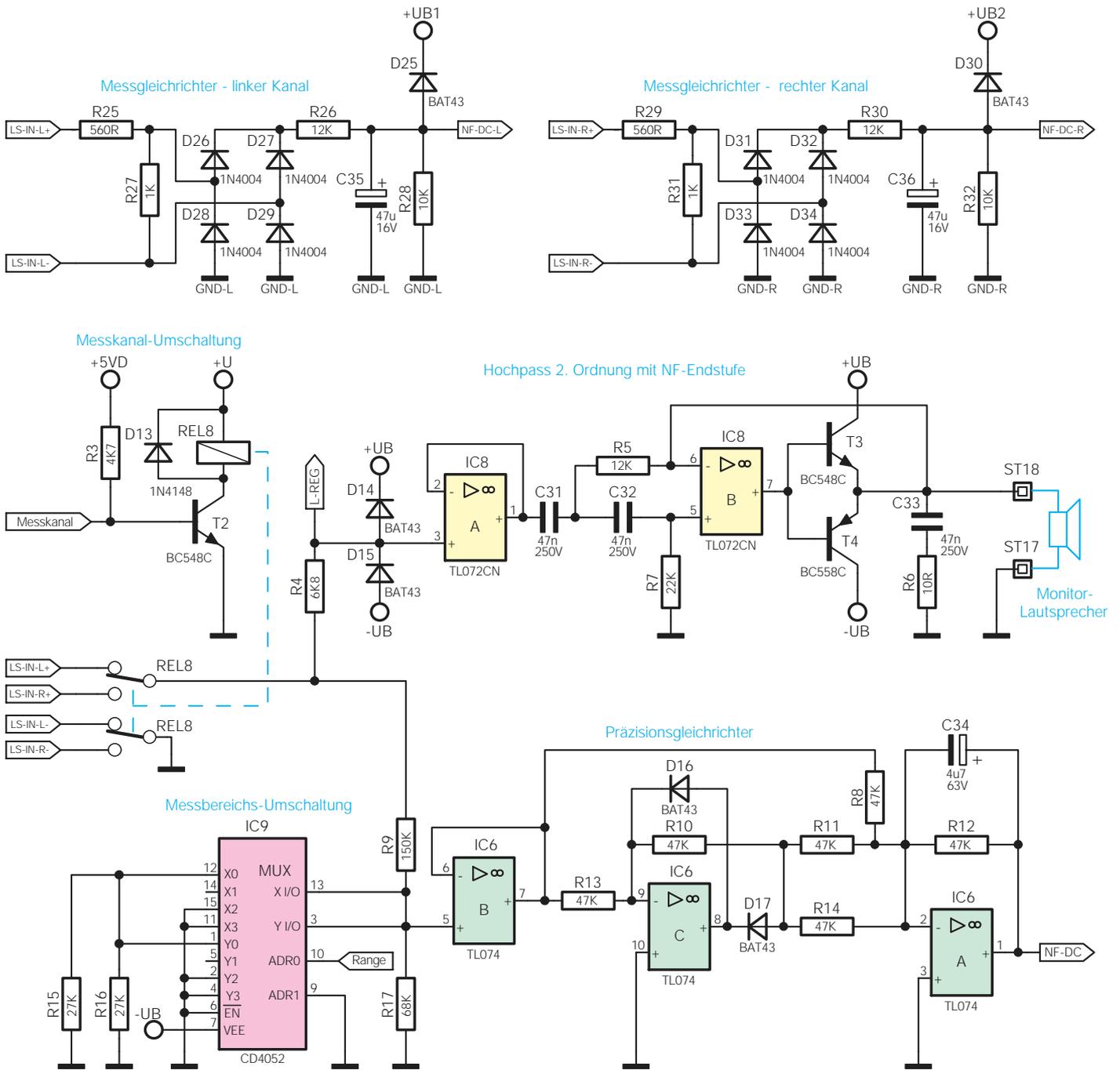


Bild 6: Schaltungsteile: Messgleichrichter und Monitorlautsprecher

den Umkehrdioden. Den Gleichrichter bilden IC 6 C, die Dioden D 16 und D 17 sowie R 10 und R 13. Am Ausgang dieses Schaltungsteiles (Anode D 17) liegt ein einweggleichgerichtetes Sinussignal an. Dieses wird mit dem ursprünglichen Sinussignal (Ausgang des Pufferverstärkers IC 6 B) addiert. Bei diesem Addiervorgang, den IC 6 A ausführt, sind die beiden Eingangssignale jedoch unterschiedlich gewichtet. Dem Eingangssignal (über R 8) wird das gleichgerichtete Signal (über R 11, R 14) mit doppelter Amplitude hinzuaddiert. Das Ergebnis dieser Addition hat die Signalform einer Zweiweggleichrichtung. Der Kondensator C 34 dient im Prinzip zur Siebung, so dass am Ausgang des Addie-

rs IC 6 A eine Gleichspannung anliegt. Diese wird dann vom Analog-/Digitalwandler weiterverarbeitet. Aus diesem Gleichspannungswert berechnet der Mikrocontroller letztlich die angezeigte Leistung.

### Bargraphanzeigen

Neben dem Präzisionsgleichrichter gibt es für die beiden Bargraphanzeigen noch zwei einfache Messgleichrichter. Da hier keine hohe Anforderung an die Genauigkeit gestellt wird, sind diese als normale Brückengleichrichter aufgebaut. In Abbildung 6 sind diese oben abgebildet. Das an den Eingangsbuchsen anliegende NF-Signal (zugeführt über „LS-IN-L“

und „LS-IN-R“ bzw. „LS-IN-R+“ und „LS-IN-R“) gelangt über den Spannungsteiler aus R 25 und R 27 bzw. R 29 und R 31 auf den zugehörigen Brückengleichrichter. Der nachfolgende Schaltungsteil aus dem Widerstandsteiler R 26, R 28 und C 35 bzw. R 30, R 32 und C 36 dient der Pegel-

anpassung und Glättung. Die Gleichspannungen „NF-DC-L“ und „NF-DC-R“, die einem dem NF-Eingangssignal proportionalen Wert annehmen, gelangen anschließend auf die beiden ICs der Bargraphanzeigen IC 103 und IC 104. Diese ICs vom Typ LM 3914, die in Abbildung 7 dargestellt sind, wandeln die anliegende Gleichspannung in eine LED-Leuchtbalkenanzeige um. Da das Gleich-

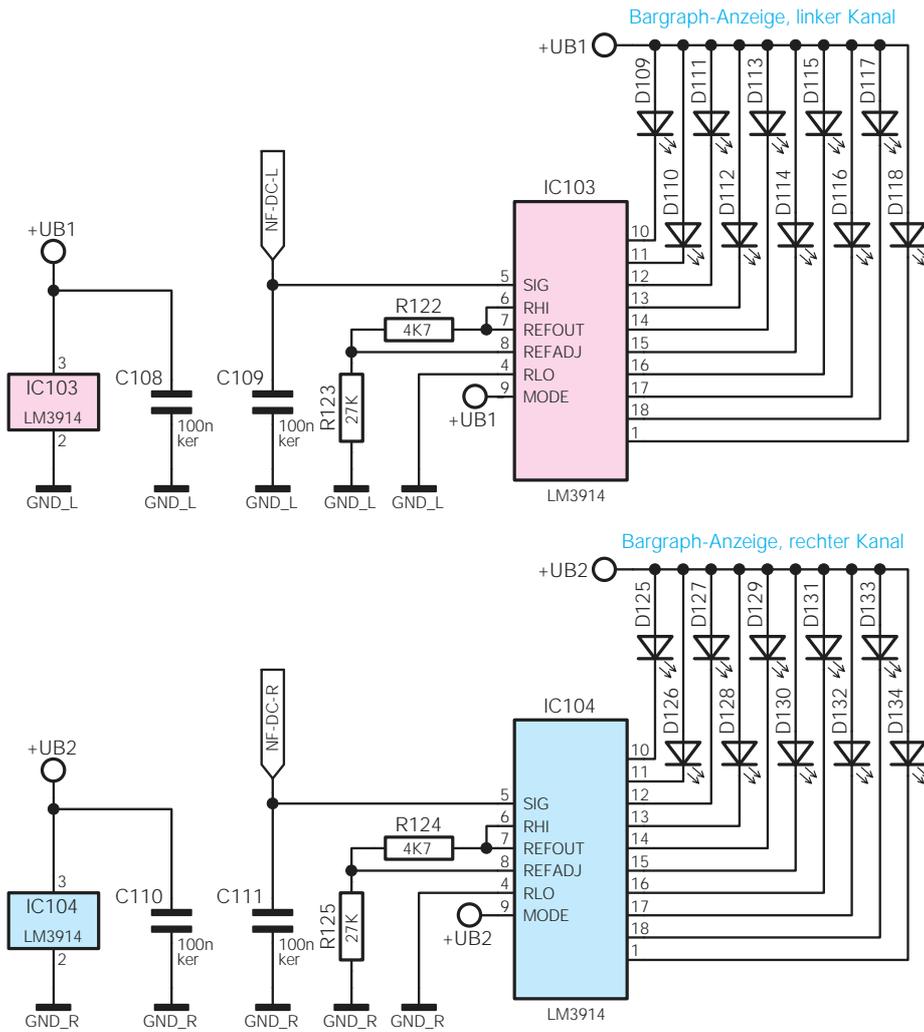


Bild 7: Bargraphanzeigen

spannungssignal eine quadratische Abhängigkeit zur eingespeisten Leistung hat, ist auch die in Leistung geeichte Skala nicht-linear eingeteilt. Diese „natürliche“ Nicht-linearität bringt den Vorteil mit sich, dass auch noch bei kleinen Leistungen eine sinnvolle Anzeige zustande kommt.

Das Funktionsprinzip dieser ICs ist recht einfach. Das IC detektiert die am Signaleingang (Pin 5) angelegte Spannung und steuert dementsprechend seine 10 LED-Ausgänge an. Dabei wird der Eingangsspannungsbereich, der mit den Widerständen R 122 und R 123 bzw. R 124 und R 125 festgelegt wird, linear aufgeteilt und je einer LED zugeordnet. Ob nur die zum Spannungswert zugehörige LED leuchten soll (moving dot) oder auch alle „niedrigerwertigeren“ LEDs (bar graph) lässt sich hardwaremäßig am IC programmieren. Liegt der Programmierpin (Pin 9) wie hier auf Betriebsspannungspotential, arbeitet das Gerät im für Messgeräte üblichen Bargraphmode. Neben der Signalverarbeitung, einer Referenzspannungsquelle und 10 Präzisionskomparatoren beinhaltet das IC auch LED-Treiber mit integrierter Strombegrenzung, so dass auf externe Widerstände in den LED-Zweigen verzichtet werden kann.

### Analog-/Digitalwandler

Ist die Leistungsanzeige über den Bargraphen eher ein Hilfsmittel, um schnell einen Leistungsabfall etc. zu erkennen, so muss die numerische Anzeige der Leistung mittels der 7-Segmentanzeigen eine höhere Genauigkeit bringen. Daher ist zum einen die Umwandlung des Wechselspannungssignales in eine leichter zu verarbeitende Gleichspannung durch eine Präzisionsgleichrichter realisiert, zum anderen sind die weiterverarbeitenden Schaltungsteile entsprechend ausgelegt – allen voran der A/D-Wandler.

Der in Abbildung 8 oben dargestellte Wandler arbeitet nach dem Dual-Slope-Verfahren. Hiermit lassen sich sehr hohe Auflösungen mit relativ geringem Aufwand realisieren. Der wesentliche Nachteil dieser Schaltung ist die kleine Wandlungsrate. Hier lassen sich nur wenige Abtastungen pro Sekunde realisieren. Dies ist in dieser nicht zeitkritischen Anwendung allerdings kein Problem.

Die gesamte Steuerung des Wandlers erfolgt über den Mikrocontroller. Mit den beiden Steuersignalen „ADS1“ und „ADS2“ wählt der Mikrocontroller am Multiplexer IC 7 das zu wandelnde Signal

aus. Neben der zur eingespeisten NF-Leistung proportionalen Gleichspannung „NF-DC“ ist dies noch die Messspannung aus der Temperaturüberwachung „Temp“. Die hier weiterhin noch anliegende Referenzspannung, welche die Spannungsreferenz D 35 generiert, wird für den eigentlichen A/D-Wandlungsvorgang benötigt.

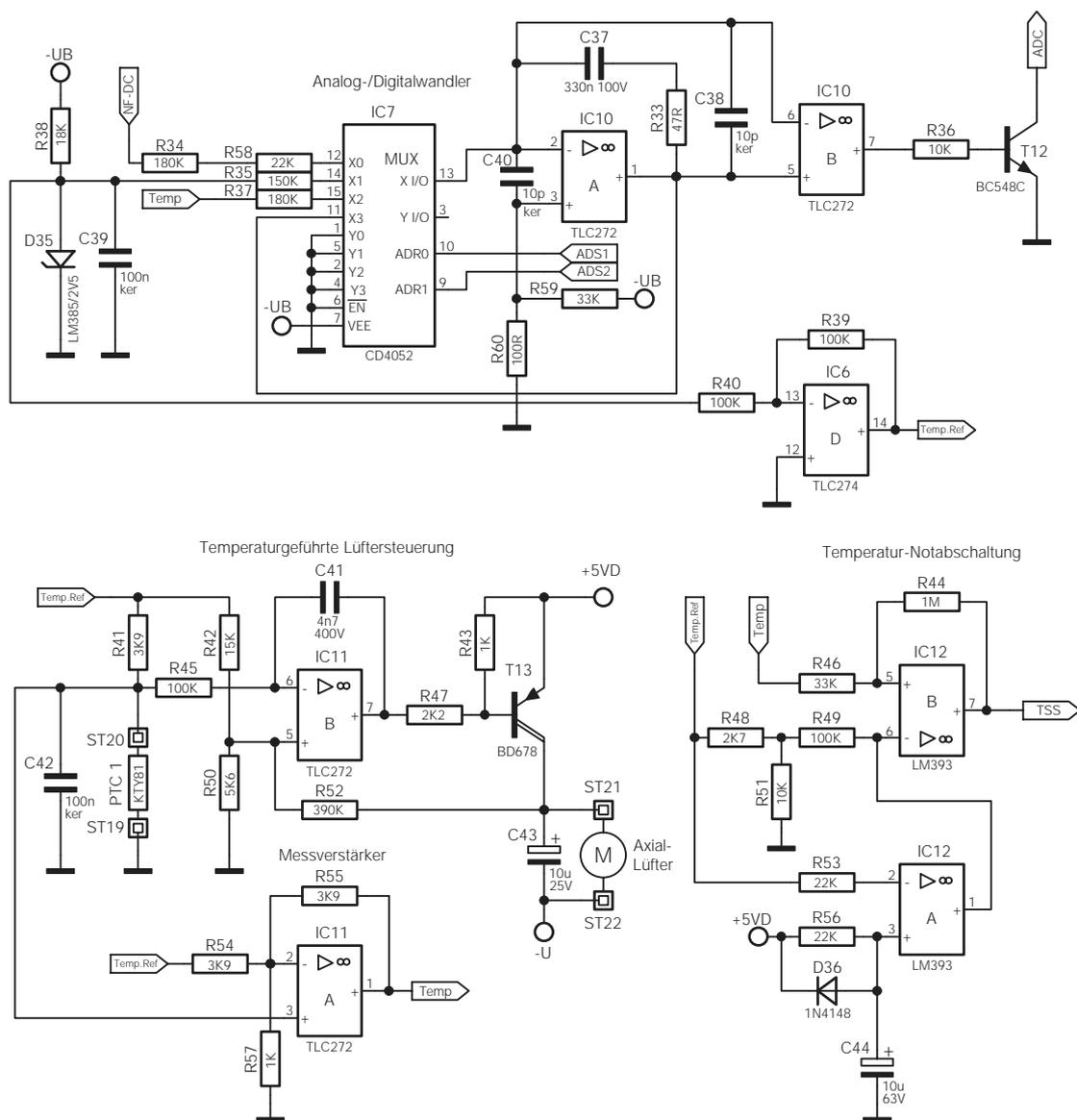
Bei einer Wandlung wird zunächst das Messsignal auf den als Integrator beschalteten Operationsverstärker IC 10 A gegeben. Der Prozessor startet gleichzeitig seinen internen Timer zur Zeiterfassung. Aufgrund der Polarität des Messsignals ergibt sich eine ins Negative laufende Rampe. Nach einer definierten Zeit ist das Ende der ersten Integrationsphase erreicht und der Prozessor schaltet den Wandlereingang auf die Referenzspannung um. Die prozessorinterne Zeitmessung wird gleichzeitig wieder gestartet. Da die Polarität der Referenzspannung negativ ist, steigt die Spannung am Ausgang des Integrators (Pin 1) wieder rampenförmig an. Wenn die Spannung wieder auf 0 V angestiegen ist, schaltet der Komparator IC 10 B um. Dieser gibt über den Transistor T 12 einen Impuls auf den Mikrocontroller, der die interne Zeitmessung stoppt. Aus dem Vergleich der Integrationszeiten und der bekannten Referenzspannung lässt sich dann prozessorintern die anliegende Messspannung berechnen, mit der wiederum die eigentlich zu ermittelnden Größen Temperatur oder Eingangsleistung bestimmt werden.

### Temperaturmanagement

Die Kühlkörpertemperatur wird in zweifacher Weise genutzt. Zum einen erfolgt hierüber die Regelung der Lüfterdrehzahl, zum anderen dient sie als Eingangsgröße für die Temperaturüberwachung. Beide Schaltungsteile sind in Abbildung 8 unten zu sehen.

Der am Kühlkörper montierte Temperatursensor PTC 1 wird gleichzeitig in zwei Brückenschaltungen betrieben. Die Brückenschaltung aus R 41, PTC 1, R 42 und R 50 steuert die temperaturgeführte Lüftersteuerung. Hier ändert sich die Lüfterdrehzahl in Abhängigkeit von der Kühlkörpertemperatur. Somit lassen sich Störgeräusche durch den Lüfter auf ein Minimum reduzieren. Nur wenn der Kühlkörper wirklich Leistung abführen muss, wird

**Bild 8: Schaltungsteile:  
Analog-/Digitalwandler  
und Temperatur-  
management**



auch die Drehzahl erhöht, während der Lüfter bei kleinen Verlustleistungen gar nicht läuft. Die Regelung ist so konzipiert, dass die Zwangskühlung erst ab einer Kühlkörpertemperatur von ca. 50 °C beginnt. Der Ausgang des als Reglers beschalteten Operationsverstärkers IC 11 B steuert direkt den Treibertransistor des Lüfters T 13 an. Die Rückkopplung der Lüfterspannung über R 52 verbessert dabei Regeleigenschaften.

Die zweite Brückenschaltung aus R 41, PTC 1, R 54 und R 57 befindet sich in der Messwertaufbereitung. Die Spannung in dieser Brückendiagonalen wird mit IC 11 A entsprechend verstärkt. Der Widerstand R 55 sorgt dabei für eine Linearisierung der Temperatursensorkennlinie. Das Ausgangssignal dieses Messverstärkers „Temp“ gelangt anschließend auf den A/D-Wandler. Der Mikrocontroller berechnet dann aus dem digitalisierten Spannungswert die konkrete Kühlkörpertemperatur.

Zur Speisung der Brückenschaltungen ist eine stabilisierte Referenzspannung notwendig, die aus der Spannungsreferenz

D 35 mit Hilfe des Operationsverstärkers IC 6 D gewonnen wird.

Das „Temp“-Signal geht weiterhin auf die Temperatur-Notabschaltung. Diese greift ein, wenn der Mikrocontroller aus irgendeinem Grunde nicht in der Lage sein sollte, die Last bei einer zu hohen Kühlkörpertemperatur abzuschalten. Normalerweise ermittelt der Controller alle 30 Sekunden die Kühlkörpertemperatur und vergleicht diese mit einer hinterlegten Abschalttemperatur. Überschreitet die Kühlkörpertemperatur die Abschalttemperatur, wird zum Schutz der Lastwiderstände die Last abgeschaltet, d. h. die Verbindung zwischen Eingangsbuschen und Lastwiderständen getrennt. Eine solche sicherheitsrelevante Abschaltung muss aber auch dann noch gewährleistet sein, wenn der Mikrocontroller beispielsweise einen Defekt aufweist.

Für diesen eher unwahrscheinlichen Fall ist mit IC 12 und Beschaltung eine Notabschaltung implementiert. Übersteigt die Kühlkörpertemperatur den mit R 48 und R 51 festgelegten Wert, dann kippt der

Komparator IC 12 B um und sorgt dafür, dass über das Signal „TSS“ und den Schalttransistor T 1 im Netzteil (Abbildung 10) die Versorgungsspannung der Relais ausgeschaltet wird. IC 12 A sorgt dafür, dass sich auch beim Fehlen der Versorgungsspannung für das Digitalteil eine Kombination an Relaisstellungen einstellen kann, die ggf. einen angeschlossenen Verstärker schädigen könnte.

### Digitalteil

Zentrales Bauteil des Digitalteiles (Abbildung 9) ist der Mikrocontroller IC 105. Die Hauptaufgabe liegt in der Koordination, der Bedienung und der Berechnung von Leistung und Temperatur. Die Bedieneingriffe erfasst der Controller über die Abfrage der an Port 2 angeschlossenen Tasten TA 100 bis TA 104. Die Ansteuerung der LEDs und 7-Segmentanzeigen erfolgt im Multiplexbetrieb. Die Steuersignale „A“ bis „E“ wählen eine 7-Segmentanzeige bzw. eine LED-Gruppe aus, während gleichzeitig am Port 0 die Bitkombination für das hier darzustellende

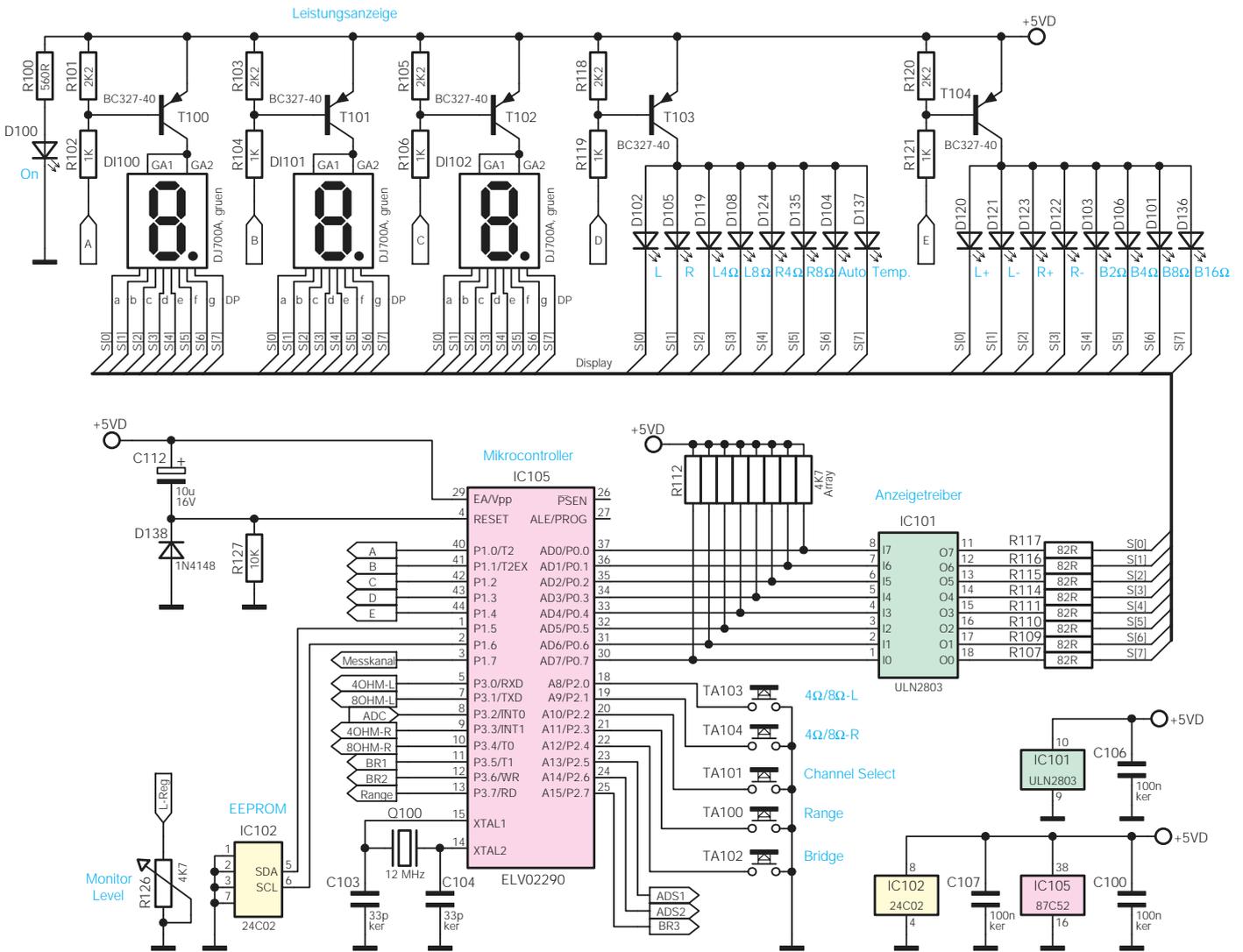


Bild 9: Schaltung des Digitalteiles

„Zeichen“ erscheint. Da weder die Ausgangsleistung von Port 1 reicht, um die jeweilige Anzeige auszuwählen, noch die Leistung von Port 0 ausreicht, um die einzelnen Segmente anzusteuern, sind alle betreffenden Controllerausgänge mit externen Treiberbausteinen versehen. Dabei dient IC 101 als Segmenttreiber, während die Transistoren T 100 bis T 104 die Funktion als Treiber für eine gesamte 7-Segmentanzeige bzw. für eine LED-Gruppe übernehmen.

Die Ansteuerung der Relais erfolgt über den Port 3 (außer P 3.2) sowie über den Portpin P 2.7 des Prozessors. Für die Kommunikation mit dem A/D-Wandler stehen 3 Leitungen zur Verfügung. Während die Leitungen „ADS1“, „ADS2“ das zu wandelnde Signal auswählen, erfolgt über das „ADC“-Signal die Wandlungsende-Erkennung.

Die aus einer Wandlung gewonnenen Messwerte werden mittels Look-Up-Tables (LUT) weiter verarbeitet. Im Falle der Temperaturmessung gibt die LUT die Zuordnung zwischen ermitteltem Spannungswert und Temperatur. So wird die nichtli-

neare Kennlinie des Sensors mittels der Tabelle korrigiert.

Zur Bestimmung der Leistung wird ein Spannungswert ermittelt, der mit Hilfe der LUT in die zugehörige an den Klemmen anliegende Wechselspannung umgewandelt wird. Aus dieser Wechselspannung wird dann bei bekanntem Lastwiderstand die entsprechend umgesetzte Leistung bestimmt. Mathematisch ist dies wie folgt zu betrachten.

Die allgemeine Definition der Wirkleistung lautet wie folgt:

$$P = \frac{1}{T} \int_{(T)} u(t) \cdot i(t) dt$$

Sie ist das Integral über das Ergebnis der Multiplikation der Momentanwerte von Spannung  $u(t)$  und Strom  $i(t)$ . Bei rein sinusförmigen Wechselgrößen und einer rein ohmschen Last kann stark vereinfacht werden, so dass sich letztlich die folgende bekannte Formel ergibt:

$$P = U \cdot I$$

Die Leistung stellt sich somit als Multi-

pplikation der Effektivwerte von Spannung und Strom dar. Da die Impedanz an der die Leistung umgesetzt wird als rein ohmsch angenommen wurde, kann das ohmsche Gesetz in seiner einfachsten Form angewandt werden:

$$I = \frac{U}{R}$$

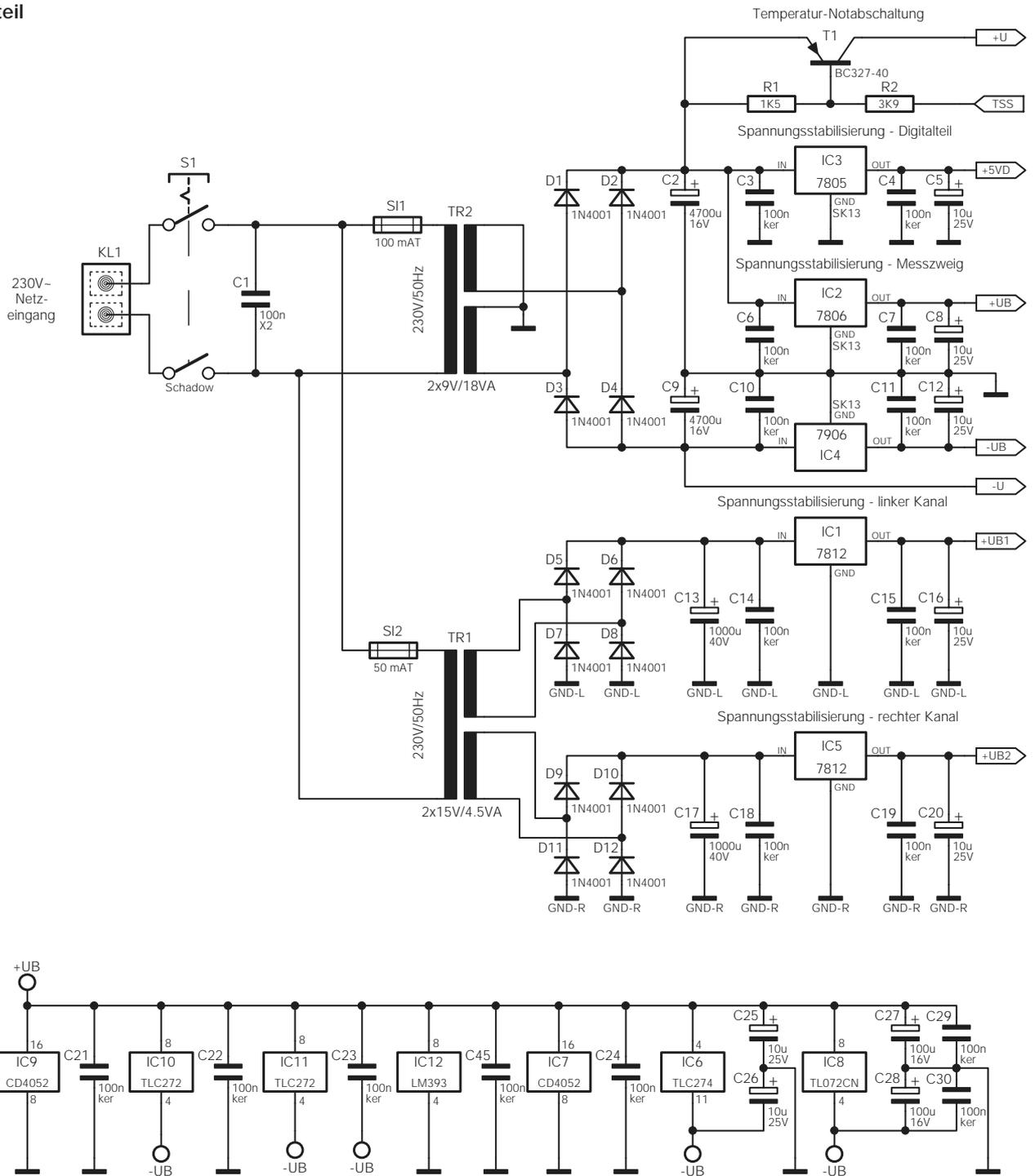
Setzt man diese Formel in die darüber stehende ein, so ergibt sich für die Leistungsbestimmung bei bekanntem Widerstandswert und bekannter Spannung folgende Bestimmungsgleichung:

$$P = \frac{U^2}{R}$$

Genau diese Gleichung wertet der Prozessor bei jeder Leistungsbestimmung aus. Der aus A/D-Wandlung und LUT ermittelte Effektivwert der Wechselspannung wird quadriert und das Ergebnis durch den Widerstandswert geteilt.

Um die Genauigkeit der Leistungsbestimmung zu steigern, werden die Widerstandswerte nicht mit 4 Ω, 8 Ω usw. angenommen, sondern während des Abgleich-

Bild 10: Netzteil



vorganges auf 2 Stellen nach dem Komma bestimmt. Somit rechnet der Prozessor dann beispielsweise nicht mit angenommenen 8 Ω, sondern mit einem ausgemessenen Wert von z. B. 7,92 Ω. Beim Abgleichvorgang werden alle Widerstandskombinationen exakt vermessen und die so ermittelten Werte im EEPROM IC 102 nichtflüchtig gespeichert.

### Netzteil

Für eine echte Stereo-Lautsprecherlastnachbildung ist es zwingend erforderlich, dass beide Kanäle galvanisch voneinander getrennt sind. Nur so lassen sich an ihr alle verschiedenen Endstufentypen betreiben.

Auf diese Anforderung muss das gesamte Schaltungskonzept ausgelegt sein. Der Mehraufwand, den eine strikte galvanische Trennung mit sich bringt, macht sich in der Auslegung des in Abbildung 10 dargestellten Netzteiles am deutlichsten bemerkbar. So sind hier im Prinzip drei komplett galvanisch voneinander getrennte Spannungsversorgungseinheiten zu sehen.

Der Transformator TR 1 versorgt die beiden Bargrahanzeigen. Da der Trafo zwei getrennte Sekundärwicklungen besitzt, ist hier die Trennung gegeben. Die Ausgangsspannung des Transformators wird jeweils über einen Brückengleichrichter (D 5 bis

D 8 bzw. D 9 bis D 12) gleichgerichtet. Nach anschließender Siebung und Stabilisierung (IC 1 und IC 5) stehen dann die beiden Betriebsspannungen „+UB1“ und „+UB2“ zur Verfügung.

Alle anderen Komponenten des Gerätes versorgt der Transformator TR 2. Die als Mittelpunktleichter beschalteten Dioden D 1 bis D 4 erzeugen eine unstabilierte positive und negative Betriebsspannung. Aus der positiven Spannung wird über den Schalttransistor T 1 die Betriebsspannung für die Relais gewonnen. Weiterhin generiert der Spannungsregler IC 3 hieraus die +5 V Spannung für das Digitalteil („+5VD“) und der Regler IC 2 die +6 V

Spannung („+UB“) für den Messzweig, die Monitorlautsprecheransteuerung usw. Die für einige Schaltungsteile benötigte negative Spannung („-UB“) erzeugt der Spannungsregler IC 4.

Primärseitig sorgen die beiden Sicherungen SI 1 und SI 2 noch für einen entsprechenden Überlastschutz. Damit wird die detaillierte Beschreibung der interessanten Schaltungstechnik des ALD 9000 abgeschlossen.

### Nachbau

Der Nachbau der Audio-Lautsprecher-nachbildung gestaltet sich recht einfach und übersichtlich. Aufgrund der Verwendung bedrahteter Bauteile (bis auf den Mikrocontroller) ist er auch von weniger geübten Elektronikern binnen weniger Stunden durchführbar.

Diese Aufbauanleitung gliedert sich dabei in den Aufbau der Front- und Basisplatine, den Gehäuseeinbau und die Inbetriebnahme mit Abgleich. Die gesamte Schaltung der ADL 9000 findet auf der 337 mm x 188 mm große Basisplatine und der Frontplatine Platz. Die 337 mm x 81 mm messende Frontplatine trägt die Anzeigeelemente und Bedientasten. Außerdem ist hier der Prozessor untergebracht. Auf der Basisplatine sind neben dem Netzteil der gesamte Leistungsteil, die Ansteuerung von Lüfter und Lautsprecher sowie der Analog-/Digitalwandler zu finden.

Um eine optimierte Signalführung und sehr gute EMV-Eigenschaften garantieren zu können, sind beide Platinen als doppelseitig durchkontaktierte Typen ausgeführt. Vor allem im Bereich der die Leistung übertragenden Leiterbahnen lassen sich so deren parasitären Eigenschaften gering halten.

Der Nachbau des Gerätes beginnt zunächst mit dem Aufbau der Frontplatine. Beim Aufbau der Leiterplatten sollte sorgfältig vorgegangen werden, da eine etwaige Fehlersuche aufwendig und nervenaufreibend ist. In diesem Zusammenhang empfiehlt es sich, die vorliegende Bauanleitung komplett durchzulesen, bevor mit dem Aufbau begonnen wird.

### Aufbau der Frontplatine

Die Bestückung der Frontplatine erfolgt anhand des Bestückungsdruckes und der Stückliste, wobei aber auch das dargestellte Platinenfoto hilfreiche Zusatzinformationen liefern kann. Die Frontplatine ist sehr übersichtlich aufgebaut, wodurch beim Nachbau keine Probleme auftreten dürften. Alle Bauteile, bis auf den Mikrocontroller IC 105, sind auf der Bestückungsseite angeordnet.

Im ersten Nachbauschnitt sind die Kondensatoren und Widerstände einzulöten.

Bei den Elektrolyt-Kondensatoren ist dabei unbedingt die richtige Polung (Minus-Pol ist am Bauteil gekennzeichnet) zu beachten. Die Einbaulage des Widerstandsarrays (R 112) ist durch die Punktmarkierung (Pin 1) am Bauteil gegeben. Anschließend können der Widerstandstrimmer R 126 und der Quarz eingesetzt werden.

Die Bestückung der Transistoren erfolgt mit einem Abstand von max. 7 mm zwischen Platine und Transistoroberseite. Die korrekte Polung ergibt sich dabei automatisch aus der Anordnung der Anschlussbeine. Beim folgenden Einbau der Dioden und ICs ist die richtige Polung wiederum explizit sicherzustellen. Bei den Dioden zeigt der Katodenring auf dem Bauteil, der mit der Markierung im Bestückungsdruck übereinstimmen muss, die Polarität an. Die richtige Polung der ICs ergibt sich aus dem Bestückungsdruck. Der Mikrocontroller IC 105 wird dabei zunächst nicht betrachtet, da er zu einem späteren Zeitpunkt eingesetzt wird. Das dargestellte Symbol der bedrahteten ICs verdeutlicht die Einbaulage mit der gezeichneten Gehäuseeinkerbung, die genau mit der im IC-Gehäuse übereinstimmen muss.

Damit die LEDs und 7-Segment-Anzeigen später ordnungsgemäß durch die Frontplatte scheinen, müssen diese vor dem Anlöten ausgerichtet werden. Dazu sind die runden 3 mm Leuchtdioden und die 7-Segment-Anzeigen mit einem Abstand von 9 mm (von der Platine zur Diodenkörperspitze gemessen) zu positionieren. Die quadratischen LEDs der beiden Bargraph-Anzeigen müssen so tief eingesetzt werden, dass der Diodenkörper direkt auf der Platine aufliegt. Gleichzeitig ist bei allen LEDs und 7-Segment-Anzeigen sicherzustellen, dass die Diodenkörper sowohl in horizontaler als auch in vertikaler Richtung exakt ausgerichtet sind.

Bevor als letztes elektronisches Bauteil der Mikrocontroller auf die Frontplatine gelötet wird, sind die Tasten zu bestücken. Der Mikrocontroller IC 105 ist das einzige Bauelement in SMD-Bauform und daher auf der Lötseite angeordnet. Aufgrund des engen Pinabstandes ist beim Einlöten besondere Vorsicht geboten. Die Ausrichtung des ICs erfolgt gemäß des Bestückungsdruckes. Die hier gezeichnete abgeschrägte Ecke im Symbol findet sich auch am Bauteil wieder. Zusätzlich ist diese Ecke noch mit einem Punkt auf dem Gehäuse gekennzeichnet. Zum Einbau ist das Bauteil so zu positionieren, dass alle Anschlussbeine exakt auf den zugehörigen Platinenpads aufliegen. Nachdem zunächst nur ein Eckpin angelötet wurde, ist die korrekte Position nochmals zu prüfen und ggf. zu korrigieren. Anschließend ist auch dieses Bauteil komplett anzulöten.

Im letzten Arbeitsschritt zum Aufbau



### Achtung!

Aufgrund der im Gerät frei geführten Netzspannung dürfen Aufbau und Inbetriebnahme ausschließlich von Fachkräften durchgeführt werden, die aufgrund ihrer Ausbildung dazu befugt sind. Die einschlägigen Sicherheits- und VDE-Bestimmungen sind unbedingt zu beachten.

der Frontplatte erfolgt der Einbau des Lautsprechers. Zur Vorbereitung sind zunächst die Anschlüsse mit entsprechenden Anschlussleitungen zu versehen. Eine 50 mm lange rote Leitung (0,22 mm<sup>2</sup>) wird an den mit „+“ gekennzeichneten Anschluss angelötet, eine 50 mm lange schwarze Leitung (0,22 mm<sup>2</sup>) an den „-“-Anschluss. Dann wird der Lautsprecher so von vorne in die Platinenöffnung eingesetzt, dass die Anschlüsse zum unteren Platinenrand zeigen.

Die Fixierung erfolgt mit Hilfe von zwei Schellen, die von vorne jeweils so über den Befestigungsbohrungen in der Platine zu setzen sind, dass der Klemmbügel der Schelle über den Rand des Lautsprecher-Membrankorbes fasst. Die Schellen werden dann mit von der Platinenrückseite her durchzusteckenden M3x8-mm-Schrauben und von vorne aufzuschraubenden M3-Muttern mit unterlegten Fächerscheiben befestigt. Dabei ist darauf zu achten, dass der Lautsprecher in der Platinenaussparung zentriert ist.

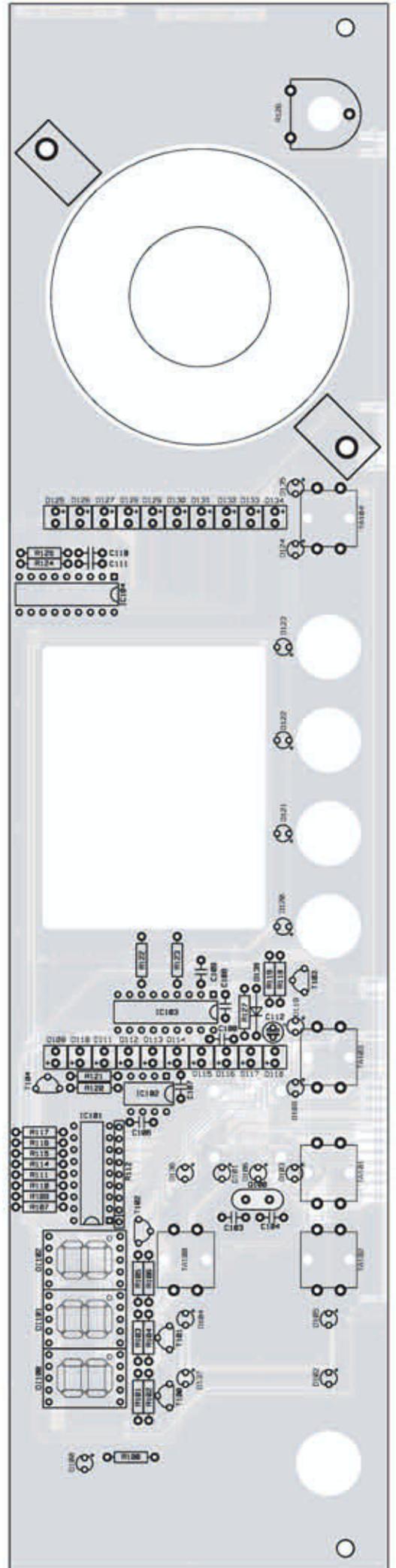
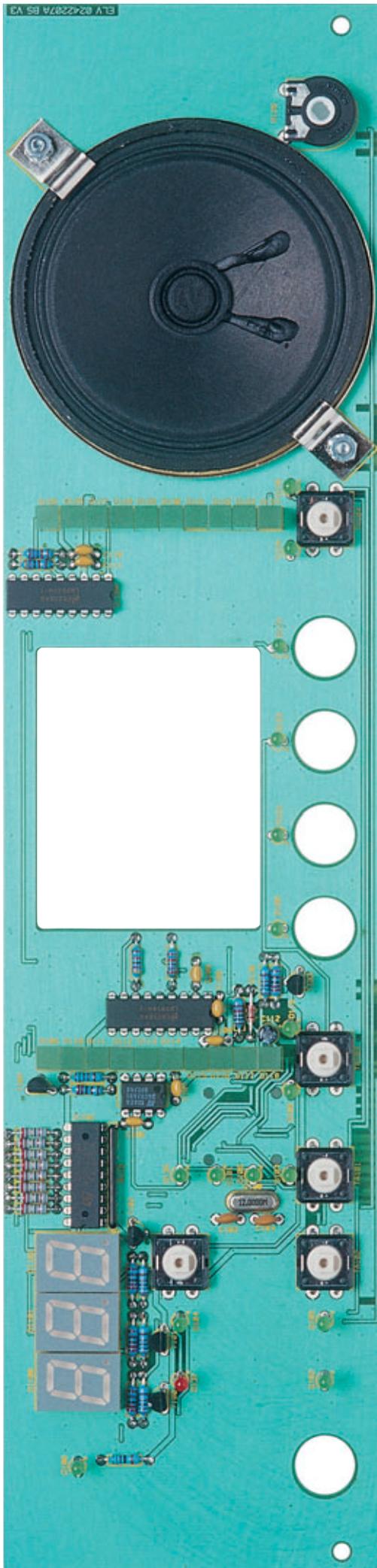
Damit ist der Aufbau der Frontplatine abgeschlossen. Nachdem diese auf korrekte Bestückung und Lötzinnbrücken hin untersucht worden ist, erfolgt der Aufbau der Basisplatine. Dazu ist aber zunächst das Lüfter-Kühlkörperaggregat für die Montage auf der Basisplatine vorzubereiten.

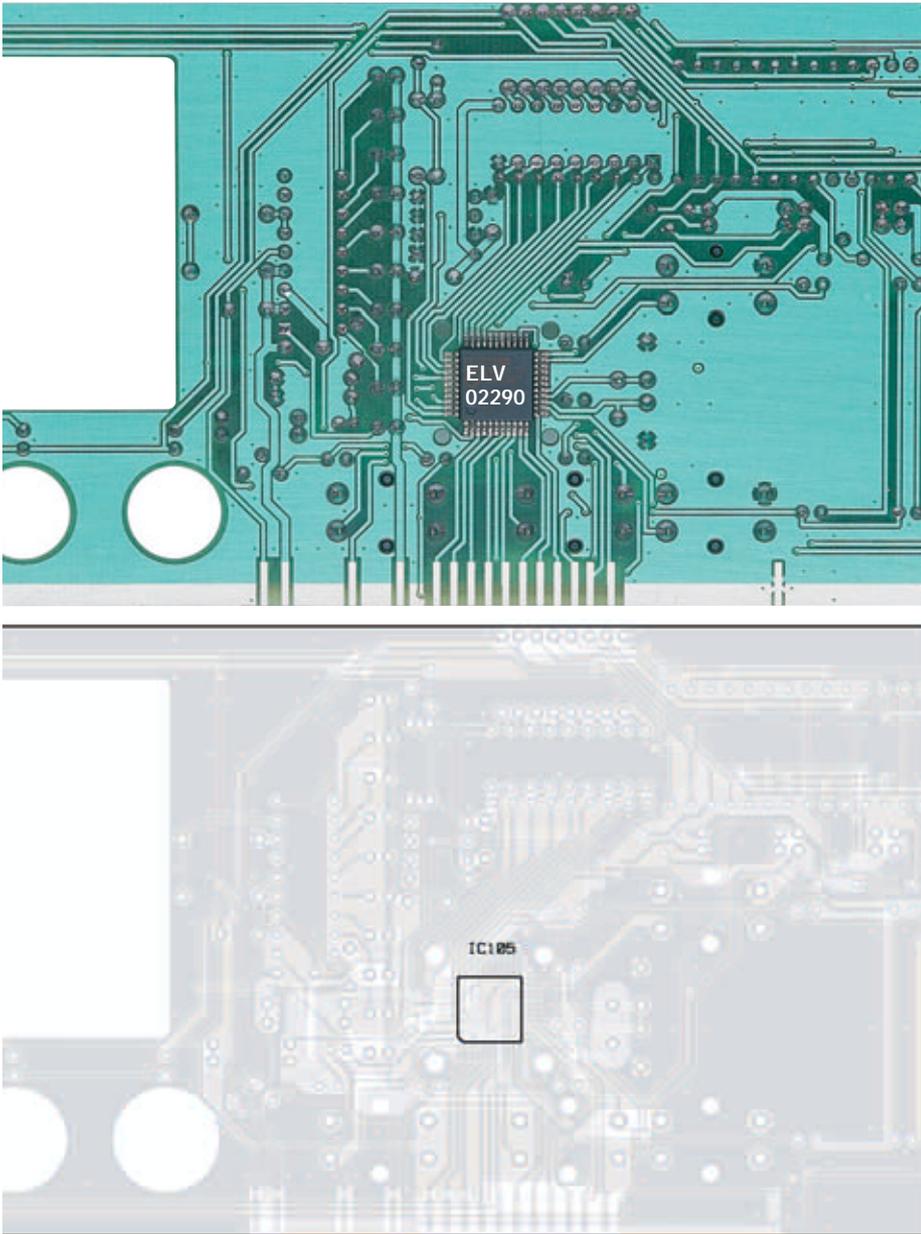
### Vorbereiten des Lüfter-Kühlkörperaggregates

Um die maximale Verlustleistung von 200 W im Dauerbetrieb abführen zu können, besitzt die Audio-Lautsprecherlastnachbildung im Leistungsteil ein Lüfter-Kühlkörperaggregat. Hierauf sind alle NF-Lastwiderstände so montiert, dass sie die an ihr umgesetzte Verlustleistung so gut wie möglich an den Alu-Kühlkörper abgeben. Damit dieser dann die entstehende Wärme abführen kann, erfolgt die Zwangsbelüftung des Kühlkörpers mit einem Axiallüfter. Mit dieser Konstruktion lässt sich die Verlustleistung von 200 W bei kleinsten Abmessungen abführen.

Zum Aufbau des Leistungsteiles sind zunächst die beiden Kühlkörperhälften zusammenzuschieben. Der Lüfter ist dann so auf eine Stirnseite des Kühlkörpers zu set-

Ansicht der fertig bestückten Frontplatine mit zugehörigem Bestückungsplan von der Bestückungsseite (Originalgröße: 337 x 81 mm)





Teilansicht der fertig bestückten Frontplatine mit zugehörigem Bestückungsplan von der Lötseite in Originalgröße

zen, dass das Typenschild zum Kühlkörper zeigt, d. h. nicht mehr sichtbar ist. In dieser Lage wird die Luft vom Lüfter durch den Luftkanal im Kühlkörper hindurchgepresst. Weiterhin ist darauf zu achten, dass sich das Anschlusskabel des Lüfters, von hinten gesehen, unten rechts befindet, wobei oben und unten am Kühlkörper dadurch definiert ist, dass sich dort keine (!) Verbindungsfalz befindet.

Die Befestigung des Lüfters am Kühlkörper mit 4 Schrauben M3 x 35 mm und unterlegten Fächerscheiben verhindert, dass sich beide Teile wieder gegeneinander verschieben. Die beiden Anschlussleitungen des Lüfters werden auf eine Länge von 110 mm gekürzt, 5 mm abisoliert und verzinkt und anschließend miteinander verdrillt.

Zur nun folgenden Montage der Hoch-

last-Widerstände muss die Abbildung 11 herangezogen werden. Hier ist die exakte Einbauposition dargestellt. Im ersten Schritt sind die M3-Muttern, in die später die Befestigungsschrauben der Widerstände einfassen, in die obere und untere Befestigungsnut einzuschieben und entsprechend zu positionieren. Anschließend sind die dünn mit Wärmeleitpaste eingestrichenen Widerstände gemäß Bild 11 aufzusetzen. Deren Fixierung erfolgt mit M3x6mm-Schrauben und unterlegten Fächerscheiben.

Sind die Widerstände verschraubt, so erfolgt die Vorbereitung der Anschlussdrähte. An die unteren Anschlüsse der Widerstände muss jeweils ein Silberdrahtstück als Verlängerung angelötet werden. Hierzu sind 30 mm lange Silberdrahtstücke anzufertigen, die an einer Seite auf ca.

### Stückliste: ADL 9000 Frontplatine

#### Widerstände:

82 Ω ..	R107, R109-R111, R114-R117
560 Ω .....	R100
1 kΩ ...	R102, R104, R106, R119, R121
2,2 kΩ ..	R101, R103, R105, R118, R120
4,7 kΩ .....	R122, R124
10 kΩ .....	R127
27 kΩ .....	R123, R125
Array, 4,7 kΩ .....	R112
PT15, liegend, 5 kΩ .....	R126

#### Kondensatoren:

33pF/ker .....	C103, C104
100nF/ker .....	C100, C106-C111
10µF/16V .....	C112

#### Halbleiter:

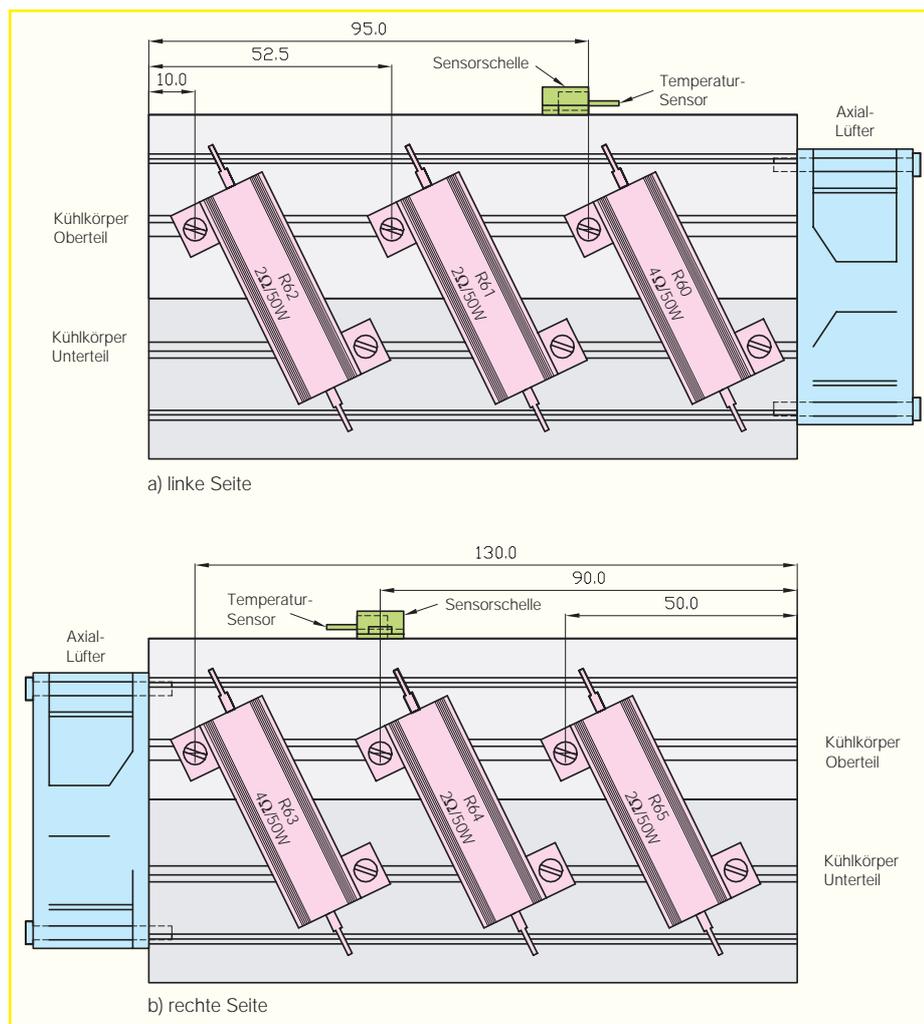
ULN2803 .....	IC101
24LC02 .....	IC102
LM3914 .....	IC103, IC104
ELV02290/SMD .....	IC105
BC327-40 .....	T100-T104
1N4148 .....	D138
LED, 3 mm, grün .....	D108, D119-D124, D135, D136
LED, 3 mm, rot .....	D137
LED, Rechteck, 5 x 5 mm, grün .....	D109-D118, D125-D134
DJ700, grün .....	DI100-DI102

#### Sonstiges:

Quarz, 12 MHz, HC49 U70/U4 .	Q100
Mini-Drucktaster, B3F-4050,	
1 x ein .....	TA100-TA104
1 Klein-Lautsprecher, 8Ω/0,8W, ø 77 mm	
5 Tastkappen für B3F-4050, 10 mm	
1 Steckachse, 4 ø x 27 mm	
1 Drehknopf, 12 mm, grau	
1 Kappe für Drehknopf, 12 mm, grau	
1 Pfeilscheibe, 12 mm, grau	
1 Gewindestift mit Spitze, M3 x 4 mm	
2 Sensorschellen	
2 Zylinderkopfschrauben, M3 x 8 mm	
2 Fächerscheiben, M3	
2 Muttern, M3	
5 cm flexible Leitung, ST1 x 0,22 mm <sup>2</sup> , rot	
5 cm flexible Leitung, ST1 x 0,22 mm <sup>2</sup> , schwarz	

4 mm Länge um 180° umzubiegen sind. Diese Enden werden jeweils in die unteren Anschlüssen der Widerstände eingehängt und dort verlötet.

Anschließend ist der Temperatursensor zu montieren. Deren Anschlussbeine sind zuvor mit zwei flexiblen Leitungen (0,22 mm<sup>2</sup>) zu verlängern. Die auf 180 mm abgelängten Kabelenden sind an beiden Seiten 4 mm abzuisolieren und zu verzinnen. Nachdem die Anschlussbeine des Temperatursen-



**Bild 11: Seitenansichten des Lüfter-Kühlkörperaggregates**

sors auf eine verbleibende Länge von 7 mm gekürzt sind, werden die beiden Leitungen dort angelötet. Anschließend müssen die Lötstellen mit je 15 mm Schrumpfschlauch isoliert werden. Das Verdrillen der beiden Leitungsenden vereinfacht die spätere Leitungsverlegung.

Die Montage des Temperatursensors auf der Oberseite des Kühlkörpers erfolgt mit einer Sensorschelle, wobei die Position aus der Darstellung in Abbildung 11 hervorgeht. Zunächst ist in die von vorne (vom Lüfter aus) gesehen rechte obere Befestigungsnut eine M3-Mutter einzuschieben und zu positionieren. Der dünn mit Wärmeleitpaste bestrichene Sensor liegt mit seiner abgeflachten Seite auf dem Kühlkörper auf, die Anschlussbeine zeigen dabei zum Lüfter. Die dann aufzusetzende Sensorschelle wird mit einer M3x6mm-Schraube und unterlegter Fächerscheibe fixiert. Damit ist die Vorbereitung des Kühlkörpers abgeschlossen.

### Aufbau der Basisplatine

Auch die Bestückung der Basisplatine erfolgt anhand des Bestückungsdruckes und der Stückliste. Das Platinenfoto zeigt die komplett aufgebaute Platine und kann so-

mit hilfreiche Detailinformationen liefern. Auf der Basisplatine sind alle Bauteile in bedrahteter Bauform ausgeführt, daher sind auch alle Teile auf der Oberseite zu bestücken.

Im ersten Schritt der Aufbauarbeiten sind die Widerstände und Kondensatoren (bei den Elektrolyt-Kondensatoren ist die korrekte Polung sicherzustellen) einzulöten. Anschließend können die Halbleiterbauelemente bestückt werden. Die Einbaulage des Transistors T 13 ist durch die dickere Linie im Bestückungsdruck markiert, die die Rückseite des Transistors, d. h. die Kühlfläche kennzeichnet. Bei den übrigen Transistoren ergibt sich die Orientierung aus der Pinanordnung. Auch bei der Bestückung der beiden Spannungsregler IC 1 und IC 5 markiert die dicke Linie im Bestückungsdruck die Lage des Kühlflansches.

Die übrigen 3 Spannungsregler sind aufgrund ihrer Verlustleistung liegend auf separaten Kühlkörpern zu montieren. Hierzu sind die Anschlussbeine der ICs im Abstand von 2,5 mm zum Gehäusekörper um 90° nach hinten abzuwinkeln. Das Befestigen der Kühlkörper auf der Platine erfolgt mit Schrauben M3 x 8 mm. Danach können die Spannungsregler aufgesetzt und mit-

tels Fächerscheibe und Mutter montiert werden. Erst nach dieser mechanischen Befestigung dürfen die elektrischen Verbindungen durch das Anlöten der Anschlussbeine hergestellt werden.

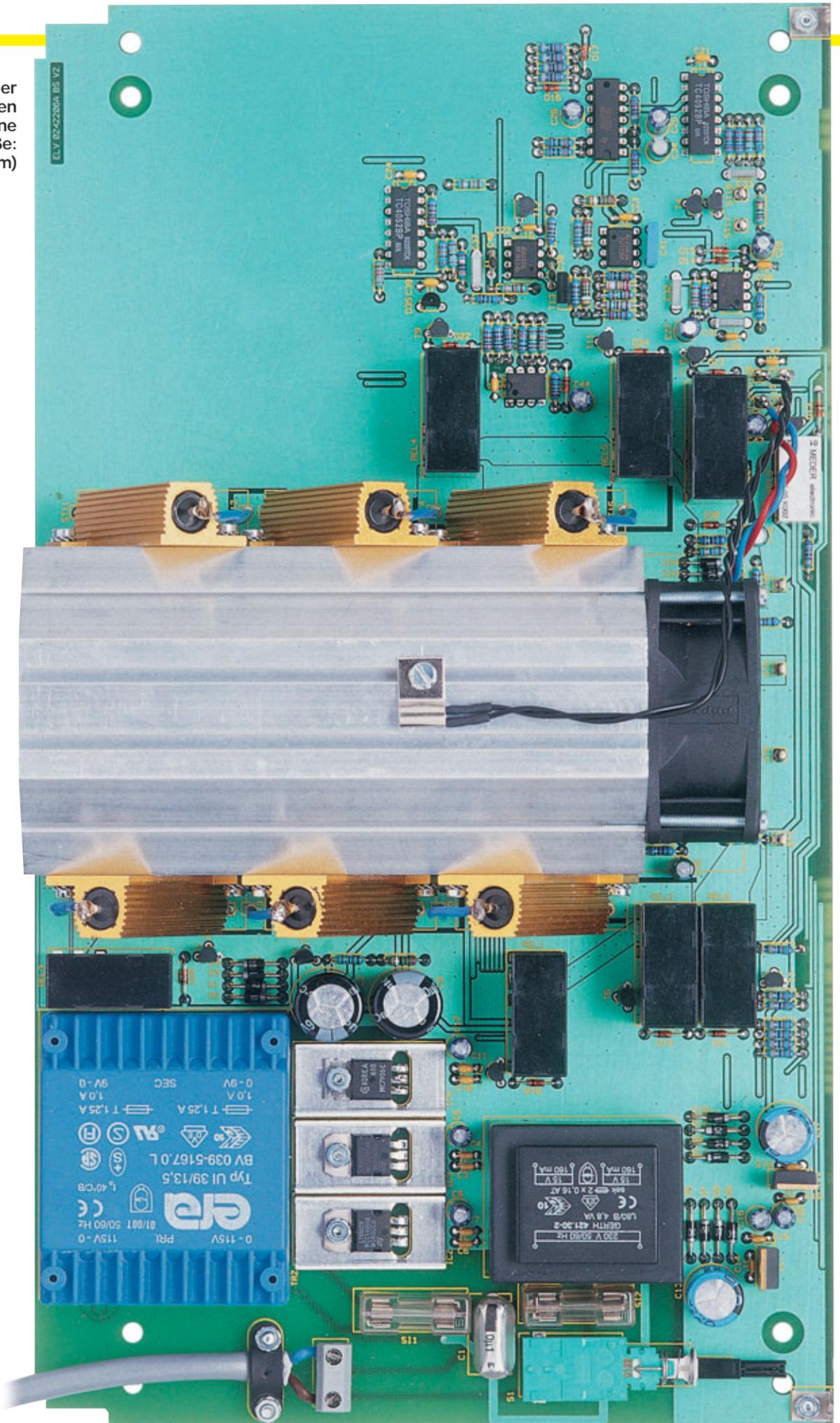
Die Einbaulage der ICs wird, wie bei der Bestückung der Frontplatte, durch die Gehäuseeinkerbung festgelegt. Nachdem auch diese Bauteile korrekt bestückt sind, folgt der Einbau der Netzanschlussklemme, des Netzschalters und der Lötstifte mit Öse. Letztere werden in die Bohrungen ST 7 bis ST 10 und ST 17 bis ST 22 eingesetzt. Die dann zu bestückenden Platinensicherungshalter sind gleich mit den entsprechenden Sicherungen zu versehen und mit Hilfe der aufzusteckenden Schutzkappen berührungssicher zu machen.

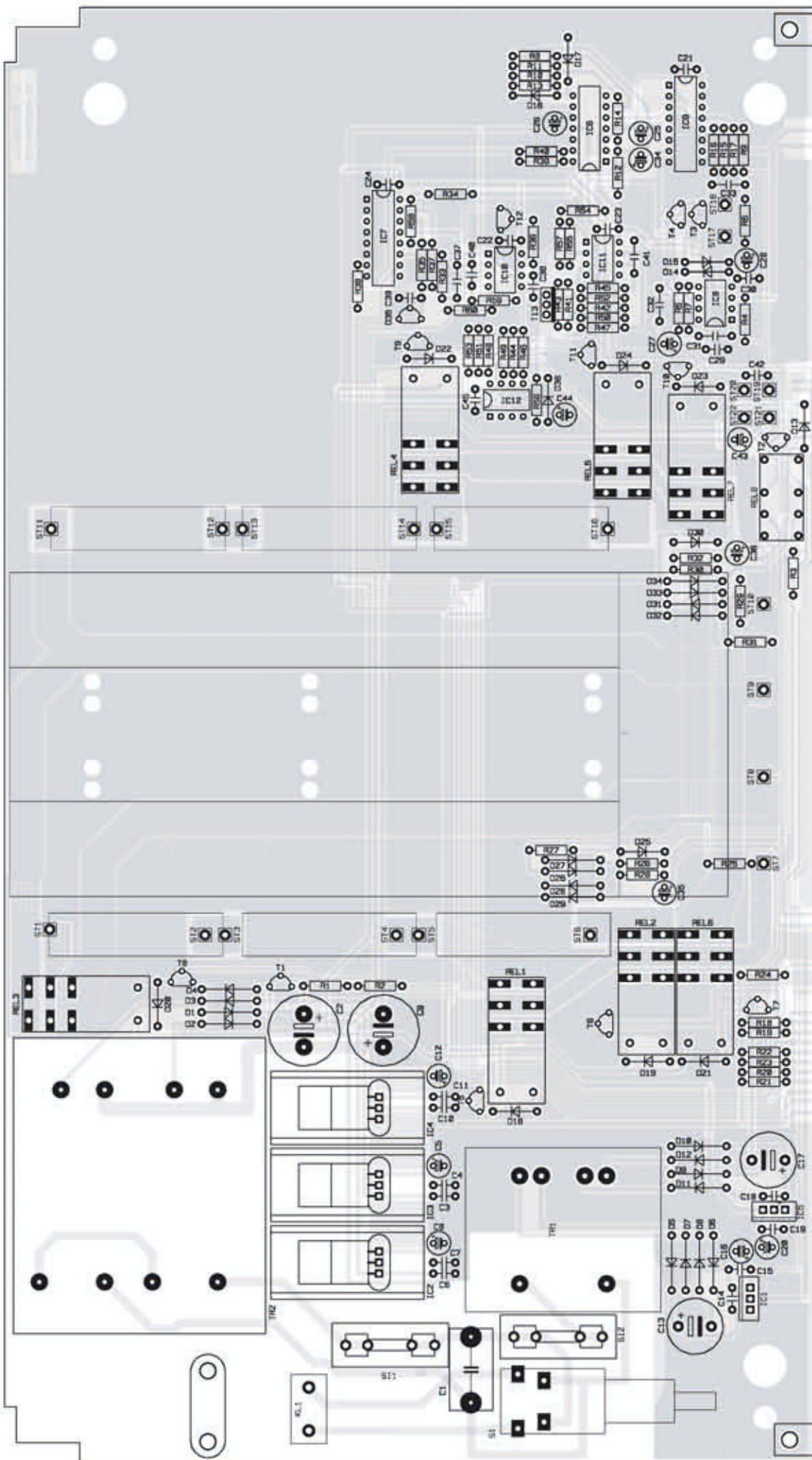
Für eine einfachere Verdrahtung des Lüfter-Kühlkörperaggregates werden nun die Leitungen zum Anschluss der oben liegenden Widerstandskontakte eingesetzt. Die 6 Leitungen (0,75 mm<sup>2</sup>) sind auf eine Länge von 90 mm zuzuschneiden und anschließend an einem Ende auf 10 mm und an dem anderen auf 5 mm abzuisolieren. Die Einzeladern des 5 mm abisolierten Endes müssen dann sorgfältig verdrillt und verzinnt werden. Dann erfolgt das Einlöten der so vorbereiteten Enden in die mit ST 1, ST 3, ST 5, ST 12, ST 14 und ST 16 bezeichneten Anschlusspunkte.

Ist der Aufbau so weit fortgeschritten, erfolgt der Einbau des Lüfter-Kühlkörperaggregates. Dazu wird durch die 6 inneren Montagebohrungen für den Kühlkörper auf der Basisplatine je eine mit einer Fächerscheibe versehene Zylinderkopfschraube M3 x 6 mm gesteckt. Auf der Platinenoberseite ist zunächst die 0,5 mm dicke Isolierplatte über die herausragenden Schraubengewinde zu legen. Anschließend wird jeweils eine M3-Mutter lose aufgeschraubt. So lässt sich dann der vormontierte Lüfter-Kühlkörper mit dem Lüfter voran von der Platinenrückseite her aufschieben. Dabei ist darauf zu achten, dass die Lüfter-Anschlussleitungen nach unten weisen und in jede Führungsnut des Kühlkörpers drei der lose aufgeschraubten Muttern einfassen. Das Kühlkörperelement wird so ausgerichtet, dass das hintere Ende bündig mit der Basisplatine abschließt und dann durch das Festziehen der Montageschrauben fixiert.

Im ersten Schritt der Kühlkörperverdrahtung sind die Lastwiderstände anzuschließen. Dazu werden zunächst die an den unteren Widerstandsanschlüssen angelöteten Drahtenden in die zugehörigen Bohrungen der Basisplatine eingeführt und dort sorgfältig verlötet. Die aus den Bohrungen ST 1, ST 3, ST 5, ST 12, ST 14 und ST 16 der Platine herausragenden Kabelenden müssen in die oberen Lötösen der Lastwiderstände eingehakt, umgebogen und ver-

Ansicht der  
fertig bestückten  
Basisplatte  
(Originalgröße:  
337 x 188 mm)





Bestückungsplan  
der Basisplatte  
(Originalgröße:  
337 x 188 mm)

**Stückliste: ADL 9000 Basisplatine**

**Widerstände:**

2 Ω/50 W .....	R61, R62, R64, R65
4 Ω/50 W .....	R60, R63
10 Ω .....	R6
47 Ω .....	R33
100 Ω .....	R60
560 Ω .....	R25, R29
1 kΩ .....	R27, R31, R43, R57
1,5 kΩ .....	R1
2,2 kΩ .....	R47
2,7 kΩ .....	R48
3,9 kΩ .....	R2, R41, R54, R55
4,7 kΩ .....	R3, R18-R24
5,6 kΩ .....	R50
6,8 kΩ .....	R4
10 kΩ .....	R28, R32, R36, R51
12 kΩ .....	R5, R26, R30
15 kΩ .....	R42
18 kΩ .....	R38
22 kΩ .....	R7, R53, R56, R58
27 kΩ .....	R15, R16
33 kΩ .....	R46, R59
47 kΩ .....	R8, R10-R14
68 kΩ .....	R17
100 kΩ .....	R39, R40, R45, R49
150 kΩ .....	R9, R35
180 kΩ .....	R34, R37
390 kΩ .....	R52
1 MΩ .....	R44

**Kondensatoren:**

10pF/ker .....	C38, C40
4,7nF/400V .....	C41
47nF/250V .....	C31-C33
100nF/ker .....	C3, C4, C6, C7, C10,
	C11, C14, C15, C18, C19,
	C21-C24, C29, C30, C39, C42, C45
100nF/250V~/X2 .....	C1
330nF/100V .....	C37
4,7µF/63V .....	C34
10µF/25V ....	C5, C8, C12, C16, C20,
	C25, C26, C43, C44
47µF/16V .....	C35, C36
100µF/16V .....	C27, C28
1000µF/40V .....	C13, C17
4700µF/16V .....	C2, C9

**Halbleiter:**

7812 .....	IC1, IC5
7806 .....	IC2
7805 .....	IC3
7906 .....	IC4
TLC274 .....	IC6
CD4052 .....	IC7, IC9
TL072 .....	IC8
TLC272 .....	IC10, IC11

LM393 .....	IC12
BC327-40 .....	T1
BC548C .....	T2, T3, T5-T12
BC558C .....	T4
BD678 .....	T13
1N4001 .....	D1-D12
1N4148 .....	D13, D18-D24, D36
BAT43 .....	D14-D17, D25, D30
1N4004 .....	D26-D29, D31-D34
LM385-2,5V .....	D35

**Sonstiges:**

Temperatursensor KTY81 .....	PTC1
Netzanschlussklemme, 2-polig ...	KL1
Shadow-Netzschalter, print .....	S1
Trafo, 4,5 VA, 2 x 15 V/150 mA .	TR1
Flachtrafo, 2 x 9 V/1 A .....	TR2
Leistungsrelais, 12 V, 1 x um,	
16 A .....	REL1-REL7
Miniaturrelais, 5 V, 2 x um .....	REL8
Sicherung, 100 mA, träge .....	SI1
Sicherung, 50 mA, träge .....	SI2
Lötstifte mit Lötöse .....	ST7-ST10,
	ST17-ST22
2 Polklemmen, 4 mm, 35 A, rot	
2 Polklemmen, 4 mm, 35 A, schwarz	
1 Adapterstück	
1 Verlängerungsachse, 120 mm	
1 Druckknopf, ø 7,2 mm	
2 Platinensicherungshalter (2 Hälften),	
print	
2 Sicherungsabdeckhauben	
3 U-Kühlkörper, SK13	
2 Lüfter-Kühlkörperhälften, LK75	
1 Papst-Axial-Lüfter, 12 V, 60 x 60 mm	
1 Isolierplatte, 32 x 140 x 0,5 mm	
23 Zylinderkopfschrauben, M3 x 6 mm	
3 Zylinderkopfschrauben, M3 x 8 mm	
2 Zylinderkopfschrauben, M3 x 12 mm	
4 Zylinderkopfschrauben, M3 x 35 mm	
28 Muttern, M3	
30 Fächerscheiben, M3	
4 Lötösen, 4,2 mm	
1 Sensorschelle	
2 Befestigungswinkel, vernickelt	
1 Zugentlastungsbügel	
1 Kabel-Durchführungsstülle, 6 x 8 x	
12 x 1,5 mm	
1 Tube Wärmeleitpaste	
2 Aderendhülsen für 0,75 mm <sup>2</sup>	
1 Netzzuleitung, 0,75 mm <sup>2</sup> , grau	
3 cm Schrumpfschlauch, 1/16", schwarz	
30 cm Schaltaht, blank, versilbert,	
ø 0,8 mm	
36 cm flexible Leitung, ST1 x 0,22 mm <sup>2</sup> ,	
schwarz	
54 cm flexible Leitung, ST1 x 0,75 mm <sup>2</sup> ,	
schwarz	

lötet werden. Danach sind die Anschlussleitungen des Lüfters an ST 21 und ST 22 (rote Leitung an ST 21, blaue an ST 22) und die des Temperatursensors PTC 1 an ST 19 und ST 20 anzulöten.

Im letzten Schritt der Aufbauarbeiten an der Basisplatine erfolgt der Einbau der

Relais und der beiden Netztransformatoren sowie das Anschrauben der beiden Befestigungswinkel. Letztere werden so auf der Oberseite der Platine platziert, dass der Schenkel mit M3-Gewinde nach vorne zeigt und bündig mit dem Platinenrand abschließt. Die Befestigung der Winkel

erfolgt mit je einer M3-Schraube, die von der Lötseite durchzustecken ist, und zugehöriger Mutter mit Fächerscheibe.

Damit konnten auch die Bestückungsarbeiten an der Basisplatine zum Abschluss gebracht werden. Bevor nun im Zuge der Gehäusemontage beide Platinen miteinander verbunden werden, ist die Basisplatine auf korrekte Bestückung und Lötzinnbrücken hin zu untersuchen.

**Gehäuseeinbau**

Im ersten Arbeitsschritt erfolgt die Verbindung von Front- und Basisplatine. Dazu wird die Frontplatine so an die Basisplatine gesetzt, dass sich die Bohrungen in der Frontplatine mit dem Gewinde in den Befestigungswinkeln der Basisplatine decken. Mit zwei M3x6mm-Schrauben, von vorne durch die Frontplatine geschraubt, erfolgt dann das Befestigen beider Platinen miteinander. Bevor die Schrauben in der Front- und Basisplatine festgezogen werden, muss die Ausrichtung der Platinen erfolgen. So ist zum einen die seitliche Ausrichtung zu kontrollieren, d. h. eine exakte Fluchtung der zusammengehörenden Leiterbahnen der Front- und Basisplatine muss erreicht werden, zum anderen darf an der Stoßkante zwischen Basis- und Frontplatine kein erkennbarer Spalt entstehen. Nach der mechanischen Fixierung sind dann sämtliche Leiterbahnpaare und die Masseflächen miteinander zu verlöten. Als letzte Verbindung ist der Lautsprecher anzuschließen. Die beiden Leitungen sind an die Lötstifte in ST 17 (schwarz) und ST 18 (rot) anzulöten.

Im nächsten Arbeitsgang wird die Schubstange des Netzschalters angefertigt. Diese wird gemäß Abbildung 12 zugeschnitten und gebogen und anschließend mit dem Kunststoff-Druckknopf und dem Adapterstück versehen. Diese vorgefertigte Einheit rastet dann mit dem Adapterstück auf dem Netzschalter ein. Je ein Tropfen Sekundenkleber etc. sichert die Verbindungen Druckknopf – Verlängerungsachse, Verlängerungsachse – Adapter und Adapter – Netzschalter.

Die nun folgende Gehäusemontage beginnt mit dem Vorbereiten der Rückwand. Hier ist zunächst die Netzkabeldurchführungsstülle einzustecken, durch die dann die vorbereitete Netzleitung geführt wird. Zur Vorbereitung der 2-adrigen 230-V-Netzzuleitung ist diese zuerst auf einer Länge von 20 mm von der äußeren Umarmung zu befreien. Die beiden Innenleiter werden 5 mm abisoliert und auf jeden Leiter wird eine Aderendhülse aufgezquetscht. Anschließend wird die Netzleitung in der 2-poligen Schraubklemmleiste KL 1 verschraubt.

Mit der Zugentlastungsschelle, die mit zwei von unten einzusetzenden Schrauben

**Tabelle 2: Fehlercodes**

Fehlercode	Fehler
E01	Abgleichfehler, Offset für unteren Messbereich
E02	Abgleichfehler, Offset für oberen Messbereich
E03	Abgleichfehler, Skalenfaktor für unteren Messbereich
E04	Abgleichfehler, Skalenfaktor für oberen Messbereich
E05	Abgleichfehler, linker Kanal, 4 Ohm
E06	Abgleichfehler, linker Kanal, 8 Ohm
E07	Abgleichfehler, Brückenbetrieb, 2 Ohm
E08	Abgleichfehler, Brückenbetrieb, 4 Ohm
E09	Abgleichfehler, Brückenbetrieb, 8 Ohm
E10	Abgleichfehler, Brückenbetrieb, 16 Ohm
E11	Abgleichfehler, rechter Kanal, 4 Ohm
E12	Abgleichfehler, rechter Kanal, 8 Ohm
E13	Übertemperaturabschaltung

M3 x 12 mm und den zugehörigen Muttern mit Fächerscheiben festgezogen wird, ist die Netzzuleitung dann auf der Leiterplatte zu befestigen.

Nachdem die Rückplatte so weit bearbeitet ist, erfolgt die Vorbereitung der Frontplatte mit dem Einbau der Audio-Eingangsbuchsen (Polklemmen). In die auf der Frontplatte mit „+“ gekennzeichneten Bohrungen müssen die roten Polklemmen eingesetzt werden, womit folglich die schwarzen in den mit „-“ beschrifteten Bohrungen ihren Platz finden. Beim Einbau der Polklemmen ist darauf zu achten, dass die als Verdrehungsschutz wirkende Nase an der ersten Isolierhülse korrekt in die Aussparung der Frontplattenbohrung einfasst. Mit der ersten M4-Montagemutter werden die Polklemmen dann in der Frontplatte befestigt.

Die Verbindung zwischen den Buchsen und den zugehörigen Anschlüssen ST 7 bis ST 10 auf der Platine erfolgt über starre Silberdraht-Leitungen, die mittels Lötösen an den Buchsen angeschraubt werden. Um diese Verbindung herzustellen sind zunächst 4 Silberdrahtenden je 30 mm Länge anzufertigen. Diese werden an einer Seite auf 4 mm Länge um 90° umgebogen, in die Lötöse eingehängt und verlötet. Die so vorbereiteten Lötösen sind dann mit der zweiten M4-Mutter an die Polklemmen anzuschrauben. Anschließend müssen die Lötösen so gebogen werden, dass die starren Silberdrahtenden gerade nach hinten wegstehen.

Das Aufstecken der Tastkappen und Aufsetzen der vorbereiteten Frontplatte auf die Frontplatine schließen die Vorberei-

tungen zur Gehäusemontage ab. Gleichzeitig mit dem Aufsetzen der Frontplatte sollten die Anschlussdrähte an den Polklemmen in die Lötösen der zugehörigen Lötstifte ST 7 bis ST 10 eingeführt, jedoch noch nicht verlötet werden.

Zum Einbau des Chassis werden zunächst 4 Gehäusebefestigungsschrauben M4 x 90 mm von unten durch die Bohrungen einer Gehäusehalbschale gesteckt. Die so vorbereitete Bodeneinheit ist mit dem Lüftungsgitter nach vorne weisend auf die Arbeitsplatte zu stellen. Auf der Innenseite der Gehäusehalbschale folgt auf jede Schraube eine 1,5 mm starke Polyamid-Scheibe. Nun ist das komplette Chassis der ADL 9000 einschließlich Frontplatte und Rückwand von oben über die Schrauben abzusenken. Liegen Front- und Rückplatte korrekt in ihren Führungsnuten, folgen auf die oben herausstehenden Schrauben je eine M4x55mm-Distanzrolle, eine 2,5-mm-Polyamid-Scheibe und schließlich eine 20-mm-Distanzrolle.

Vor dem Schließen des Gehäuses müssen die Verbindungen zwischen Buchsen (Polklemmen) und Platine hergestellt werden. Hierzu sind nur noch die bereits in die Lötstifte auf der Platine eingeführten Silberdrahtleitungen anzulöten und die überstehenden Drahtenden abzuschneiden.

Da das Gerät keine internen Abgleichpunkte besitzt, kann es vor der ersten Inbetriebnahme und dem Abgleich geschlossen werden. Dazu wird die obere Gehäusehalbschale mit dem Lüftungsgitter nach vorne (!) weisend aufgesetzt und in jeden Montagesockel eine M4-Mutter eingelegt. Mit Hilfe eines kleinen Schraubendrehers

werden die Gehäuseschrauben nacheinander ausgerichtet und von unten angezogen. In die unteren Montagesockel ist je ein Fußmodul mit zuvor eingestecktem Gummifuß zu drücken, während die oberen Montageöffnungen mit den 4 Abdeckmodulen bündig zu verschließen sind.

Abschließend ist noch der Drehknopf anzubringen. Die hierzu verwendete Steckachse muss zunächst in den R-Trimmer eingesteckt werden. Nach dem Kürzen der Achse auf eine verbleibende Länge von 7 mm (gemessen ab Frontplatte) lässt sich der Drehkopf mittels der Madenschraube anbringen. Damit ist der Nachbau abgeschlossen und es folgen die Vorgehensweise bei der ersten Inbetriebnahme und der Abgleich.

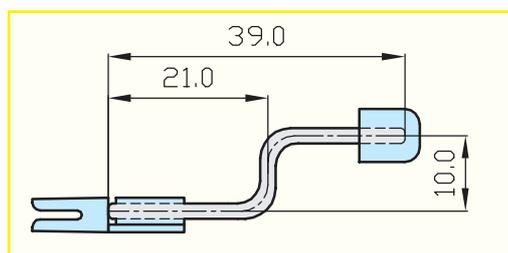
## Inbetriebnahme

Bei der ersten Inbetriebnahme des Gerätes ist neben der Funktionsfähigkeit der Anzeige- und Bedienelemente noch die korrekte Funktion der Schaltmatrix zu testen. Mit Hilfe des automatischen Segmenttests nach dem Einschalten lässt sich sehr einfach kontrollieren, ob alle Anzeigen ordnungsgemäß leuchten. Der Test der Schaltmatrix erfolgt mit Hilfe eines Widerstandsmessgerätes. Dieses ist zunächst an den rechten Lautsprechereingang anzuschließen. In den Stellungen „4 Ω“ und „8 Ω“ sind die entsprechenden Widerstandswerte zu messen, die mit einer Toleranz von ±5 % mit dem Nennwert übereinstimmen müssen. Bei der Kontrolle des linken Kanals ist genauso zu verfahren. Hier ist nach dem 4-Ω- und 8-Ω-Bereich im Stereobetrieb auch der Monobetrieb mit den Widerstandswerten 2 Ω, 4 Ω, 8 Ω und 16 Ω zu prüfen. Auch hier gilt eine Abweichung von max. ±5 %. Zu beachten ist dabei jedoch, dass viele Multimeter nicht in der Lage sind, im Widerstandsmessbereich so kleine Widerstandswerte korrekt zu messen, so dass zusätzliche Abweichungen aufgrund von Messfehlern möglich sind.

Nach der Kontrolle der Widerstandswerte ist weiterhin noch die galvanische Trennung zwischen den beiden Kanälen zu verifizieren. Bei einer Messung zwischen den einzelnen Buchsen beider Kanäle muss der Widerstandswert  $\geq 1 \text{ M}\Omega$  sein. Damit ist die Inbetriebnahme abgeschlossen und es folgen die Anweisungen zum Abgleich.

## Abgleich

In den Abgleichmodus gelangt man durch gleichzeitiges Drücken der Tasten „Range“, „Channel Select“ und „Bridge“ beim Einschalten der ADL 9000. Die Anzeige „CAL“ im Display zeigt an, dass sich das Gerät im Abgleichmodus befindet. Ein



**Bild 12: Verlängerungsachse des Netzschalters (Maßstab 1:1)**

weiterer Tastendruck auf die „Range“-Taste bestätigt den Eintritt in den Abgleichmodus, eine Bestätigung mit der „Bridge“-Taste bewirkt, dass der Abgleichmodus ohne eine Modifikation der Kalibrierdaten verlassen wird.

Der Abgleich des gesamten Messzweiges besteht aus fünf Einzelschritten. Jeder Schritt wird im Display durch die entsprechende Ausgabe („C x“, x = Nummer des Abgleichschrittes [1...5]) angezeigt. In jedem Schritt müssen die Buchsen, die mit den aufleuchtenden LEDs gekennzeichnet sind, entsprechend des Ablaufplans beschaltet werden. Das Gerät führt dann den eigentlichen Abgleichschritt selbstständig nach einer weiteren Bestätigung mit der „Range“-Taste aus. Das Blinken des Displays signalisiert dabei den aktivierten Abgleichvorgang.

Ist der entsprechende Abgleichschritt erfolgreich beendet, so wird automatisch der nächste angewählt. Der Abgleichmodus kann in jedem Schritt durch das Betätigen der „Bridge“-Taste abgebrochen werden, wodurch die Abgleichdaten allerdings ungültig werden, so dass ein kompletter Neuausgleich notwendig wird. Nach dem letzten Abgleichpunkt geht die ADL 9000 in den normalen Betriebsmodus.

### Abgleichschritte

- Schritt C 1 (Abgleich des Offsets):  
Die Eingangsbuchsen sind kurzzuschlie-

ßen. Die Bestätigung erfolgt mit der „Range“-Taste.

- Schritt C 2 (Abgleich des Skalenfaktors des unteren Messbereiches):

An den Eingangsbuchsen ist eine Gleichspannung von 8 V ( $\pm 10$  mV) / DC polungsrichtig anzuschließen. Die Bestätigung erfolgt mit der „Range“-Taste.

- Schritt C 3 (Abgleich des Skalenfaktors des oberen Messbereiches):

An den Eingangsbuchsen ist eine Gleichspannung von 25 V ( $\pm 30$  mV) / DC polungsrichtig anzuschließen. Die Bestätigung erfolgt mit der „Range“-Taste.

- Schritt C 4 (Ausmessen der Lastwiderstände des linken Kanals und im Brückenbetrieb):

An den Eingangsbuchsen ist eine stabilisierte Gleichstromquelle mit 1,8 A ( $\pm 20$  mA) / DC polungsrichtig anzuschließen. Die Bestätigung erfolgt mit der „Range“-Taste.

- Schritt C 5 (Ausmessen der Lastwiderstände des rechten Kanals):

An den Eingangsbuchsen ist eine stabilisierte Gleichstromquelle mit 1,8 A ( $\pm 20$  mA) / DC polungsrichtig anzuschließen. Die Bestätigung erfolgt mit der „Range“-Taste.

Die ausgemessenen Werte dürfen maximal  $\pm 10$  % von den intern abgelegten Sollwerten abweichen. Ist die Abweichung jedoch größer, wird ein Fehlercode (siehe Tabelle 2) ausgegeben, welcher den feh-

lerhaften Abgleichschritt kennzeichnet. Dies hat dann das Abschalten der Lastwiderstände zur Folge. Der Fehlercode bleibt auch beim Abschalten gespeichert, so dass auch dann kein Betrieb möglich ist.

Wurde der Abgleich erfolgreich beendet, so sind Inbetriebnahme und Abgleich abgeschlossen. Dem Einsatz der Audio-Lautsprechernachbildung mit Leistungsmesser steht somit nichts mehr im Wege. Um eine korrekte Funktion zu gewährleisten, ist beim Aufstellen des Gerätes untenstehender Hinweis zum Betrieb zu beachten.

### Hinweis zum Betrieb

Damit die Zwangskühlung der ADL 9000 mit dem innen liegenden Lüfter ordnungsgemäß arbeiten kann, darf die äußere Luftzirkulation nicht behindert werden.

Das heißt

- die Luftaustrittsöffnungen in der Rückwand und
- die Lufteintrittsöffnungen in den Gehäusehalbschalen nicht abdecken!

Weiterhin muss sichergestellt sein, dass die erwärmte Abluft abströmen kann und nicht zwangsläufig zum Gerät zurückkehrt. Werden diese Punkte nicht beachtet, kann es zum Ansprechen der thermischen Sicherungen des Gerätes kommen, die sich jedoch nach kurzer Abkühlzeit selbstständig regenerieren. 

### 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**