



**Bild 1.**  
An der Röhrenexperimentiertafel von Ratheiser werden dem künftigen Rundfunkmechaniker die Vorgänge in der Röhre klargemacht.



**Bild 2.**  
Auch mit der Handhabung der Drehbank muß der Rundfunkmechaniker gut vertraut sein.

Aufnahmen: Thüringer Handwerkerschule.



**Bild 3.**  
Das gebaute Gerät wird noch einmal mit dem Schaltbild verglichen, evtl. Schaltfehler werden beseitigt.

## Die Umschulung Kriegsversehrter und Einsatzbeschädigter zum Rundfunkmechaniker

Nachdem kürzlich der 2. Umschulungslehrgang für Kriegsversehrte und Einsatzbeschädigte bei der Thüringer Handwerkerschule in Weimar zum erfolgreichen Abschluß gelangte, soll hiermit einmal auf Umschulungsarbeit näher eingegangen werden. Wie durch verschiedene Veröffentlichungen bereits bekannt ist, handelt es sich um die Umschulung solcher Männer zum Rundfunkmechanikerhandwerk, die infolge erlittener Kriegsverletzungen aus dem Wehrdienst ausgeschieden und nicht mehr in der Lage sind, ihren alten Beruf auszuüben. Diese Männer, die zum größten Teil einen artverwandten Beruf hatten, können in Weimar durch die Umschulung zum Rundfunkmechanikerhandwerk einen der schönsten Berufe erlernen.

Die Thüringer Handwerkerschule unter der bewährten Leitung von Professor Dorfner erachtet es als eine ihrer vornehmsten Aufgaben, im Zusammenwirken mit dem Reichsinnungsverband des Elektrohandwerks und dem Oberkommando der Wehrmacht diesen Ehrenbürgern der Nation das zu geben, was sie befähigt, wieder eine Vollkraft des täglichen Berufslebens zu werden. Darüber hinaus wird in dem schönen Rundfunkmechanikerhandwerk jeder Einzelne eine große Befriedigung in jeder Hinsicht erfahren, die ihn befähigt, auf der Grundlage der in Kursen erworbenen Kenntnisse in absehbarer Zeit eine selbständige Existenz zu gründen. Es gehört selbstverständlich Fleiß und Willenskraft dazu, um innerhalb von fünf Monaten — solange währt ein solcher Umschulungslehrgang —, das in sich aufzunehmen und zu verdauen, was hier gegeben wird und in unserem Beruf notwendig ist. Denn das Rundfunkgebiet ist so vielseitig und erfordert so gründliche Kenntnisse, daß einem die Lorbeeren des Erfolges nicht unverdient in den Schoß fallen. Aber das macht den Beruf ja gerade so interessant. Die beiden bisher abgeschlossenen Lehrgänge bewiesen, daß unsere Soldaten verbissen so lange arbeiteten, daß man tatsächlich von einem außerordentlich guten Gesamterfolg sprechen konnte. Allen Teilnehmern gelang es, das Ziel des Lehrgangs zu erreichen. Das will schon etwas heißen, zumal am Schluß das Pensum einer Gesellenprüfung bewältigt werden mußte.

Nun soll das aber nicht etwa bedeuten, daß die Männer nach Beendigung des Lehrgangs und nach Abschluß der Prüfung perfekte Rundfunkmechaniker sind. Nein, dazu gehört schon etwas mehr als ein Lehrgang von fünf Monaten. Der Praktiker weiß das am besten, daß neben einer gründlichen theoretischen Ausbildung auch die praktische Erfahrung in unserem Handwerk eine große Rolle spielt. Diese wertvollen Erfahrungen kann man sich nur in der Praxis selbst erwerben. Daher hat die Fachgruppe Rundfunkmechanik die Weiterbildung der Lehrgangsteilnehmer in praktischer Hinsicht in die Hand genommen. Nach beendeten Lehrgang in Weimar gelangen die Umschüler in anerkannte Meisterbetriebe, wo sie unter tüchtiger Anleitung bald mit der praktischen Seite des Berufes näher vertraut werden. Man kann sich vorstellen, daß die Männer, die die Schule in Weimar mit einem immerhin erheblichen Wissen verlassen, recht bald im eigentlichen Handwerk ihren Mann voll und ganz stellen werden. Die bisherigen Erfahrungen haben gezeigt, daß es tatsächlich so ist.

Um als Außenstehender einen genaueren Einblick in die Arbeit der Thüringer Handwerkerschule in Weimar zu erhalten, ist es notwendig, mit der Schule, ihrer Einrichtung und dem Ausbildungsplan vertraut zu sein.

Da ist zunächst der theoretische Unterricht. Neben der Vermittlung eines allgemeinen Überblickes über den bisherigen Stand der Rundfunktechnik erfolgt eine Einführung in die Grundlagen und zwar so weitgehend und ausführlich, daß es jedem Einzelnen gelingt, Anschluß zu finden und Schritt zu halten. Sehr anschaulich werden die „Grundlagen“ gefestigt durch Versuchsbeispiele an Experimentiergeräten. Die Arbeitsweise der Elektronenröhren — das A und O der Rundfunktechnik — kann an der Ratheiserschen Lehrtafel (Bild 1) sehr schön demonstriert werden. Die Wirkungsweise jeder einzelnen Röhren- elektrode wird zwingend anschaulich. Die sinnreiche Konstruktion der Tafel erlaubt in kürzester Zeit diese oder jene Elektrode je nach Bedarf zu- oder abzuschalten. Was beim Vortrag manchem noch nicht ganz klar war, wird am Demonstrationsgerät bestimmt verständlich. Außer der Ratheiserschen Lehrtafel stehen zwei Demonstrationsgeräte zur Verfügung, ein Einkreis-Gerädeempfänger und ein 6-Kreis-6-Röhren-Überlagerungsempfänger. Gerade an diesen Demonstrationsgeräten ist sehr viel zu lernen, zumal es empfangfertig

aufgebaut ist. Es kann hier die Wirkungsweise der automatischen Schwundregelung, die Gegenkopplung, die Bandbreitenregelung und anderes mehr vorgeführt werden. Darüber hinaus sind die Geräte auch bei den praktischen Arbeiten verwendbar, da an ihnen die Grundlagen der systematischen Fehlersuche recht eindrucksvoll dargebracht werden können.

Über die „Grundlagen“ hinaus schreitet der Unterricht dann zu den Spezialgebieten, wie Empfangs-, Sende-, Verstärker- und Meßtechnik. Der theoretische Unterricht ist sehr umfangreich und das muß er schließlich auch sein, um im weiteren Verlauf des Lehrgangs das richtige Verständnis für einen Teil des praktischen Unterrichtes — die Fehlersuche — aufbringen zu können. Nicht daß der Lehrgang etwa einseitig aufgezo-gen ist, nein, denn theoretischer und praktischer Unterricht wechseln in der richtigen Reihenfolge. Auch Fachzeichnen und Werkstoffkunde sowie grundlegendes Rechnen sind im Unterricht enthalten. Man sieht also, es ist nichts außer acht gelassen.

Großer Wert wird auch auf die Ausbildung in der Mechanik gelegt. Jeder Umschüler muß an der Drehbank leichte Dreharbeiten ausführen können, muß in der Handhabung und Auswahl der Feilen bewandert sein (Bild 2). Gewindeschneiden, Bearbeitung von in der Rundfunkmechanik gebräuchlichen Werkstoffen, Biegen, Richten, Löten, mit all diesem muß der Rundfunkmechaniker bestens vertraut sein. Zu diesen Arbeiten gehört ferner noch das Wickeln von Transformatoren und Drosseln aller Art. Die im 1. Lehrgang von den Teilnehmern selbst angefertigte Spulnwickelmaschine bietet dabei wertvolle Hilfe. Nach einiger Zeit langt der Unterricht dann dort an, wofür das Interesse aller Lehrgangsteilnehmer ganz besonders groß ist: bei der Fehlersuche und Fehlerbeseitigung an Rundfunkempfängern. Bis dahin ist der Lehrgang schon soweit fortgeschritten, daß alle Männer in der Lage sind, Schaltbilder zu lesen, um schließlich das Schaltbild auf den Empfänger übertragen zu können. Gewiß gibt es dabei manchmal Schwierigkeiten, denn das Schaltbild sieht immer ein wenig anders aus als der betriebsfertige Rundfunkempfänger. Aber auch diese Schwierigkeiten lassen sich stets aus dem Wege räumen. Es wurden kleine Geräte, z. B. DKE und VE, völlig neu aufgebaut. Die Verdrahtung eines solchen Gerätes wurde nach dem Schaltbild vorgenommen. Es ist ganz klar, daß neben den erforderlichen handwerklichen Fertigkeiten das Übertragen des Schaltbildes in die Praxis und umgekehrt gelehrt wird. Der in Arbeit befindliche DKE ist bald fertig und wird dann nochmals mit Schaltbild verglichen, so wie es die beiden Männer in Bild 3 tun. Dann ist der Empfänger bald soweit, daß er einer letzten Prüfung durch den Lehrer unterzogen werden kann, um dann schließlich in Betrieb genommen zu werden. Und wie groß ist dann die Freude des angehenden Rundfunkmechanikers, wenn sozusagen auf Anhieb dem Lautsprecher die ersten Töne entlockt werden können.

Im Anschluß an diese Arbeiten setzt die eigentliche Fehlersuche ein, wozu die selbstgebauten Geräte verwendet werden. Im theoretischen Unterricht wird an Hand von Schaltbildern die systematische Fehlersuche erläutert und gezeigt, wie die bis dahin ebenfalls kennengelernten Prüf- und Meßeinrichtungen dabei gehandhabt werden. Dann geht es zur Praxis und man ist erstaunt, wie bald die ersten kleinen Fehler, wie unterbrochene Widerstände oder durchgeschlagene Kondensatoren tatsächlich ganz systematisch gefunden werden. Nach den kleineren Geräten werden größere Gerädeempfänger und Überlagerungsempfänger zur Fehlersuche herangezogen. Die Grundzüge der Fehlersuche im Hochfrequenzteil gerade beim Überlagerungsempfänger, sowie Wesen und Sinn des Abgleichs werden vorher am großen Demonstrationsgerät durchgenommen. Die praktische Arbeit selbst an den größeren Empfängern brachte dann auch immerhin recht beachtliche Ergebnisse. Hauptsache ist, daß die Lehrgangsteilnehmer die Grundlagen der systematischen Fehlersuche und alle notwendigen Prüf- und Meßeinrichtungen richtig anzuwenden verstehen. Ganz besonderer Wert — das soll nicht unerwähnt bleiben — wird auf die Ausbildung am Meßsender gelegt. Wir alle wissen doch, wie nützlich gerade der Meßsender in der Reparaturwerkstatt ist.

So werden in Weimar in kurzer Zeit immer wieder tüchtige Rundfunkmechaniker herangebildet, die dann die Lücken in den Werkstätten ausfüllen können. Und das ist notwendig bei der Wichtigkeit des Rundfunks in der jetzigen Zeit.

Walter Hillebrand.

# Kristall-Geräte in der Praxis

Seit etwa 7 Jahren gibt es auf dem deutschen Markt piezoelektrische Geräte (Mikrophone, Tonabnehmer, Lautsprecher), die sich infolge ihrer günstigen Eigenschaften schnell einen großen Freundeskreis erworben haben. Da das piezoelektrische Prinzip einen grundsätzlich anderen Aufbau bedingt als das magnetische und darüber hinaus für die praktische Verwendung gewisse Voraussetzungen erfordert, haben sich immer wieder Gelegenheiten ergeben, bei denen Schwierigkeiten in der Benutzung auftraten. Es wurde schon verschiedentlich an anderer Stelle über die Betriebsbedingungen berichtet<sup>1)</sup>. Hier sollen nun die einzelnen Punkte zusammenfassend behandelt werden, um eine Übersicht dafür zu schaffen, wie in besonderen Fällen, in denen sich Schwierigkeiten ergeben könnten, verfahren werden muß.

## Der Kristall-Tonabnehmer

Das verbreitetste Gerät ist wohl der Kristall-Tonabnehmer. Als elektromechanischer Schwingungswandler findet ein Element aus Seignettesalz<sup>2)</sup> Verwendung. Es soll hier nicht näher auf die Kristallphysikalischen Eigenschaften oder den Aufbau bzw. die Arbeitsweise eingegangen werden, da auch hierüber schon wie-

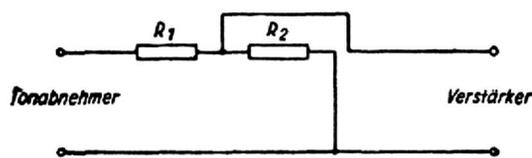
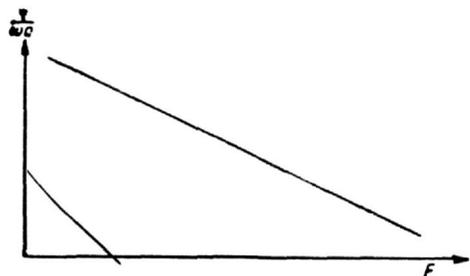


Bild 2. Spannungsteilerschaltung.

Links: Bild 1. Verlauf des Scheinwiderstandes eines Kristalltonabnehmers.

derholt berichtet worden ist<sup>3)</sup>. Der rein kapazitive Charakter des Kristallelementes bedingt einen frequenzabhängigen Scheinwiderstand, so daß eine optimale Anpassung, wenn man genau sein will, nur für eine bestimmte Frequenz gewährleistet ist. Praktisch hat sich jedoch gezeigt, daß man nicht so sehr engherzig zu sein braucht. Eine andere Bedingung muß hingegen unter allen Umständen berücksichtigt werden: Der innere Scheinwiderstand eines Kristall-Tonabnehmers beträgt bei einer Meßfrequenz von 800 Hz ( $\omega = 5000$ ) etwa 0,5 M $\Omega$ . Wichtig ist jetzt, daß der Tonabnehmereingang am Empfangsgerät einen Scheinwiderstand hat, der etwa eben so groß ist. Ist dies nicht der Fall, so würde infolge des hohen Innenwiderstandes des Tonabnehmers die von diesem gelieferte Spannung zusammenbrechen. Dabei macht sich der frequenzabhängige Scheinwiderstand besonders nachteilig bemerkbar, da er für höhere Frequenzen kleiner als 0,5 M $\Omega$  wird (Bild 1). Beide Geräte würden, wenn die Tonabnehmerbuchsen einen niedrigeren Scheinwiderstand haben, aneinander angepaßt sein. Die Betriebsverhältnisse wären dann also normal. Bei tieferen Frequenzen hingegen wird der wirksame innere Scheinwiderstand des Tonabnehmers größer, wohingegen der in fast allen Fällen rein ohmsche Widerstand des Tonabnehmereinganges konstant bleibt. Die Werte weichen also mit abnehmender Frequenz immer mehr voneinander ab, und zwar zum Nachteil des Tonabnehmers. Dadurch bricht die von diesem gelieferte Spannung bei tieferen Frequenzen in besonders hohem Maße zusammen. Diese Tatsache macht sich im praktischen Betrieb dadurch bemerkbar, daß ein Kristall-Tonabnehmer, der an einem Empfänger oder Verstärker mit zu kleinem Eingangsscheinwiderstand betrieben wird, die tiefen Frequenzen sehr schlecht wiedergibt, während er sonst gerade diese besonders gut herausbringt.

An Hand eines Beispiels soll der beschriebene Fall mathematisch nachgeprüft werden. Dabei wird, zur Vereinfachung,

angenommen, daß das Kristallelement eine reine Kapazität darstellt, sich also wie ein idealer Kondensator verhält. Der Scheinwiderstand einer Kapazität ergibt sich zu

$$R_{\sim} = \frac{1}{\omega C} \quad 1)$$

Für den Fall der Anpassung muß

$$R_i = R_a \quad 2)$$

sein, wobei  $R_a$  in 2) =  $R_{\sim}$  in 1) ist. Aus 1 und 2 ergibt sich

$$R_i = \frac{1}{\omega C} \quad 3)$$

Wird der Scheinwiderstand für den Tonabnehmer mit 0,5 M $\Omega$  bei 800 Hz ( $\omega = 5000$ ) angenommen und  $R_i$  des Nf-Verstärkers an den Eingangsklemmen mit 1 M $\Omega$ , wobei dieser rein ohmschen Charakter haben soll, so ist leicht einzusehen, daß der Verstärker überangepaßt und damit die Belastung des Tonabnehmers nur gering ist. Wird dagegen  $R_i$  des Empfängers mit 50 k $\Omega$  angenommen, so ist eine Anpassung nur für  $f = 8000$  möglich. Durch Umformung der Gleichung 1) ergibt sich

$$C = \frac{1}{\omega R_{\sim}} \quad 4)$$

Werden die oben angenommenen Werte in 4) eingesetzt, so folgt für die Größe der Kapazität

$$C = \frac{1}{5 \cdot 10^3 \cdot 5 \cdot 10^5} = \frac{1}{25 \cdot 10^8} = 4 \cdot 10^{-10} \text{ F.}$$

Nachdem die Größe der Kapazität rechnerisch aus den gemachten Annahmen über den Scheinwiderstand ermittelt ist, kann der Scheinwiderstand für  $f = 8000$  ( $\omega = 5 \cdot 10^4$ ) errechnet werden.

$$R_{\sim} = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{5 \cdot 10^4 \cdot 4 \cdot 10^{-10}} = \frac{1}{2 \cdot 10^{-5}} = 5 \cdot 10^4 = 50000 \Omega.$$

Für die Frequenz 8000 besteht also Anpassung. Bei 800 Hz ist der Empfänger mit einem Zehntel und bei 80 Hz sogar mit einem Hundertstel des Scheinwiderstandes des Tonabnehmers unterangepaßt. Es ist ganz natürlich, daß der in dem Tonabnehmer auftretende Spannungsabfall dann bei tiefen Frequenzen besonders hohe Werte erreicht, so daß diese nur sehr mangelhaft wiedergegeben werden können. Um einen Kristall-Tonabnehmer richtig zu betreiben, muß dieser somit an einem Verstärker benutzt werden, dessen Eingangsscheinwiderstand mindestens 0,3 M $\Omega$  beträgt.

Was kann nun unternommen werden, wenn der Anschluß-Scheinwiderstand doch zu niedrig ist? — Drei Wege sind in diesem Falle gangbar:

1. Im Empfänger muß eine schaltungstechnische Änderung vorgenommen werden, durch die der Scheinwiderstand heraufgesetzt wird. Über die zu ergreifenden Maßnahmen können lediglich die betreffenden Empfängerhersteller Auskunft geben, da durch diesen Eingriff die Empfangsleistung selbstverständlich nicht beeinträchtigt werden darf.
2. Zwischen Tonabnehmer und Empfänger kann ein Transformator geschaltet werden. Allerdings läßt sich ein gewöhnlicher Übertrager nicht verwenden, da der primäre Scheinwiderstand bei den meisten Übertragern zu niedrig liegt. Der Transformator muß für den vorliegenden Zweck primärseitig einen Wert von wenigstens 0,1 M $\Omega$  bei 100 Hz haben; außerdem muß der Frequenzgang zwischen 50 und 8000 Hz möglichst gradlinig verlaufen, damit eine Verfälschung der Tonabnehmer-Kennlinie nicht zu befürchten ist. Diese Forderung ist im allgemeinen nur mit einem Übertrager zu erfüllen, der einen Kern aus besonders hochwertigem Eisen besitzt.

<sup>1)</sup> Rohde, Welle und Schall 98/1941 S. 4.

<sup>2)</sup> Chemisch handelt es sich um Kaliumnatriumtartrat-  $\text{NaKC}_4\text{H}_4\text{O}_6$ .

<sup>3)</sup> Körner, Zeitschr. f. Phys. 103, Heft 3 und 4, 1936, S. 170-190. Schwarz, ENT 9, 1932, S. 481.

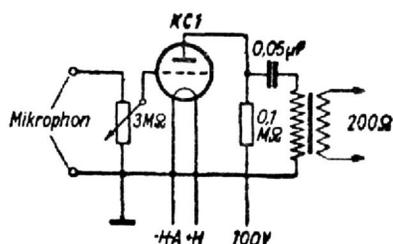


Bild 3. Einstufiger Mikrophon-Vorverstärker für Kristall-Membran-Mikrophon.

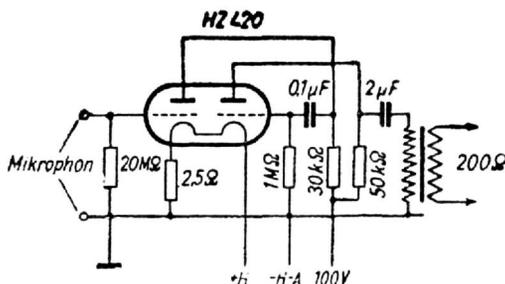


Bild 4. Zweistufiger Vorverstärker für Klangzellen-Mikrophon.

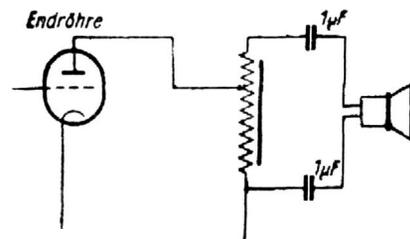


Bild 5. Anschluß eines Kristall-Lautsprechers über LC-Kopplung.

3. Es kann eine Spannungsteilerschaltung verwendet werden. Da durch diese die zur Steuerung verfügbare tonfrequente Wechselspannung im Verhältnis der Widerstandsgrößen herabgesetzt wird, ist dieser Weg nur dann gangbar, wenn eine genügend große Verstärkung zur Verfügung steht. Der Spannungsteiler kann aus rein ohmschen Widerständen bestehen und nach Bild 2 geschaltet sein. Die Summe der beiden in Reihe liegenden Widerstände  $R_1$  und  $R_2$  muß gleich dem Tonabnehmer-Scheinwiderstand, d. h. gleich  $0,5 \text{ M}\Omega$  sein, während der Wert des parallel zu den Eingangsklemmen liegenden Widerstandes,  $R_2$  gleich dem Eingangsscheinwiderstand des Apparates sein muß. Wird letzterer mit  $50 \text{ k}\Omega$  angenommen, so müßte der Widerstand  $R_1$  einen Wert von  $450 \text{ k}\Omega$  und  $R_2$  einen solchen von  $50 \text{ k}\Omega$  haben. Die dann wirksame Steuerspannung betrüge allerdings nur etwa den zehnten Teil der vom Tonabnehmer gelieferten. Da diese bei den höheren Frequenzen etwa  $0,8$  bis  $0,9 \text{ V}$  ist, würde die resultierende Steuerspannung nur  $80$  bis  $90 \text{ mV}$  betragen. Die Eingangsempfindlichkeit des Empfangsgerätes, bezogen auf die Tonabnehmerbuchsen, müßte in der gleichen Größenordnung liegen, wenn eine genügende Lautstärke erreicht werden soll. Da dieses jedoch bei Empfangsgeräten meist nicht der Fall ist, kann die Anwendung des beschriebenen Spannungsteilers vorwiegend bei Verstärkern erfolgen. Bei Rundfunkgeräten bleiben nur die beiden erstgenannten Möglichkeiten offen. Meist wird man eine Umänderung der Schaltung vornehmen müssen, da zur Zeit die Beschaffung des beschriebenen Übertragers kaum möglich sein wird.

**Das Kristall-Mikrophon**

Ähnlich wie bei den Tonabnehmern liegt der Fall bei den verschiedenen Kristall-Mikrophonen. Die Frage des richtigen Anschlusses ist bei diesen jedoch wesentlich leichter zu lösen, da wohl meistens ein Mikrophon-Vorverstärker benutzt werden muß. Kristall-Membranmikrophone geben im Mittel eine tonfrequente Wechselspannung von etwa  $30\text{--}50 \text{ mV}/\mu\text{bar}$  ab, während die besonders hochwertigen Klangzellenmikrophone etwa  $0,5 \text{ mV}/\mu\text{bar}$  liefern. Letztere benötigen daher unter allen Umständen einen mehrstufigen Vorverstärker. Bei den Kristall-Membranmikrophonen ist ein kleinerer, meistens einstufiger Vorverstärker kaum zu umgehen, da die wenigsten Verstärker eine Eingangsempfindlichkeit von  $50 \text{ mV}$  haben. Beim Bau eines solchen Vorverstärkers kann ohne weiteres auf den Anschlußwiderstand Rücksicht genommen werden, so daß Betriebsschwierigkeiten von vornherein ausgeschaltet sind. Der Vollständigkeit halber werden in Bild 3 und 4 ein ein- und ein zweistufiger Vorverstärker wiedergegeben, ohne jedoch näher auf den Bau einzugehen. Auf eine Eigenschaft der Kristall-Mikrophone soll aber doch noch besonders hingewiesen werden, da sie sich dadurch von anderen unterscheiden. Es ist ohne weiteres möglich, zwischen Mikrophon und Vorverstärker eine längere Verbindungsleitung zu verwenden. Diese darf bei kapazitätsarmer Ausführung bis zu  $20 \text{ m}$  lang sein. Hierin liegt ein besonderer Vorteil gegenüber anderen Ausführungen, z. B. den Kondensator-Mikrophonen. Es ist dadurch möglich, das eigentliche schallaufnehmende Organ sehr

klein und leicht auszuführen und in gewissem Sinne unabhängig vom Standort des Vorverstärkers zu machen.

**Der Kristall-Lautsprecher**

Bei dem Kristall-Lautsprecher sind wieder eine Anzahl Bedingungen zu berücksichtigen, die sich von denen bei den bis jetzt beschriebenen Einrichtungen unterscheiden. Der Kristall-Lautsprecher kann infolge des kapazitiven Charakters seines Schwingungswandlers nicht direkt in den Anodenkreis der Endröhre eingeschaltet werden. Es ist vielmehr erforderlich, der Endröhre, den Anodenstrom über ein besonderes Schaltelement, z. B. einen Übertrager oder eine LC-Schaltung, zuzuführen. In Bild 5 ist der Anschluß eines Kristall-Lautsprechers über eine Drosselkondensatorkopplung mit angezapfter Selbstinduktion wiedergegeben. An den Lautsprecherübertrager brauchen natürlich keine höheren Anforderungen gestellt zu werden, als an den eines gewöhnlichen dynamischen Lautsprechers. Allerdings muß es ein Übersetzungstransformator sein, da der Lautsprecher-Scheinwiderstand höher liegt als der erforderliche Außenwiderstand aller gebräuchlichen Endröhren.

Während bei Tonabnehmern und Mikrophonen die Frage der Temperaturabhängigkeit nicht berücksichtigt zu werden braucht, ist sie hier von Wichtigkeit. Die kritische Temperatur von etwa  $50^\circ\text{C}$  wird innerhalb eines Rundfunkgerätegehäuses sehr schnell erreicht. Dazu kommt noch die innere Erwärmung des Kristalles. Beim Einbau solcher Lautsprecher zusammen mit dem Empfangsgerät in ein gemeinsames Gehäuse ist daher besondere Vorsicht geboten. Bei Batteriegeräten ist es natürlich nicht so kritisch, da diese kaum eine nennenswerte Wärmeentwicklung haben. Dagegen ist die Wärmeentwicklung bei Gleich- oder Allstrom-Geräten besonders hoch, so (daß man bei diesen für eine gute Luftzirkulation sorgen muß, wenn man es nicht doch lieber vorzieht, den Lautsprecher in ein getrenntes Gehäuse einzusetzen. Die Belastbarkeit eines Kristall-Lautsprechers ist ebenfalls nur begrenzt. Bei zu hohen Leistungen fließen durch den Kristall zu große Ströme, wodurch dieser erheblich erwärmt und dann leicht zerstört wird, über eine Leistung von  $2 \text{ W}$  sollte aus diesem Grunde nicht hinausgegangen werden. Kurzzeitige Überlastungen schaden jedoch nicht, wenn die dabei auftretenden Spannungen nicht so groß sind, daß im Kristall ein Überschlag erfolgt. Über die Größe der Durchschlagsfestigkeit kann nichts gesagt werden, da diese in der Hauptsache vom Aufbau des Kristallsystems abhängig ist.

Zusammenfassend kann für alle Kristall-Geräte gesagt werden, daß die richtige Anpassung unter keinen Umständen außer Acht gelassen werden darf. Eine Temperaturabhängigkeit bei normalen Betriebsverhältnissen besteht bei Tonabnehmern und Mikrophonen nicht, bei Lautsprechern ist dann darauf zu achten, wenn sie zusammen mit anderen Geräteteilen in einem gemeinsamen Gehäuse untergebracht sind, die eine besonders hohe Wärmeentwicklung haben. Es wird in diesem Falle zu überlegen sein, ob ein getrennter Einbau nicht ratsamer ist. Ing. H. Rohde VDE.

**Neuer bruchsicherer Kristalltonabnehmer**

Kristalltonabnehmer zeichnen sich durch eine besonders gute Wiedergabe der tiefen Frequenzen in Verbindung mit verhältnismäßig großen Spannungen aus; sie verbürgen deshalb eine laute und qualitativ hochwertige Wiedergabe. Dazu kommt ein verhältnismäßig einfacher Aufbau, da das ganze System nur aus der entsprechend gelagerten Kristallplatte besteht. Aus diesen drei Gründen erfreuen sich Kristalltonabnehmer zunehmender Beliebtheit sowohl bei den Schallplattenfreunden, als auch bei den Tonabnehmer-Herstellern. Zu diesen Vorteilen gesellt sich allerdings ein Nachteil: das zur Verwendung kommende Seignettesalz ist sehr spröde, und den durch unsachgemäße Behandlung hervorgerufenen Stoßbeanspruchungen ist die Kristallplatte auf keinen Fall gewachsen; es ist mit ihrem Bruch zu rechnen. Ähnlich ist es bei der Saphirnadel, deren Kombination mit einem Kristalltonabnehmer ein schlechthin ideales Abtastgerät ergeben würde; auch sie kann bei unsachgemäßer Behandlung leicht beschädigt werden.

Bei einem neuen Tonabnehmer wurde dem bruchsicheren Einbau der Kristallplatte und der Saphirnadel besondere Aufmerksamkeit gewidmet, und es

wurde eine Lösung gefunden, durch die beide empfindliche Teile in vollkommener Weise geschützt werden. Bild 1 zeigt das zur Anwendung gekommene Prinzip: Vier Federn F, die an den Ecken der Kristallplatte Plangreifen, legen die letztere nicht starr, sondern so fest, daß sich im Falle übermäßiger Beanspruchung das schwingende Auflager L von der Platte Pl löst, wie es rechts im Bild gezeigt ist. Die Federkräfte sind nun so bemessen, daß sie einerseits groß genug sind, um die Platte bei den durch die Schallplattenrillen ausgelösten kleinen Amplituden des Auflagers  $L_1$  auf den Lagerstellen festzuhalten; zwischen einer unlösbar starren und einer lösablen Verbindung ist dann kein Unterschied. Andererseits sind die Federkräfte aber so gering bemessen, daß sich die Platte bei größeren als den betriebsmäßigen Amplituden eher von den Lagerstellen abhebt, als daß eine Ecke abbrechen würde. Auf diese Weise ist ein Zerbrechen der Kristallplatte unmöglich gemacht.

Die praktische Durchführung des bruchsicheren Einbaues ist aus Bild 2 ersichtlich. Die Kristallplatte 1, die in Wirklichkeit eine Doppelplatte von  $2 \times 0,3 \text{ mm}$  Stärke ist, liegt mit ihren vier Ecken auf vier buckelförmigen Erhöhungen 2. Zwei Blattfedern 3 und 4, die die Buckel 3a und 4a aufweisen, drücken die Platte mit einer bestimmten, begrenzten Kraft an.

Die vorderen Auflagebuckel 2 befinden sich an einem Isolierstück, das auf der Spitze 6 beweglich angeordnet ist; es führt um die Achse A, veranlaßt durch die in den Rillen schwingende Nadel 7, Drehbewegungen aus, die die Platte 1 tordieren (verdrehen). Damit das Isolierstück 5 keine anderen als die erwünschten Bewegungen ausführt, wird eine Halterung durch das Drahtstück 8 bewirkt, das am entgegengesetzten Ende mit der sehr weichen Schraubfeder 9 am Gehäuse des Tonabnehmers befestigt ist.

Diese Anordnung der Kristallplatten schützt sowohl die Platten, als auch den Saphirstift. Bei einem Druck auf den Saphir gibt die Lagerung nach, bis der Saphir hinter dem Anschlag 11 verschwindet. Läßt man z. B. den Tonabnehmer fallen, so fängt der Anschlag 11 den ganzen Stoß auf, während Saphir, Isolierstück, Halterungsdraht, Kristallplatte und Feder nach oben eine kleine Federungsbewegung ausführen, bei der sich die Spitzenlagerung (Spitze 6 in Bild 2) entsprechend löst. Hört der zu große Druck auf, so federn die Teile wieder zurück, die Spitzenlagerung stellt sich wieder her, die Abtastung der Platte kann weitergehen. Infolge der verhältnismäßig großen Auflagefläche des Anschlags wird auch eine Beschädigung der Schallplatte vermieden; aber auch dann, wenn der Tonabnehmer bei aufgesetzter Saphirspitze gewaltsam seitlich über die Rillen gestoßen wird, findet eine Beschädigung des Tonabnehmers oder der Schallplatte nicht statt; man darf dies sogar tun, während der Tonabnehmer zusätzlich stark belastet ist. Um die große Bruchsicherheit zu demonstrieren, kann man während des Plattenspiels seitlich gegen den Tonabnehmer stoßen, so daß dieser  $50$  oder  $100$  Rillen überspringt, oder man drückt stark von oben auf den Tonabnehmer und „ratscht“ dabei beliebig seitlich über die Schallrillen. Ja, man kann auch während des Spiels mit einem Hammer auf den Tonabnehmer schlagen; solange dabei nicht die Schallplatte zerbricht, treten nicht die mindesten Beschädigungen auf.

Außer durch diese hohe Bruchsicherheit zeichnet sich der neue Kristall-Tonabnehmer durch besonders vor-

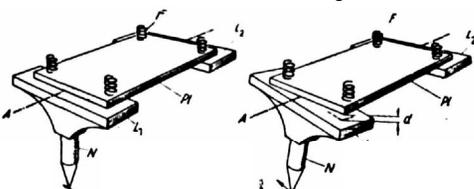


Bild 1. Abheben der Kristallplatte von ihrem Auflager. Links: Normallage. Rechts: Abgehobene Kristallplatte.



Bild 2. Schnitt durch den Kristall-Tonabnehmer.

teilhafte elektrische Eigenschaften aus. Es ist bekannt, daß Kristalltonabnehmer bei konstanten Amplituden der Kristallplatte von der Frequenz unabhängige, konstante Spannungen an den Verstärkereingang legen; diese Eigenschaft wird hier zu einer höchst einfachen, dabei aber sehr wirksamen Entzerrung ausgenutzt, für die lediglich ein Parallelwiderstand erforderlich ist. In Bild 3 zeigt A die Frequenzkurve eines durch richtige Bemessung und Dämpfung ausgeglichenen Tonabnehmers in einem Aufbau nach Bild 2. Diese Kurve hat zwei deutliche Resonanzstellen, bei 50 Hz die Schüttelresonanz des Tonarmes und bei 6000 Hz eine Eigenresonanz des Schwingsystems. Diese beiden Resonanzstellen ließ man mit Absicht bestehen, wobei man einen ganz bestimmten Zweck verfolgte: Wären die Schallplatten im gesamten Frequenzbereich mit konstanter Geschwindigkeitsamplitude geschnitten, was für magnetische Tonabnehmer ideal wäre, so müßte der Ideale Kristalltonabnehmer eine Frequenzkurve haben, die der unter 45° verlaufenden Geraden I in Bild 3 entspricht. Der wirkliche Tonabnehmer, der die bei konstanter Amplitude gemessene Frequenzkurve A besitzt, würde damit die Frequenzkurve B aufweisen (als Multiplikation, auf logarithmischem Papier einfach als Addition der Abweichungen der Kurven A und I vom geraden Verlauf). Nun sind aber die Schallplatten bei tiefen Tönen bekanntlich mit einem Amplitudenabfall geschnitten, entsprechend Kurve II; aus der Kurve B entsteht so Kurve C, die noch immer einen starken Tiefenanstieg aufweist. Diesen Tiefenanstieg nimmt man nun durch einen einfachen, nicht belasteten, infolgedessen direkt in den Tonabnehmer einbaubaren Parallelwiderstand fort — die einfachste Tiefenentzerrung, die man sich denken kann. Das Ergebnis ist durch Kurve III ausgedrückt, die nun mit Kurve C zu multiplizieren ist, um die endgültige Frequenzkurve des Tonabneh-

mers mit Parallelwiderstand, nämlich Kurve D, zu bekommen, die einen praktisch gleichmäßigen Verlauf zwischen 50 und 6500 Hz aufweist. Macht man den der Entzerrung dienenden Parallelwiderstand nun aber regelbar, dann läßt sich die Tiefenentzerrung in einfachster Weise regeln; man braucht nur einen zwischen 30 kΩ und 2 MΩ veränderlichen Regler zu nehmen, um einen ganz weiten Regelbereich zu erhalten. Diese Möglichkeit dürfte von vielen Hörern sehr begrüßt werden, kann man doch so durch eine Regelung der tiefen Frequenzen eine höchst wirksame Änderung der Klangfarbe herbeiführen. Zum Schluß seien noch einige interessante Aufbau-einheiten mitgeteilt: Die Kraft, die der Tonabnehmer zur Auslenkung benötigt, ist sehr gering; es ist nur die Torsionskraft der Kristallplatte zu überwinden, wozu auch bei großen Amplituden nur 4 g an der Nadelspitze erforderlich sind. Die schwingende Masse des Tonabnehmers, umgerechnet auf die Nadelspitze, beträgt nur 0,04 g, so daß auch die durch die Massenträgheit hervorgerufenen Kräfte sehr klein sind. Mit einem Andruck des Tonabnehmers auf die Platte von 5g lassen sich bereits viele handelsübliche Platten abspielen; um aber auch in extremen Fällen eine einwandfreie Nadelführung zu erhalten, wurde der Druck auf 18 g verstärkt. Durch eine eingebaute Blattfeder erfolgt eine Entlastung des an sich schwereren Tonarmes auf diesen Wert.

Der Tonabnehmer besitzt eine Kapazität von etwa 5000 pF. Die Länge der Zuleitungen zum Verstärker spielt deshalb in normalen Fällen keine besondere Rolle. Die Kapazität der Zuleitungen ist im übrigen ohne Einfluß auf den Frequenzgang; sie setzt nur die am Verstärker wirksame Spannung herunter. Die Empfindlichkeit des Tonabnehmers ist so groß, daß bei den größten auf den Schallplatten vorkom-

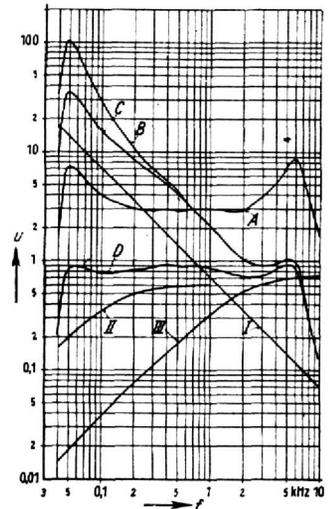


Bild 3. Herstellung einer geradlinigen Frequenzkurve unter Benutzung von gedämpften Resonanz- und eines Querwiderstandes.

menden Amplituden Spannungen von etwa 10 Volt erzeugt werden, das sind Spannungen, mit denen u. U. eine Übersteuerung der ersten Verstärkerstufe stattfinden kann').

\*) E. Gerlach in „Akustische Zeitschrift“, 8. Jahrgang Nr. 3 - Mai 1943.

## Die Entzerrung des Kristall-Tonabnehmers

Der Kristalltonabnehmer hat in letzter Zeit eine erhebliche Verbreitung gefunden und wird sich voraussichtlich in Zukunft auch noch weiter durchsetzen. Im Gegensatz zu dem magnetischen oder dynamischen Abnehmer ist jedoch, wie auch in dem vorangehenden Bericht ausgeführt, beim Kristallabnehmer die abgegebene Spannung nicht der Geschwindigkeitsamplitude, sondern der Auslenkung proportional. Das ergibt, bezogen auf eine konstante Geschwindigkeitsamplitude, eine mit der Frequenz proportional fallende Frequenzkurve. Für einen „idealen“ Abnehmer, d.h. einen solchen, bei dem nicht irgendwelche Resonanzen oder sonstige Sondererscheinungen auftreten, ergibt sich damit eine Frequenzkurve gemäß der Kurve I in Bild 1. Dieser ausgeprägte Frequenzgang ist für eine hochwertige Wiedergabe unbrauchbar, er verlangt also unbedingt eine Entzerrung. Bis zu einem gewissen Grad kann man allerdings diesen Frequenzgang als einen Vorteil ansehen, weil man dadurch in der Lage ist, die tiefen Frequenzen anzuheben. Erfahrungsgemäß wird die Wiedergabe des Kristallabnehmers unentzerrt meist von dem breiten Publikum geschmack als angenehm empfunden, weil durch das Absinken der Frequenzkurve nach oben hin das Nadelrauschen weggeschnitten ist und die Bässe auf der anderen Seite sehr stark kommen. In Verbindung mit einem hochwertigen Wiedergabegerät hat man jedoch den Eindruck, daß die Tiefenanhebung und Höhenabschneidung doch stark übertrieben sind.

Aus diesem Grunde wird ein Entzerrer vorgesehen, und zwar findet man als einfachen Entzerrer im allgemeinen einen Ohmschen Parallelwiderstand angeben). Ein solcher ermöglicht in Verbindung mit dem kapazitiven Innenwiderstand des Abnehmers eine Abschneidung der tiefen Frequenzen. Die erhaltenen Frequenzkurven für vier verschiedene Widerstände sind in Bild 1 als die Kurven 2 a, 2 b, 2 c und 2 d eingezeichnet. Mit der Kurve 2 d, die allerdings auch einen sehr starken Lautstärkenverlust mit sich bringt, was aber bei der von dem Kristallabnehmer gelieferten hohen Spannung weniger von Bedeutung ist, ist eine sehr brauchbare Entzerrung erreicht. Man erhält eine praktisch bis 3000 Hz geradlinige Frequenzkurve. Der geringe Abfall darüber hinaus ist wegen des Abschneidens des Nadelrauschens erwünscht, aber auf der anderen Seite noch nicht so weitgehend, daß die Obertöne völlig verschwinden. Durch diese Entzerrung hat man sich allerdings eines Vorteils des Kristallabnehmers begeben. Bekanntlich werden die Schallplatten mit konstanter Geschwindigkeitsamplitude, jedoch unterhalb 200 Hz mit konstanter Auslenkung geschrieben, was zwangsläufig zu einem Baßverlust führt, wenn die Wiedergabeeinrichtung so gebaut ist, daß die Frequenzkurve für konstante Geschwindigkeitsamplitude geradlinig ist.

In Bild 2 ist gestrichelt die Frequenzkurve einer Wiedergabeeinrichtung mit magnetischer unentzerrter Dose aufgetragen, und zwar für konstante Spannung am Schallschreiber. Der Abfall der Frequenzkurve unter 200 Hz ist durch die bewußte Beschneidung der Frequenzkurve des Schallschreibers gegeben. Wird in der Anlage an Stelle des magnetischen ein unentzerrter Kristallabnehmer eingeführt, so erhalten wir die Frequenzkurve I. Diese unterscheidet sich von der Kurve I in Bild 1 durch die Absenkung der Tiefen unterhalb von 200 Hz. Man erhält demnach also gerade bei tiefen Frequenzen unter 200 Hz eine geradlinige Frequenzkurve, oberhalb 200 Hz allerdings

dann den linearen Abfall, der, wie oben angeführt, zu einer übertriebenen Höhenabschneidung führt. Sieht man nun einen „Entzerrer“ in Form eines ohmschen Widerstandes vor, so werden beispielsweise aus den Kurven 2 a—d in Bild 1 die Kurven II a—d in Bild 2. Das sind nun recht ungünstige Frequenzgänge, da sowohl die hohen wie die tiefen gegenüber dem Mitteltonbereich geschnitten sind, und man bekommt eine farblose Wiedergabe.

Wünschenswert ist vielmehr ein Frequenzverlauf entsprechend der Kurve III, der in Bild 1 die Kurve 3 entspricht. Dies ist der vom Kristallabnehmer zusammen mit dem Entzerrer zu fordernde Frequenzgang. Ein solcher ist sehr einfach zu erreichen, indem der Kristallabnehmer nicht durch einen Widerstand, sondern durch die Reihenschaltung eines Widerstandes und eines Kondensators gemäß Bild 3 belastet wird. Bei hohen Frequenzen entspricht die Frequenzkurve der des unbelasteten Abnehmers, bei den tiefen bilden die innere Kapazität des Abnehmers und der äußere Kondensator einen frequenzabhängigen Spannungsteiler. Das Produkt RC ist durch die Grenzfrequenz von 200 Hz gegeben zu

$$RC = \frac{1}{\omega f} = \frac{1}{6,3 \cdot 200} = 8 \cdot 10^{-4}$$

Für eine innere Kapazität des Abnehmers von 5000 pF (Telefunken-Abnehmer) empfiehlt es sich, C = 50000 pF und damit R = 15 kΩ zu machen. Entsprechend ergeben sich für eine innere Kapazität von 2000 pF (Grawor-Abnehmer) C = 20000 pF und R = 40 kΩ. Man erhält damit die Frequenzkurve 3 in Bild 1. Mit dieser hohen Belastung ergibt sich bei 500 Hz dann ein Lautstärkenverlust um den Faktor 4 (12 Dezibel). Dieser dürfte bei der hohen Spannung, die der Kristallabnehmer liefert, bei allen üblichen Verstärkern tragbar sein. Ist noch mehr Verstärkungsreserve vorhanden und hat man moderne, rauscharme Platten, so wird man R noch kleiner wählen und entsprechend C um denselben Faktor vergrößern.

Aus dem Gesagten folgt, daß es nicht günstig ist, den Widerstand veränderlich zu machen. Man müßte dann den Serienkondensator gleichzeitig mit verändern, und außerdem würde sich mit dem Klang-

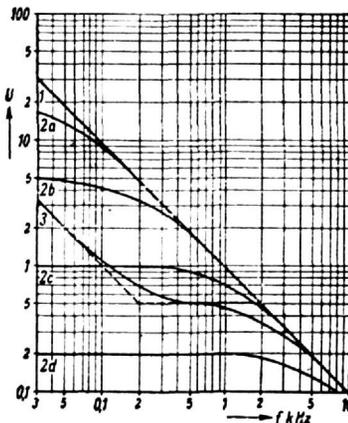


Bild 1. Frequenzgänge von Kristalltonabnehmern bei konstanter Geschwindigkeitsamplitude. I unentzerrt, 2 a bis d mit ohmscher Belastung, 3 in Schaltung Bild 3 entzerrt.

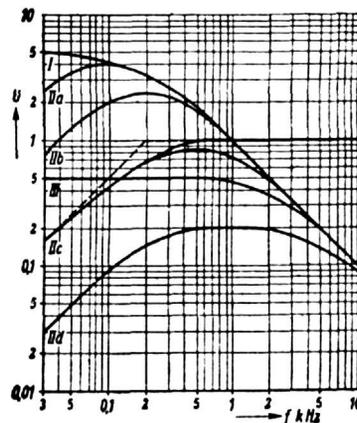


Bild 2. Frequenzgänge von Schallplatten - Wiedergabegeräten bei konstanter Spannung am Tonschreiber. I Kristallabnehmer unentzerrt, II a bis d Kristallabnehmer mit ohmscher Belastung, III Kristallabnehmer entzerrt, IV magnetischer Abnehmer unentzerrt.

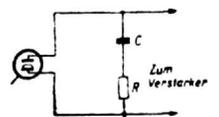


Bild 3. Entzerrer für Kristalltonabnehmer.

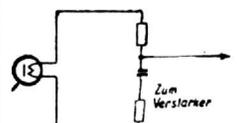


Bild 4. Entzerrer für elektromagnetischen oder dynamischen Tonabnehmer.

\*) Vgl. Gerlach in Akust. Zeitschrift 1943, Heft 3, Seite 81—91. Über letztere Arbeit wird in dem vorangehenden Aufsatz berichtet.