

Aus FUNKSCHAU 10/1957 (im Original 3-spaltig). Digitalisiert 08/2017 von Eike Grund für <http://www.radiomuseum.org> mit freundlicher Genehmigung der FUNKSCHAU-Redaktion. Die aktuellen Ausgaben der FUNKSCHAU finden Sie unter <http://www.funkschau.de>

## Kleine Hi-Fi-Anlage für den Heimgebrauch

von Gerd Latzel

**Endstufe mit geringstmöglichem Aufwand und einer für Wohnräume ausreichenden Sprechleistung – Steuerverstärker mit Mikrofon-Vorverstärker, Eingangsumschaltung, Klangregel-Netzwerk und Katodenausgangsstufe – Abstimmzusatz zum UKW-Vorsatzgerät.**

Die in neuerer Zeit entwickelten Hi-Fi-Verstärker mit Gegentakt-Endstufe in Ultralinear-schaltung und zusätzlicher Gegenkopplung auf die Vorröhre sind gewöhnlich in der Lage, mindestens 10 W Sprechleistung (mit 2 x EL 84), manchmal sogar 20 W und mehr (mit 2 x EL 34, vgl. FUNKSCHAU 1956, Heft 3, Seite 106) in Hi-Fi-Qualität an den Lautsprecher abzugeben.

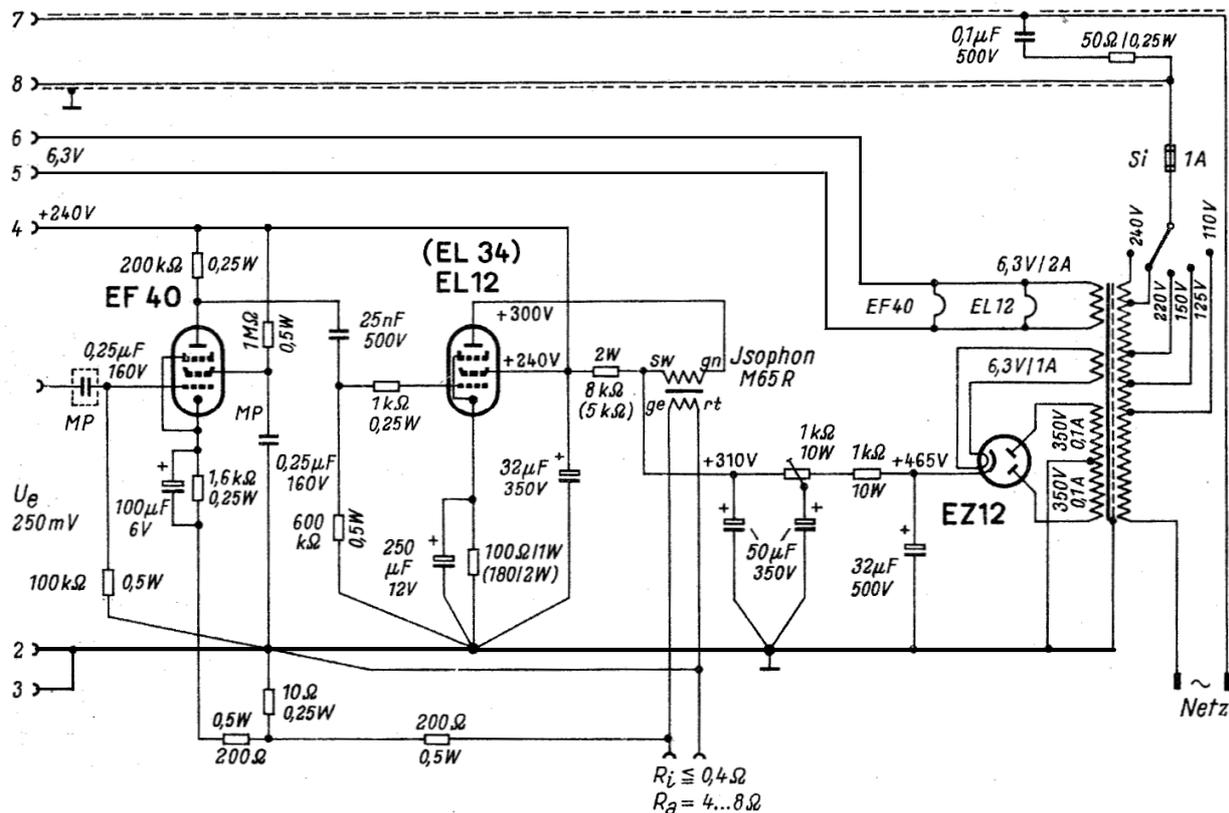
In Verbindung mit modernen Lautsprecherkombinationen läßt sich hiermit selbst in größeren Wohnräumen eine Wiedergabe erzielen, die hinsichtlich ihrer Lautstärke der Originaldarbietung eines mittelgroßen Orchesters sehr nahe kommt. Wenn es vielleicht auch manche Besitzer von teuren Hi-Fi-Anlagen geben mag, die gelegentlich voll Stolz (und manchmal auch zum Ärger ihrer Nachbarn!) von dieser Möglichkeit Gebrauch machen, so wird doch im allgemeinen die Anwendung der Hi-Fi-Technik im Heim auf die möglichst naturgetreue Wiedergabe in Zimmerlautstärke beschränkt bleiben. Nach Ansicht des Verfassers dürfte es beim Bau einer kleinen Hi-Fi-Anlage die günstigste Lösung darstellen, wenn man den Aufwand für den Endverstärker zugunsten einer möglichst hochwertigen Lautsprecheranordnung verringert. Mit einer einfachen Endröhre und einer starken frequenzunabhängigen Gegenkopplung von der Sekundärseite des Ausgangsübertragers auf die möglichst hochverstärkende Vorröhre lassen sich bereits erstaunlich günstige Ergebnisse erzielen.

Wie die nachstehend aufgeführten technischen Daten der in **Bild 2** dargestellten Schaltung zeigen, kann einer solchen Endstufe eine Leistung von 2 bis 3 W in Hi-Fi- Qualität entnommen werden, so daß selbst bei Wiedergabe in reichlicher Zimmerlautstärke (hierfür werden nicht mehr als 100 mW Sprechleistung benötigt!) noch ausreichende Leistungsreserven für kurzzeitige Lautstärkespitzen und zur Tiefenanhebung vorhanden sind.

Bei der Schaltung des Endverstärkers (**Bild 2**) handelt es sich um einen normalen zweistufigen RC-gekoppelten Verstärker. Im Modell wurden die Röhren EF 40 und EL 12 verwendet, doch können auch neue Typen ohne wesentliche Änderungen benutzt werden. So sind z. B. die sich für die Röhre EL 34 ergebenden Werte in Bild 2 in Klammern angegeben. Die Katodenwiderstände der Vor- und Endröhre sind durch Kapazitäten wechselstrommäßig überbrückt, um eine möglichst hohe

### Der Endverstärker

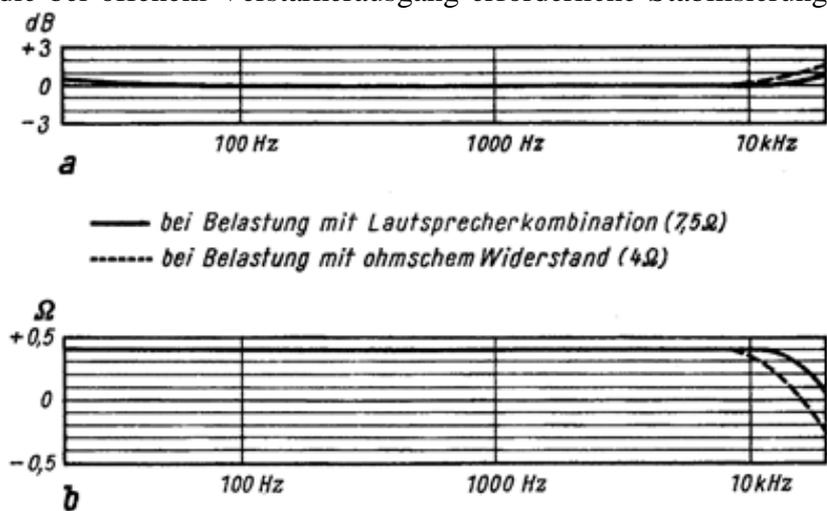
Frequenzbereich:	20...20 000 Hz	Harmonische Verzerrungen
Frequenzgang:	geradlinig $\pm 0,5$ dB	bei 3 W Sprechleistung: 0,25% bei 1000 Hz
Max. Sprechleistung:	5,3 W bei 1000 Hz	Klirrfaktor (gleichfalls
(abgegeben an $7,5 \Omega$	4,2 W bei 60 Hz	bei 3 W Sprechleistung):
$7,5 \Omega$ bei 10 %	4,6 Watt bei 15 kHz	1% bei 60 Hz
Klirrfaktor)		1% bei 15 kHz
Intermodulationsverzerrungen		Gegenkopplung: 24 dB (= 16fach)
bei 2 W Sprechleistung, gemessen		Eingangsempfindlichkeit: 250 mV
zwischen 50 Hz und 7000 Hz:		(für 3 W Sprechleistung)
im Amplitudenverhältnis	1:1 < 1,25 %	Ausgang: $R_i < 0,4 \cdot 52,$
	4:1 < 2,4 %	$R_a = 4...8 \cdot 52$
Eigenstörspannung:	< 0,2 mV	
(an $R_a = 7,5 \Omega$ )		
Störspannungsabstand:	> 88 dB	
(bezogen auf 3 W Sprechleistung)		



Spannungsverstärkung (ohne Gegenkopplung rd. 10 000fach) zu erhalten. Zur Linearisierung des gesamten Verstärkers einschließlich des Ausgangsübertragers führt von den Ausgangsklemmen eine starke frequenzunabhängige Gegenkopplung in den Katodenkreis der EF 40 zurück. Damit auch bei höheren Gegenkopplungsgraden ein stabiles Arbeiten des Verstärkers gewährleistet ist, muß für den Ausgangsübertrager eine möglichst kapazitäts- und streuarmer Ausführung mit verschachtelten Wicklungen gewählt werden.

Mit dem leicht zu beschaffenden IsophonAusgangsübertrager M 65 R arbeitet der Verstärker bei der vorgesehenen 16fachen Gegenkopplung einwandfrei, solange sein Ausgang belastet wird. Für den ausgangsseitigen Leerlauf erwies sich jedoch eine zusätzliche Stabilisierung als notwendig, um eine restliche Schwingneigung des Verstärkers im Ultraschallbereich zu unterdrücken. Dies geschieht in einfachster Weise durch eine Stromgegenkopplung in der Vorröhre. Dabei ist es allerdings nicht erforderlich und auch gar nicht zweckmäßig, den gesamten Katodenwiderstand zu verwenden. Hiermit wäre ein zu großer Verstärkungsrückgang und damit auch eine unerwünschte Verminderung der den gesamten Verstärker erfassenden Spannungsgegenkopplung verbunden. Mit einem zusätzlichen Widerstand von 200 Ω in der Katodenleitung der Vorstufenpentode erhält man bereits mit genügender Sicherheit die bei offenem Verstärkerausgang erforderliche Stabilisierung.

Im Gegensatz zu anderen Schaltungen, die meist eine kapazitive Überbrückung des Gegenkopplungswiderstandes und andere Dämpfungsglieder für Frequenzen über 20 kHz verwenden, sind in der gesamten Schaltung höhenbeschneidende Schaltelemente vermieden worden, so daß in Verbindung mit der starken Gegenkopplung eine lineare Frequenzkurve (Bild 3 a) gesichert ist. Ebenso werden natürlich auch die nichtlinearen



Verzerrungen sowie der Innenwiderstand und die Störspannung des Verstärkers durch die linearisierende Wirkung der Gegenkopplung herabgesetzt. Wie **Bild 4** zeigt, ist der Klirrfaktor bis zu 3 W Sprechleistung etwa 10 mal kleiner als ohne Gegenkopplung.

Der stark verminderte Innenwiderstand wirkt sich auf die Wiedergabequalität des Verstärkers ebenfalls sehr günstig aus. Da er im ganzen Frequenzbereich kleiner als  $0,4 \Omega$  ist (**Bild 3 b**), werden die Eigenresonanzen angeschlossener Lautsprecher stark gedämpft, so daß sich eine ausgeglichene Schalldruckkurve ergibt. Ferner ändert sich die Ausgangsspannung zwischen Leerlauf und voller Belastung (mit  $R_a = 8 \Omega$  bis  $R_a = 4 \Omega$ ) nur um 5 bis 10 %.

Allerdings ist trotzdem auf eine ausreichende Anpassung des Lautsprechers an den Verstärker zu achten, denn mit kleineren Belastungswiderständen als  $4 \Omega$  würde der Klirrfaktor ziemlich rasch anwachsen. Mit einer Lautsprecherimpedanz von 7 bis  $8 \Omega$  ist dagegen der Klirrfaktor, bezogen auf die gleiche Sprechleistung, besonders niedrig, um dann bei noch hochohmigerer Belastung wieder anzusteigen.

Im Netzteil wird das Auftreten der Einschaltspannungsspitze durch die indirekt geheizte Gleichrichterröhre EZ 12 verhindert, so daß die Nennspannung der Elektrolytkondensatoren nicht über den jeweiligen Betriebsspannungswerten zu liegen braucht. Damit Netzspannungsschöße auch in der Anodengleichspannung der Endröhre nicht mehr so stark in Erscheinung treten, wird der meist üblichen LC-Siebung ein RC-Filter vorgezogen. Dieses erfordert zwar infolge des höheren Spannungsabfalles einen etwas größeren Netztransformator mit einer Anodenspannungswicklung von  $2 \times 350 \text{ V}$ , jedoch wird dieser Nachteil durch die eingesparte Siebdrossel praktisch wieder ausgeglichen.

Auch hinsichtlich der Brummsiebung ist die zweigliedrige RC-Filterkette einem normalen LC-Glied nicht unterlegen. Ihr Gesamtwiderstand von  $2 \text{ k}\Omega$  ist im Verhältnis 3:1 aufgeteilt, damit die Betriebsspannung des  $2 \times 50 \mu\text{F}$ -Kondensators nicht überschritten wird, wobei der Gesamtsiebfaktor noch fast 80 % des bei optimaler Aufteilung des Siebwiderstandes im Verhältnis 1 : 1 erreichbaren Wertes beträgt. Die Schirmgitterspannung der Endröhre und die Betriebsspannungen der Vorröhre werden durch ein weiteres RC - Glied von Brummspannungsresten befreit, so daß die Eigenstörspannung des Verstärkers sehr klein ist. Da sie außerdem durch die Gegenkopplung um weitere 24 dB vermindert wird, erhält der Verstärker die erstaunlich hohe Dynamik von rd. 90 dB ( $\cong 1 : 30\,000$ ).

### Der Steuerverstärker

Die Schaltung des Steuerverstärkers (**Bild 5**) kommt mit zwei Röhren aus. Zur Mikrofonverstärkung ist eine Pentode EF 40 vorgesehen, die eine Eingangsempfindlichkeit von 2,5 mV und den hohen Eingangswiderstand von  $10 \text{ M}\Omega$  besitzt, so daß sowohl Kristallmikrofone als auch Kondensator- und Tauchspulenmikrofone mit zugehörigem Übertrager an den Mikrofoneingang angeschlossen werden können

Die eigentliche Eingangsumschaltung wird erst hinter dieser Mikrofonröhre vorgenommen. Außer auf diese kann mit den vorhandenen vier Drucktasten auf einen Plattenspieler, auf einen Detektorempfänger mit Germaniumdiode für den Mittelwellen-Ortsempfang oder auf ein UKW-Vorsatzgerät umgeschaltet werden. Auf eine Mischmöglichkeit mit getrennten

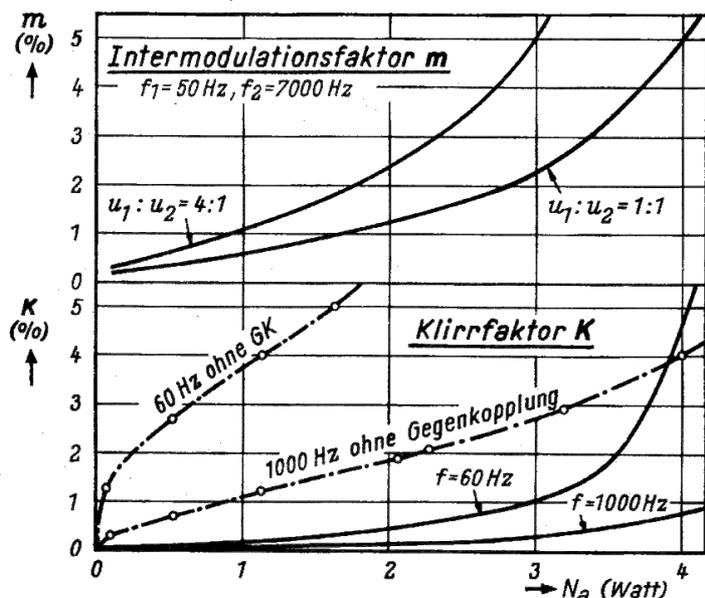


Bild 4. Intermodulations- und Klirrfaktorkurven

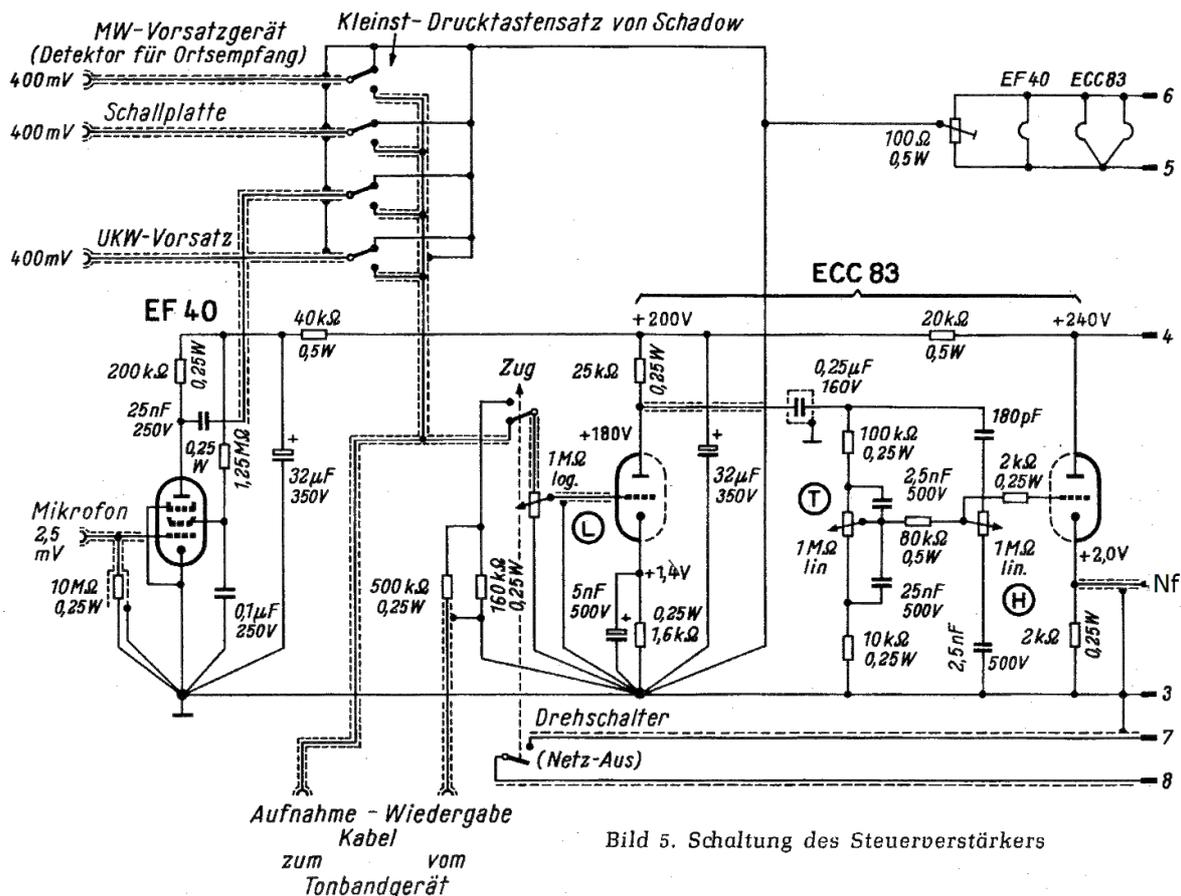


Bild 5. Schaltung des Steuerverstärkers

Reglern wurde verzichtet, da im Heim die gleichzeitige Wiedergabe verschiedener Darbietungen erfahrungsgemäß kaum benötigt wird. Gegebenenfalls kann jedoch (z. B. für Tonbandaufnahmen) durch gleichzeitiges Drücken der Mikrofontaste eine Mikrofondurchsage in ein Musikprogramm eingeblendet werden, indem die Ausgangsspannung des angeschlossenen Mikrofon regelbar gemacht wird.

Die mit einer Drucktaste jeweils gewählte Tonspannungsquelle ist dauernd mit dem Aufnahmeingang eines Tonbandgerätes verbunden. Dagegen kann der Steuerverstärker mit einem mit dem zugehörigen Lautstärkereger kombinierten Druck-Zug-Umschalter auch an den Wiedergabeausgang des Tonandgerätes gelegt werden. Bei Verwendung eines Gerätes mit getrenntem Hör- und Sprechkopf ergibt sich hiermit die Möglichkeit, bereits schon während einer Aufnahme „über Band“ mitzuhören, ja man kann sogar durch Betätigen dieses Umschalters die Darbietung „vor Band“ und „hinter Band“ unmittelbar miteinander vergleichen. Deshalb wird die Wiedergabespannung des Tonbandgerätes durch einen festen Spannungsteiler dem Ausgangspegel der Vorsatzgeräte für den Rundfunkempfang angeglichen. Dieser Pegel ist gerade noch so groß, daß sich eine weitere Verstärkung vor dem Endverstärker erübrigt. Andererseits ist es hierdurch nicht möglich, die Endstufe wesentlich zu übersteuern.

Die Verstärkerstufe mit dem ersten Triodensystem der ECC 83 dient lediglich dem Zweck, die Verluste im nachfolgenden Klangregelnetzwerk auszugleichen. Sie ist frequenzgangkompensiert, um die mit dem Höhenregler einstellbare Anhebung voll ausnützen zu können. Obwohl sich mit dem niedrigen Außenwiderstand und der Stromgegenkopplung im Katodenwiderstand nur eine 8fache Spannungsverstärkung ergibt, bewirkt die Gitter- Anodenkapazität der ECC 83, die demnach 8mal vergrößert als „Millerkapazität“ dem Eingangswiderstand parallelgeschaltet erscheint, bereits einen Höhenabfall von 1,5 dB bei 20 kHz. Durch den dem Katodenwiderstand von 1,6 kΩ parallelgeschalteten 5 nFKondensator wird dieser Verlust jedoch gerade wieder aufgehoben.

Damit eine eingestellte Tiefenanhebung bis 20 Hz herunter wirksam bleibt, ist das Klangregelnetzwerk mit der verhältnismäßig großen Kapazität von 0,25 μF an die Verstärkerstufe angekoppelt. Um ferner keine Schwächung der hohen Frequenzen zu erhalten, muß die Kapazität

zwischen dem Abgriff des Höhenreglers und Masse möglichst klein gehalten werden. Deshalb ist der vom Tiefenregler kommende Entkopplungswiderstand von 80 k $\Omega$  ganz kurz am Schleiferanschluß des Höhenreglers angelötet und auch die heiße Leitung zum Gitter des als Katodenstufe geschalteten zweiten Systems der ECC 83 ist ganz kurz und unabgeschirmt, d. h. sie besteht praktisch nur aus einem 2 k $\Omega$ /0,25 W-Widerstand mit sehr kurzen Drahtenden.

Da ferner die Eingangskapazität der nachfolgenden Katodenstufe wegen der fehlenden Anoden-Giterrückwirkung

wesentlich niedriger ist als bei einer Trioden-Verstärkerstufe, ist die gesamte schädliche Kapazität so gering, daß eine zusätzliche Höhenanhebung, die z. B. durch eine kleine Kapazität zwischen oberem Ende und Schleifer des Höhenreglers bewirkt werden kann, nicht erforderlich ist.

Die Eichung des Höhenreglers, bezogen auf 11 kHz, umfaßt den Bereich von -20 dB bis +18 dB; die Tiefenregelung, bezogen auf 40 Hz, erstreckt sich von -17 dB bis +19,6 dB. In der Nullstellung der Klangregler ist der Frequenzgang bis auf  $\pm 2$  dB geradlinig (**Bild 6**). Die Entkopplung durch den 80-k $\Omega$ - Widerstand ist so gut, daß sich die beiden Regler gegenseitig nur um max.  $\pm 0,2$  dB beeinflussen.

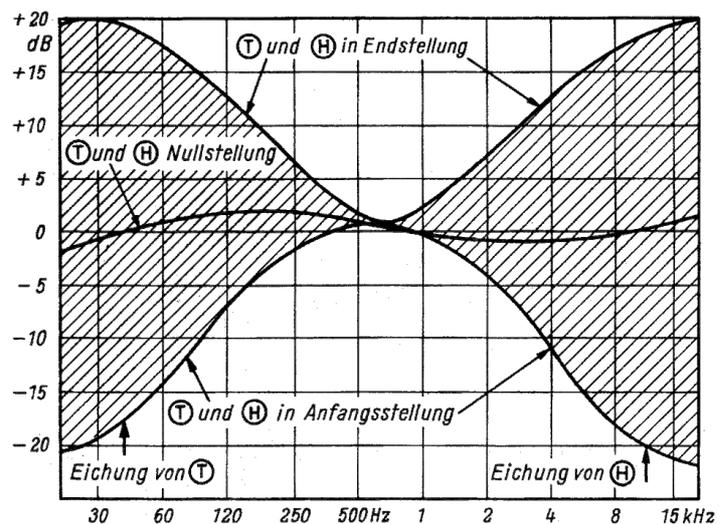
Der Ausgangswiderstand der nachfolgenden Katodenstufe beträgt nur rund 500  $\Omega$ , so daß selbst eine längere abgeschirmte Leitung zum Endverstärker die hohen Frequenzen nicht schwächen kann.

Bei dem zur Vollaussteuerung der Endstufe erforderlichen Ausgangspegel liegen sowohl der Intermodulations- als auch der Klirrfaktor des Steuerverstärkers wesentlich unter den in den technischen Daten des Endverstärkers angegebenen Werten, so daß letztere praktisch auch für die gesamte Verstärkeranlage Gültigkeit haben. Dasselbe gilt von der Dynamik, mit Ausnahme der Schalterstellung „Mikrofon“, in der bei vollaufgedrehtem Lautstärkeregel und bei offenem Eingang infolge des Rauschens und Brummens der Mikrofonröhre die Gesamtstörspannung etwas größer ist. Da im Normalfall der Lautstärkeregel nicht voll aufgedreht wird, ergeben sich trotzdem so hohe Dynamikwerte, daß auf eine Gleichstromheizung für die Mikrofonröhre verzichtet werden kann.

## Der Aufbau der Gesamtanlage

Infolge des niederohmigen Ausgangs des Steuerverstärkers kann man den Endverstärker ohne Schwierigkeiten einige Meter entfernen, z. B. direkt beim Lautsprecher aufstellen. Allerdings ist es in diesem Fall günstiger, den Steuerverstärker mit einem eigenen Netzteil zu betreiben.

Beim Verfasser hat sich jedoch eine andere Aufbauform besonders gut bewährt. Mit Ausnahme der Lautsprecherkombination sind alle Bausteine der kleinen Hi-Fi-Anlage nach Bild 1 in einem durch Verkleidung eines Teewagens entstandenen fahrbaren Gehäuse untergebracht. Der Endverstärker und der Netzteil des UKW-Vorsatzgerätes sind auf der unteren, der Steuerverstärker dagegen ist an der oberen Tischplatte dieses Bedienungswagens befestigt. Bild 7 zeigt die Anordnung im Innern des Teewagens. Vom Steuerverstärker führt eine mehradrige Leitung über eine 8polige Tuchel-Steckverbindung zum Endverstärker. Die Bedienungsplatte des Wagens trägt ferner den Mittelwellen-Detektor für den Ortsempfang, einen Saba-UKW-Super S 5 sowie ein Magnetophon vom Typ KL 25, dessen Frequenzumfang bei einer Bandgeschwindigkeit von 9,5 cm/s mit BASF-LGS-Langspielband bis rund 10 kHz und mit Agfa-FSPBand bis über 12 kHz reicht. Diese Geräte sind ihrerseits wiederum über abgeschirmte Kabel steckbar mit dem Steuerverstärker verbunden. Bild 8 zeigt das Chassis des Endverstärkers und Bild 9 die Unterseite mit der Verdrahtung. In Bild



10 ist die Chassis-Unterseite des Steuerverstärkers dargestellt, während Bild 11 die Bedienungsknöpfe zeigt.

Beide Breitseiten des Wagens (mit Plastikfolie überzogene Hartfaserplatten) lassen sich herausklappen, so daß sämtliche Geräte gut zugänglich sind. Da die beiden Schmalseiten mit einem goldfarbig eloxierten Ziergeflecht verkleidet sind, ergeben sich ausgezeichnete Lüftungsverhältnisse, so daß sich die Geräte nur ganz unbedeutend erwärmen. Die Wagenhöhe ist modernen Wohnzimmermöbeln gut angepaßt, weshalb die gesamte Anlage bequem im Sitzen bedient werden kann.

Im übrigen läßt sich die hohe Qualität der Anlage nur mit einer hochwertigen Lautsprecherkombination richtig ausnützen. Der Verfasser erreicht z. B. mit einer Strahlergruppe mit einer Impedanz von  $7,5 \Omega$ , bestehend aus einer Tonsäule mit acht unterschiedlichen  $6 \text{ W}/15 \text{ 5}^2$ -Lautsprechern und einem zusätzlichen mit dem Isophon-Hochtonsystem H 10/12/7 ausgestatteten Höhenstrahler eine ausgeglichene raumfüllende Breitbandübertragung. Auch ein FUNKSCHAU-Eckenlautsprecher mit der Isophon-Breitbandkombination PH 2132/25/11 ermöglicht trotz des verhältnismäßig geringen Aufwands bereits eine hervorragende Hi-Fi-Wiedergabe. Mit dem im Bandgerät eingebaut vorhandenen Lautsprecher lassen sich außerdem wirkungsvolle Raumenteffekte erzielen.

### Abstimmzusatz zum UKW-Vorsatzgerät

Eine Abstimmung nach Gehör ist bei UKW bekanntlich ziemlich ungenau und vor allem während einer Tonbandaufnahme auch gar nicht durchführbar. Die bei Rundfunkempfängern bisher übliche von der Summenrichtspannung des Ratiodetektors abgeleitete Maximumanzeige mit Hilfe des Magischen Auges ist ebenfalls so flach, daß hiermit eine Einstellung des Gerätes auf minimalen Klirrfaktor praktisch unmöglich ist.

Dagegen läßt sich mit einer Doppeltriode und einem Anzeigeelement mit  $2 \times 0,25 \text{ mA}$  für Vollausschlag und Nullpunkt in der Mitte ein Abstimmzusatz aufbauen, mit dem das UKW-Vorsatzgerät bequem auf den optimalen Arbeitspunkt der Diskriminatorerkennlinie eingestellt werden kann. Die ECC 81 ist gemäß der Schaltung von **Bild 12** mit dem Ratiodetektor des UKW-Supers verbunden. Infolge der starken Gegenkopplung durch große Katodenwiderstände und einer zwischen deren Fußpunkt und Masse ( $0 \text{ V}$ ) eingeschalteten negativen Hilfsspannung von rund  $80 \text{ V}$ , die einem zusätzlichen Klein-Netzteil entnommen wird, ergeben sich eine von Netzspannungsschwankungen praktisch unabhängige Anzeige sowie ein großer Aussteuerungsbereich. Letzterer ist erforderlich, damit der lineare Zusammenhang zwischen der Frequenzabweichung und der Anzeige in der Umgebung des Nullpunkts auch bei stark einfallenden Sendern erhalten bleibt. Die positive Betriebsspannung und die Heizspannung für die ECC 81 werden dem vorhandenen Netzteil des UKW-Vorsatzes entnommen.

Bei der ersten Inbetriebnahme des Abstimmzusatzes wird zunächst mit Hilfe des zwischen den Anoden liegenden  $25\text{-k}\Omega$ -Potentiometers bei mit Masse verbundenen Steuergittern der elektrische Nullpunkt der Röhrenbrücke eingeregelt. Eine Wiederholung ist dann gewöhnlich nur bei Röhrenwechsel erforderlich. Der Nulldurchgang der S-förmigen Diskriminatorkurve fällt bei gut abgeglichenem UKW-Vorsatz praktisch mit der Mitte ihres

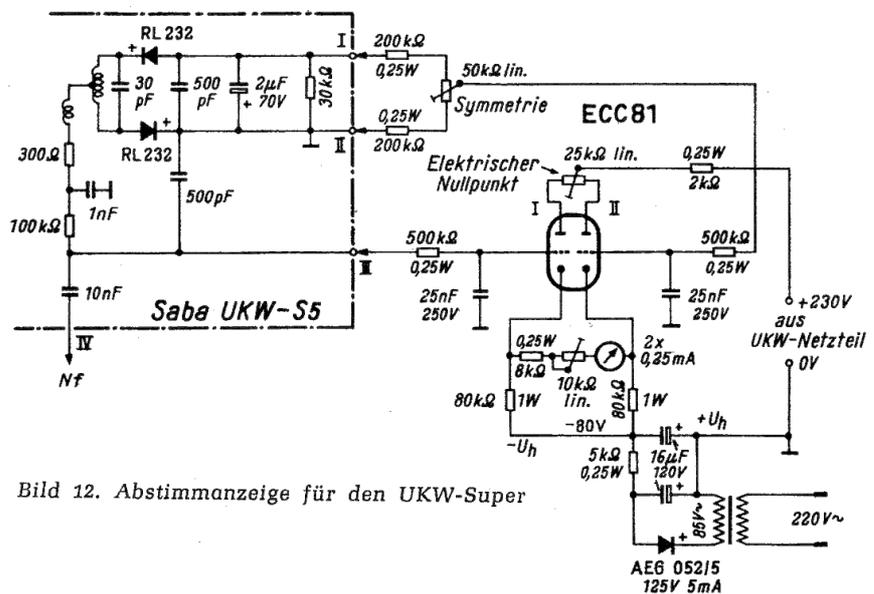


Bild 12. Abstimmanzeige für den UKW-Super

geradlinigen Teils zusammen. Kleine Abweichungen lassen sich jedoch mit dem Symmetrierpotentiometer von  $50\text{ k}\Omega$  für die zur Steuerung des Röhrensystems II abgegriffene Summenrichtspannung ausgleichen. Dieses Potentiometer ist so einzustellen, daß das Instrument beim Hinwegdrehen der Abstimmung über einen Sender gleich weit nach rechts und links ausschlägt.

Schließlich wird noch bei einem UKW- Sender, bei dem mit einem für volle Begrenzung des Zf-Verstärkers ausreichenden Empfangspegel gerechnet werden kann, die Anzeigeempfindlichkeit mit dem regelbaren  $10\text{-k}\Omega$ -Vorwiderstand zum Meßgerät so eingestellt, daß die beiden Umkehrpunkte der S- Kurve mit dem rechten bzw. linken Vollausschlag des Instruments zusammenfallen. Bei einem sehr schwachen Sender ergeben sich natürlich wesentlich kleinere Maximalausschläge, jedoch läßt sich der Empfänger auch in diesem Fall noch gut durch die Nullabstimmung nach dem Instrument auf minimalen Klirrfaktor und optimale Störbegrenzung einstellen.

---

Ohne Fotos (Bilder 1, 7-11)

---

