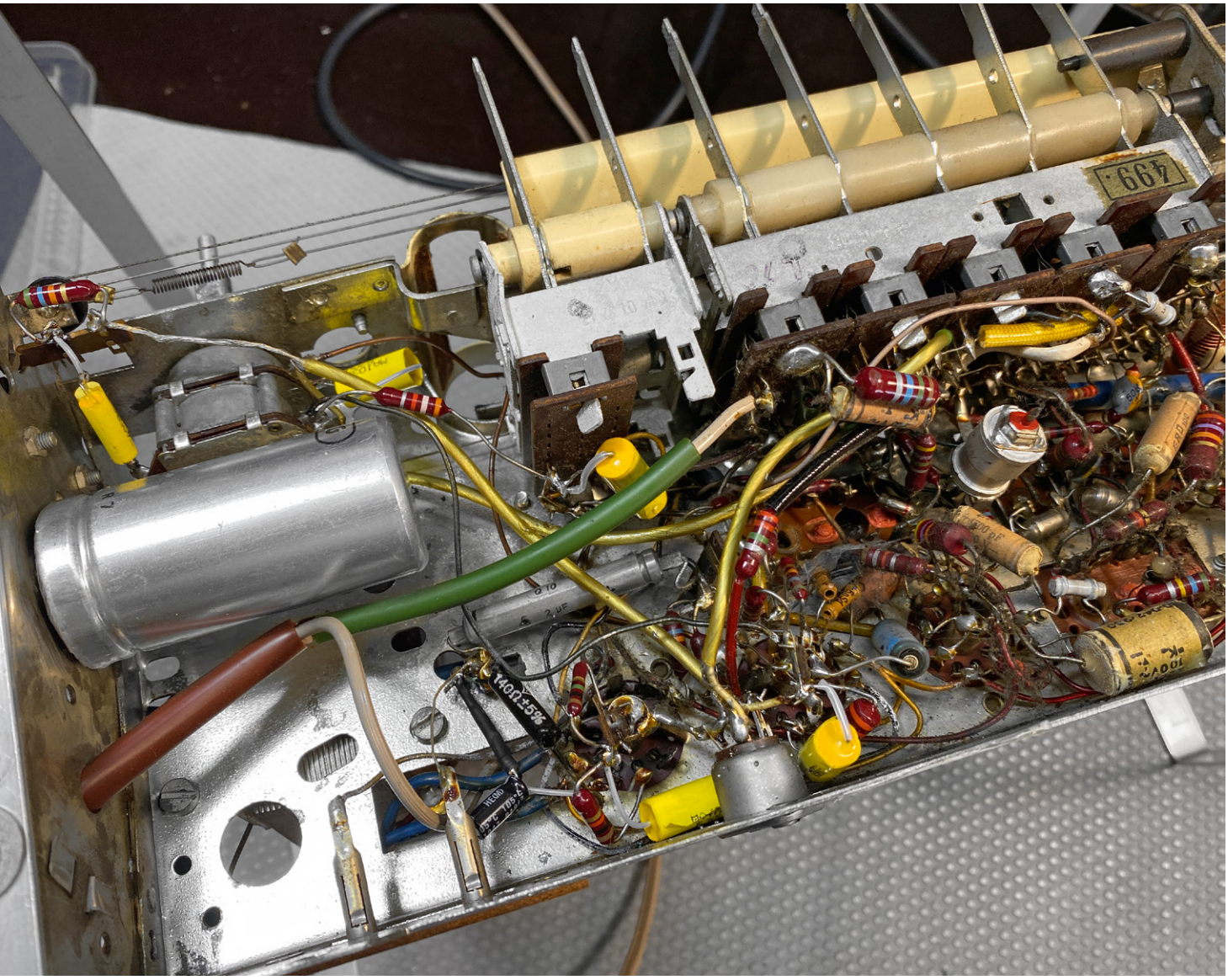
Röhrenradio-Restaurierung

Audio-Schaltkreise

Teil 5

In den vorangegangenen Schritten dieses Projekts haben wir die Spannungsversorgung des Radios überprüft und wiederhergestellt, da dies die Grundlage für weitere Arbeiten darstellt. Nun ist der nächste logische Schritt, den Audioteil unseres Radios in Angriff zu nehmen. Denn auch das ist eine grundlegende Arbeit, die für das spätere Funktionieren des Radios und damit den Genuss dieses Röhrenschätzchens erforderlich ist.



Eine Audiostufe – viele Quellen

Wie wir bereits gesehen haben, kann das Radio Audio von einem externen Eingang (z. B. einem Kassetten- oder MP3-Player), vom UKW- und vom AM-Empfängerteil wiedergeben. Die Audiostufe ist also der gemeinsame Nenner, damit das Radio richtig funktioniert. Glücklicherweise ist dieser Teil recht einfach – wenn wir ihn richtig analysieren und aufschlüsseln. Er ist auch leicht zu testen, wenn wir ihn wiederhergestellt haben, denn wir haben einen externen Eingang – den Kassetteneingang (TA) auf der Rückseite dieses Radios. Das bedeutet, dass wir die Audiostufen testen können, ohne dass die Radiofunktionen (UKW oder AM) gegeben sein müssen.

Als Erstes müssen wir die zugrunde liegende Schaltung (Bild 1) verstehen.

Der Eingangswahlschalter wählt die Quelle der Audioquelle, die wir verstärken und wiedergeben möchten. In unserem Fall haben wir UKW (FM), AM und den Kassetteneingang auf der Rückseite (TA). Der AM-Eingang hat eine weitere Auswahlmöglichkeit, die festlegt, ob wir LW, MW oder SW empfangen. Das ist aber für unsere Tests der Audiostufe unwichtig. Die ausgewählte Quelle wird an einen Lautstärkeregler weitergeleitet, der dann den Vorverstärker (PRE – Pre-Amplifier) speist. Der Ausgang des Vorverstärkers steuert den Endverstärker (PA – Power Amplifier) an, der wiederum den Lautsprecher antreibt.

Da eine Röhre ein Bauteil mit hoher Impedanz ist und ein Lautsprecher eine niedrige Impedanz hat (normalerweise zwischen 4 und 8 Ohm), kann die Leistungsröhre (in diesem Fall eine EL84) den Lautsprecher nicht direkt ansteuern. Es ist daher notwendig, die Impedanz mittels eines Transformators zu wandeln. Auf diese Weise kann die Röhre die hochohmige Wicklung des Transformators (die Primärwicklung) ansteuern und ein entsprechendes Signal durch die Wirkung des Transformators in der Sekundärwicklung, einer niederohmigen Wicklung, erzeugen, das den Lautsprecher antreibt.

Das Signal wird auch einer Klangregelung unterzogen, um den Klang zu formen, den wir aus dem Lautsprecher erhalten. Diese Funktion kann durch viele Varianten in einem Verstärkerschaltkreis umgesetzt werden. In diesem Radio ist es ein ausgeklügeltes Gegenkopplungssystem auf der Basis des Lautstärkereglers, um eine Klangregelung vorzunehmen. Vereinfacht ausgedrückt wird dabei der Ton sowohl am Lautsprecher als auch nach der Vorverstärkerstufe abgetastet und gibt einen Teil davon (negatives Feedback, dt. negative Rückkopplung) an den vorderen Bereich dieser Baugruppe – in diesem Fall an den Lautstärkeregler – zurück. Hier werden entsprechende Frequenzen von dem Signal subtrahiert (entfernt), das am Schleifer des Lautstärkepotentiometers anliegt, bevor es von der Endstufe verstärkt wird. Diese Methode ist einfach, aber sehr wirkungsvoll.

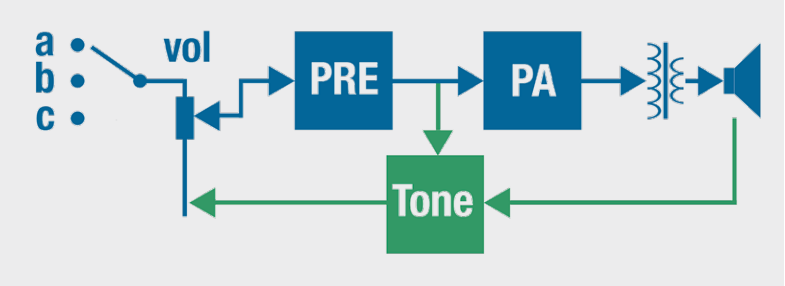


Bild 1: Vereinfachtes Blockschaltbild des Audioteils des Radios

Achtung Gefahr! – Hochspannung!

Die Spannungen im Inneren eines Röhrenradios können sehr hoch sein – im Bereich von Hunderten von Volt, sodass äußerste Vorsicht geboten ist, um lebensbedrohliche Stromschläge zu vermeiden.
Die beschriebenen Arbeiten dienen nur als Anschauungsbeispiel und zum Verständnis der verwendeten Technologie und sollten nur von dafür qualifizierten Technikern durchgeführt werden.

Woraus besteht der Audioteil des Radios?

Der Audioteil in diesem Röhrenradio ist im Grunde ein Audio-Verstärker, der Röhren zur Reproduktion und Verstärkung des am Eingang eingespeisten Signals verwendet. Röhren-Audio-Verstärker sind sehr beliebt für die warme Qualität des Klangs, den sie wiedergeben.

Es mag Sie überraschen, dass Sie am Ende dieses Projekts tatsächlich nicht nur ein Radio, sondern einen kompletten Röhrenverstärker besitzen. Die Möglichkeit, ein Audiosignal mit Line-Pegel von einer beliebigen Quelle an der Rückseite des Geräts (dem TA-Eingang) anzuschließen, ist nur einer der Gründe, eines dieser großartigen Radios zu restaurieren.

Womit genau haben wir es hier nun zu tun? Der Audioteil besteht aus verschiedenen Teilen, die das Ganze ausmachen. Diese können wie folgt aufgeteilt werden:

a) Eingangswahlschalter
b) Lautstärkeregler
c) Klangregler
d) Vorverstärker
e) Leistungsverstärker
f) Impedanzwandler
g) Lautsprecher

Einfach, oder? Nun, vielleicht noch nicht ganz, aber am Ende dieses Artikels werden Sie nicht nur in der Lage sein, all diese Teile wiederherzustellen, sondern auch genau zu verstehen, wie sie in dem Gerät funktionieren.

Ein gutes Verständnis, wie das alles zusammenspielt – ausgehend von diesem speziellen Radio –, wird Ihnen helfen, diese Teile in praktisch jedem Röhrenradio, an dem Sie arbeiten, zu verstehen. Die tatsächlichen Komponenten mögen sich unterscheiden, aber das Grundkonzept ist das gleiche, egal welches Modell Sie betrachten.

Zur besseren Veranschaulichung des Konzepts werde ich Teile des Schaltplans entfernen und nur die Komponenten übrig lassen, die für die Beschreibung eines bestimmten Teils der Schaltung relevant sind. Ich habe festgestellt, dass diese Methode das Verständnis dafür, wie eine Schaltung funktioniert, deutlich erleichtert. Gewöhnlich erschwert gerade der Umstand, dass alles in einen Schaltplan gequetscht zu sein scheint, das Verständnis einzelner Baugruppen deutlich.

Wie sieht die Schaltung aus?

Wenn wir uns den gesamten Schaltplan eines Radios ansehen, kann er ziemlich verwirrend und kompliziert erscheinen. Das liegt daran, dass alle Funktionen des Geräts auf einmal dargestellt sind sowie weitere Details zu den Schaltanordnungen, die Röhrenbelegungsdiagramme, Bauteiltoleranzen und Leistungsangaben sowie Hinweise auf Testbe-

Über diese Serie bzw. die Beiträge

Diese Artikelserie soll dem Leser einen Einblick in die praktische Seite der Vollrestaurierung eines Röhrenradios geben.
Ein Grundig 2147 aus dem Jahr 1961 ist das Anschauungsobjekt dieser Serie, da es enorme Möglichkeiten bietet, die Fähigkeiten zu erlernen, die zur Restaurierung eines solchen Radios in der Zukunft dienen könnten.

Über den Autor

Manuel Caldeira schloss sein Studium der Elektrotechnik an der University of Natal (Durban) 1985 ab. Direkt nach der Universität begann er bei Siemens (Südafrika) zu arbeiten. Danach ging er in die Wirtschaft, anstatt in der Technik zu bleiben. Schließlich kehrte er aus Spaß zur Elektronik zurück und genießt es, alte Röhrenradios zu restaurieren und an so ziemlich allem zu tüfteln, was ihm auf dem Gebiet der Elektronik gefällt. Das beinhaltet in der Regel einige Audioanwendungen, aber das ist keine Regel.
Er betreibt von seinem Wohnsitz auf Madeira aus mit mehr als 13.300 Abonnenten auf YouTube den Kanal „Electronics Old and New by M Caldeira", der sich hauptsächlich mit Röhrenradios beschäftigt. In den vergangenen fünf Jahren hat er dazu mehr als 300 Videos veröffentlicht.

dingungen erscheinen. Der einfachste Weg, um genau zu verstehen, was passiert, ist alles zu „löschen", was nicht zu dem Teil des Schaltplans gehört, der uns interessiert. In diesem Fall wollen wir nur den Audioteil betrachten. Wir sehen in Bild 2, wie dieser ohne das ganze Drumherum aussieht. Wir sind jetzt in der Lage, den Schaltplan für den Audioteil zu betrachten, und werden nicht durch andere Baugruppen abgelenkt, die ohne Funktion für diesen Bereich sind.

Vergleichen wir diesen Schaltplan mit dem Blockdiagramm in Bild 1, erkennen wir erste Ähnlichkeitenn. Der Audioteil dieser Schaltung ist leider ein wenig verwirrend. Das liegt an der Funktion der

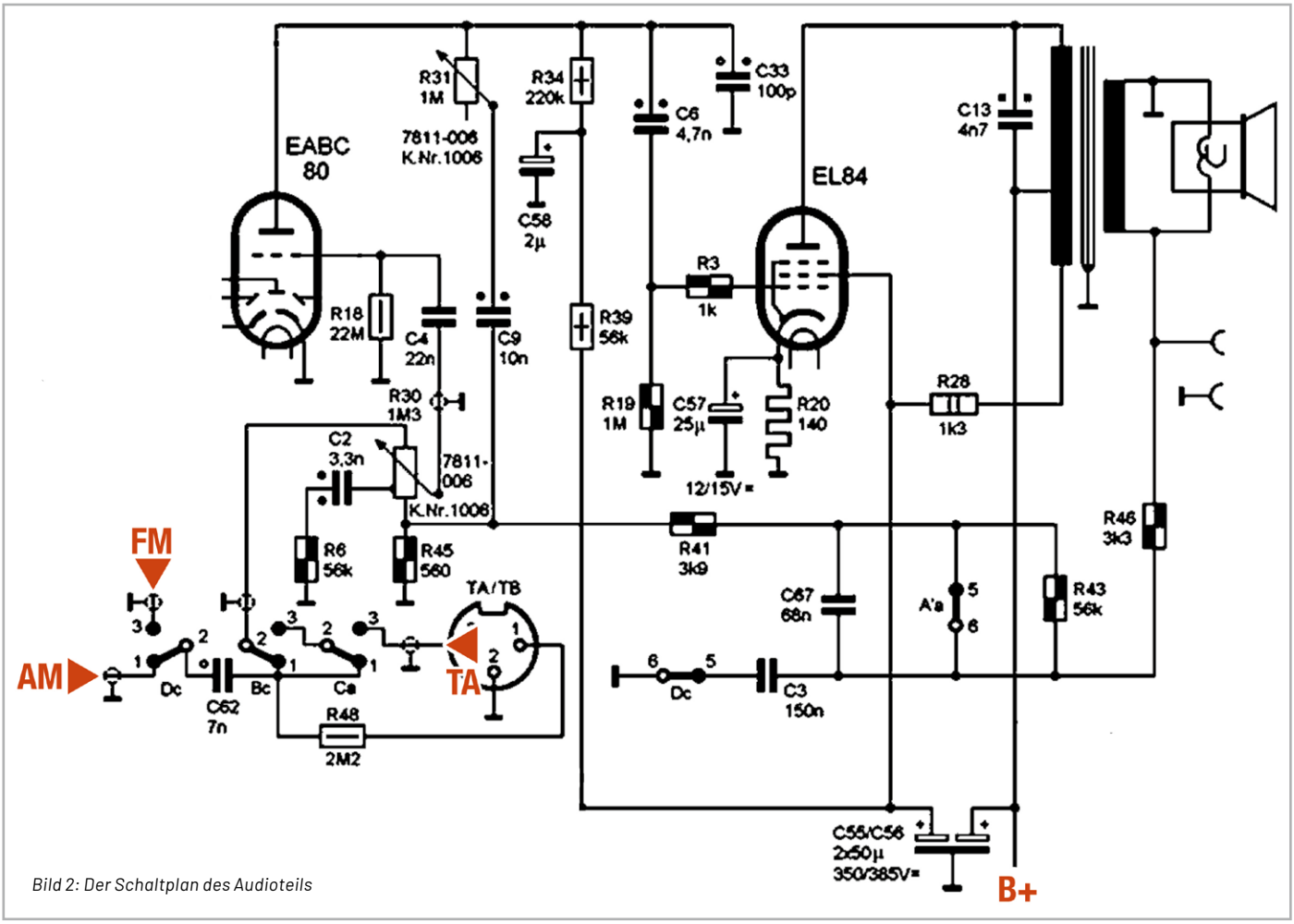


Bild 2: Der Schaltplan des Audioteils

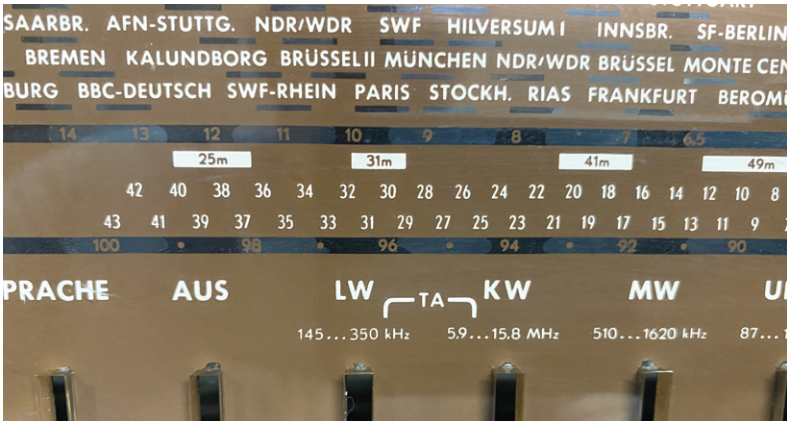


Bild 3: Um TA auszuwählen, müssen LW und KW gleichzeitig gedrückt sein.

Schalter mit den Bezeichnungen Dc, Bc und Ca, deren Details wir im unteren linken Teil des Originalschaltplans sehen können.

Dass diese Schaltung ein wenig komplexer ist als üblich, liegt daran, wie TA bei diesem Radio ausgewählt wird. Die Frontplatte zeigt uns, dass für die Auswahl von TA gleichzeitig LW und KW gedrückt werden müssen (Bild 3). Das ist bei diesen Röhrenradios unüblich, aber auch nicht einzigartig für dieses Modell. Um dieses kleine Rätsel zu lösen, werfen wir einen genaueren Blick auf die Schalter und ihre jeweiligen Ruhe- und Schaltpositionen. Hier sehen wir, wie die Audiosignale zum Eingang des Lautstärkereglers geleitet werden.

Eingangswahlschalter

Ein kurzes Studium des Schaltschemas unten links auf dem Originalschaltplan (Bild 12) zeigt uns, wie es die Schalter ermöglichen, die verschiedenen Eingangsquellen zum Eingang des Lautstärkepotentiometers zu leiten, der eigentlich der Beginn des Audiosignalwegs ist. Bild 4 zeigt die verschiedenen Schaltmöglichkeiten, wobei jeweils der Signalweg durchgeschaltet wird (rote Markierung), um zu zeigen, wie dies erreicht wird.

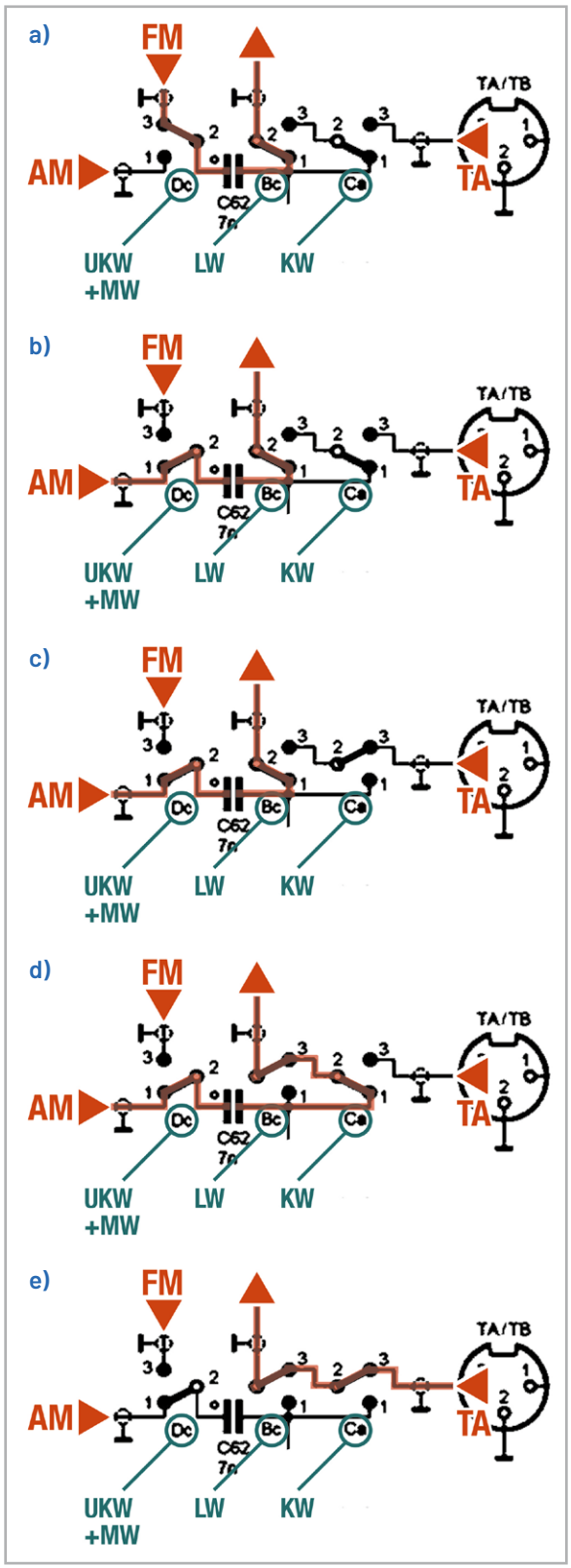


Bild 4: Die Schaltfunktionen: (a) UKW (FM), (b) MW, (c) KW, (d) LW und (e) TA (LW + KW)

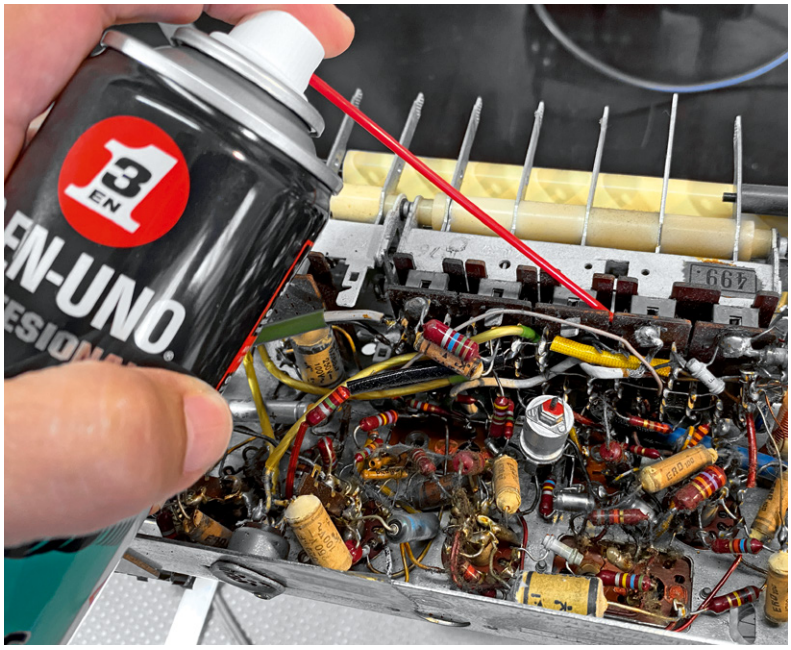


Bild 5: Für die Reinigung der Schalterkontakte kann Kontaktreiniger verwendet werden.

Reinigung der Schalter

Um eine einwandfreie Funktion zu gewährleisten, müssen die Schalter (Bild 5) zunächst gereinigt werden. Wenn einer der Kontakte nicht richtig verbunden ist, werden die Signale, die Sie zu schalten versuchen, nicht wie erforderlich weitergeleitet, und das Radio kann nicht wie gewünscht funktionieren. Die Schalter verbinden übrigens viel mehr als nur das Audiosignal: Sie wählen verschiedene Spulen, Filter, HF-Signale und andere Teile des Schaltkreises aus, um den Wechsel von Bändern, Toneinstellungen, Audioquellen etc. zu ermöglichen.

Zur Reinigung der Schalter verwende ich einen guten elektrischen Kontaktreiniger und sprühe die Lösung in die Schalterkontakte, die von der Unterseite aus sichtbar sind, und betätige dann wiederholt die Schalter. Dabei löst sich der Schmutz auf den Kontakten, und die Reibung des wiederholten Schaltvorgangs reinigt sie. Je nach dem Zustand der Kontakte können wiederholte Behandlungen wie diese erforderlich sein. Ich führe normalerweise einen vollständigen Reinigungszyklus durch, betätige jeden Schalter dabei etwa 20 Mal, nachdem ich ihn mit dem Reiniger besprüht habe, und lasse den Reiniger dann über Nacht einwirken. Am nächsten Tag wiederhole ich den Vorgang. Das hat sich bisher bewährt, und ich musste den Schaltermechanismus noch nie für eine intensivere Reparatur ausbauen, was einen erhöhten Aufwand bedeuten würde.

Der Kontaktreiniger sollte möglichst ölfrei sein, um zu vermeiden, dass sich ein öliger Belag auf den Kontakten bildet, der später ein Anziehungspunkt für Staub sein könnte. Auch einfacher Isopropylalkohol wäre ausreichend, aber es ist einfacher, ein Spray zu verwenden, da man es besser auftragen kann.

Die Endstufe (Power Amplifier)

Wie ich bereits erwähnt habe, besteht der Trick, komplexe Schaltungen zu verstehen, darin, sie in einfache Blöcke zu zerlegen. Bild 2 zeigt dies bereits für den gesamten Audioteil, aber um zu verstehen, wie die Schaltung funktioniert, können wir sie noch weiter aufschlüsseln.

In Bild 6 wird die Endstufe „isoliert" und dann mit einer „typischen" Einröhren-Verstärkerschaltung der Klasse A verglichen, die üblicherweise in Lehrbüchern gezeigt wird. Betrachtet man (a), sieht man ein Signal Vs, das in die Schaltung gespeist wird. Es geht durch C6, einen DC-Sperrkondensator, über den Widerstand R3 zum Steuergitter G1 der Röhre, in diesem Fall eine Pentode (Elektronenröhre mit fünf Elektroden, z. B. EL84). Die Anodenspannung B+ wird über die Primärsei-

te des Ausgangstransformators an die Anode der Röhre geleitet. Der Transformator, der als Last fungiert, erzeugt das Audiosignal. Die Primärwicklung des Ausgangstransformators ist eine Wicklung mit hoher Impedanz, die ein Signal auf der Sekundärseite induziert. Dort hat die Wicklung eine niedrige Impedanz, die für die Ansteuerung des Lautsprechers geeignet ist. B+ wird durch den Widerstand R28 geleitet, und darüber wird das Schirmgitter G2 der Röhre versorgt. Diese Spannung ist etwas niedriger als B+ selbst, da ein paar Volt über R28 abfallen.

Es gibt einen kleinen Unterschied zwischen (a) und (b). Bei unserem Radio (b) wird die Hochspannungsversorgung zu R28 zuerst durch einen Teil des Ausgangstransformators geführt, während die „typische Schaltung" (a) dies nicht tut. Dadurch wird das Brummen der Hochspannung in den anschließenden, empfindlicheren Abschnitten im Radio vermieden. Es wirkt in diesem Fall als ein einfaches, zusätzliches Filterelement der Hochspannungsversorgung.

Die Röhre wird nun mit Hochspannung versorgt, aber sie muss vorgespannt (engl. Bias) werden, um korrekt zu funktionieren. Vorspannen bedeutet das Einstellen der richtigen DC-Spannungen (Gleichspannungen) an der Röhre, damit die Röhre erwartungsgemäß funktioniert, wenn ein AC-Audiosignal an einen bestimmten Pin, in diesem Fall an das Steuergitter G1, angelegt wird. Es gibt verschiedene Möglichkeiten, dies zu tun, aber in diesem Fall wird die Kathodenvorspannung verwendet, die durch einen Widerstand (R20) zwischen der Kathode und Masse erreicht wird. Das bedeutet, dass jeder durch die Röhre fließende Strom auch durch diesen Widerstand fließt und daher einen Spannungsabfall nach dem Ohmschen Gesetz (U = R * I) erzeugt. Dadurch wird die Spannung an der Kathode relativ zur Masse (UK).

Nehmen wir einmal an, dass UK gleich 6 VDC ist. Wie hoch ist dann die Spannung am Gitter G1? Nun, da das Gitter ein sehr hochohmiger Eingang ist, fließt praktisch kein Strom hinein oder heraus. Es wird von der Spannung an diesem Punkt beeinflusst und nicht vom Strom. Daher hat der Widerstand R3 praktisch keinen Spannungsabfall (keinen Strom, also keine Spannung), und R19 verbindet ihn mit der Masse. Da praktisch kein Strom durch R19 fließt, ist auch der Spannungsabfall an ihm gleich null, sodass die Spannung am Gitter, UG1, gleich null ist (ich muss betonen, dass ein gewisser Strom fließt, aber er ist sehr, sehr klein und für unsere Zwecke hier vernachlässigbar).

Wir funktioniert das nun mit der Röhre?

Stellen Sie sich vor, dass die Röhre sich wie ein Wasserschlauch verhält. Ich weiß, das ist ein bisschen verrückt, aber es macht das Verständnis der Funktionsweise einfacher. Wenn Sie einen Wasserschlauch im Garten an einen Wasserhahn anschließen, fließt nach dem Öffnen des Hahns durch den hohen Wasserdruck Wasser durch den Schlauch und aus seinem Ende heraus. Je höher der Wasserdruck aus dem Wasserhahn, desto größer ist die Wassermenge, die aus dem Wasserschlauch fließt, richtig?

Stellen Sie sich nun vor, Sie drücken die Mitte des Schlauchs mit dem Fuß auf den Boden und beginnen, Ihr Gewicht auf ihn zu übertragen. Der Effekt ist, dass der Wasserdurchfluss verringert werden kann, und wenn Sie ihr ganzes Gewicht aufbringen, können Sie den Durchfluss sogar vollständig stoppen.

Stellen Sie sich weiter vor, Sie kontrollieren das Gewicht, das Sie mit Ihrem Fuß auf den Schlauch ausüben, aber nicht mit der gesamten Kraft, die Sie ausüben könnten. Nehmen wir einmal an, Sie können die Hälfte der maximalen Kraft durch Ihr Gewicht auf den Schlauch ausüben. Wenn Sie nun beginnen, Ihren Fuß im Takt Ihres Lieblingslieds sanft zu heben und zu senken, was passiert dann? Nun, das Wasser, das aus dem Schlauch kommt, variiert im Takt der Musik. Aber lassen Sie Ihre Nachbarn nicht sehen, was Sie machen. Sie könnten denken, dass Sie ein bisschen verrückt sind.

So funktioniert auch eine Röhre in dieser Schaltung annäherungsweise. Der Druck ist vergleichbar mit der B+-Versorgung und das Wasser mit dem Strom, der fließen darf. Je höher B+ (Wasserdruck), desto höher ist der potenzielle Strom (Wasserfluss). Der Schlauch wirkt wie ein variabler Durchflussregler, der in unserer Schlauchanalogie Ihr Fuß war, der ihn auf den Boden drückt. Wenn Sie Ihr Gewicht so

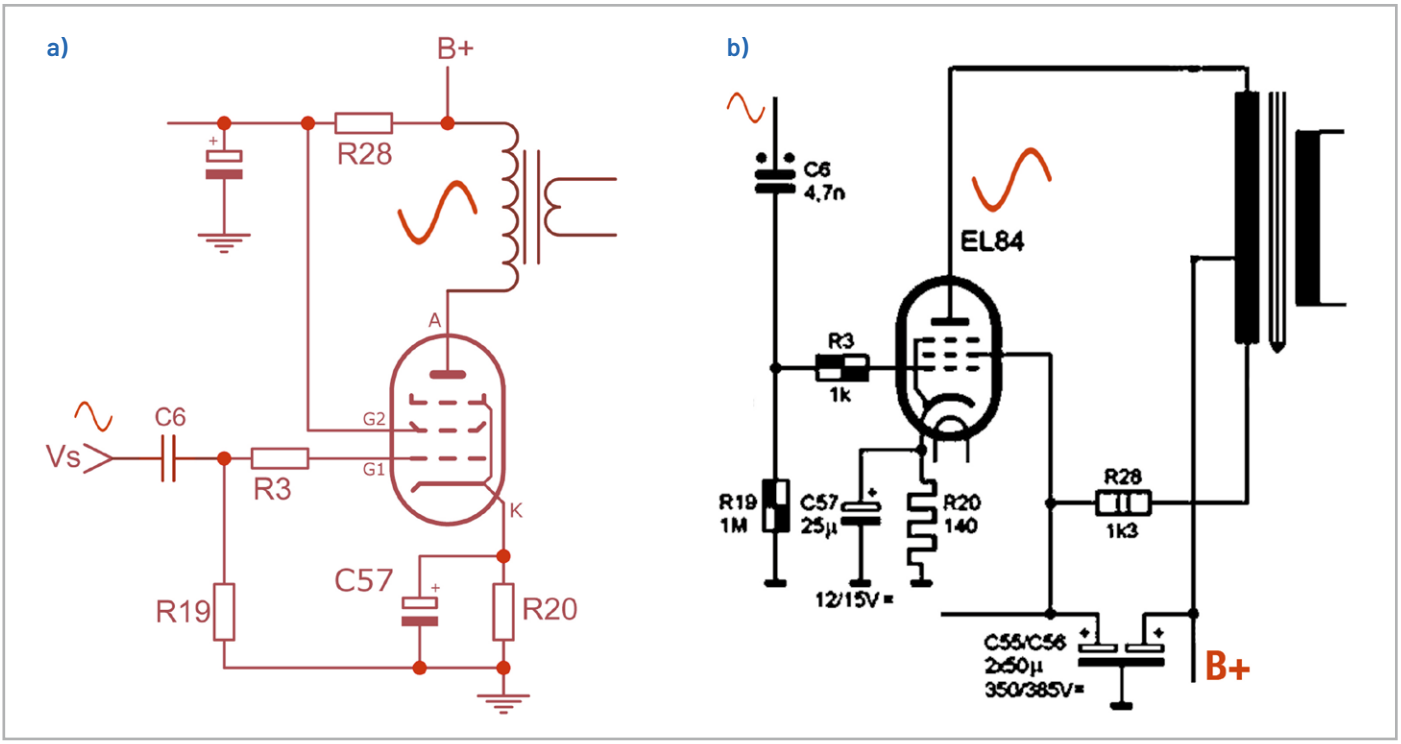


Bild 6: Typische Verstärkerschaltung (a) und die Verstärkerschaltung im Grundig 2147 (b)

einstellen, dass die Hälfte des maximalen Durchflusses durch den Schlauch fließt, ist das wie das Einstellen der Vorspannung am Steuergitter G1 der Röhre. Das Verändern des Gewichts am Fuß verändert die Menge des Wassers, die durch den Schlauch fließt. Ähnlich verändert die Einstellung der Vorspannung am Steuergitter der den Strom, der von der Anode zur Kathode fließt.

Wenn Sie einen gleichmäßigen Druck auf den Schlauch ausüben, stellen Sie effektiv einen stationären Zustand ein. Das Gleiche gilt bei einer konstanten Gleichstromvorspannung, die an G1 angelegt wird. Wenn Sie das Gewicht Ihres Fußes im Takt eines Lieds verändern, erhöht bzw. vermindert man die Wassermenge, die durch den Schlauch fließt. Bei unserer Röhre ist dies derselbe Effekt wie bei der Audiosignalspannung, die wir an G1 anlegen. Das AC-Wechselsignal überlagert die Vorspannungs-Gleichspannung, damit die Röhre den Stromfluss von der Anode zur Kathode synchron zu dem Audiosignal anpasst. Damit erstmal genug mit den gärtnerischen Analogien.

Die Vorspannung wird durch Anlegen einer negativen Gleichspannung an das Steuergitter G1 in Bezug auf die Kathode erzeugt. Je negativer die Spannung ist, desto geringer ist der Strom, der fließen wird. Wenn die Vorspannung zu negativ ist, kann die Röhre vollständig abgeschaltet werden. Ist die Spannung nur leicht im negativen Bereich oder sogar positiv, findet keine Steuerung des Stroms statt und die Röhre könnte „weit offen" sein, was zu einem möglichen Durchbrennen führen könnte.

Wie kann man eine negative Vorspannung erzeugen, wenn man keine negative Spannungsversorgung hat? Nun, denken Sie daran, dass die Vorspannung die Spannung zwischen Gitter und Kathode, U_{GK}, ist, und wir sagten bereits, dass wir davon ausgehen sollten, dass U_K 6 V_{DC} beträgt. Wie hoch ist also U_{GK}?

$$U_{GK} = U_G - U_K$$
$$= 0\,V - 6\,V$$
$$= -6\,V$$

Da haben wir es: eine negative Vorspannung am Gitter G1 relativ zur Kathode. Es gibt noch ein paar andere Komponenten, die erwähnenswert sind, z. B. der Widerstand R3. Dieser Widerstand ist ein sogenannter Gitterstopper (engl. gridstopper) und dient dazu, dass die Gitterspannung positiv wird, falls die Spannung des Audiosignals sehr stark schwankt (mehr als 6 V). In diesem Fall schützt er die Röhre und verhindert unerwünschte Schwingungen.

Der Kondensator C57 wird als Kathoden-Bypass-Kondensator bezeichnet, da er einen niederohmigen Pfad für AC-Schwankungen im Strom darstellt, die durch das Audiosignal an G1 verursacht werden. Das bedeutet, dass der Wechselstrom, der durch das Audiosignal am Gitter durch die Röhre erzeugt wird, nicht die konstante Spannung an der Kathode verändert, sodass die Kathode ihren stabilen vorgespannten Zustand beibehält. Außerdem wird dadurch die Verstärkung der Röhre erhöht und kann sogar dazu verwendet werden, den Frequenzgang der Endstufe zu verändern.

Der „gefürchtete" Kondensator

Das „Beste" der Schaltungsanalyse kommt zum Schluss – der Gleichspannungs-Abblockkondensator C6, der zwei Aufgaben hat: Er muss das Audiosignal vom Vorverstärker an die Endstufe weiterleiten und Gleichspannung abblocken, die an der Quelle des Audiosignals auftreten könnte. Der Vorverstärker als Baugruppe erzeugt das Signal normalerweise an der Anode der Vorverstärkerröhre, die ebenfalls unter Hochspannung steht. Aus dem Schaltplan geht hervor, dass die Spannung in diesem Fall in der Größenordnung von etwa 70 bis 80 V_{DC} liegt.

Wir haben gerade gesehen, dass die Steuergitterspannung der Leistungsröhre bei etwa null Volt liegen muss, damit die Ausgangsröhre richtig vorgespannt ist. Daher ist es nicht erwünscht, sie mit einem Signal, welches eine Gleichspannungskomponente hat, zu speisen. Das Problem ist, dass diese Kondensatoren (durch Alterung) manchmal „lecken". Das heißt, sie lassen Wechselstromsignale durch (was sie auch sollten), aber sie können auch Gleichspannung durchlassen. Das kann katastrophale Folgen für die Leistungsröhre haben. Wenn der Abblockkondensator stark „leckt", kann die G1-Spannung so hoch werden, dass sie die negative Spannung zwischen Gitter-zu-Kathoden-Spannung überwindet, die benötigt wird, um die Röhre unter Kontrolle zu halten. Zu viel positive Gleichspannung an G1 kann dann die Röhre vollständig öffnen und durchbrennen lassen und dabei möglicherweise den Ausgangstransformator beschädigen. Aus diesem Grund ist dieser Kondensator so gefürchtet und sollte immer vor dem Einschalten eines alten Röhrenradios ersetzt werden.

Nur aus reiner Neugierde wollen wir mal sehen, welche Spannung wir an G1 mit dem in unserem Restaurierungsobjekt vorhandenen Kondensator messen können. **Beachten Sie, dass dieser Test ohne Röhren durchgeführt wird, und die Spannung sollte etwa null Volt betragen.**

Bild 7 zeigt dabei das Ergebnis. Die Spannung am Gitter G1 der Röhre beträgt über 24 V_{DC}. Wenn wir das Radio mit eingebauten Röhren einschalten würden, könnte die Gleichspannung über C6 die Leistungsröhre und möglicherweise sogar den Ausgangstransformator beschädigen. Das ist das Risiko nicht wert. Daher ersetze ich immer diesen Kondensator, sogar wenn er noch in Ordnung zu sein scheint.

Prüfen und ersetzen

All diese Theorie ist schön und gut, aber was genau müssen wir in diesem Teil unseres Radios – der Endstufe – ersetzen? Nun, ich habe die notwendige Überprüfung durchgeführt, und das Ergebnis zeigt, dass alle Widerstände sehr nahe ihren Nennwerten sind (Tabelle 1). Bei den Kondensatoren sieht es etwas anders aus.

Bauteil	Nennwert	Messung
R26	1,3 k	1,344 k
R20	140 Ω	141,5 Ω
R3	1 k	1,005 k
R19	1 M	1,002 M
C6	4,7 nF	9,85 nF
C57	25 µF	49,7 µF

Tabelle 1: Erwartete und gemessene Werte der Bauteile in der Endstufe

Bild 8 zeigt die ersetzten Kondensatoren in der Schaltung (der gelbe 4,7 nF/630 V Folienkondensator für C4 und der schwarze Elektrolytkondensator 22 µF/50 V für C57. Die Verwendung von 22 µF für C57 ist nahe genug an den vorgeschriebenen 25 µF und die Spannung kann immer höher, aber nicht niedriger sein). Es ist ist sofort klar, dass der Platz zum Arbeiten dort ziemlich beengt ist. Man sollte sich Zeit nehmen und mit Umsicht vorgehen. Achten Sie darauf, die umliegenden Bauteile und Anschlusspunkte nicht zu beschädigen. Ein heißer Lötkolben kann die Drähte ziemlich stark beschädigen, was die Arbeit unordentlich aussehen lässt.

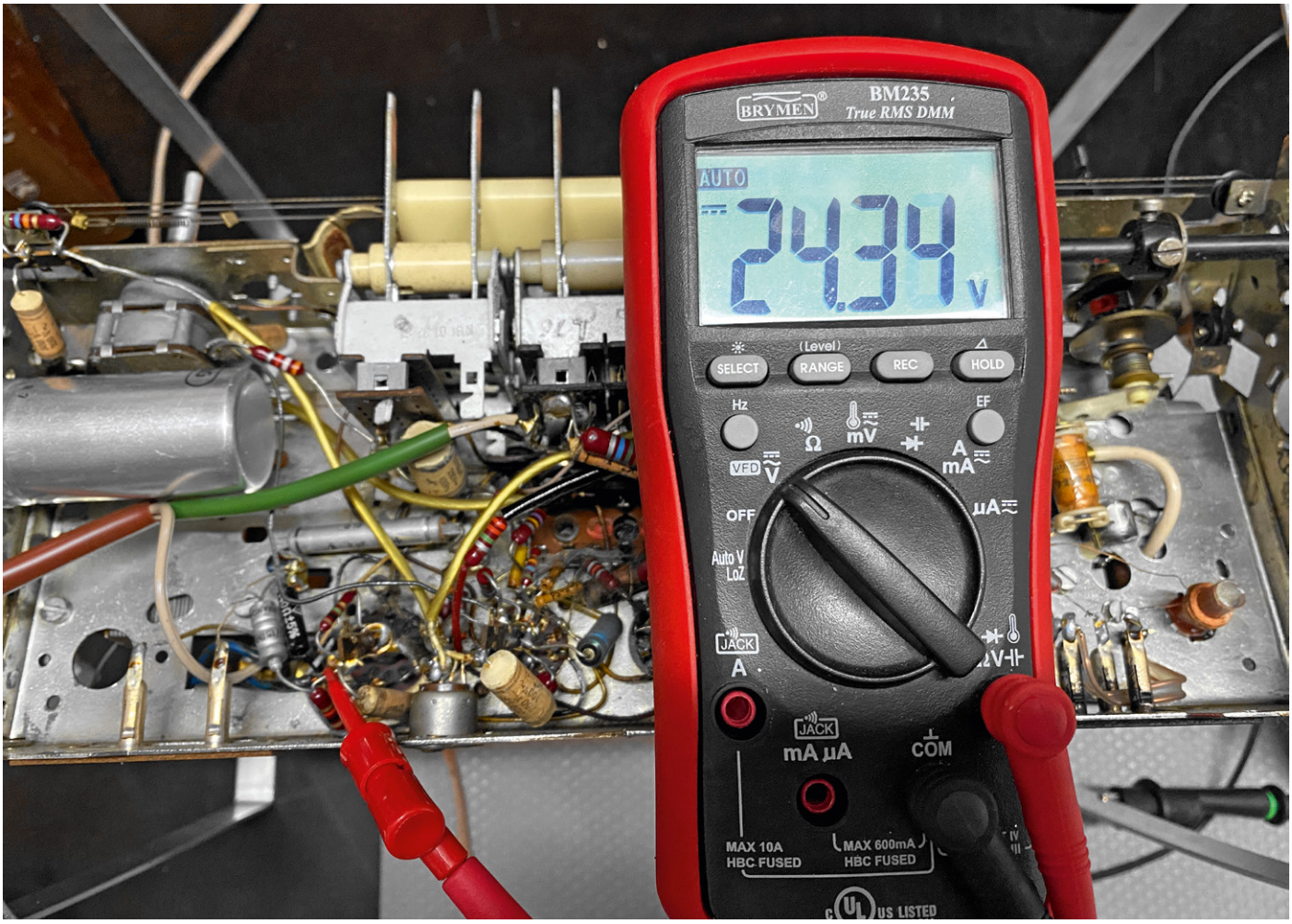


Bild 7: Die Gitterspannung mit dem im Restaurierungsobjekt verbauten Abblockkondensator (ohne eingesetzte Röhre)

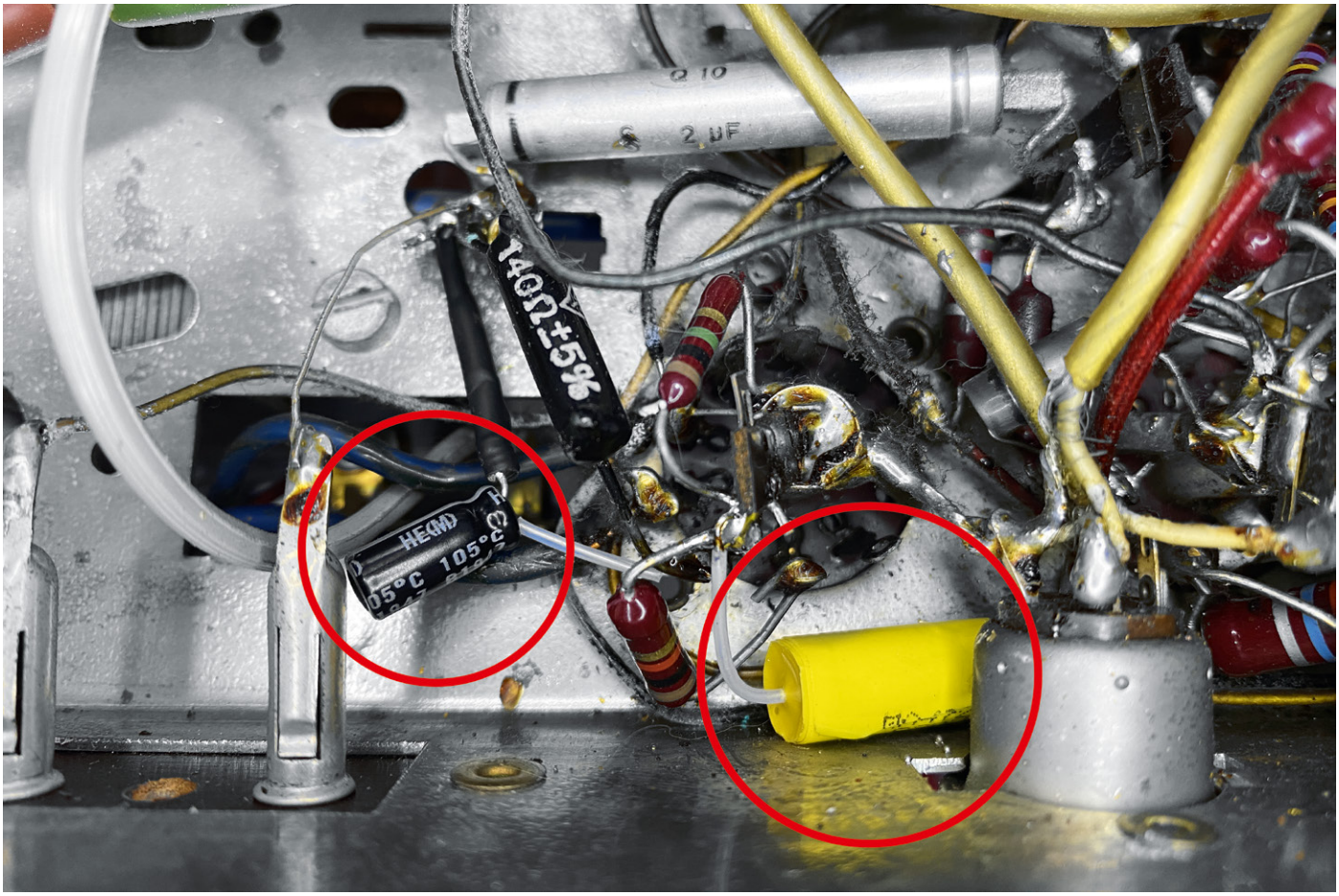


Bild 8: Die beiden ausgetauschten Kondensatoren in der Endstufe

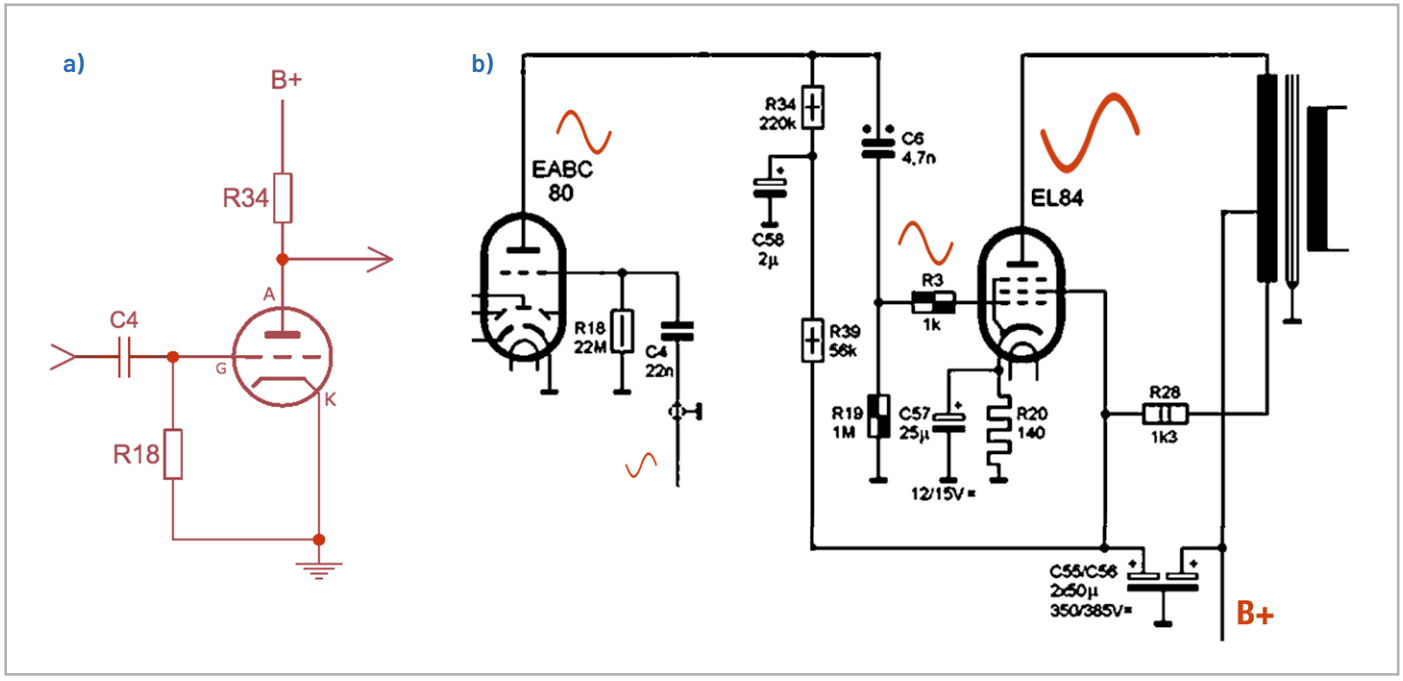


Bild 9: Typische Vorverstärkerschaltung (a) und die Vorverstärkerschaltung (mit Endstufe) im Grundig 2147 (b)

Wir haben nun den eigentlichen Endstufenteil fertiggestellt und kehren zur Signalquelle, dem Vorverstärker, zurück.

Der Vorverstärker

Nachdem die Funktionsweise der Endstufe und deren Komponenten detailliert erläutert wurde, ist die Beschreibung des Vorverstärkers sehr viel einfacher. Bild 9 a zeigt einen „typischen" Triodenverstärker im Vergleich zum Vorverstärker, den wir in unserem Grundig 2147 nutzen (Bild 9 b). Die Grundfunktion dieser Triode ist ähnlich wie bei der Pentode, die wir besprochen haben, mit ein paar Unterschieden.

Die in der Schaltung gezeigte Röhrenkomponente ist eine Triode, in diesem Fall eine EABC80-Röhre. Diese Röhre wird auch für die UKW- (FM) und AM-Empfangsfunktionen im Radio verwendet, da es sich um eine „Dreifach-Dioden-Triode" handelt, was ihre Funktion genau beschreibt. Sie enthält drei Dioden und eine Triode in demselben Glaskolben. Nur der Trioden-Teil wird hier für die so wichtige Vorverstärkung des Audiosignals verwendet.

Wegen des komplexen Aufbaus der Röhre kann die Darstellung im Gesamtschaltplan etwas verwirrend sein. Wenn wir sie jedoch „isolieren", wie wir es in Bild 9 getan haben, wird die Schaltung deutlich vereinfacht. Wir haben auch hier eine Vorspannungseinstellung, die nicht ganz „normal" ist. Die Röhre muss mit einer negativen Gitterspannung vorgespannt werden, wie zuvor für die EL84 beschrieben, aber dieses Mal haben wir keinen Kathoden-Widerstand. Wie wird also die Vorspannung erreicht?

Wenn wir uns die Funktionsweise der Röhre genauer ansehen, stellen wir fest, dass die Aussage „null Strom" nicht ganz korrekt ist. Es werden Elektronen von der Kathode emittiert, und zwar durch die Hitze des Heizfadens, und es bildet sich eine Elektronenwolke, die sogenannte Raumladung.

Einige der Elektronen treffen tatsächlich auf das Gitter, was bedeutet, dass ein sehr kleiner Gitterstrom möglich ist. Wenn wir einen sehr großen Widerstand zwischen Gitter und Masse schalten (R18 = 22 MΩ), fließt dieser kleine Strom durch das Gitter und kann eine beträchtliche negative Spannung am Gitter erzeugen, wodurch damit die notwendige Vorspannung eingestellt wird.

Die Triode EABC80 arbeitet mit einer Vorspannung von -1 VDC bis -3 VDC Vorspannung, sodass mit einem 22-MΩ-Widerstand nur zwischen 45 und 136 nA benötigt werden, um die Vorspannung zu erzeugen. Diese Vorspannungsmethode wird als „grid-leak bias" bezeichnet und ist nicht wirklich einfach zu kontrollieren. Sie funktioniert jedoch in unserem Radio und in vielen anderen Modellen aus dieser Ära, die das gleiche System mit Röhren verwenden.

Auch hier sehen wir einen Gleichspannungs-Abblockkondensator C4, der das Audiosignal an das Gitter koppelt, und sein Zweck ist derselbe wie zuvor: Er verhindert, dass externe Gleichspannung die Vorspannung der Röhre verändert. Die Bedeutung dieses Kondensators für eine gute Funktionsweise des Radios ist ebenfalls sehr wichtig. Wir sehen aber, dass er mit dem Lautstärkeregler verbunden ist, wo kein Gleichstrom vorhanden sein sollte. So ist die Gefahr dafür geringer, dass das Auslaufen des Kondensators die Röhre beschädigt.

Das Audiosignal überlagert die negative DC-Vorspannung am Gitter und moduliert den Strom durch die Röhre, genau wie zuvor schon bei der Endstufe beschrieben. Das Signal wird dadurch in verstärkter und invertierter Form über den Widerstand R34, der in diesem Fall als Last fungiert, an der Anode wiedergegeben. Das resultierende Signal gelangt in die Verstärkerstufe über den bereits erwähnten Kondensator C6, der die 70 bis 80 VDC an dieser Anode sperrt, während er das Audiosignal durchlässt. Der Widerstand R39 und der Kondensator C58 dienen lediglich dazu, die Hochspannungsversorgung weiter abzusenken, um eine stabile, niedrigere Spannung für die Anode der Triode über den 220-kΩ-Lastwiderstand (R34) bereitzustellen.

Die üblichen Überprüfungen (Tabelle 2) zeigen, dass nur ein Bauteil ersetzt werden muss, nämlich der Kondensator C4 (Bild 10). Der Platz an den Pins dieser Röhre ist sogar noch knapper, da die wichtige Funktion der Dioden zum Empfang der UKW- und AM-Funkwellen ebenfalls bereitgestellt werden. Auch hier sorgen Geduld und Sorgfalt dafür, dass Sie ein gutes Ergebnis erzielen.

Was nun?

Wir scheinen jetzt alles beachtet zu haben, oder? Falsch! Diese Radios haben ein weiteres sehr wichtiges Merkmal, nämlich die unglaublichen Klangformungs- und Kontrollfunktionen, die dafür sorgen, dass Ihr Hörerlebnis zu Ihrer vollsten Zufriedenheit sichergestellt wird. Dieser Aspekt ist besonders bei deutschen Röhrenradios aus dieser Zeit bemerkenswert, was einer der Gründe ist, dass sie auch heute noch so beliebt sind.

Eine Klangregelung kann durch einfaches Hinzufügen eines Potentiometers (verdrahtet als variabler Widerstand) in Reihe mit einem Kondensator zwischen dem Signalweg, wo es den Vorverstärker verlässt und an Masse angeschlossen wird, erreicht werden (Bild 11). Dadurch wird lediglich ein einstellbares Band hoher Frequenzen nach Masse „entweichen" und daher nicht die zu verstärkende Röhre EL84 erreichen. Je kleiner der Widerstand am variablen Widerstand ist, desto mehr hohe Frequenzen werden entfernt.

Unser Grundig 2147 verwendet ein viel komplexeres System mit einigen schaltbaren Voreinstellungen (Sprache und Musik), einem einstellbaren Tonregler sowie einer erstaunlichen „Lautstärke"-Funktion bei bei geringerer Lautstärke.

Die Klangregelung

Die schematische Darstellung in Bild 12 gibt uns einen besseren Überblick über alle zusätzlichen Komponenten im Audioteil, die nicht direkt mit den zuvor beschriebenen grundlegenden Audio-Verstärkungsfunktionen zu tun haben. Lassen Sie uns zunächst einige der sekundären Komponenten aus dem Weg räumen:

Bauteil	Nennwert	Messung
R18	22 MΩ	22,9 MΩ
R34	220 kΩ	214,2 kΩ
R39	56 kΩ	57,2 kΩ
C58	2 µF	2,02 µF
C4	22 nF	48,2 µF

Tabelle 2: Erwartete und gemessene Werte der Bauteile im Vorverstärker

C13: Dieser Kondensator ist an die Primärseite des Ausgangstransformators angeschlossen. Seine Funktion ist es, alle Frequenzen auszuschalten, die für den Transformator zu hoch sind, um sie in Klang umzuwandeln, indem er sie effektiv mit der Stromversorgung „kurzschließt". Dies ist wichtig, da manchmal Schwingungen bei Frequenzen jenseits des hörbaren Bereichs auftreten können, was die Röhre und den Transformator belastet und dem System schaden kann. Die Spannungsfestigkeit dieses Kondensators muss ziemlich hoch sein. Während wir intuitiv erwarten, dass die höchstmögliche Spannung in einem Radio die der Versorgungsspannung ist, kann sie hier aufgrund der induktiven Wirkung der Trafowicklung viel höher sein.

C33: Dieser Kondensator ist ebenfalls für Filterzwecke vorgesehen. Da er einen sehr niedrigen Wert hat, ist dies ein Hinweis darauf, dass er sich nur auf sehr hohe Frequenzen auswirkt. Die Idee ist, dass jede Hochfrequenz, die dem Audiosignal noch überlagert wird oder die von anderen Elementen der Röhre (den drei Dioden) in die Triode eingekoppelt wird, durch diesen Kondensator entfernt wird.

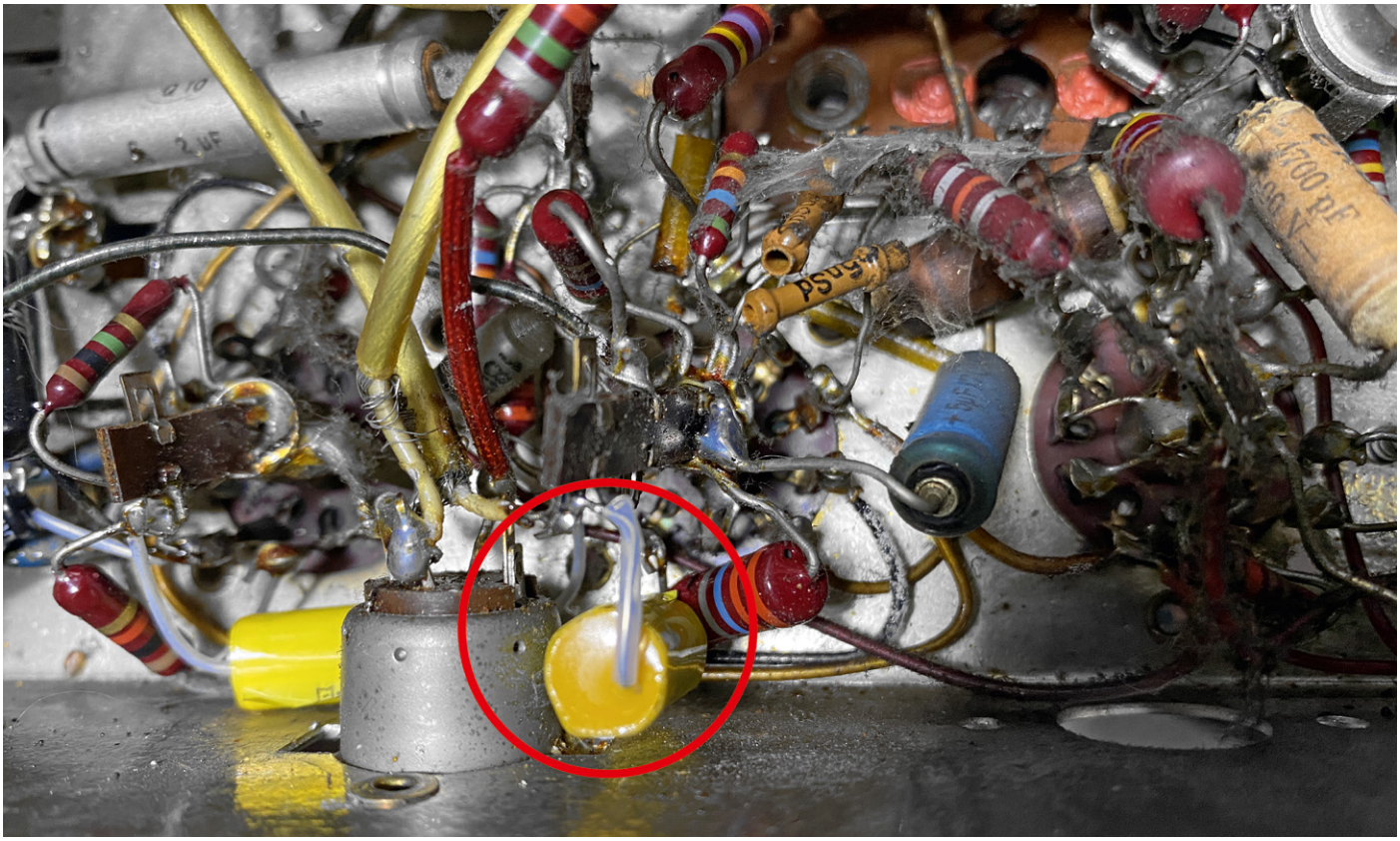


Bild 10: Im Vorverstärker muss nur ein Kondensator ausgetauscht werden.

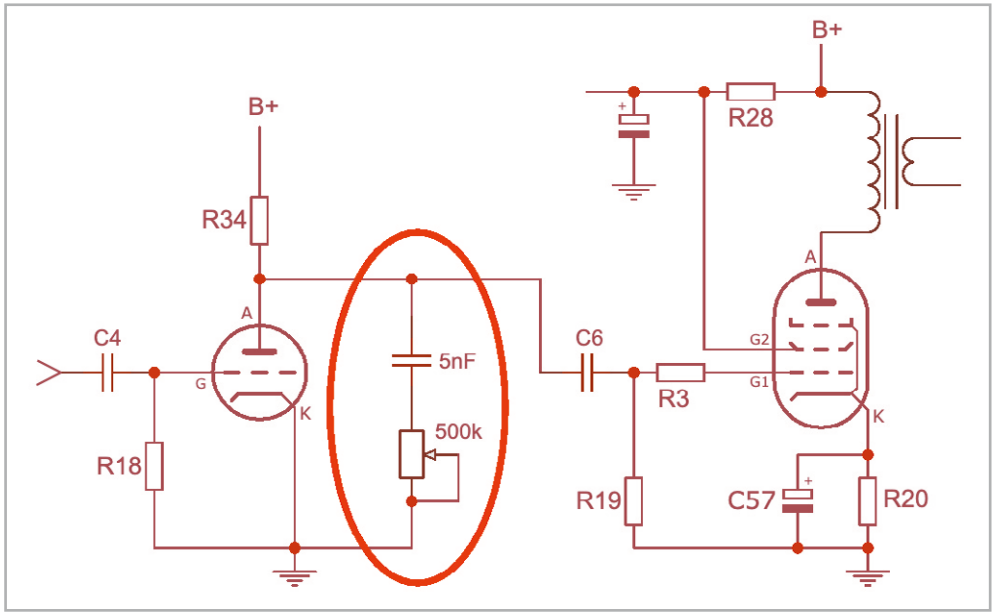


Bild 11: Eine sehr einfache Klangregelung – hier am Beispiel eines Brauns der Serie SK2

Nun kommen wir zu den wichtigsten Komponenten der Klangregelung. Die erste Komponente ist offensichtlich, wenn wir uns das Lautstärke-Potentiometer ansehen. Wir sehen einen weiteren Abgriff am Potentiometer, an den ein Kondensator (C2) und ein Vorwiderstand (R6) angeschlossen sind, die mit Masse verbunden werden. Dies erzeugt einen „Pseudo-Loudness-Effekt", wenn das Radio mit geringer Lautstärke spielt. Stellen Sie sich vor, dass die Lautstärke auf Maximum eingestellt ist. Bei diesem Pegel geht das gesamte Audiosignal direkt zum Vorverstärker durch. Was passiert nun, wenn wir die Lautstärke verringern? Wenn wir die Lautstärke so einstellen, dass der Schleifer des Potentiometers genau an dem Punkt steht, von dem die zusätzliche Anzapfung abgeleitet ist, ergibt sich eine interessante Situation. Der Ton wird aufgrund der Spannungsteilerfunktion des Potentiometers reduziert, aber wir haben auch einen anderen Effekt, nämlich

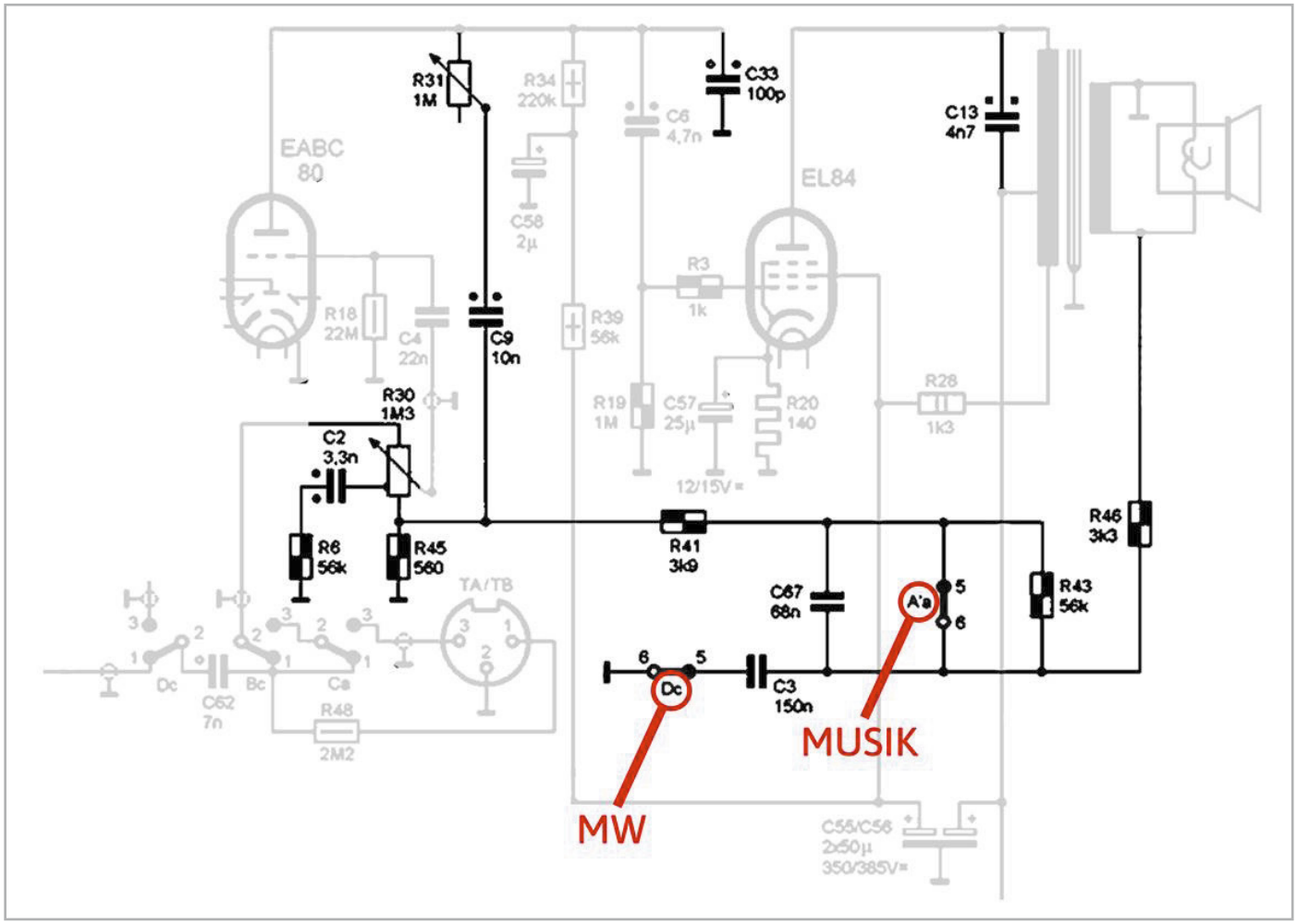


Bild 12: Die Komponenten für die Klangregelung im Audioteil

den einer Kondensator/Widerstand-Kombination gegen Masse. Das Signal sieht an diesem Punkt nun einen anderen möglichen „Fluchtweg" als den den Schleifer. Allerdings sehen nicht alle Frequenzen dies als einen einfachen Ausweg. Ein Kondensator hat eine Impedanz, die niedriger wird, je höher die Frequenz ist. Daher ist bei niedrigen Frequenzen eine recht hohe Impedanz vorhanden, sie werden zum Schleifer „umgeleitet", gelangen daher durch das System und werden als Ton wiedergegeben. Höhere Frequenzen können jedoch durch diesen Pfad entweichen und werden daher vom Gesamtsignal, das zur Verstärkung gelangt, abgezogen. Der Effekt ist, dass der Ton „wärmer" wird, weil der Klang weniger hohe Frequenzen und mehr Bässe enthält. Die Position des zusätzlichen Abgriffs ist strategisch so gewählt, dass er bei sogenannten „niedrigen Lautstärken" liegt, was zur Folge hat, dass der Ton bei dieser Lautstärke nicht „rau", sondern eher basslastig und daher „wärmer" und angenehmer wirkt.

Konventionelle Klangregelung

Wir kommen nun zur „konventionellen" Klangregelung nach der Vorverstärkerröhre. R31 (1 MΩ) ist als variabler Widerstand verdrahtet, in Reihe mit C9 (10 nF), der zwischen dem Ausgang der Vorverstärkerröhre und Masse verbunden ist. Dies wirkt als sehr einfacher einstellbarer Tiefpassfilter, der es ermöglicht, mehr oder weniger hohe Frequenzen durch Erhöhen oder Verringern des Widerstands in Reihe mit dem Kondensator abzuschneiden.

Wenn das Potentiometer auf sein Minimum gedreht wird, werden die höheren Frequenzen stark gedämpft, da sie durch den Kondensator zur Masse „entweichen". Durch Erhöhung des Widerstands reduzieren wir den Hochfrequenz-„Verlust" bis zu dem Punkt, an dem die Frequenzen fast nicht mehr abgeschnitten werden. Auf diese Weise erhöhen wir nicht wirklich die Bässe, sondern steuern eher, wie viel Höhenfrequenzen in den endgültigen verstärkten Klang durchgelassen werden.

Die übrige Schaltung zur Klangformung ist ein wenig komplizierter zu visualisieren. Sie beginnt mit R46, der am eigentlichen Lautsprecheranschluss angeschlossen ist. Mit diesem Widerstand beginnt die Rückkopplungsschleife, die schließlich an der Unterseite des Lautstärkepotentiometers endet, und durch R45 von der Masse abgehoben wird und ebenfalls zur Masse über den Schalter Dc geht.

Was tatsächlich passiert: Ein Teil des Audio-Ausgangssignals wird an die Unterseite des Potentiometers geleitet. Wegen der Widerstände und Kondensatoren im Pfad ist es offensichtlich, dass nicht das gesamte Lautsprechersignal zurückkommt. Die Menge, die zurückgeführt wird, wird effektiv vom Signal **subtrahiert**, das zum oberen Ende des Potentiometers geleitet wird, was wiederum das Signal beeinflusst, das durch den Schleifer zur Verstärkung gelangt.

Das Rückkopplungssignal ist auch frequenzabhängig, was auf die Kondensatoren im Signalweg zurückzuführen ist. Durch die Auswahl der Frequenzen, die zurückgeführt werden sollen, können Sie den Klang, den Sie aus den Lautsprechern hören wollen, beeinflussen.

Ich hoffe, diese Logik ergibt für Sie Sinn. Das Konzept der Rückkopplung ist nicht leicht zu verstehen, aber wenn es dann verständlich ist, scheint auf einmal alles klar zu sein. Schauen wir uns deshalb die beiden Optionen im Rückkopplungskreis an:

Schalter Dc: Dieser Schalter ist Teil des MW-Wählers, der auch mit dem UKW-Wahlschalter zusammenarbeitet (siehe Bild 4). Bei jeder Auswahl außer UKW ist dieser Schalter geschlossen. Das bedeutet, dass er die hohen Frequenzen reduziert, was zu einem bassreicheren Klang führt, da der AM-Empfang nicht wirklich eine große Bandbreite hat. Wenn UKW ausgewählt ist, wird dieser Schalter geöffnet und der Frequenzbereich des Tons erweitert, um die höhere Klangtreue zu ermöglichen, die ein UKW-Signal kennzeichnet.

Schalter A'a: Dieser Schalter ist geschlossen, wenn die Taste Sprache gedrückt wird, und er wird geöffnet, wenn Sie die Taste Musik wählen. Auch hier kann die Klangfarbe eingestellt werden, je nachdem, ob Sie mehr oder weniger hohe Frequenzen in dem Signal, das Sie gerade hören, haben möchten.

Bauteil	Nennwert	Messung
C2	3,3 nF	6,3 nF
R6	56 kΩ	56,3 kΩ
R45	560 Ω	561 Ω
R31	1 MΩ	1,15 MΩ
R30	1,3 MΩ	1,45 MΩ
C9	10 nF	17 nF
R41	3,9 kΩ	3,75 kΩ
C13	4,7 nF	7,4 nF
C33	100 pF	107 pF
C67	68 nF	109 nF
C3	150 nF	369 nF
R43	56 kΩ	56,1 kΩ
R46	3,3 kΩ	3,18 kΩ

Tabelle 3: Erwartete und gemessene Werte der Bauteile im Bereich der Klangregelung

Auch im Bereich der Klangregelung überprüfen und ersetzen wir Bauteile, um sicherzustellen, dass unser Radio auch hinsichtlich der Signalausgabe richtig gut funktioniert (Tabelle 3).

Messung der Komponenten im Schaltkreis

Die getesteten Komponenten zeigen einen Trend: gute Widerstände und (sehr) schlechte Kondensatoren. Da die Papierkondensatoren diesen Trend zeigen, entferne ich sie einfach und teste sie komplett außerhalb der Schaltung, weil ich weiß, dass ich sie wahrscheinlich sowieso ersetzen muss. Die Widerstände sind eine andere Geschichte. Viele können tatsächlich getestet werden, wenn sie nicht direkt mit anderen Bauteilen verbunden sind, die ihren Wert beeinflussen. Ein Widerstand, der ausschließlich mit einem Kondensator verbunden ist, lässt sich zum Beispiel messen, ohne eine der beiden Leitungen abzutrennen. Wenn dies jedoch nicht möglich ist, kann die Messung nur dann korrekt durchgeführt werden, wenn einer der Anschlüsse abgelötet wird.

Wie weit sind wir gekommen?

Mit der Überprüfung des gesamten Netzteils und der Audioschaltung, sind wir jetzt nahe an der spannenden Phase, bei der wir die Audioausgabe tatsächlich testen können. Dies geschieht mit einem Audiosignal, welches wir in den Kassetteneingang (TA) auf der Rückseite des Radios einspeisen, was dann hoffentlich am Lautsprecher ausgegeben wird.
Wir werden dann auch die Funktionen der Klangregelung testen. Die Arbeitsschritte in diesem Beitrag haben unseren „gemalten" Schaltplan sehr gut ergänzt (Bild 13).

Im nächsten Beitrag werden die Tests der Audiostufe in Angriff genommen. ELV

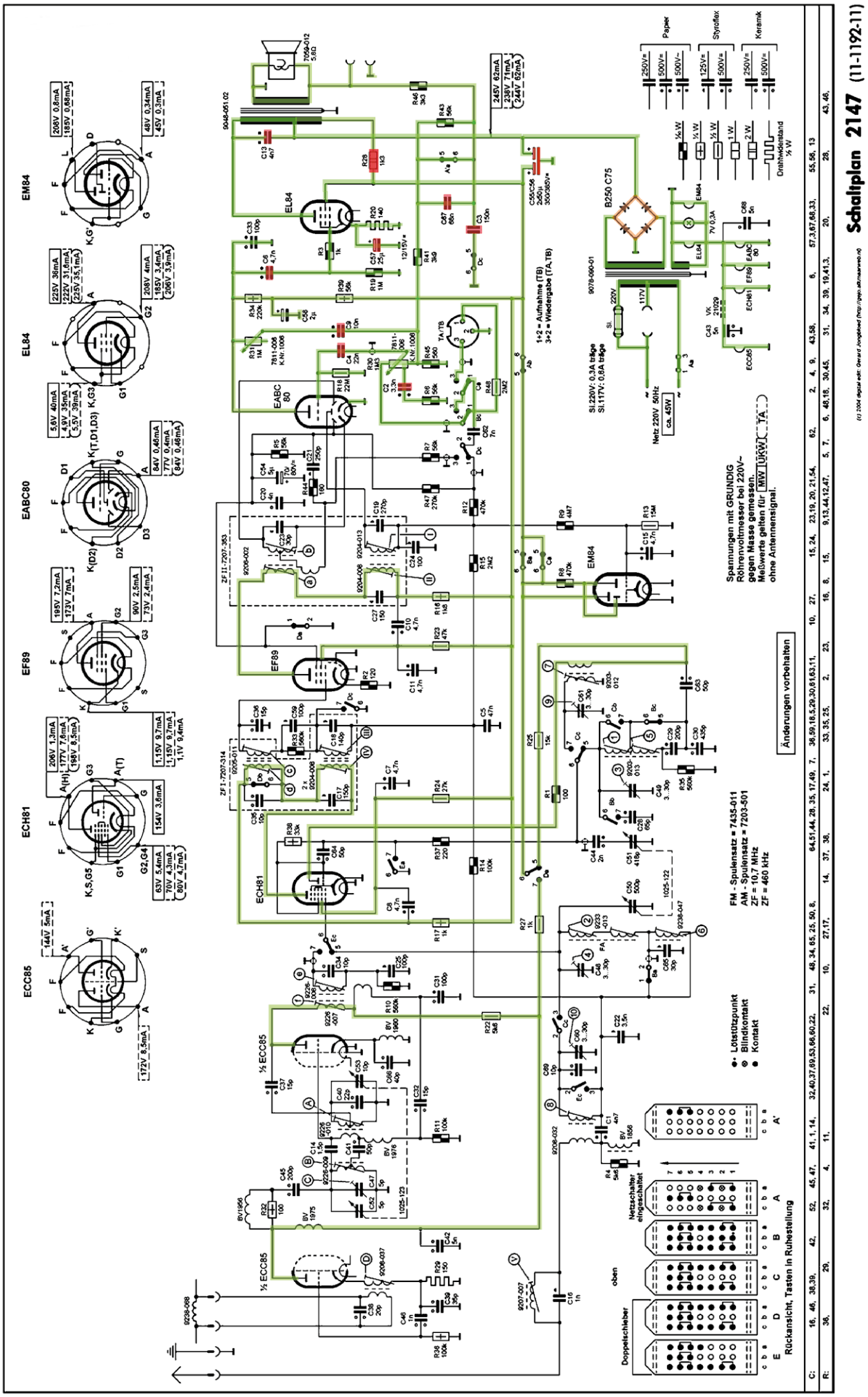


Bild 13: Die Fortschritte bei der Restaurierung, durch farbliche Markierungen im Schaltplan kenntlich gemacht