

Dual

**Moderne Schallplatten-
Wiedergabetechnik**



Sehr geehrter Schallplattenfreund

Die Vorfahren des Gründers unseres Werkes, Christian Steidinger, waren handwerkstüchtige Schwarzwälder, die sich schon durch Generationen in einer selbständigen Werkzeugmacherei mit der Herstellung von mechanischen Präzisionsbauteilen für die Uhrenindustrie beschäftigten. Schon 1906 wurde die Herstellung von Federlaufwerken für Sprechmaschinen aufgenommen, die bereits 1908 auf der Leipziger Messe ausgestellt wurden. Ihre sorgfältige und präzise Ausführung fand lebhaften Anklang, so daß im Jahr 1909 monatlich 5000 Laufwerkmotoren produziert und verkauft werden konnten. 1913 wurden die ersten Laufwerke mit Schneckenregulatortrieben gefertigt, deren Qualität und Beliebtheit bald eine Tagesproduktion von 1500 Laufwerken erforderlich machten. Im Jahr 1927 wurde der erste kombinierte Federwerk-Elektroantrieb für ein Phonolaufwerk geschaffen, der auch der Anlaß zur Firmenbezeichnung Dual wurde. Im Jahr 1928 verließen 10 000 solcher Motoren im Monat das Werk. Nach der Einführung des Rundfunks kam mit dem Aufkommen des Radios zunächst ein Rückgang in der Produktion der Feder-

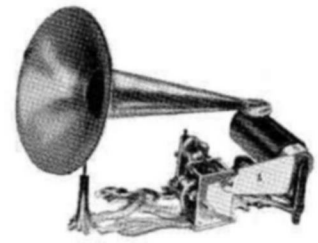
laufwerke. Bei Dual war jedoch inzwischen ein netzbetriebenes Laufwerk mit elektromagnetischer Tondose entwickelt worden. Schallplatten konnten nun – bei erheblicher Steigerung der Tonqualität – über Lautsprecher wiedergegeben werden. 1949 wurde der erste vollautomatische Plattenwechsler gebaut. Die Entwicklung führte über mehrere erfolgreiche Laufwerktypen bis zu dem modernen Dual 1009, der das Muster einer feinwerktechnischen Spitzenleistung darstellt.

Das Wissen um die Probleme einer allseits befriedigenden Schallplattenwiedergabe und die sorgfältige Anwendung jahrzehntelanger Erfahrungen beim Bau neuzeitlicher Phonolaufwerke und Wiedergabeanlagen mit der sprichwörtlichen Dual-Präzision, geben die Gewähr dafür, daß Ihnen mit allen Dual-Konstruktionen stets fortschrittliche, hochqualitative Phono-Erzeugnisse zur Verfügung stehen.

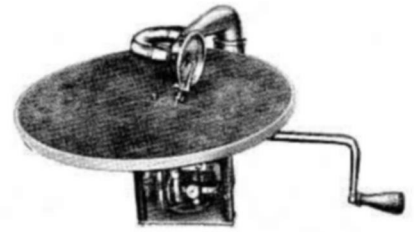
Mit freundlicher Empfehlung
Dual - Gebrüder Steidinger

1890

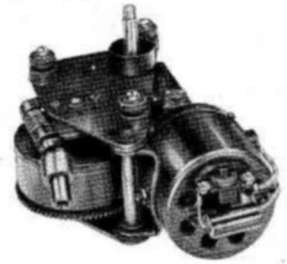
1890



1906



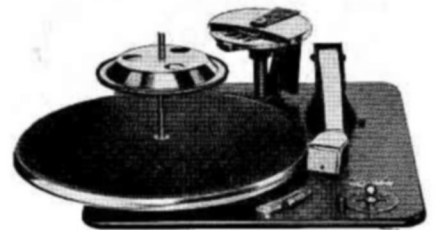
1927



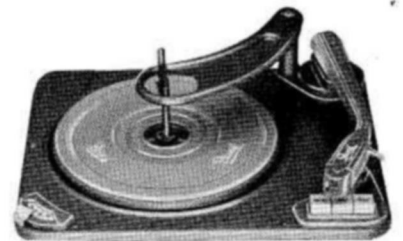
1935



1949



1956



1963

1963



Inhaltsverzeichnis

Seite	
6	Die Entwicklung der Schallplatten-Wiedergabetechnik vom Phonographen bis zur Stereophonie
8	Grundlagen der Akustik
10	Über des Wesen der Stereophonie und ihre praktische Anwendung bei der Stereo-Schallplatte
10	Monaurale Wiedergabe
10	Binaurale Wiedergabe
11	Pseudo-Stereophonie
11	Stereo-Wiedergabe
12	Die Schallrille
12	Monaurale und stereophone Schallaufzeichnung
14	Die Abnutzung der Schallrille
14	Der Abtaststift
15	Die Abnutzung des Abtaststiftes
16	Material und Qualität des Abtaststiftes
17	Die direkte Abstrahlung des Abtaststiftes
17	Das Tonabnehmersystem
18	Kristalltonabnehmer
20	Magnetische Tonabnehmer
20	Dynamische Tonabnehmer
21	Qualitätsmerkmale bei Tonabnehmersystemen
22	Auflagekraft, Compliance, Frequenzgang, Übersprechdämpfung Klirrfaktor- und Intermodulationsverzerrungen
24	Stereophone Abtastung und deren Einfluß auf die monaurale Technik
25	Stereo-Plattenabspielgeräte
27	Dual 1009, ein HiFi-Plattenspieler mit Wechselautomatik
30	Warum und wie sollte man einen HiFi-Plattenspieler testen?
32	Die Stereoanlage
32	Verstärker
32	Der Anschluß von Tonabnehmersystemen an NF-Verstärker
32	Anschluß von Kristalltonabnehmern
33	Anschluß von magnetischen und dynamischen Abtastern
34	Dimensionierung von Schneidkennlinienentzerrungen
35	Tonabnehmer-Umrüstung von Kristall- auf Magnetsystem
35	Vergleich der technischen Daten: Kristall – Magnetsystem
37	78 und 16 ² / ₃ Upm – überflüssig?
37	Was ist HF-Stereophonie?
38	Geräte-Anschluß und Kontaktbelegungen genormter Phono-Steckverbindungen
40	Anordnung der Stereo-Anlage im Raum
41	Die Stereo-Hörsamkeit
41	Inbetriebnahme der Stereoanlage
42	Zur Frage des Hörtests
43	Meß- und Prüfplatten
44	Lautsprecherprobleme und Ratschläge für die Zusammenstellung einer Lautsprecher-Kombination
46	Stereophonie mit einfachen Mitteln
47	Koffer-Stereoanlagen
48	Stereo-Componenten
50	Erklärung der Fachausdrücke
52	Dual-Werksvertretungen und -Kundendienststellen

Seitdem die Begriffe High Fidelity und Stereophonie die Phono-Fachwelt bewegen, sind viele Veröffentlichungen über diese Wiedergabeverfahren sowohl vom Standpunkt der Schallplatte als auch der Verstärkertechnik erschienen. Über den Plattenspieler und das Tonabnehmersystem bzw. die Kombination dieser Geräte mit Verstärkeranlagen wurde jedoch noch verhältnismäßig wenig geschrieben, obwohl doch gerade von der Qualität der Tonabnehmer und Plattenabspielgeräte die Güte der elektroakustischen Wiedergabe ganz entscheidend beeinflusst wird. Beide Begriffe — High Fidelity und Stereophonie — bezeichnen durchaus keine gegenständliche Erfindung der Neuzeit. Die Prägung High Fidelity kam zwar vor einiger Zeit mit erheblicher Lautstärke durch Fachliteratur und Werbesprosperkte aus den USA zu uns, wurde aber bereits in den 30er Jahren — auch in Deutschland — nach der Entwicklung der elektrischen Schallplattenschneid- und Abtasttechnik schon einmal zu einem Gütebegriff der elektroakustischen Musikwiedergabe.

Was ist nun High Fidelity? Wörtlich übersetzt: Hohe Naturtreue. Auf die Schallplattenwiedergabeanlage bezogen müßte es also zunächst eine hohe naturgetreue Wiedergabe der Schallplatten bedeuten. Da sich ja auch die Schallplattenfirmen bemühen, Originaldarbietungen mit hoher Natur-(Original-)Treue aufzunehmen und dementsprechende Schallplatten herzustellen (derartige Platten werden auf dem Etikett mit dem Hinweis ‚HiFi‘ bezeichnet), sollte also eine elektroakustische Schallplattenübertragung mit HiFi-Aggregaten, in einer der Originalatmosphäre weitgehend vergleichbaren Weise, möglich sein. Daß hierfür bestimmte apparative Voraussetzungen erforderlich sind, wird auch der Nichtfachmann einsehen. Wie hoch sind nun die Anforderungen? Wo fängt HiFi an und wo hört sie auf? Die Vorstellungen gehen — auch in Fachkreisen — hier beträchtlich auseinander. Man versucht zur Zeit für alle Erzeugnisse der Phonoindustrie — die als HiFi-Ausführungen auf den Markt kommen — einen verbindlichen Qualitätsmaßstab zu finden. Man möchte — auch für Bauteile wie Tonabnehmersysteme, Lautsprecher usw. — eine streng einzuhaltende und in jedem Fall gewährleistete Mindestqualität festlegen. Mit der Festlegung von Mindestbedingungen bestätigt man jedoch, daß es darüber hinaus noch eine qualitative Steigerung geben könnte, also der Begriff HiFi nicht das letzthin Erreichbare darstellen würde. Zweifellos würden auch bald, über den Rahmen der HiFi-Klassifikation hinaus, neue Gütebegriffe propagiert werden und somit den — an einer guten Wiedergabeanlage interessierten — Laien zwingen, aus einer so entstandenen Qualitätsskala seine Ansprüche bei einer Anschaffung apparativ festzulegen, ohne dabei über deren Leistung in wiedergabetechnischer Hinsicht eine klare Vorstellung zu haben.

Die Schwierigkeit bei der Festlegung einer Qualitätsgrenze für Musikreproduktionen, die ja zunächst nur in technischen Wertmaßstäben ausgedrückt werden kann, besteht u. a. darin, daß zwar subjektive Unterscheidungen mehr oder weniger differenziert möglich, diese aber kaum ausreichend genau objektiv erfassbar sind.

Da ein offizieller — klar gegliederter — Gütemaßstab — auch unter Berücksichtigung einheitlicher Meßvorschriften in der Industrie — noch nicht festliegt, sind im Zuge der Entwicklung zwei Leistungsklassen bei Phonogeräten ent-

standen, wobei jedoch keine festliegenden und allgemein anerkannte Grenzbedingungen bestehen. Da sind auf der einen Seite dieser — noch sehr dehnbaren — Grenze die zu einem günstigen Preis erhältlichen, zwar hochwertigen, aber doch auf die Bedürfnisse des Durchschnittsverbrauchers zugeschnittenen Standardmodelle, die aber bereits sehr oft als HiFi-Geräte bezeichnet werden. Auf der anderen Seite Präzisionserzeugnisse nach dem modernsten Stand der Technik, zum ausschließlichen Zweck einer allen Ansprüchen gerecht werdenden höchstqualitativen Schallplattenproduktion.

In den wenigsten Fällen wird ein Laie die wertbestimmenden technischen Daten einer Musikwiedergabeanlage richtig erkennen und es liegt nahe, ausschließlich den Preis als Wertfaktor anzusehen. Je teurer, desto besser; ein billiges Gerät kann nicht viel taugen. Natürlich liegt in dieser Annahme eine gewisse Berechtigung, denn Präzisionserzeugnisse zu volkstümlichen Preisen kann es nicht geben und billige Geräte müssen eben billig sein.

Nun kommt es doch wohl in erster Linie darauf an, was man von einem Präzisions-Phono-Bauteil bzw. einer HiFi-Anlage an musikalischem Gewinn erwartet. Um dabei keinen Fehleinschätzungen zu erliegen, kommt man ohne Mindestmaß an technischem Verständnis für Phonogeräte nicht aus. Wir hoffen daher, mit dieser Schrift zu diesem Verständnis beitragen zu können. Selbstverständlich konnten wir in der vorliegenden gedrängten Form nicht auf alle möglichen Probleme der HiFi-Technik und der Stereophonie eingehen. Wir unterstützen Sie — über diesen Rahmen hinaus — jedoch jederzeit gern bei Ihren Bemühungen um eine befriedigende Schallplattenwiedergabe.

Die grundlegenden Patente der heute international angewandten Schallplatten-Stereophonie wurden schon 1931 angemeldet. Jedoch erst nach dem 2. Weltkrieg und dem allgemeinen Fortschritt der Elektroakustik erinnerte man sich dieser Wiedergabetechnik, die nun durch neue wissenschaftliche Erkenntnisse bereichert und nach zeitraubender Lösung fertigungstechnischer Schwierigkeiten der Phonoindustrie die Möglichkeit bietet, dem Schallplattenfreund ein Höchstmaß an elektroakustischer Perfektion in der Musikwiedergabe zur Verfügung zu stellen.

Dem Laien wird der Begriff der Stereophonie allein nicht viel sagen; wenn auch stereophone Übertragungen in Verbindung mit der modernen Filmtechnik allgemein zugänglich sind. Bei der — ganz allgemein ausgedrückt — Stereophonie handelt es sich um eine Zweikanaltechnik. Zwei verschiedene Informationen werden gleichzeitig aufgenommen und auch gleichzeitig — jedoch stets voneinander getrennt — akustisch wiedergegeben. Die praktische Nutzanwendung der Stereophonie für den Heimgebrauch ist bisher im wesentlichen auf die Wiedergabe beschränkt. Naturgemäß ist diese Technik komplizierter und aufwendiger als die bisherige. Sie wird darum nicht nur im Verkaufsräum und in der Werkstatt, sondern vor allem in der Heiminstallation manches Problem aufwerfen. Nachfolgende Ausführungen versuchen, die theoretischen Grundlagen der Stereophonie unter besonderer Berücksichtigung der Probleme um das Phonogerät klar und leicht faßlich darzustellen. Wir haben den theoretischen Teil durch Vorschläge für die Praxis ergänzt, wobei Bekanntes mit eigenen Untersuchungsergebnissen und Erfahrungen verbunden wurde.

Die Entwicklung der Schallplatten-Wiedergabetechnik vom Phonographen bis zur Stereophonie

Mit der Erfindung des Phonographen brachte uns der wissenschaftliche sowie der feinwerktechnische Fortschritt von der bloßen Suggestion musikalischen Geschehens bis zu dessen getreuer Wiedergabe. Zwischen der unförmigen Nadel, die über einen Zylinder aus grobkörnigem Material schleift und einem modernen Abtaster, der in einer mikroskopisch feinen Schallrinne geführt wird, liegt eine ungeheure, über ein halbes Jahrhundert währende Entwicklungsarbeit. Bis nach dem 1. Weltkrieg waren die technischen Mittel der Musikaufnahme und -Wiedergabemöglichkeiten nach heutigen Erkenntnissen noch ziemlich unvollkommen, da sie ausschließlich auf rein mechanischer Grundlage stattfand. Erst durch die Entwicklung und Einführung der elektrischen Aufzeichnung und Abtastung sowie durch die Möglichkeit, NF-Stufen der von Jahr zu Jahr verbesserten Rundfunkgeräte als Verstärker für die Plattenwiedergabe zu verwenden, wurde eine entscheidende Qualitätsverbesserung der Schallplattenwiedergabe erreicht. Der Frequenzumfang konnte wesentlich erweitert werden, das Rauschen wurde durch Verbesserung der Plattenmasse herabgesetzt, die Störanfälligkeit und der Gleichlauf der Abspielgeräte verbessert, die Empfindlichkeit der Abtaster erhöht usw. So wurde auf fast allen Gebieten der Schallplattentechnik ein Qualitätsstand erreicht, nach dem eine Schallplattenwiedergabe schon recht befriedigen konnte, wenn sie auch von einer naturgetreuen Wiedergabe noch recht weit entfernt war. In den Jahren nach dem 2. Weltkrieg wurden die elektromechanischen bzw. elektroakustischen Wandler, die Speichergeräte und die Aufnahmeverfahren zu einer Perfektion geführt, die eine naturgetreue, unverfälschte Wiedergabe gewährleisten können.

»High Fidelity«, hohe Naturtreue, wurde ein neuer Begriff in der Phonotechnik, mit der die Bemühungen um eine weitgehend naturgetreue Aufzeichnung und Wiedergabe gekennzeichnet werden soll. Man kann die Frage, was gehört zu einer echten HiFi-Wiedergabe, nicht eindeutig für alle vorkommenden Fälle einer akustischen Übertragung wertmäßig verbindlich beantworten. Es lassen sich objektiv für die einzelnen Übertragungsglieder bestimmte Mindestforderungen festlegen. Hier gilt im besonderen das berühmte Beispiel von der Kette, die so schwach ist wie das schwächste Glied. Es ist aber nicht immer gewährleistet, daß — auch wenn die Übertragungsglieder qualitativ gleichwertig sind — bei der Kombination mehrerer Einzelglieder infolge der ihnen in irgendeiner Weise doch anhaftenden Mängel — keine Summierungen von Fehlereigenschaften bzw. Anpassungsfehler auftreten, so daß eine Wiedergabekombination meist viel schlechter ist als ihre einzelnen Teile. Dazu kommt, daß es bei der Bewertung einer akustischen Wiedergabe nur bis zu einem gewissen Grad möglich ist, exakte Meßmethoden anzuwenden, da neben rein technischen Belangen in starkem Maße subjektive Momente

von Einfluß sind. Eine Veränderung des Frequenzumfanges ist für einen ungeschulten Hörer zunächst verhältnismäßig wenig kritisch. Während beispielsweise die Heraufsetzung der oberen Frequenzgrenze von 4000 auf 8000 Hz noch allgemein als erhebliche Verbesserung empfunden wird, ist die Erhöhung auf eine weitere Oktave auf 16 kHz schon weniger deutlich feststellbar. Durch eine Erweiterung der oberen und unteren Frequenzen — beispielsweise von 8000 auf 16 000 Hz bzw. von 200 auf 40 Hz, die Anpassung des Wiedergabebereiches an den Frequenzumfang des menschlichen Ohres — läßt sich allein noch keine High-Fidelity erreichen. Ein derartig erweitertes Frequenzband kann sogar ungünstig sein, wenn es dem Klangbild mehr Stör- als Nutzeffekte zufügt. Wichtig ist jedoch, bei der Bewertung eines Frequenzbereiches darauf zu achten, daß, von der Mittenfrequenz 800 Hz ausgehend, bei hohen und tiefen Frequenzen die gleiche Anzahl Oktaven übertragen werden. Nur so erhält man ein ausgewogenes, befriedigendes Klangbild. Man sollte sich jedoch hüten, nur an Hand der Frequenzkurve die Güte einer Schallplattenübertragung beurteilen zu wollen. Der Störpegel einer Musikwiedergabeanlage sollte das Pianissimo einer Aufzeichnung nicht verdecken, d. h. also, daß der Störabstand der Apparatur größer sein muß als die Dynamik einer Aufzeichnung. Mit der Schellackplatte erreichte man früher bei der Schallplattenwiedergabe einen Dynamikumfang von höchstens 30 dB. Mit den modernen Vinylit-Schallplatten lassen sich 45–50 dB verwirklichen. Im Konzertsaal wird bei einem großen Orchester jedoch mit einer Dynamik von mehr als 60 dB gerechnet. Das bedeutet, daß die Schalleistung zwischen dem Wert 1 und 1 Million schwankt! Nimmt man für einen ruhigen Wohnraum ein Grundgeräusch von 30 Phon an — das ist schon ein sehr ruhiges Zimmer —, so würde die Übertragung eines Orchesterkonzerts mit einer Dynamik von 60 dB bei Spitzenaussteuerungen die für einen Wohnraum unangenehme Lautstärke von 90 Phon ergeben. Senkt man diese Lautstärke auf 70 Phon ab, so liegt, bei gleichbleibender Dynamik der Aufzeichnung von 60 dB, das Pianissimo bereits 10 dB unter dem Geräuschpegel. So ist also für die normale Heimwiedergabe höchstens ein Dynamikumfang von 40 dB anzustreben. Das entspräche immer noch einem Schalleistungsverhältnis von 1:10 000. Diese Reduktion ist psychologisch durchaus befriedigend; denn die Schalleistung eines 100-Mann-Orchesters würde die Wiedergabemöglichkeit eines normalen Wohnraumes völlig sprengen. Auch der Rundfunk beschränkt sich meist auf eine Dynamik von rund 40 dB. Die technischen Möglichkeiten, Aufnahmen und Wiedergaben mit großer Dynamik durchzuführen, sind grundsätzlich durchaus gegeben, sie lassen sich jedoch im normalen Heimgebrauch schon nicht mehr ganz ausnutzen, da die Anforderungen an die Raumakustik und die Wiedergabegeräte zu hoch wären. Der Originalklang in großen Räumen muß also unter recht problematischen Veränderungen in einen — meist wesentlich — kleineren Wiedergaberaum übertragen werden. Dabei sollte sich als wichtigste Voraussetzung einer befriedigenden Wiedergabe das Pianissimo noch deutlich aus dem Grundgeräusch des Raumes herausheben und das Fortissimo nicht zur Belästigung werden. Allgemein gültige Mindestwerte für den Störabstand können nicht angegeben werden, weil die Bewertung bei einer Musikwiedergabe subjektiv durchaus unterschiedlich sein kann und ihn mehrere entscheidende Faktoren, u. a. die Aufzeichnung selbst, der Störpegel des Wiedergaberaumes

und die Abhörlautstärke beeinflussen. In jedem Fall sollte jedoch der Störspannungsabstand einer Übertragungsanlage größer als die Dynamik der Aufzeichnung sein.

Durch die Erweiterung des Übertragungsbereiches nach hohen und tiefen Frequenzen hin wird die Anfälligkeit und die Hörsamkeit von Verzerrungen naturgemäß erheblich vergrößert. Während man früher für die linearen Verzerrungen einen Klirrfaktor von rund 10 % zuließ, beträgt der Klirrfaktor hochwertiger, moderner Übertragungsglieder heute höchstens 1 %. Diese Anforderung darf natürlich nicht nur für eine gerade günstige Meßfrequenz gewährleistet sein, sondern sollte sich weitgehend über den ganzen Übertragungsbereich erstrecken. Zur Beurteilung des subjektiven Störeindrucks ist der Klirrfaktor jedoch nicht allein maßgebend. Weitaus unangenehmer auf den Gehöreindruck ist in einem Übertragungsglied mit nichtlinearer Kennlinie die Bildung von Summen- und Differenztönen aus den Grundtönen und deren Oberwellen (Intermodulation). Die unangenehme Wirkung ist verständlich, wenn man sich überlegt, daß der Ton jedes Musikinstrumentes an sich einen großen Oberwellenanteil aufweist, der den typischen Klangcharakter ergibt. Eine kleine zusätzliche harmonische Verzerrung in der elektroakustischen Übertragungsanlage wird deshalb das Klangbild viel weniger stören als das Zustandekommen von Summ- und Differenztönen, von welchen die zu übertragenden Klangbilder von sich aus frei sind. Verzerrungen lassen sich bei Übertragungsgliedern mit verringerter Bandbreite leichter und mit einfacheren Mitteln beherrschen als bei solchen mit verbreitertem Frequenzbereich. So wird man den Übertragungsbereich nicht unnötig breit machen, wenn man nicht gleichzeitig die Verzerrungen klein halten kann. Es zeigt sich, daß Übertragungen mit eingegengtem Frequenzbereich ohne Verzerrungen angenehmer empfunden werden, als eine Übertragung mit breitem Frequenzbereich und Verzerrungen.

Die Intermodulationsverzerrungen, die sich bei der Abtastung einer Musikschallplatte ergeben, können direkt nicht gemessen werden. Hier muß man sich weitgehend auf das Ohr verlassen, um die verschiedenen Verzerrungseindrücke bewerten zu können. Besonders bei hohen Frequenzen ist das Ohr trotz seiner großen Eigenverzerrungen gegenüber nichtlinearen Verzerrungen sehr empfindlich und kritischer als jedes z. Z. bekannte Meßverfahren.

Wiedergabegeräte, die diese geschilderten Probleme – von der Abtastung bis zur Abstrahlung – weitgehend berücksichtigen, können nur Geräte mit ausgezeichneten technischen Eigenschaften sein. Mit einer derartigen Anlage – sei sie nun ein komplettes Gerät oder eine Kombination aus einzelnen Aggregaten – lassen sich dann musikalische Aufzeichnungen bereits in einem hohen Grad von »High Fidelity« reproduzieren, wobei High Fidelity als höchstmöglicher Grad qualitativer Wiedergabe aufzufassen ist. Konzertsaalbesucher machen Schallplattenfreunden immer wieder den Vorwurf, zuviel technisch und zu wenig musikalisch zu hören. Ein »Nur-Techniker« ist sehr leicht geneigt, eine Höhen- und Tiefeneinstellung vorzunehmen, die zwar den Aufwand und die technischen Möglichkeiten der Wiedergabeordnung demonstriert, den Originalklang der Aufnahme jedoch erheblich verändern kann. Es bedarf schon eines gewissen technischen und sicher nicht weniger wichtigen musikalischen Verständnisses, um die vielen Möglichkeiten der Frequenzgangänderung an einer moder-

nen Abspielapparatur oder gar der nachträglichen Verhallung einer Aufzeichnung richtig im Sinne des musikalischen Originals anzuwenden. Die Wiedergabetechnik soll nicht Selbstzweck, sondern ein Hilfsmittel sein, die das Klangbild einer musikalischen Aufzeichnung möglichst vollkommen und unverfälscht in den natürlichen Relationen wiederzugeben imstande ist, da man im allgemeinen voraussetzen kann, daß der erfahrene Aufnahmeingenieur einen günstigen Kompromiß zwischen der akustischen Originalatmosphäre und dem auf der Wiedergabeseite technisch Möglichen gefunden hat.

Durch die moderne Aufnahmetechnik, die mit einer Vielzahl von Mikrofonen arbeitet, hat die elektroakustische Wiedergabe eine Intensivierung des Klangbildes erfahren, die sich von der Originalatmosphäre an einem Platz im Konzertsaal erheblich unterscheiden kann, doch sehr oft durch eine erhöhte Prägnanz einzelner Instrumente bzw. bestimmter Instrumentengruppen ein eindrucksvolleres Erlebnis vermittelt, als es die Konzertsaalatmosphäre ermöglicht. Trotzdem wird bei der kritischen Beurteilung eines Musikstückes die klangliche Bewertung zwischen Originaldarbietung und bestmöglicher monauraler Phonowiedergabe im allgemeinen immer zugunsten der Originalwiedergabe ausfallen. Häufig wird als Grund angegeben, daß die Frequenzen an den Grenzen des Übertragungsbereiches in der Wiedergabe immer noch fehlen. Aber selbst wenn man über eine technisch vollkommene Apparatur verfügt, wäre es dem Lautsprecher nicht möglich, eine bessere Wiedergabe zu bringen, als es eine Öffnung gleichen Durchmessers in der Wand eines Konzertsaales vermöchte. Der Hörer wird erst dann eine echte Atmosphäre feststellen, wenn die Möglichkeit der Lokalisierung – das Heraushören eines Klangkörpers nach Richtung und Entfernung – besteht, wozu ihn die Möglichkeiten des zweiohrigen Hörens naturgemäß befähigen. Nur durch die Technik der Stereophonie ist es möglich, klanglich eine räumliche Aufteilung von Instrumenten und Instrumentengruppen zu erzielen, wodurch nicht mehr der gesamte Schall als »Durcheinander« aus einer kleinen Öffnung zu kommen scheint, sondern der Eindruck entsteht, daß die Wand völlig entfernt ist und ein »Nebeneinander« von Klangkörpern zu orten ist. Das Klangbild gewinnt durch seine räumliche Ausdehnung an Volumen, an »Räumlichkeit« und hinterläßt damit einen realistischen Eindruck. Was bislang – auch bei einer noch so guten HiFi-Übertragung – an der Wiedergabe noch fehlte und was sie deutlich von der Originaldarbietung unterschied, wird erst durch eine einwandfreie stereophone Wiedergabe zu einer weitgehend naturgetreuen Wiedergabe ergänzt. Erst durch die Stereophonie kann die Atmosphäre am Aufnahmeort optimal und damit in »HiFi« bei der Wiedergabe nachgebildet werden.

High Fidelity und Stereophonie sind also echte technische Begriffe in der Phontechnik, die zwar jede für sich eigene Ausdruckskraft besitzen, aber doch unmittelbar zusammengehören.

So war mit der Entwicklung und Einführung der Stereo-Schallplatte der letzte entscheidende Schritt getan, der uns ermöglichte, im eigenen Heim musikalische Darbietungen in einer Vollendung zu erleben, die der Vermittlungskraft einer Originalatmosphäre nicht nachstehen, sie bei konsequenter Anwendung der HiFi-Technik noch übertreffen können.

Grundlagen der Akustik

Die vielfältigen Erscheinungen in der technischen Akustik sind im Prinzip erforscht und in genau definierten Begriffen genormt. Für einen Laien ist es jedoch nicht leicht, schon einfachste Begriffe, wie Schall, Klang, Klanggemisch und Geräusch auseinanderzuhalten, wo es doch sogar zwischen dem Techniker und dem Musiker leider vielfach Schwierigkeiten in den Definitionen gibt. In der technischen Akustik beispielsweise bezeichnet man als Ton eine einfache, oberwellenfreie Sinusschwingung. Das, was der Musiker bei einem Instrument Ton nennt, ist nach der Normfestlegung bereits ein Klang. Physikalisch gesehen ist ein Schall oder Klang nichts anderes, als die mechanische Schwingbewegung der uns umgebenden Luft. Diese Schwingung entsteht ursprünglich durch die Bewegung fester Körper, die die sie umgebenden Luftmoleküle ebenfalls zu Schwingungen anregen. Die Schallausbreitung erfolgt senkrecht von einer anregenden Fläche weg in Form von Longitudinalwellen, wobei die Ausbreitungsgeschwindigkeit von ca. 340 m/sec. allein durch die Massenträgheit und Elastizität der Luft bestimmt wird. Die angestoßenen Luftteilchen bewegen sich bei einer definierten Anregung zunächst mit steigender

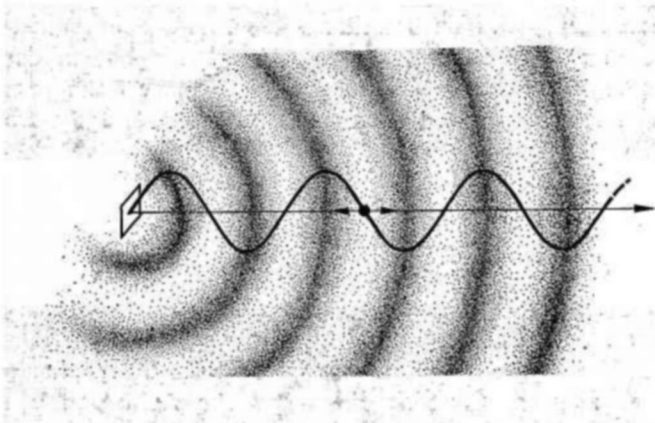


Abb. 1 Entstehung einer Longitudinalwelle

Geschwindigkeit in eine bestimmte Richtung, werden bis zum Stillstand langsamer und wechseln dann unter erneutem Ansteigen der Geschwindigkeit die Bewegungsrichtung und kehren nach Abfall der Geschwindigkeit zum Ausgangspunkt zurück. Eine derartige Teilchenbewegung, deren Verlauf die Abb. 1 zeigt, stellt im Prinzip also eine Luftdruckschwankung dar. Diese Luftdruckschwankung bezeichnet man auch als Schalldruck, wenn sie mit einer gewissen Intensität etwa 20 bis viele 1000mal pro Sekunde erfolgt. Erst dieser schnelle Luftdruckwechsel ist in der Lage, in unserem Ohr

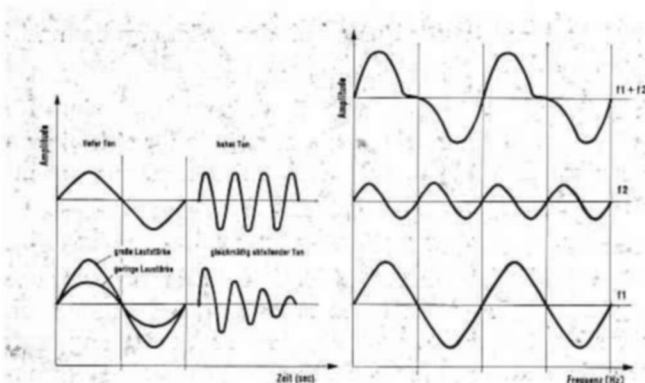


Abb. 2 Amplituden- und Kurvenverlauf von Sinusschwingungen

einen Höreindruck zu erzielen. Liegt die Stärke der Druckschwankungen unter einer gewissen Grenze, der Hörschwelle, sind sie nicht mehr wahrnehmbar. Werden sie zu stark, treten Ohrschmerzen auf. Bei weiterer Steigerung – insbesondere bei Schallstößen (Explosion) – kann das Trommelfell platzen. Der Schalldruck-Registrierbereich unseres Ohres ist allerdings enorm. Der Unterschied der Druckschwankungen zwischen der Hörgrenze mit dem geringsten noch wahrnehmbaren Schallwechseldruck von ca. 0,0002 mg/cm² und der Schmerzgrenze mit ca. 200 mg/cm² beträgt 1 Million. Wechselt die Schwingung (Periode) in einer Sekunde einmal, so spricht man von der Frequenz 1 Hertz (Hz). Die Frequenz, also die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde, bestimmt die akustisch feststellbare Tonhöhe. Das menschliche Ohr umfaßt im allgemeinen einen Hörbereich von 16–16 000 Hz. Mit zunehmendem Lebensalter sinkt die Wahrnehmbarkeit hoher Frequenzen. Abb. 3 zeigt den Frequenzumfang einiger charakteristischer Klang- und Geräuschquellen mit ihrem Frequenzspektrum im Hörbereich.

Während bei der Sprache nur ein schmaler Frequenzbereich umfaßt wird (die menschliche Gesangsstimme umfaßt etwa 2 Oktaven; 3 Oktaven sind selten), können mit Musikinstrumenten Schalldrucke im gesamten Höhenbereich erzielt werden.

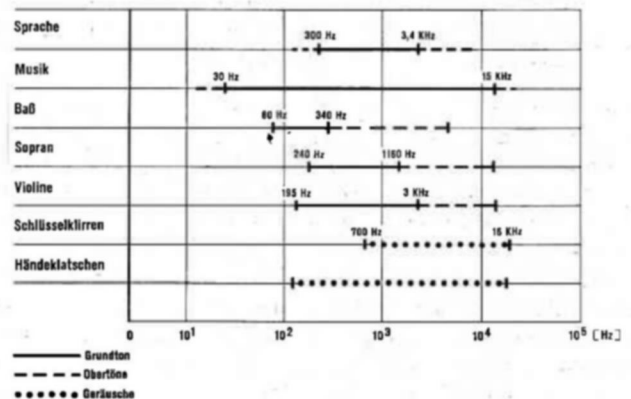


Abb. 3 Frequenzbereich einiger charakteristischer Geräuschquellen

Der in Abb. 5 dargestellte Kurvenverlauf entspricht dem Schalldruck einer Sinusschwingung, die in der Musik nicht auftritt. Musikalische Töne setzen sich zusammen aus einem Grundton und einer Anzahl Obertönen. Die Obertöne ergeben eine Klangfarbe, die die Eigenart des Klangerzeugers charakterisiert. Der gesamte musikalische Bereich erstreckt sich von 17 bis 4096 Hz in den Grundtönen. Er wird nur an der Orgel ausgenutzt. Für eine HiFi-Wiedergabe müssen Obertöne, die ein ganzzahliges Vielfaches des Grundtones darstellen, wenigstens bis 16 kHz übertragen werden. Stehen die einzelnen Frequenzen eines Klages nicht in einem ganzzahligen Verhältnis zueinander, so spricht man von Tongemischen. Wird ein derartiges Gemisch unangenehm empfunden, bezeichnet man den Effekt als Dissonanz, im Gegensatz zu einem angenehmen Klang, der als Konsonanz bezeichnet wird.

Blasinstrumente erzeugen einen direkten Luftschall, im Gegensatz zu vielen anderen Instrumenten, bei denen zunächst ein Körperschall entsteht, der erst in Luftschall umgesetzt wird. Wenn mehrere unterschiedliche Schallquellen zusammenwirken, erhöht sich in der Regel nicht nur die Schallstärke, sondern auch das Frequenzspektrum.

Die Abb. 6 bis 8 stellen die Oszillogramme musikalischer Klänge dar. Man sieht deutlich, daß sich ein Klang

aus mehreren Einzelschwingungen zusammensetzt. Bei einem Orchestertutti sind natürlich eine weit größere Anzahl Einzelschwingungen beteiligt, als beim Ton eines obertonarmen Instrumentes (vergleiche Abb. 6 und 8). Musikinstrumente haben meist ungedämpfte Resonatoren und daher verhältnismäßig lange Ein-Ausschwingvorgänge, z. B. eine Flöte ca. 0,3 sec. Diese Einschwingvorgänge sind für den Musikcharakter sehr entscheidend (s. Abb. 4). Wenn man bei verschiedenen Musikinstrumenten die Ein- und Ausschwingvorgänge künstlich unterdrückt, so kann man die Instrumente nicht mehr voneinander unterscheiden. Elektroakustische Übertragungsglieder dürfen daher diese Ein- und Ausschwingzeiten nicht beeinflussen. Das trifft in erster Linie auf den Lautsprecher zu, der ja einen breiten Frequenzbereich abstrahlen soll, aber kaum in seinen Einschwingzeiten mit denen der Originalschallquellen übereinstimmt (s. auch Seite 44).

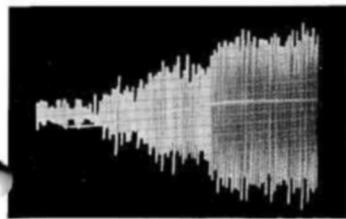


Abb. 4 Einschwingvorgang Flötenton

Somit ergibt sich nun bei Klängen ein recht komplizierter Schwingungsverlauf, der also von der Tonhöhe (Frequenz), Intensität (Amplitude), Klangfarbe (Obertongehalt) und dem Einschwingverhalten der einzelnen Frequenzen zu einem Summenbild geformt wird.

Diese — durch das Zusammenwirken der verschiedenen Klangkörper gebildeten — Schallwechseldrucke werden im Mikrofon in verhältnismäßige elektrische Wechselspannungen umgewandelt, im Verstärker verstärkt und der Schneidose an der Plattenschneidmaschine zugeführt. Der Schwingungsverlauf wird nun mit einer bestimmten linearen Entzerrung — der Schneidkennlinie — in den Schallplattenrillen festgehalten, d. h. die Auslenkungen der Schallrinne sind ein übertragenes Abbild der vom Mikrofon aufgenommenen akustischen Schallwechseldrucke. Die Übertragungs-, Aufzeichnungs- und Wiedergabegeräte müssen selbstverständlich in der Lage sein, derartige komplizierte Schallwechseldrucke bzw. Wechselspannungen mit einer maximalen Dynamik verzerrungsfrei zu verarbeiten.

Werden Obertöne und Einschwingvorgänge z. B. durch allzu billige Wiedergabegeräte unterdrückt, verliert der Klang an Durchsichtigkeit und Brillanz. Er bekommt dann den typischen Lautsprecherklang, wie er besonders ausgeprägt bei den billigen Transistor-Taschenradios ist. Lautsprecher neigen außerdem leider sehr stark zur Bildung von Obertönen. Kommen durch Summen- und Differenztonbildung neue unharmonische Frequenzen hinzu, wird sich der Originalklang unter Umständen auch für ungeschulte Ohren erheblich verzerren und den musikalischen Genuß bei der elektroakustischen Wiedergabe stark mindern. Das kann im extremen Fall bis zu einer gewissen Schmerzempfindung gehen. Da dieses vorzugsweise durch hohe, unharmonische Frequenzen ausgelöst wird, beobachtet man häufig, daß die Wiedergabe, durch Wegregeln der hohen Töne, dunkel eingestellt wird. Diese leider sehr verbreitete Angewohnheit ist ein Problem der psychologischen Akustik. Hohe Frequenzen zwingen zu einer bestimmten Konzentration, die, sofern man die Wiedergabe als „Berieselung“ benutzt, leicht lästig wird. Durch die daraufhin übertrieben eingestellte Tiefenanhebung des Klangbildes wird die Wiedergabe erträglicher, da mit den fehlenden Höhen die Empfindlichkeit des Ohres für Verzerrungen naturgemäß zurückgeht. Voraussetzung für eine HiFi-Wiedergabe sind derartige Frequenzbeschneidungen jedoch nicht.

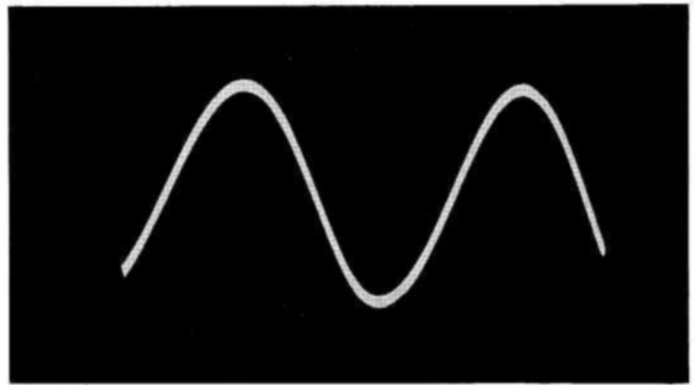


Abb. 5 Sinusschwingung

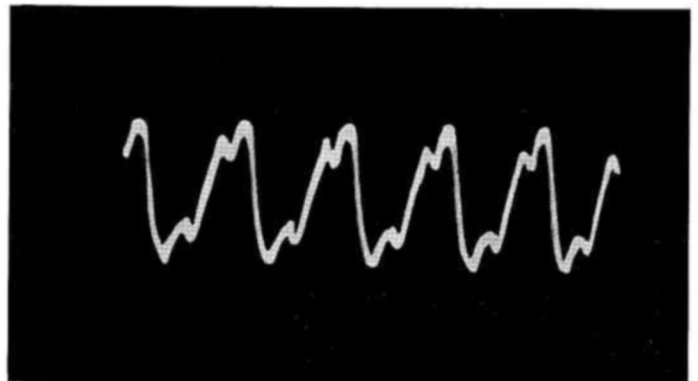


Abb. 6 Obertonarmer Schwingungsverlauf eines Bariton-Saxophons

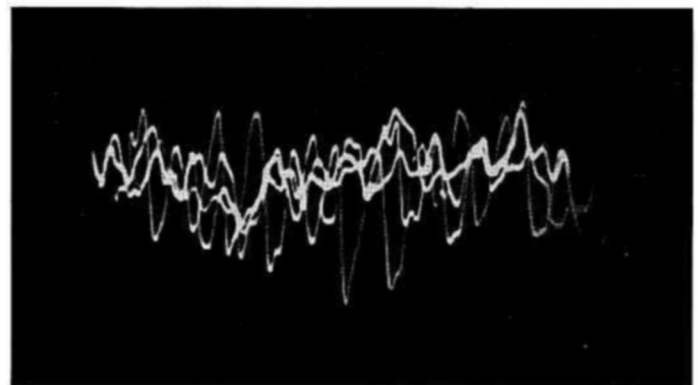


Abb. 7 Anteilige Frequenzen eines Sprachlautes

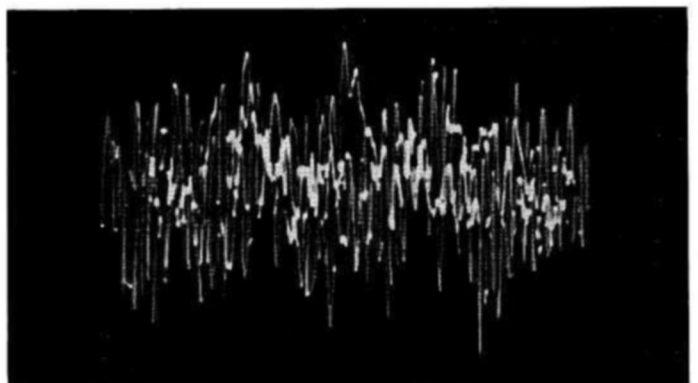


Abb. 8 Anteilige Frequenzen eines musikalischen Klanges

Über das Wesen der Stereophonie und ihre praktische Anwendung bei der Stereo-Schallplatte

Die Tatsache, daß der Mensch doppelte Sinnesorgane für das Hören und Sehen besitzt, verleiht ihm die Fähigkeit, sich räumlich durch optische und akustische Eindrücke zu orientieren. In den Konzertsaal versetzt bedeutet dies, daß auch bei geschlossenen Augen selbst der ungeübte Zuhörer, neben der jedem Instrument eigenen Klang-Charakteristik,

den Standpunkt der einzelnen Schallquellen innerhalb des Orchesters zu bestimmen vermag. Diese Ortung vollzieht sich mehr oder weniger unbewußt. Sie beruht im wesentlichen auf Intensitätsunterschieden. Die beiden Ohren empfinden unterschiedliche Schallstärken. Es spielen aber auch Zeitunterschiede eine Rolle — das eine Ohr hört den Schall früher als das andere. Außerdem sind noch Phasenunterschiede dabei von Bedeutung. Durch diese Ortung empfindet der Hörer die Plastik und Durchsichtigkeit einer musikalischen Darbietung.

Zum weiteren Verständnis der stereophonen Wiedergabe seien folgende drei akustische Grundbegriffe an Hand vereinfachter, sinnbildlicher Darstellungen eines Konzertsalles mit einer Trennwand illustrativ erklärt.

Monaurale Wiedergabe

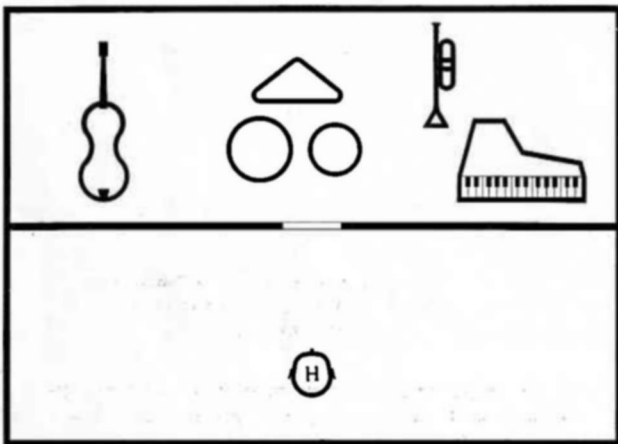


Abb. 9 Prinzip der monauralen Wiedergabe (H = Hörer)

Für den Hörer H ist es nicht möglich, eine exakte Aussage über die räumliche Anordnung beispielsweise der verschiedenen Instrumente des Orchesters zu machen. Für ihn bietet sich als Schallquelle nur das Loch in der Wand dar,

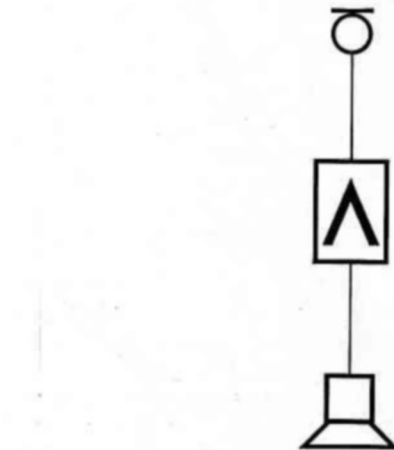


Abb. 10 Prinzipschaltung der monauralen Wiedergabe

vergleichbar mit der Lautsprecheröffnung eines Rundfunkgerätes wäre. Die Schallintensität ist in diesem Falle auf beiden Ohren gleich. Deshalb findet der Hörer die Schallquelle identisch mit dem Loch in der Wand.

Binaurale Wiedergabe

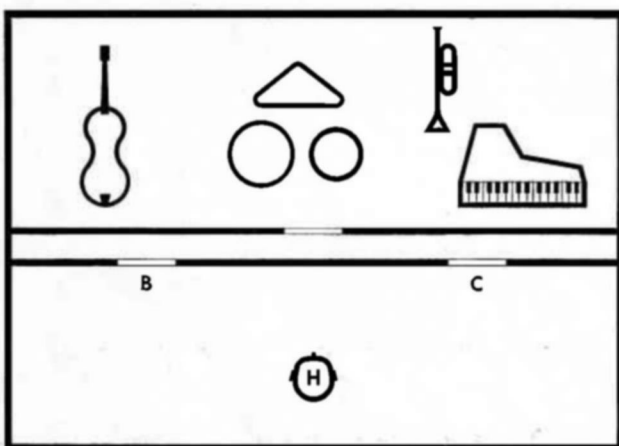


Abb. 11 Prinzip der binauralen Wiedergabe (H = Hörer)

Dem Hörer H bietet sich zwar eine breitere abstrahlende Basis durch die beiden Öffnungen B und C, die die akustischen Eigenschaften des Zuhörerraumes in anderer Weise zur Wirkung bringen können als bei monauraler Wieder-

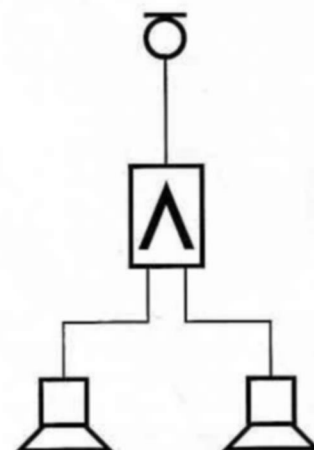


Abb. 12 Prinzipschaltung der binauralen Wiedergabe

gabe. Trotzdem aber ortet der Hörer die Quelle aller Schalleindrücke genau in der Mitte der beiden Öffnungen B und C, weil wiederum — wie bei monauraler Wiedergabe — die Schallintensität auf beiden Ohren gleich ist.

Pseudo-Stereophonie

Grundsätzlich kann ein Übertragungskanal immer nur ein Summenbild des Klanggeschehens vermitteln. Auch bei bester Wiedergabe aller Frequenzen kann die räumliche Anordnung des Klangkörpers nicht festgestellt werden. Die – insbesondere bei Verwendung nur eines Lautsprechers – eng begrenzte Tonquelle war der Anlaß, den Abstrahlungsbereich durch zweckmäßige Lautsprecher-Anordnungen zu verbreitern. Da das menschliche Ohr die räumliche Ausdehnung einer Schallquelle hauptsächlich nach dem Abstrahlungswinkel hoher Töne beurteilt, wurden in früheren Jahren bei

Lautsprecher abgestrahlt wurden. (S. d. Abb. 13a und 13b.) Dies war im besonderen das wesentliche Merkmal der sogenannten Rauntongeräte, die auch unter dem Namen 3 D, 4 R usw. bekannt wurden. Aber – auch wenn man das monaurale Signal in der Verstärkung und Abstrahlung in getrennte Tief- und Hochtonwege aufteilt (Abb. 13c) – die Informationen bleiben stets monaural. Diese und ähnliche Maßnahmen hatten deshalb mit echter Stereophonie, das heißt Erfassung eines Schalleindrucks nach Richtung und Entfernung, nichts zu tun; wenn man ihnen auch zugestehen

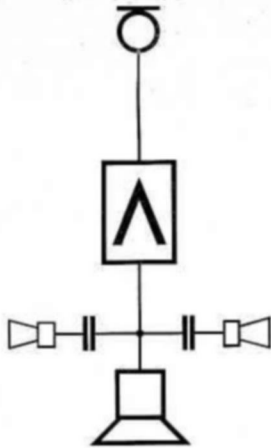
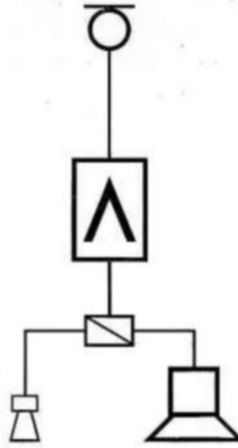
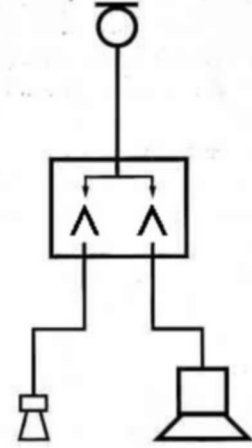


Abb. 13a Abstrahlung mit zusätzlichen seitlich gerichteten Hochton-Lautsprechern



b) verbreiterte Frontal-abstrahlung zwischen Hoch- und Tiefton-Lautsprecher



c) Verstärkung und Abstrahlung über getrennten Hoch- und Tieftonkanal

hochwertigen Wiedergabegeräten zusätzlich zum Hauptlautsprecher mehrere Hochton-Lautsprecher so angeordnet, daß die hohen Frequenzen nicht nur nach vorn, sondern auch seitlich oder über eine gewisse Distanz vom Tiefton-

muß, daß sie eine gewisse Raumpunkt-Unabhängigkeit der Abstrahlung und Auflockerung des monauralen Klangbildes bewirkten.

STEREO-Wiedergabe

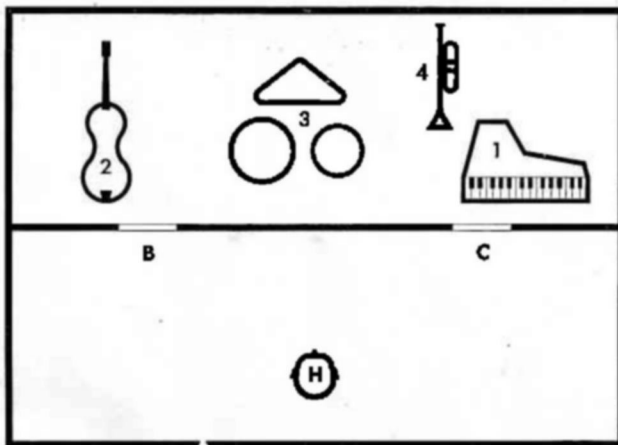


Abb. 14 Prinzip der stereophonen Wiedergabe (H = Hörer)

Den Hörer H trifft der Schall der Quelle 1 durch die Öffnung C rechts mit größerer Intensität als links durch die Öffnung B. Er ortet deshalb die Schallquelle 1 rechts. Umgekehrt ortet er die Schallquelle 2 links. Die Schallquelle 3 hingegen erscheint ihm akustisch genau in der Mitte, weil die Schallintensität aus der Öffnung B auf das linke Ohr genau so groß ist wie die Schallintensität aus der Öffnung C auf das rechte Ohr. Bei dem Schalleindruck,

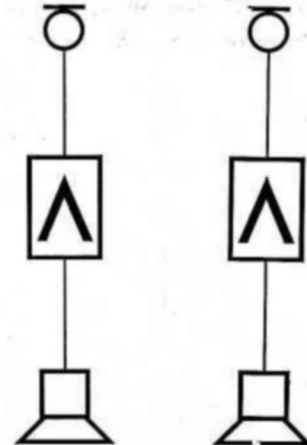


Abb. 15 Prinzipschaltung der stereophonen Wiedergabe

den die Quelle 4 unterschiedlich auf beide Ohren des Hörers ausübt, wird er die Schallquelle halbrechts rückwärts und im Vergleich zu den näheren Schallquellen zeitlich später orten.

Aus diesen schematischen Darstellungen ergibt sich, daß für eine elektroakustische Wiedergabe mit Schall-Ortungsmöglichkeiten mindestens zwei Übertragungswege vorhanden sein müssen.

Die Schallrille

Monaurale und stereophone Schallaufzeichnung

Bei der herkömmlichen monauralen Schallaufzeichnung ist eine einzige Schallinformation in der Rille untergebracht. Die stereophone Schallplattentechnik dagegen weist zwei Informationen in einer Rille auf.

Eine nach der monauralen Technik geschnittene Schallrille ist in Abbildung 20 im Schnitt und in der Aufsicht dargestellt. Der Schneidstichel bewegte sich dabei in horizontaler Richtung und zwar mit konstanter Rillenbreite. Bei der monauralen Technik ist also die gesamte Rille entsprechend der Schallinformation moduliert. Tiefe Frequenzen bedingen eine langwellige Modulation, hohe Frequenzen eine kurzwellige, wie es beispielsweise in der Abbildung 20 für eine beliebige Frequenz veranschaulicht ist.

Bei dem stereophonen Aufnahmeverfahren handelt es sich um eine Zweikanaltechnik. Es werden zwei getrennte Übertragungswege – einen rechten und einen linken – benutzt. Die stereophone Schallaufzeichnung, nach einem international genormten Verfahren hergestellt, hat zwei getrennte Informationen unter je 45° zur Schallplattenebene in die Schallplatte eingeschnitten. Bei diesem Verfahren handelt es sich um eine Zweikomponentenschrift, die sich aus der bisher gebräuchlichen Seitenschrift (Abb. 20) und der vom

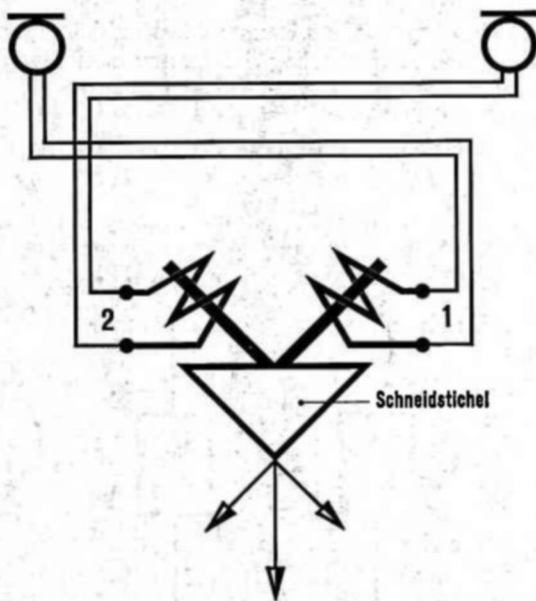


Abb. 16 Prinzip der stereophonen Schallaufzeichnung

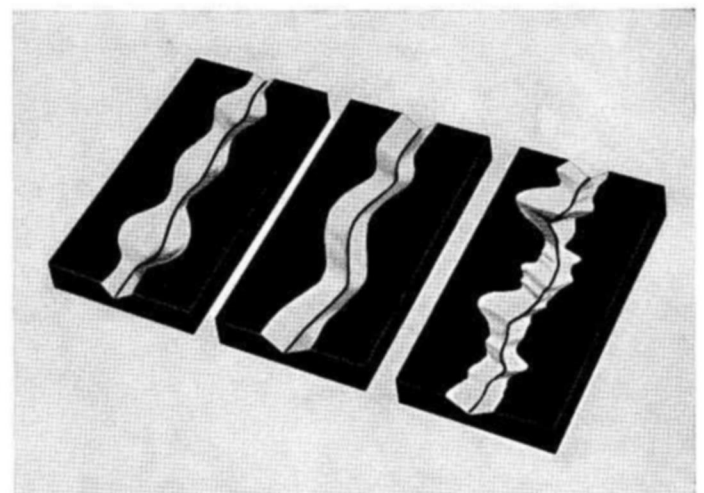
Edison-Phonographen her bekannten Tiefenschrift (Abb. 21) zusammensetzt. Seiten- und Tiefenschrift stehen senkrecht aufeinander und bilden ein orthogonales Achsenkreuz. Durch Drehung dieses Achsenkreuzes um 45° entsteht das nunmehr allgemein angewandte sogenannte $45^\circ/45^\circ$ -Verfahren. Der internationale Plattenaustausch ist durch die einheitliche Norm gewährleistet. Die Abbildung 16 zeigt sinnbildlich einen Schneidstichel zur stereophonen Schallaufzeichnung. An die Spule 1 ist über entsprechende Verstärkerglieder das linke und an die Spule 2 das rechte Mikrofon angeschlossen. Ist der Schall auf beiden Mikrofonen

gleichphasig, so bewegt sich der Schneidstichel genau in horizontaler Richtung. Bei Beschallung des rechten Mikrofones bewegt er sich unter 45° nur nach rechts, wie in Abbildung 19 dargestellt, während er sich bei Beschallung des linken Mikrofones nur unter 45° nach links, wie in Abbildung 18 veranschaulicht, bewegt.

Auf die Schallrille übersetzt bedeutet das also, daß durch das rechte Mikrofon nur die rechte Rillenflanke moduliert wird und durch das linke Mikrofon nur die linke Flanke eine Modulation erhält. Für den Fall, daß beide Mikrofone gleichphasig gleiche Spannungen abgeben, bewegt sich der Schneidstichel genau horizontal und schreibt eine Seitenschrift in die Schallplatte, wie aus Abbildung 20 ersichtlich. Für den speziellen Fall, daß die beiden Mikrofone gegenphasig mit gleichem Schalldruck beaufschlagt werden, erzeugt der Schneidstichel eine Tiefenschrift gemäß Abbildung 21, da sich die Auslenkbewegungen der Anker in den beiden Spulen 1 und 2 zu einer senkrechten Resultierenden kombinieren. Amplituden- und phasengleiche Schalldrücke an beiden Mikrofonen ergeben eine Auslenkbewegung des Schneidstichels in der Horizontalen, also Seitenschrift. Diese Bewegung entsteht bei einem Schalldruck zwischen beiden Mikrofonen. Weil bei der 45° -Auslenkung des Stichels die Flanken der Schallrille moduliert werden, nennt man die 45° -Schrift auch Flankenschrift. Bei der Flanken- und Tiefenschrift ist im Gegensatz zur Monorille die Rillenbreite nicht mehr konstant.

Die untenstehenden Abbildungen zeigen die so entstandenen unterschiedlichen Schallrillen-Schriftarten. Tiefenschrift-Platten – wie sie ursprünglich auf den Walzen nach Edison vorhanden waren – werden bereits seit langem nicht mehr hergestellt. Die bisher üblichen monauralen Schallplatten mit Seitenschrift unterscheiden sich für das bloße menschliche Auge nicht von – mit Flankenschrift versehenen – Stereo-Schallplatten. Bei einer Stereo-Schallplatte befindet sich auf dem Etikett ein entsprechender Hinweis.

Die Rillenbreite bestimmt die Spieldauer einer Plattenseite. Da sie möglichst lang sein soll, erhalten die Schallrillen mikroskopisch feine Abmessungen und werden eng aneinander geschnitten.



Tiefenschrift (Edison 1877) Seitenschrift (Berliner 1888) Flankenschrift (Blümlein 1931)

Abb. 17 Schallplatten-Schriftarten

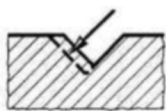


Abb. 18

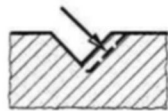


Abb. 19

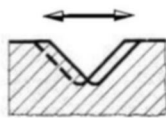


Abb. 20



Abb. 21



Abb. 22

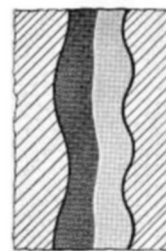
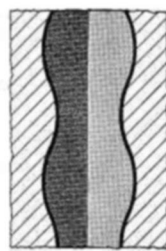
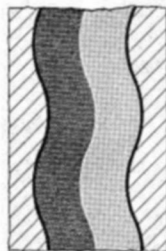
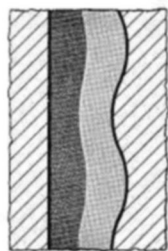
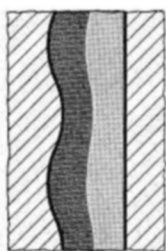


Abb. 18 Schalldruck am linken Mikrofon = Modulation der linken Rillenflanke

Abb. 21 Schalldruck gleichphasig an beiden Mikrofonen = Tiefenschrift

Abb. 19 Schalldruck am rechten Mikrofon = Modulation der rechten Rillenflanke

Abb. 22 Unterschiedliche Schalldrücke an beiden Mikrofonen = Stereoschrift

Abb. 20 Schalldruck gleichphasig an beiden Mikrofonen = Seitenschrift

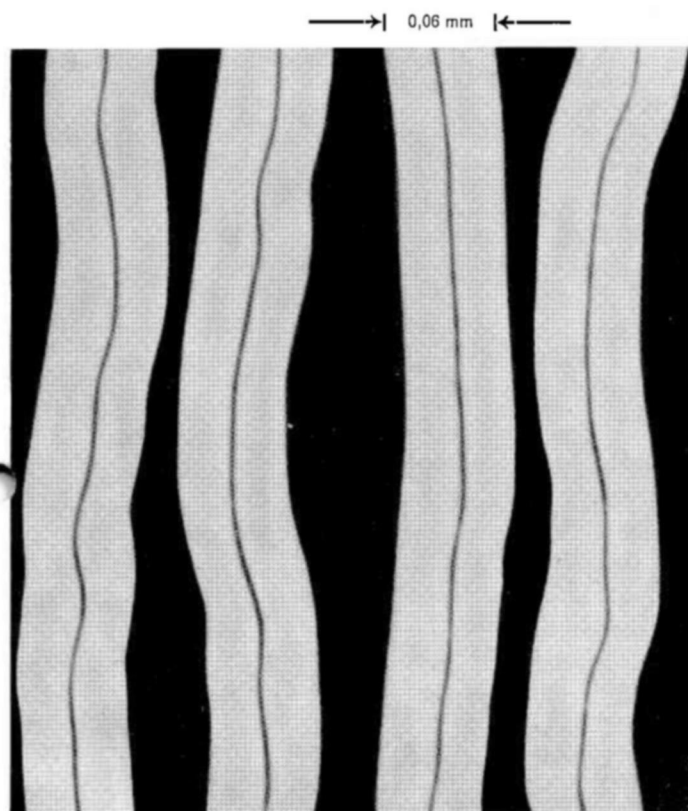


Abb. 23 Seitenschrift-Rillen (Mono)

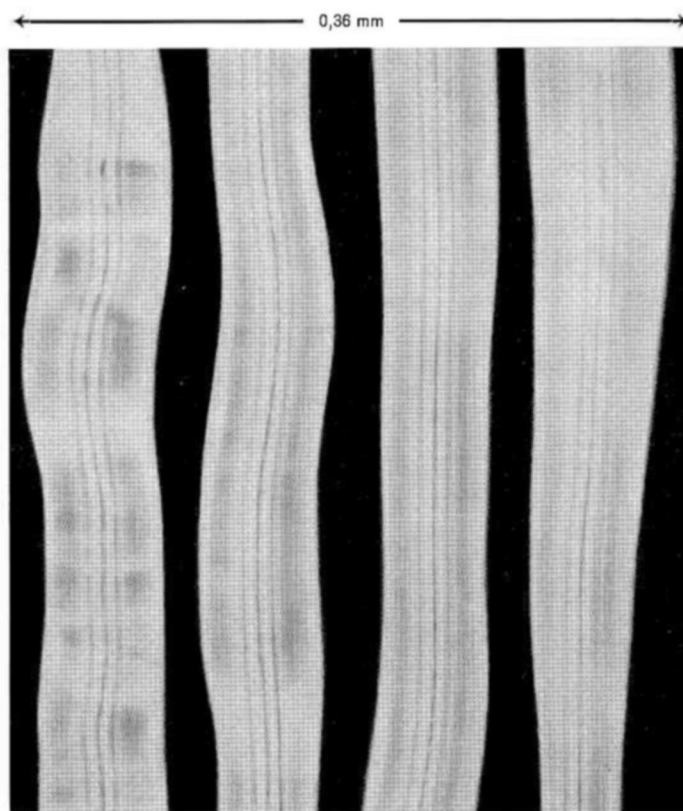


Abb. 24 Rillen mit Flankenschrift (Stereo)

Die Abbildungen 23 und 24 zeigen in 250facher Original-Vergrößerung die außerordentliche Speicherdichte moderner Schallplatten. Die Flächen der Abbildungen 23 und 24 zusammen sind im Original kleiner als ein Stecknadelkopf! Der Steg zwischen zwei Schallrillen ist im Minimum nur ca. 0,012 mm breit. Man erkennt deutlich die schwankende Rillenbreite bei einer Stereoaufzeichnung (Abb. 24) und die konstante Breite der Monorille (Abb. 23).

Eine weitere Verringerung der Rillenabmessungen wird durch fertigungsbedingte Oberflächenunebenheiten und die kaum noch zu unterbietende Materialkörnigkeit begrenzt. Vergleicht man den Flächenbedarf einer musikalischen Stereo-Aufzeichnung der 33-UpM-Platte und dem Stereo-Vier-spurband bei 9,5 cm/s, so findet man, daß das Tonband eine ca. 5,7mal größere Aufzeichnungsfläche für die gleiche Spielzeit benötigt.

Die Abnutzung der Schallrillen

Es ist verständlich, daß derart feine Rillenformen sehr empfindlich gegen grobe mechanische Behandlungen sind. Deshalb ist die erste Bedingung für die Lebensdauer einer Schallplatte die sorgfältige Behandlung und Lagerung. Besonders gefährlich ist scharfkantiger Staub, der sich in die relativ weiche Plattenmasse gedrückt hat und nur sehr schwer wieder zu entfernen ist. Akustisch werden diese Teilchen beim Abtasten als „Knacker“ oder – bei größerer Staubteilchendichte – als Knistern sehr störend wahrgenommen. Abwischen mit Staubtüchern – oder wie es sehr beliebt ist, mit dem Jackenärmel – stellen nicht gerade sehr ideale Säuberungsmethoden dar, man erreicht dann meist das Gegenteil. Durch die Reibung entsteht eine elektrostatische Aufladung der Platten, wodurch nur noch mehr Staub angezogen wird. Staub sollte also am besten erst gar nicht auf die Platten gelangen. Darum Platten bei Nichtgebrauch immer in den zugehörigen Papier- oder Kunststofftaschen aufbewahren! Optisch erscheint die Plattenoberfläche häufig scheckig. Schallplatten werden aus Gründen der Geräuschfreiheit vielfach geölt. Staubablagerungen auf diesem Ölfilm rufen dann derartige Flecken hervor. Bewährt haben sich zur Entfernung von weichem Staub auf Schallplatten Plattenreinigungstücher.

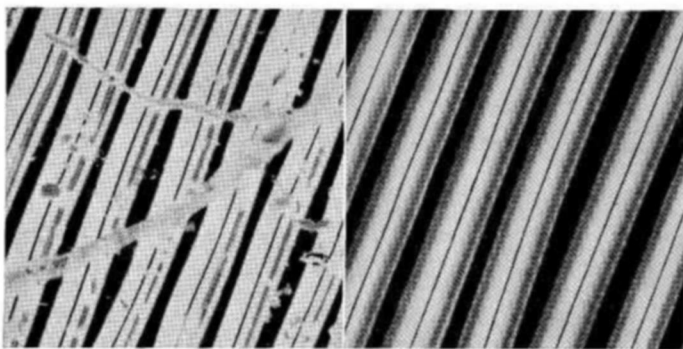


Abb. 25 Saubere und verschmutzte Schallrillen

Diese sind mit einem Mittel getränkt, das den Platten eine antistatische Wirkung verleiht. Sie müssen jedoch ebenso sauber gehalten werden, wie die Platten selbst. Auf keinen Fall dürfen die Platten mit scharfen oder ätzenden Reinigungsmitteln „bearbeitet“ werden.

Bei pfleglicher Behandlung und einwandfreiem Abtaststift ist die Lebensdauer moderner Schallplatten praktisch unbegrenzt. Der sich bei längerem Gebrauch am Abtaststift und der Rillenwandung einstellende Abschleiß hängt in sehr starkem Maße von der Härte und Auflagekraft des Abtaststiftes ab. Der sich bei einem weichen Abtaststift (Saphir) natürlich schneller und in größerem Umfang als bei einem Diamanten bildende Schleifstaub bleibt – im Falle einer Nichtentfernung – in der Schallrinne zurück und wirkt bei

Der Abtaststift

Schon die Mikrorillen-Schallplatte hat gegenüber der bis dahin üblichen Normalrillen-Platte eine Verfeinerung der Schallrillen und des Plattenmaterials erfahren, wodurch eine pfleglichere Behandlung der Schallplatte notwendig wurde. Auch bei Stereorillen hat man zur Verlängerung der Spielzeit pro Plattenseite versucht, die Schallrillen so schmal wie möglich zu machen. Da ja die Breite einer Stereorille nicht konstant ist, hat man eine zulässige Schwankung der

der nächsten Abtastung als Schmirgel. So werden nach und nach in die Rillenwandungen feine Riefen eingeschliffen, die sich in fortgeschrittenem Stadium als Rauschen akustisch bemerkbar machen. Häufig wird beobachtet, daß eine Platte beim ersten Abspielen deutlich knistert oder rauscht, nach einigen Abspielungen jedoch eine Störgeräuschabnahme festzustellen ist. Dann wurden die winzigen Unregelmäßigkeiten in der Plattenmasse vom Abtaststift weggeschliffen. Die Abb. 26 zeigt in der Aufsicht und im Profil eine neue und eine nicht abgenutzte Rinne.

Schmutz hält sich in Stereoplatten besonders hartnäckig. Außerdem wird auch der nach allen Richtungen empfindliche Stereo-Tonabnehmer Staubteilchen viel deutlicher registrieren, als ein – nur in horizontaler Richtung empfindliches – monaurales Abtastsystem. Die betriebsmäßige Abnutzung der Schallrillen durch den Abtaststift ist jedoch auch hier gering. Genau kontrollierte Messungen ergaben, daß die Verzerrungszunahme einer konstanten Frequenzaufzeichnung auch nach hundertmaligem Abspielen nur um einen ganz geringen Prozentsatz (0,5–1 %) zunahm. Auch bei einer Steigerung auf fünfhundertmaliges Abspielen waren die Platten durchaus noch als brauchbar zu bezeichnen. Nun ergeben jedoch zusammengesetzte Schwingungen, beispielsweise eines musikalischen Klanges, viel kompliziertere Rillenformen als eine einfache Sinusschwingung

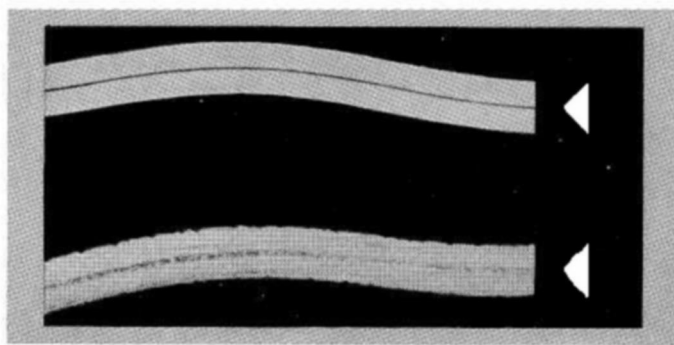
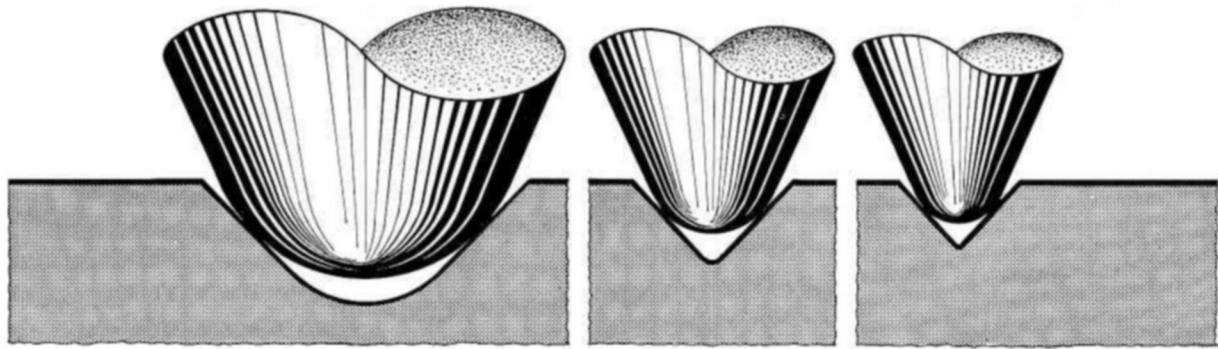


Abb. 26 Einwandfreie und abgenutzte Schallrillen

und daher werden die winzigen Rillenberge bzw. -täler – wie sie bei einer obertonreichen Schwingung vorliegen – schneller abgeschliffen als langwellige Auslenkungen. Da auch die Lautstärke, d. h. die Amplituden der Aufzeichnungen, auf die Abnutzungsgeschwindigkeit einen Einfluß ausübt, läßt sich die Abnutzung einer Schallrinne kaum zahlenmäßig angeben. Man ist hier weitgehend auf das subjektive Hören angewiesen. Der Qualitätsverlust durch häufiges Abspielen ist bei Benutzung eines modernen Abspielgerätes mit einem neuzeitlichen Tonabnehmer im allgemeinen unwesentlich. Voraussetzung ist jedoch immer ein einwandfreier – mit geringer Auflagekraft betriebener – Abtaststift, staubfreie Lagerung und pflegliche Behandlung der Schallplatten.

Rillenbreite von 25 bis 138 μm festgelegt, so daß praktisch ca. 8–10 Rillen pro Millimeter untergebracht werden können. Dieses hat für die Abtastung von Stereorillen eine nochmalige Verringerung der Verrundung der Spitze der Abtastnadel erforderlich gemacht. Sie beträgt im Mittel ca. 15 μm . Zur Demonstration der verschiedenen Schallplatten-Rillenbreiten und der Spitzenverrundung der Abtaststifte sind in der Abb. 27 die Normal-, Mikro- und Stereo-Rillen mit den



	Normalrille	Mikrorille	Stereorrille
Rillenbreite	120 μ	60 μ	40 μ
Verrundung des Rillengrundes	40 μ	7,5 μ	1-4 μ
Flankenwinkel	90°	90°	90°
Spitzenverrundung des Abtaststiftes	60 μ	25 μ	15-17 μ

Abb. 27

dazugehörigen Abtastspitzen in 300facher Vergrößerung dargestellt.

Die vollwertige Abtastung der unterschiedlich breiten Schallrillen erfordert also Abtastnadeln mit den Rillen angepaßten Spitzenverrundungen. Für die Abtastung von zwei verschiedenen Rillenprofilen mit demselben Tonabnehmersystem sind auf dem Nadelträger zwei Abtastnadeln mit unterschiedlicher Spitzenverrundung angebracht. Durch Kippen des Systems in der Halterung im Tonarmknopf wird die jeweilig benötigte Nadel in die zur Abtastung erforderliche Lage gebracht. Bei den sogenannten Turnover-Systemen sind die für die Normal- und Mikrorillenabtastung erforderlichen Nadeln verschiedener Spitzenverrundung so am System angebracht, daß sie bei horizontaler Drehung des Systems um 180° in der Halterung der Abtastung bereitgestellt werden können (Abb. 29a).

Man kann bei Kristallsystemen auf dem Nadelträger nach Abb. 28 zwei Abtaststifte hintereinander anbringen. (s. auch Abb. 29 b)



Abb. 28

Die vorn befestigte Abtastnadel wird dann im Normalfall, bei der Bestückung mit einem M-und-N-Saphir, zur Mikro- und Stereorrillenabtastung benutzt. Selbstverständlich muß der Abrundungsradius dann auch der Stereorrille angepaßt sein. Dahinter ist die Abtastnadel für Normalrillen angebracht. Normalrillen findet man nur noch bei den 78er-Schellackplatten. Falls keine 78er-Platten abgetastet zu werden brauchen, empfiehlt sich die Ausführung mit einer Stereo- und Mikrorillennadel.

Bei hochwertigen Tonabnehmersystemen wird am Nadelträger stets nur eine Abtastnadel angebracht, da man die schwingende Masse aus Qualitätsgründen klein halten möchte. Hier stehen dann auswechselbare Nadelträger mit unterschiedlich verrundeten Abtastnadeln zur Verfügung. Da die Tonabnehmersysteme heute vielfach in auswechselbaren Tonköpfen montiert sind, bzw. sich ohne Werkzeug mühelos auswechseln lassen, empfiehlt es sich besonders bei hochwertigen Wiedergabeanlagen, zur Abtastung von Normal-, Mikro- und Stereoschallplatten jeweils Austauschsysteme mit den entsprechenden Abtaststiften zu verwenden. Bei einer abgenutzten oder beschädigten Nadel wird der Nadelträger immer mit ausgetauscht, da das An-

bringen der Nadel in den Nadelträger nur vom Hersteller ordnungsgemäß durchgeführt werden kann. Der Nadelträger wird in einem Klemmsitz gehalten und läßt sich ohne Werkzeug leicht austauschen.

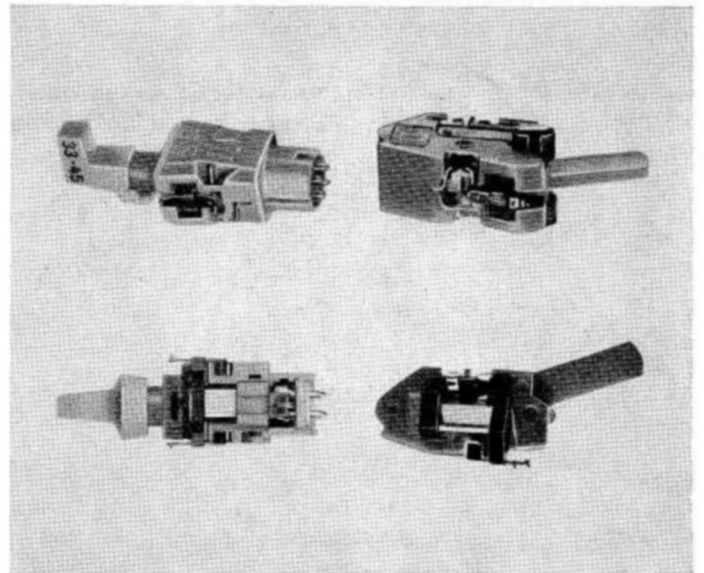


Abb. 29a
Turnover-System

Abb. 29b
System mit
Duplo-Nadel

Material und Qualität des Abtaststiftes

Früher bestanden die Abtastnadeln aus Metallen, deren Härte geringer war, als die der Schallplatte. Nach einer oder höchstens zwei Plattenseiten mußte die Nadel ausgewechselt werden. Die heute allgemein verwendeten modernen Abtastnadeln werden aus künstlich gezüchteten Saphiren oder natürlichen Diamanten hergestellt. Mit ihnen lassen sich bis zu 1000 Plattenseiten abspielen, ehe am Abtaststift eine Abnutzung zu erkennen ist. Selbstverständlich lassen sich auch echte Saphire als Abtastnadeln verarbeiten, sie sind jedoch teurer und nicht unbedingt haltbarer als gezüchtete Saphire. Bei den mikroskopisch feinen Rillenabmessungen – insbesondere bei Stereoplatten – werden an die Präzision der Herstellung außerordentlich hohe Anforderungen gestellt, da die Qualität der Abtastnadel einen entscheidenden Einfluß auf die Wiedergabe ausübt.

Da Saphire und Diamanten sehr hart sind, lassen sie sich nur mit entsprechend harten Materialien bearbeiten. Sie werden mit Diamantstaub geschliffen. Das hört sich selbstverständlich an, man erkennt jedoch die Schwierigkeiten erst, wenn man sich einmal die Abmessungen der Abtaststifte vorstellt. So beträgt der Schaftdurchmesser bei einer Länge von ca. 1 mm nur 0,3–0,4 mm. Das Schleifen der Spitze, die nach der Bearbeitung einen – in der Abb. 30 gezeigten – gleichmäßigen Abrundungsradius haben soll, ist der schwierigste Bearbeitungsvorgang. Bei der Betrachtung auch unter einem stark vergrößernden Mikroskop darf keine Oberflächenrauigkeit mehr zu erkennen sein. Die Feinheit des Schliffs und das Einhalten der Abmessungen allein entscheidet jedoch nicht die Nadelqualität. Die optische Testierung (Kristallachse zur Schleifebene) ist für eine gleichmäßige Abnutzung und Unempfindlichkeit gegen harte Stöße außerordentlich ausschlaggebend. Aus diesem Grund sind die sogenannten preisgünstigen Saphirimitationen – das ist meist eine billige Kohlenstoff-Metall-Verbindung – nicht zu empfehlen.

Die Abnutzung des Abtaststiftes

Die Abtastnadel wird aus künstlich gezüchteten Saphiren oder natürlichen Diamanten hergestellt. Bei den mikroskopisch feinen Rillenabmessungen – insbesondere bei Stereoplatten – werden an die Präzision der Herstellung außerordentlich hohe Anforderungen gestellt, da die Qualität der Abtastnadel einen entscheidenden Einfluß auf die Wiedergabegüte ausübt. Abbildung 30 zeigt eine Original-

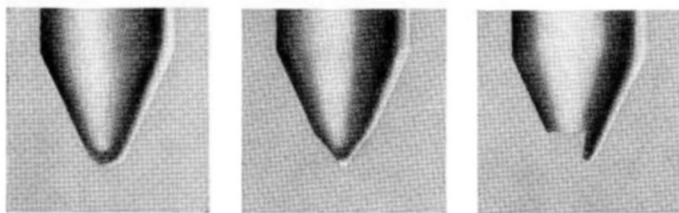


Abb. 30

Abb. 31

Abb. 32

Dual-Nadel mit einwandfreier Spitzenverrundung. Als Abspielnadel ist der Diamant unübertroffen. Er besitzt eine ca. 5mal größere Härte als der Saphir und hat deshalb – bei sachgemäßer Behandlung – eine größere Lebensdauer. Vorausgesetzt, daß die Abtastnadel genau senkrecht zur Plattenoberfläche steht, berührt sie die Rillenflanken – wie in Abbildung 27 gezeigt – an zwei genau gegenüberliegenden Punkten. Die gering anmutende Auflagekraft von beispielsweise 6 p übt an den Berührungspunkten jedoch einen erheblichen Druck aus, der – angenommen der Durchmesser des Berührungspunktes beträgt 5μ und die Rillenflanke sei unendlich hart – mit einem Flächendruck von rund 22 t/cm^2 identisch ist. Diese Berührungspunkte werden in der Praxis durch die elastische Verformung der Schallplattenmasse und einer Flächenbildung durch den Abschleiß an der Nadel vergrößert, so daß sich der Flächendruck verringert.

Der Schleifvorgang zwischen Platte und Nadel beim Abtasten einer Schallrinne bewirkt bei diesen hohen Drücken – auch beim härtesten Diamanten – einen Abschleiß und damit eine Veränderung der Abtastbedingungen.

Die Abnutzung geht bei einem neuen Abtaststift durch die noch fast punktförmige Auflagefläche zunächst schnell vor sich. Es schleift sich eine ellipsenförmige Fläche (ein Schiffchen) an, womit gleichzeitig die Abnutzungsgeschwindigkeit

durch die Vergrößerung der Auflagefläche herabgeht. Wenn jedoch diese Fläche zu groß wird, d. h. die Abnutzung an der Nadel ein kritisches Maß angenommen hat, setzt die Behinderung einer vollwertigen Schallrillenabtastung ein. Die Abschleiß-Fläche an der Nadel ist zu groß geworden, die Nadel kann den kleinen Auslenkungen bei hohen Frequenzen nicht mehr folgen, d. h. sie werden praktisch nicht mehr abgetastet. Bei weiterem Abschleiß paßt sich die Nadel der Rillenform an und gelangt mit der Spitze auf den Rillengrund, wodurch sich ein erhöhtes Rauschen ergibt. Mit einer derart abgeschliffenen Abtastnadel ist eine unverzerrte und störungsfreie Wiedergabe ganz unmöglich (siehe Abbildung 31). Wenn man sagt, daß der Diamant etwa zehnmal so lange benutzt werden kann als der Saphir, so hängt doch die Lebensdauer der Abtastnadel weitgehend vom Zustand und der Pflege der Schallplatten ab. Eine durch Schlag oder Stoß abgesplitterte Abtastspitze (Abbildung 32) zerstört sofort die Schallrinne.

Die Wiedergabe nach einer mechanischen Beschädigung des Abtastsaphirs wird nicht gleich ganz unmöglich sein, doch empfiehlt es sich, der akustischen Wiedergabe stets besondere Aufmerksamkeit zu widmen. Ist sie plötzlich verzerrt oder tritt ein erhöhtes Rauschen auf, ist der Abtaststift mit Sicherheit beschädigt und sofort auszuwechseln. Nicht immer wird man Beschädigungen oder Abnutzungserscheinungen akustisch gleich feststellen können; wäre das der



Abb. 33 Dual-Nadelprüfgerät

Fall, ist es für die abgespielten Rillen auch schon zu spät. Der Abtaststift hat seine Spuren in den Schallrillen dann bereits hinterlassen und sie für eine störungsfreie Wiedergabe unbrauchbar gemacht. Diese Zerstörung der Schallrinne ist dann mit einem anschließend verwendeten einwandfreien Abtaststift akustisch besonders deutlich festzustellen. Staub oder gar tiefe Kratzer quer zu den Rillen sind die ärgsten Feinde des Abtaststiftes. Es ist daher verständlich, wenn man nur bedingt etwa zulässige Betriebsstunden angibt, z. B. für den Saphir ca. 100 Stunden und für den Diamanten 1000 Stunden, vorausgesetzt jedoch, daß sich die mechanische Beanspruchung ausschließlich auf die schleifende Abnutzung in den Schallrillen gepflegter Schallplatten bei empfohlenem Auflagegewicht des Tonarms und einwandfreiem Sitz der Nadel im Nadelträger beschränkt.

Wer Wert auf gute Wiedergabequalität und weitgehende Schonung seiner Schallplatten legt, wird nicht erst abwarten, bis sich die Abnutzung der Abtastnadel durch Verzerrungen akustisch bemerkbar macht, sondern in gewissen Abständen den Zustand der Nadel beim Fachhändler überprüfen lassen.

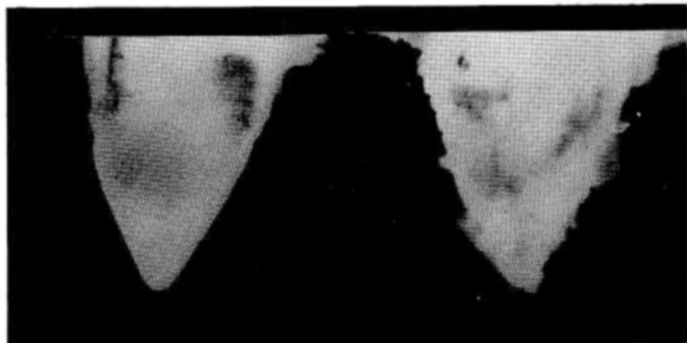


Abb. 34 Saubere und verschmutzte Abtastnadel

Um diese Prüfung durchführen zu lassen, wird zweckmäßigerweise das ganze Tonabnehmersystem aus dem Tonarm entfernt, das sich in den meisten Fällen ohne

Das Tonabnehmersystem

In der Anfangszeit der Schallrillenabtastung bediente man sich einer recht klobigen Abtastnadel, deren Auslenkungen über eine Hebelübersetzung auf eine dünne Membrane übertragen wurden. Diese Membrane erzeugte dann, entsprechend der Bewegungen der Abtastnadel, hörbare Schallschwingungen, die durch mehr oder weniger überdimensionale Trichter verstärkt wurden. Dieses war also eine rein mechanische Schallplattenwiedergabe.

Bei den heute verbreiteten modernen Schallplattenwiedergabeanlagen bedient man sich ausschließlich elektromechanischer Wandler, bei denen über den Abtaststift die mechanischen Rillenauslenkungen der Schallplatte im Tonabnehmersystem in verhältnismäßige elektrische Spannungen umgewandelt werden. Durch die Verfeinerung der Schneidtechnik, bei gleichzeitiger Verringerung der Plattentellerdrehzahlen, werden an den mechanischen Kontakt zwischen der haarfeinen Schallrinne und dem im Vergleich dazu doch recht großen Abtaststift, d. h. die Führung des Abtaststiftes in der Schallrinne, erhebliche Anforderungen gestellt. Die sich in Bruchteilen von Sekunden ändernden Rillenamplituden unterschiedlichster Größe müssen für eine vollwertige und störungsfreie elektromechanische Energieumwandlung präzise abgetastet und mechanisch auf das Wandlerelement übertragen werden. Die Auslenkungen in den Schallrillen neuzeitlicher Schallplatten betragen nur wenige tausendstel Millimeter. Das Wandlerelement muß auch die kleinsten, vom Abtaststift übertragenen Bewegungen trägeheitslos verarbeiten und darf diese Bewegungen seinerseits nicht auf den Tonarm übertragen. Es ist wohl verständlich, daß unter diesen Bedingungen an die Präzision des Tonabnehmersystems — sowie des Tonarms, in dem ja der Abtaster montiert ist— besonders hohe Anforderungen gestellt werden und daher mit Recht das Tonabnehmersystem als das kritischste Bauteil in einer Schallplattenwiedergabeanlage bezeichnet werden kann.

Werkzeuge auswechseln läßt. Die Abtastnadel wird dann durch ein spezielles Nadelprüfgerät (siehe Abb. 33) optisch untersucht und in abgenutztem Zustand mit dem Nadelträger ausgetauscht. Es ist jedoch dringend zu empfehlen, sich eine Original-Ersatznadel (Abb. 35) einbauen zu lassen. Klangliche Unterschiede bei der Wiedergabe gibt es zwischen der Saphir- und Diamantnadel nicht.



Die direkte Schallabstrahlung des Abtaststiftes

Die direkte Schallabstrahlung der Nadel, die bei bestimmten Abtastern recht deutlich zu vernehmen ist, läßt sich nicht vollständig beheben, da auch eine noch so kleine in Luft schwingende Anordnung — wie sie die Abtastnadel einschließlich Nadelträger darstellt — als Membrane wirkt. Daß die hohen Frequenzen bevorzugt abgestrahlt werden, liegt an den Abmessungen und dem Gewicht des Abtaststiftes und Nadelträgers. Ein „Nadelsprechen“ oder „Mitsingen“ ist also physikalisch bedingt und nicht auf ein defektes oder fehlerhaft montiertes Abtastsystem zurückzuführen. Schäden an der Schallplatte können dadurch nicht entstehen.

In der Praxis der elektroakustischen Schallplattenwiedergabe haben sich drei — nach verschiedenartigen Prinzipien arbeitende — Tonabnehmersysteme bewährt. Sie unterscheiden sich nicht nur durch ihre Arbeitsweise und die Präzision der elektromechanischen Energieumwandlung, sondern auch durch ihren fertigungstechnischen und damit Kosten-Aufwand.

Zunächst besteht der Wunsch nach einem möglichst hohen Wirkungsgrad der elektromechanischen Energieumwandlung, d. h. die erzeugte elektrische Spannung am System soll möglichst hoch sein, um den Aufwand der nachfolgenden Verstärkung für die akustische Wiedergabe klein zu halten. Dann sollten alle in die Schallplatte eingeschnittenen Tonfrequenzen gleichwertig und mit geringsten Verzerrungen abgetastet werden. Diese beiden Forderungen sind vollwertig nur bedingt gleichzeitig zu verwirklichen. Man hat daher eine gewisse Klassifizierung vorgenommen, indem man diese beiden Forderungen — gemäß den unterschiedlichsten Ansprüchen der Schallplattenwiedergabe — auf zwei verschiedene Tonabnehmersystemgruppen aufgeteilt hat. Die sogenannten Kristallsysteme liefern eine hohe Spannung und können für den normalen Heimgebrauch als die geeignetsten Tonabnehmersysteme bezeichnet werden. Elektromagnetische bzw. dynamische Systeme erzeugen bei gleicher mechanischer Auslenkung eine wesentlich geringere Spannung als Kristallsysteme. Sie haben jedoch bei entsprechend sorgfältigem und präzisiertem Aufbau vorzügliche Übertragungseigenschaften und werden für anspruchsvolle Wiedergabeanlagen herangezogen.

Prinzipiell arbeiten Stereosysteme wie Monosysteme. Bei einem Stereoabtaster sind jedoch zwei Einzelsysteme (pro Kanal ein System) innerhalb eines Abtasters erforderlich, die allerdings von einem Abtaststift und über ein sinnreiches Kopplungsstück aus der Rinne heraus, je nach den verschiedenen Rillenflankenamplituden, getrennt angeregt werden.

Kristalltonabnehmer

Kristall-Tonabnehmer, die sich durch guten Frequenzgang und hohe Ausgangsspannung bei geringem Gewicht und mäßigem Preis auszeichnen, haben heute die verbreitetste Anwendung gefunden. Bei einem Kristall-Tonabnehmersystem wird der bereits 1880 von Curie entdeckte piezoelektrische Effekt praktisch ausgenutzt. An gewissen Kristallen entstehen bei Druckbelastungen (Druck = piezo) auf den Oberflächen elektrische Ladungen. Verbindet man nun zwei kleine Kristallplatten so miteinander, daß sich bei einer gemeinsamen Verbiegung auf ihrer Oberfläche ein elektrischer Potentialunterschied einstellt, so braucht man diese Spannung, die direkt proportional den mechanischen Auslenkungen ist, nur über Oberflächenkontakte abzunehmen und der Verstärkeranlage zuzuführen.

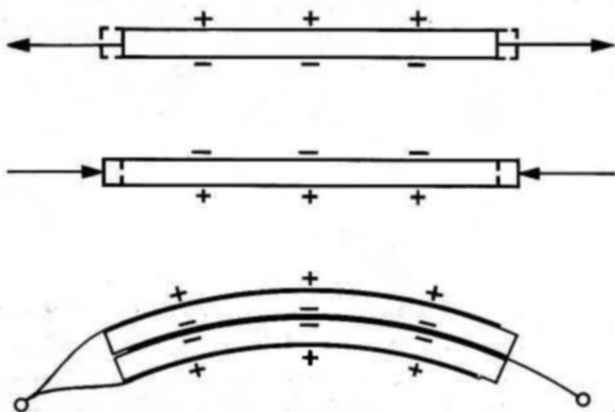


Abb. 36 Funktionsprinzip des piezoelektrischen Kristall-Tonabnehmersystems

Die Auslenkungen der Schallrillen werden nun vom Abtaststift über zweckmäßig geformte Koppelglieder auf das Kristallelement übertragen. Da diese Auslenkungen im Takt der Aufzeichnung stets Amplitude und Richtung wechseln, entsteht am Kristall auch eine Wechselladung, die jedoch nur von der Amplitude, nicht aber von der Zeit abhängig ist.

Der Wirkungsgrad der elektromechanischen Umwandlung eines Kristall-Tonabnehmersystems ist recht gut. Obwohl die Auslenkungen manchmal nur Bruchteile eines tausendstel Millimeters betragen, werden dadurch doch erhebliche Spannungen erzeugt. Es wurden Systeme gebaut, die bei normalen Schallplatten-Rillenamplituden (Vollaussteuerung) eine Spannung bis zu 15 V erzeugten. Ein besonders gut geeignetes Kristall ist das Seignettesalz. In der Reinheit, wie sie für Tonabnehmer erforderlich ist, kommen sie in der Natur kaum vor. Man züchtet sie aus einer gesättigten, wäßrigen Seignettesalz-Lösung und steuert das Wachstum unter Berücksichtigung bestimmter Forderungen. Die für ein Tonabnehmersystem benötigten kleinen Kristallplättchen (ca. 12 x 4 x 0,3 mm) werden von einem so gezüchteten Kristallblock mit größter Präzision abgesägt. Der piezoelektrische Effekt ist stark davon abhängig, wie diese Kristallplättchen nun aus dem Rohkristall geschnitten wurden, da gewachsene Seignettesalz-Kristalle nicht nur Symmetrieebenen, sondern in ihrem strukturellen Aufbau voneinander

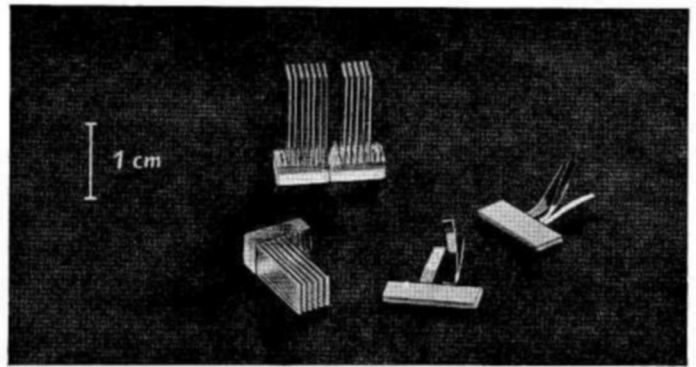


Abb. 37 Kristallplättchen für Tonabnehmersysteme

verschiedene elektrische und optische Achsen haben. Den Aufbau und die Wirkungsweise eines hervorragenden Kristall-Tonabnehmersystems für eine Abtastung monauraler Schallaufzeichnungen zeigt Abb. 38.

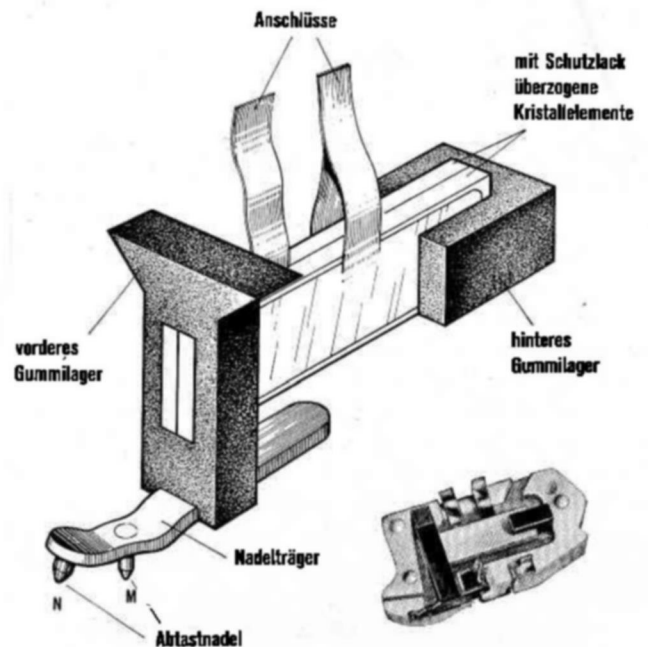


Abb. 38 Monaurales Kristall-Tonabnehmersystem Dual CDS 3

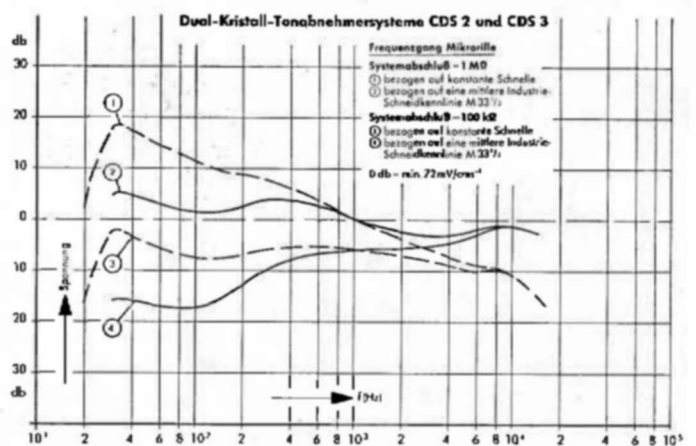


Abb. 39 Frequenzgang des CDS 3

Für die Abtastung einer Stereoinformation in einer Schallrinne werden zwei mechanisch und elektrisch weitgehend entkoppelte Systeme derart kombiniert, daß z. B. bei einer Bewegung der Abtastnadel N in Richtung L nur der rechte Kristall und bei der Bewegung in Richtung R lediglich der linke Kristall deformiert wird (siehe Abb. 43). Die durch die Deformationen hervorgerufenen Spannungen können an den Kristalloberflächen abgenommen und dem Verstärker zugeführt werden.

Bei genau vertikaler Auslenkung der Abtastnadel werden beide Kristallelemente in gleicher Weise, jedoch entgegen-

gesetzten Richtungen deformiert. Es entstehen demzufolge gleiche, aber verschieden gepolte elektrische Spannungen (siehe Abb. 40). Wird die Abtastnadel horizontal ausgelenkt, werden jeweils beide Kristalle in gleicher Richtung deformiert und geben deshalb gleichgepolte elektrische Spannungen ab (Abb. 41). Daraus folgt, daß sich bei Parallelschaltung der beiden Kristallelemente die bei vertikaler Auslenkung der Abtastnadel erzeugten elektrischen Spannungen gegenseitig aufheben, wie in Abb. 42 veranschaulicht. Diese Parallelschaltung wird durch Verbinden der beiden „heißen“ Anschlüsse entweder direkt am System oder der Zuleitung vorgenommen.

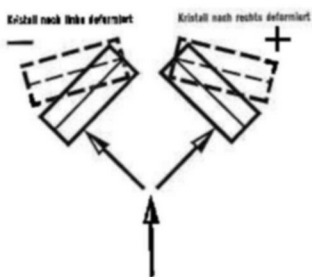


Abb. 40

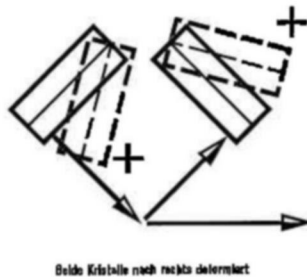


Abb. 41

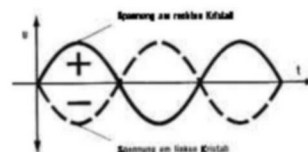


Abb. 42

Abb. 40 Vertikale Auslenkung der Abtastnadel = verschieden gepolte Spannung an Kristallen

Abb. 42 Zeitlicher Verlauf der an den Kristallen entstehenden Spannungen bei vertikaler Auslenkung der Abtastnadel (s. Abb. 40)

Die Kurvenform der Spannungen kann beliebig sein. Sie heben sich bei der Zusammenschaltung der Kanäle in jedem Fall auf, wenn sie auf beide Elemente gleichwertig – also aus vertikaler Richtung – einwirken. Deshalb sollten bei der Abtastung von Mono-Schallplatten – zur Verringerung des Störpegels von Laufwerk und Schallplatte – die beiden Stereokanäle stets parallelgeschaltet werden.

Abb. 41 Horizontale Auslenkung der Abtastnadel = gleichgepolte Spannung an den Kristallen

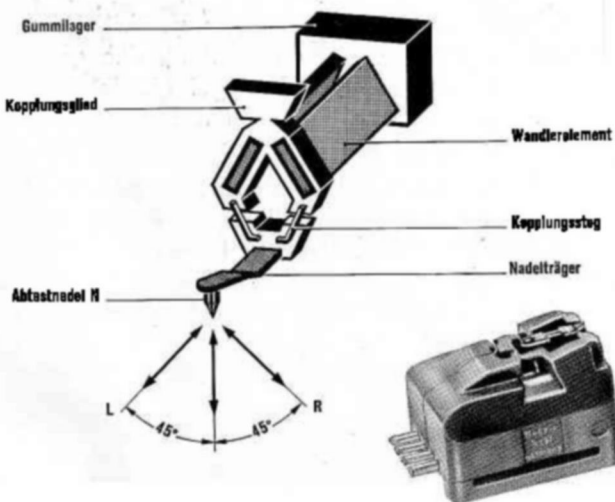


Abb. 43 Prinzipbild und Ausführungsform des Dual-Kristall-systems CDS 420

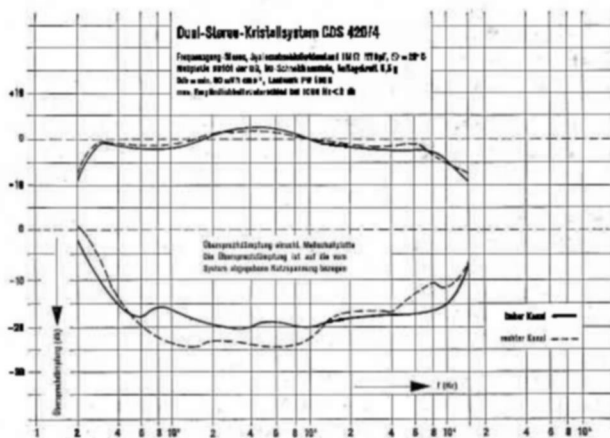


Abb. 44 Frequenzgang des CDS 420

Wie die Ausführungsform in der Abb. 43 zeigt, ist das Kristall-Tonabnehmersystem allseitig geschützt in einem stabilen Isolierstoffgehäuse untergebracht, so daß es vor mechanischen Beschädigungen weitgehend geschützt ist. Zur Dämpfung unerwünschter Eigenschwingungen der beweglichen Bauteile ist das Innere mit Silikonpaste gefüllt.

Abb. 44 zeigt den Frequenzgang des CDS 420. Bei einem Frequenzgang bewertet man die Spannungsabgabe in Abhängigkeit der verschiedenen Tonfrequenzen. Wie die Meßkurve zeigt, gewährleistet das CDS 420 die recht gleichmäßige Abtastung und Übertragung des Tonfrequenzbereiches von ca. 30–16 000 Hz.

Magnetische Tonabnehmer

Ein magnetisches Tonabnehmersystem arbeitet nach dem Induktionsgesetz, welches besagt, daß in einem elektrischen Leiter, der in einem Magnetfeld bewegt wird, elektrische Ströme induziert werden; wobei es gleichgültig ist, ob das Magnetfeld oder der Leiter bewegt wird. Konstruktiv ist dieses Prinzip jedoch so gelöst worden, daß sowohl der das Magnetfeld erzeugende Permanentmagnet als auch der zu einer Spule aufgewickelte Leiter fest montiert wird und der magnetische Kreis durch einen — durch die Rillenauslenkungen bewegten — metallischen Anker, an dem auch die Abtastnadel angebracht ist, variiert wird. Bei einer Stereo-Rillenabtastung werden vom Anker — im Gegensatz

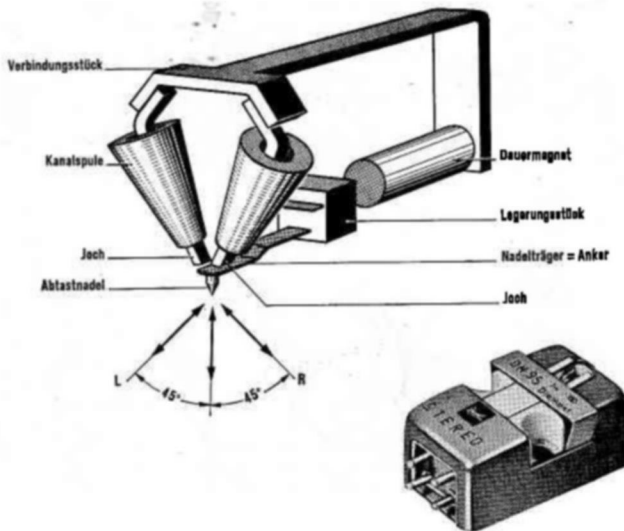


Abb. 45 Prinzipbild und Ausführungsform des Dual-Magnetsystems DMS 900

Den prinzipiellen Aufbau des Dual-Magnetsystems zeigt Abb. 45. Beim Austausch des Abtaststifts — der unlösbar mit dem Anker verbunden ist — kann im Interesse eines schnellen und einwandfreien Service das gesamte Lagerungsstück einschließlich Anker und Abtaststift, ohne ein spezielles Werkzeug zu benötigen, ausgewechselt werden. Das System ist gegen Fremdfelder mit einer Mu-Metallabschirmung versehen und kann nach internationaler Norm in jedem hierzu geeigneten Tonarm befestigt werden. Die Leitungen der beiden Kanal-



zur Mono-Rillenabtastung — Bewegungen in den verschiedensten Auslenkrichtungen vollführt.

Der Fluß in dem geteilten magnetischen Kreis wird durch den gemeinsamen Anker — an dessen Spitze sich der Abtaststift befindet — im Verhältnis zu den Rillen-Flankenauslenkungen gesteuert, so daß in den beiden Spulen — je nach Bewegungsrichtung des Ankers — die Tonfrequenzspannung induziert wird. Das in Bild 45 abgebildete Dual-Magnetsystem DMS 900 arbeitet nach diesem elektromagnetischen Prinzip und gewährleistet durch seinen sorgfältig durchdachten und präzisen Aufbau besonders gute Übertragungseigenschaften.

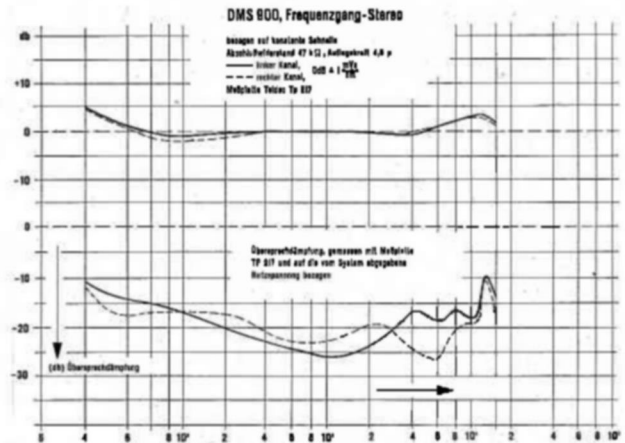


Abb. 46 Frequenzgang des DMS 900

spulen sind getrennt an Kontaktstifte geführt. Den Frequenzgang zeigt Abb. 46. Die Bewertung des gesamten Tonfrequenzbereichs erfolgt annähernd gleichmäßig. Die Abweichungen zwischen den beiden Kanälen sind unbedeutend. Die vom System erzeugte Spannung ist abhängig von der Änderungsgeschwindigkeit (Schnelle) der Ankerbewegung. Da die Schallplatten aus schneidetechnischen Gründen über den gesamten Tonfrequenzbereich nicht mit konstanter Schnelle geschnitten werden, ist die erzeugte Spannung für die richtige Frequenzgangbewertung entsprechend zu korrigieren.

Dynamische Tonabnehmer

Bei dynamischen Tonabnehmern wird — ähnlich wie bei dynamischen Lautsprechern — durch Auslenkbewegungen des Nadelträgers eine Spule im konstanten Magnetfeld bewegt. Die Spule ist aber starr mit dem Nadelträger verbunden; macht somit alle Nadelbewegungen mit. Die Spannungsabgabe ist — wie beim Magnetsystem — abhängig von der Schnelle. Da die Spule räumlich möglichst klein und aus Trägheitsgründen mit geringer Masse behaftet sein soll, wickelt man auch nur wenige Windungen auf den Spu-

lenträger. Dadurch kann in dieser Wicklung auch nur eine kleine Spannung induziert werden. Derartige Systeme haben hervorragende Übertragungseigenschaften. Sie sind jedoch mechanisch sehr empfindlich und auf normalen Heimabspielgeräten kaum zu verwenden. Sie bedürfen der sorgfältigsten Behandlung und sind durch die Feinheit ihrer Konstruktion bei kleinen Serien entsprechend teuer. Die Anwendung ist deshalb auf Tonstudios mit geschultem Personal beschränkt.

Qualitätsbestimmende Merkmale bei Tonabnehmersystemen

Auflagekraft, Compliance, Frequenzgang, Übersprechdämpfung

Im Interesse der Lebensdauer einer Schallplatte mußte die Auflagekraft des Tonabnehmers von bisher 8–10 p bei Mikrorillen auf 4–6 p bei der Abtastung von Stereo-Rillen verringert werden.

Man spricht heute nicht mehr von einem Auflagegewicht in Gramm (g), sondern von einer Auflagekraft in pond (p). Die Festsetzung in dieser Form ist bei genaueren physikalischen Überlegungen erforderlich, da das Gewicht eines Körpers von seiner Entfernung und Lage zum Erdmittelpunkt abhängt. Für Auflagekraftbestimmungen bei Tonarmen macht sich diese Abhängigkeit praktisch jedoch nicht bemerkbar, so daß man – ohne großen Fehler – $1 \text{ p} = 1 \text{ g}$ setzen kann.

Um den speziellen mechanischen Aufbau eines elektromechanischen Wandlers zum Ansprechen zu bringen, muß ja aus der Schallrinne heraus dem mechanischen Aufbau des Wandlers eine bestimmte Bewegungsenergie zugeführt werden. Diese Energie kann um so kleiner sein, je geringer die Rückstellkraft ist, die das Tonabnehmersystem einer mechanischen Auslenkung entgegengesetzt. Der mechanische Aufbau neuzeitlicher Systeme spricht bereits bei geringsten Auslenkkräften an. Dabei können magnetische und dynamische Tonabnehmersysteme konstruktiv mit geringeren statischen Rückstellkräften versehen werden als Kristallsysteme, bei denen bei der Übertragung der Rillenauslenkungen nicht nur die Lagerreibung überwunden, sondern auch noch die Kristall-Verbiegungsarbeit aufgebracht werden muß.

Um diese unterschiedlichen Auslenkkräfte bei der Schallrillenabtastung qualitativ wirksam werden zu lassen, muß das Tonarmauflegegewicht genau auf das „harte“ oder „weiche“ Tonabnehmersystem abgestimmt werden, da hierdurch bestimmt wird, mit welcher Kraft der Abtaststift auf die Schallrillen gedrückt wird. Es ist ersichtlich, daß „weiche“ Tonabnehmersysteme, also mit kleiner Rückstellkraft, mit geringerem Auflagegewicht arbeiten können und daher eine weitgehendere Plattenschonung bewirken als „harte“ Systeme, die die Flanken der Schallrillen bei erhöhtem Auflagegewicht naturgemäß weniger schonen.

Die kleine Auflagekraft des Stereo-Tonabnehmers setzt also für einwandfreie Schallrillen-Abtastung äußerst geringe statische und dynamische Rückstellkräfte des Stereo-Tonabnehmers voraus, die auch im Interesse geringster Abnutzung der Schallrillen und Abtastspitzen, so klein wie möglich gehalten werden.

Unter statischer Rückstellkraft ist dabei die Kraft zu verstehen, die notwendig ist, um die Nadelspitze aus ihrer Ruhelage um einen bestimmten Weg auszulenken. Sie wird bei Stereo-Systemen für horizontale und vertikale Auslenkung der Nadel angegeben und jeweils auf 60μ Auslenkung bezogen. Man findet neuerdings in Prospektangaben auch den Begriff der Compliance (Nachgiebigkeit). Das ist der Kehrwert der statischen Rückstellkraft, also Auslenkweg pro Auslenkkräft.

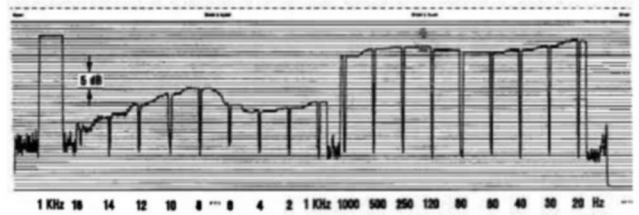
Eine Rückstellkraft von beispielsweise $2,3 \text{ p}/60 \mu$ entspricht einer Nachgiebigkeit von $\frac{60 \cdot 10^{-4} \text{ cm}}{981 \cdot 2,3 \text{ p}} = 2,66 \cdot 10^{-6} \frac{\text{cm}}{\text{dyn}}$

Die dynamische Rückstellkraft setzt sich aus der statischen Rückstellkraft und der aus der Schwingmasse des Systems resultierenden und auf die Nadelspitze bezogenen Wechsel-

kraft zusammen. Die dynamische Rückstellkraft ist frequenzabhängig und besonders maßgebend für die Abnutzung der Schallrillen und Abtastspitzen bei hohen Frequenzen.

So kennzeichnet also u. a. die Größe der mechanischen Kraft, mit der ein Tonabnehmersystem angeregt werden muß und daraus folgend die Größe der erforderlichen Tonarmauflegekraft, die Güte des Systems.

Frequenzgang des Dual Kristallsystems CDS 620



Frequenzgang des Dual Magnetsystems DMS 900 gemessen mit Schneidkanal-Messplatte D3 88009

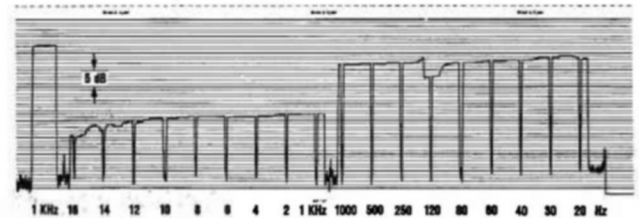


Abb. 47 Vergleiche der Frequenzgänge CDS 420 und DMS 900

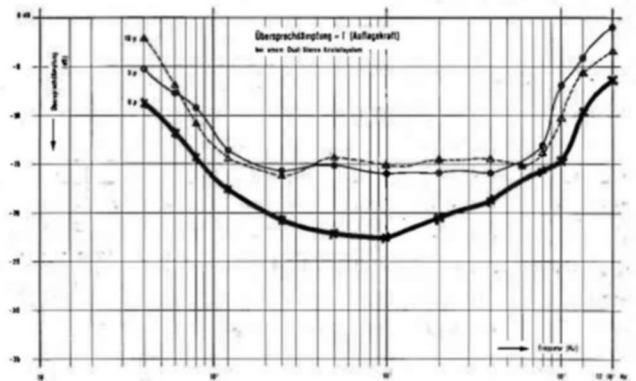


Abb. 48 Übersprechdämpfung eines Kristallsystems in Abhängigkeit von der Auflagekraft

Da die Informationen der beiden Stereokanäle – getrennt auf beiden Flanken – in einer Schallrinne untergebracht, jedoch nur von einem Abtaststift abgetastet werden, ist es erforderlich, die Empfindlichkeit des Stereoabtasters konstruktiv so auszurichten, daß an den entsprechenden Einzel-Systemen pro Kanal nur dann eine Spannung erzeugt wird, wenn der Abtaststift in der jeweiligen Auslenkrichtung ausgelenkt wird. Das heißt also, daß beispielsweise vom Kanal Links keine Auslenkbewegungen oder Spannungen auf den rechten Kanal übertragen werden dürfen. Diese Forderung ist nur bedingt erfüllbar. So spricht man von Übersprechen, wenn ein Kanal durch den anderen gestört wird. Je größer

die Übersprechdämpfung eines Stereo-Tonabnehmersystems, desto geringer ist die Beeinflussung der beiden Stereo-Kanäle untereinander. In der Praxis strebt man einen Mindest-Übersprechabstand zwischen den Kanälen von 20 dB an. Dieser Wert — der dem Spannungsverhältnis 10:1 entspricht — reicht erfahrungsgemäß aus. Inwieweit die Auflagekraft in den Übersprechabstand eingeht, zeigt Abb. 48. Eine zu hohe und auch zu geringe Auflagekraft erhöht das Übersprechen. Die Übersprechdämpfung ist frequenzabhängig, sie geht bei tiefen und hohen Frequenzen etwas zurück. Bei zu geringer Übersprechdämpfung — insbesondere im mittleren Frequenzbereich — geht durch die dann zustande kommende Vermischung der beiden Stereo-Informationen die Ortungsmöglichkeit weitgehend verloren.

Die Messung der Übersprechdämpfung sollte über Oktavfilter vorgenommen werden, da die Laufwerkstörspannungen — die meist höhere Werte aufweisen als das Übersprechen — das Meßergebnis stark verfälschen können. Im Bereich des Plattenrauschens (4–6 kHz) kann der Meßwert — besonders bei häufig benutzten Meßschallplatten — ebenfalls beeinflusst werden. Es wird daher dringend empfohlen, die Angaben der Meßplatten-Hersteller bezüglich der Meßplatten-Lebensdauer zu beachten.

Dual-Stereo-Kristallsysteme erfüllen die Forderungen der Stereotechnik nach kleinen Abtastkräften in geradezu idealer Weise und haben dabei ganz vorzügliche Übertragungseigenschaften. Der Wiedergabebereich erstreckt sich von 30 Hz bis 15 kHz bei ausreichender Übersprechdämpfung im gesamten Übertragungsbereich.

Für hochwertige Wiedergabeanlagen ist das DMS 900 durch seinen linearen Frequenzgang von 20 bis 16 000 Hz ± 2 dB und seine außergewöhnliche Übersprechdämpfung hervorragend geeignet. Die Pegelabweichung zwischen den beiden Kanälen ist bei 1 kHz ≤ 1 dB.

Die Compliance des DMS 900 beträgt in Flankenrichtung $20 \cdot 10^{-6}$ cm/dyn. Durch diese hohe Nachgiebigkeit wird eine weitgehende Schonung der empfindlichen Stereoplatten gewährleistet. Die optimale Tonarm-Auflagekraft für das DMS 900 von 3 p sollte möglichst genau eingehalten werden, da das Übersprechen z. B. im Bereich um 10 kHz bei geringfügiger Erhöhung der Auflagekraft um 3–5 dB ansteigt.

Klirrfaktor und Intermodulationsverzerrungen

Die Kurvenform einer abgetasteten Schwingung bleibt nur so lange originalgetreu erhalten, so lange die Linearität der Übertragungsanlage gewährleistet ist. Das gilt nicht nur für den Wiedergabeverstärker, sondern im besonderen Maße auch für die elektromechanischen und elektroakustischen Wandler; also Tonabnehmer und Lautsprecher.

Die bei der Schallplatten-Wiedergabe akustisch wahrnehmbaren Verzerrungen können grundsätzlich in allen Übertragungsgliedern entstehen und es bedarf schon einer gewissen Erfahrung, aus den akustischen Eindrücken die Verzerrungsursache zu erkennen.

Um die subjektiv empfundenen Verzerrungen bei der Wiedergabe auch durch ein objektives Maß wertmäßig erfassen zu können, ist in der Phontechnik der Begriff des Klirrfaktors geschaffen worden. Er wird für die wichtigsten Bausteine einer elektroakustischen Übertragungskette, also Tonabnehmer, Verstärker und Lautsprecher, in Prozent angegeben und soll möglichst klein sein. Die Hörbarkeit des Klirrfaktors hängt stark vom übertragenen Frequenzbereich ab. Je ausgedehnter der Übertragungsbereich — insbesondere zu hohen Frequenzen hin — ist, desto kritischer wird sein Einfluß. Unterhalb 4 kHz kann man bis zu 10 % zulassen. Liegt die obere Grenzfrequenz bei 16 kHz, sollten 3 %

als höchstzulässiger K-Wert eingehalten werden. Bei der Kombination bestimmt das Aggregat mit dem größten Klirrfaktor die Übertragungsqualität. Daher ist es z. B. unsinnig, ein hochwertiges Tonabnehmersystem mit einer billigen Radio-Geräteendstufe zu kombinieren oder umgekehrt einen HiFi-Verstärker mit einem Kristallsystem auszusteuern. Die Qualitäten der einzelnen Komponenten müssen aufeinander abgestimmt sein und auch durch die Zusammenschaltung dürfen keine neuen Verzerrungen hinzukommen (z. B. durch Übersteuerung des an sich guten Verstärkers bzw. Lautsprechers oder bei Fehlanpassung des Tonabnehmers).

Glücklicherweise addieren sich die Einzelklirrfaktoren nicht arithmetisch, sondern geometrisch. So wird z. B. eine Kombination mit den Einzelklirrfaktoren: Tonabnehmer 5 %, Vorverstärker 1 %, Endstufe 2 % und Lautsprecher 2,5 % als Gesamtklirrfaktor nicht 10,5 %, sondern 6 % ergeben. Da man Verzerrungen bei rein elektronischen Bauteilen — wie sie die Wiedergabe-Verstärker darstellen — am sichersten beherrschen kann und das Angebot von preiswerten HiFi-Verstärkern — die bei voller Nennleistung Klirrfaktoren ≤ 1 % aufweisen — groß ist, könnte man leicht geneigt sein, an eine erhebliche Verbesserung der Wiedergabe durch einen Leistungsverstärker mit 0,5 % Klirrfaktor zu glauben. Das ist jedoch ein Trugschluß, denn in der obigen Kombination ergäbe sich dann trotzdem noch ein Gesamtklirrfaktor von 5,8 %. Die bei der Schallrillenabtastung im Tonabnehmersystem entstandenen Verzerrungen hängen nicht von der Güte des Systems, sondern auch von verschiedenen anderen Faktoren ab, z. B. von der Konstruktion des verwendeten Tonarmes, der richtigen Auflagekraft sowie von Abnützerscheinungen an Abtaststift und Schallrille. Deshalb kann der Hersteller die angegebenen System-Klirrfaktoren natürlich nicht unter allen Umständen garantieren. Tonabnehmer und Laufwerk müssen für eine HiFi-Wiedergabe optimal aufeinander abgestimmt sein, da nur dann die Gewähr gegeben ist, eine der kritischsten Verzerrungsursachen bei der Schallplatten-Wiedergabe klein zu halten.

Wie sich beispielsweise eine zu niedrige Tonarmauflagekraft bei der Abtastung auswirkt, zeigt das einfache Beispiel der damit verbundenen Kurvenform-Verzerrung einer Sinusschwingung (s. Abb. 49). Etwa das gleiche Bild würde sich ergeben, wenn die Reibung des Tonarmlagers für die horizontale Bewegungsrichtung zu groß wäre.

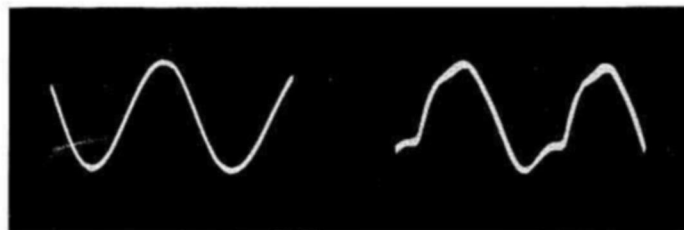


Abb. 49 Kurvenform-Verzerrung durch falsche Auflagekraft

Bei der Abtastung einer Musikschrallplatte müssen wesentlich kompliziertere Kurvenformen (s. auch Seite 9) abgetastet und somit an die Verzerrungssicherheit der Anlage, insbesondere des Tonabnehmers, erhebliche Anforderungen gestellt werden. Die objektive Messung der entstandenen Verzerrungen bei der Musikwiedergabe ist kaum möglich. Wenn man sie auch labormäßig messen könnte, wirken doch in der Praxis die verschiedensten Faktoren mit, die im einzelnen alle dazu beitragen, daß ein Vergleich der — unter Einschränkungen und optimalen Bedingungen — gemessenen objektiven Klirrfaktorwerte, mit den im Heimbetrieb subjektiv empfundenen Störungen, nicht möglich ist.

Als einfaches Kriterium bei der Bewertung elektrischer Verstärker kann die Aussteuerungs-Kennlinie herangezogen werden. Die Kurvenform bleibt im linearen Bereich dieser Kennlinie erhalten. Eine Abweichung von der Geraden um 1 dB ergibt einen Klirrfaktor von ca. 3 %. Im nichtlinearen Bereich (in der Krümmung) entstehen Obertöne, die – solange nur eine periodische Schwingung mit der Frequenz f abgetastet wird – harmonisch zum Grundton sind, also $2f$, $3f$, $4f$ usw. (s. Abb. 50).

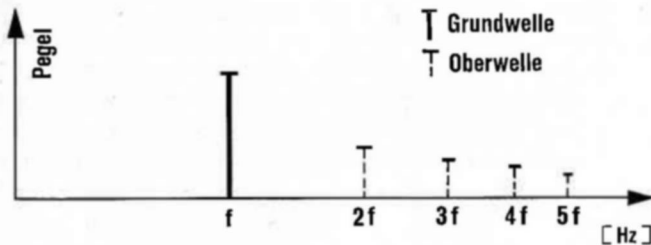


Abb. 50 Oberwellen zur Grundfrequenz f

Die Spannungen der entstandenen Oberwellen werden zu der Spannung der Grundwelle ins Verhältnis gesetzt und das Ergebnis

$$K = \sqrt{\frac{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \dots}{U_1^2}} \cdot 100\% \text{ als Gesamt-Klirrfaktor bezeichnet.}$$

Eine ausschließliche Klirrfaktorangabe für einen Verstärker besagt jedoch nichts, solange nicht die Meßfrequenz und die Ausgangsleistung, bei der der Klirrfaktor gemessen wurde, angegeben wird. Außerdem sollten die Verzerrungen für mehrere Frequenzen – vorzugsweise an den Grenzen des Übertragungsbereiches – angegeben werden (s. Abb. 51).

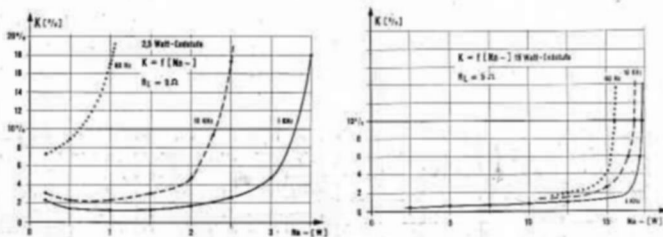


Abb. 51 Verstärker-Klirrfaktoren in Abhängigkeit von Frequenz und Ausgangsleistung

Wird ausschließlich die Spannung der entstandenen ersten Oberwelle (die auch meist den Hauptverzerrungsanteil liefert) auf den Pegel der Grundwelle bezogen, erhält man den quadratischen Klirrfaktor

$$K_2 = \frac{U_{f_2}}{U_{f_1}} \cdot 100\%$$

gleichermaßen für die zweite Oberwelle den kubischen Klirrfaktor

$$K_3 = \frac{U_{f_3}}{U_{f_1}} \cdot 100\%$$

Abb. 52 zeigt die Abhängigkeit von k_2 bei einem Tonabnehmersystem für eine Meßfrequenz von 1 und 5 kHz

vom Rillradius. Da die Schallplatte mit konstanter Winkelgeschwindigkeit umläuft, verringert sich die Wellenlänge einer Frequenz von außen nach innen maximal um den Faktor 2,3. Durch dieses allmähliche Zusammenrücken der Wellenlängen entsteht für den Abtaster eine vom Rillradius abhängige unterschiedliche Beanspruchung, die sich in einer meßtechnisch feststellbaren Zunahme der Verzerrungen ausdrückt.

Hieraus resultiert auch die bekannte Erscheinung, daß bei der Wiedergabe einer Musikschatplatte zum Platteninnern hin die Wiedergabequalität merklich schlechter wird. (Vergleiche in der nebenstehenden Abbildung eine elektrisch gleichwertige Sinusschwingung bei kleinstem und größtem Rillradius.)

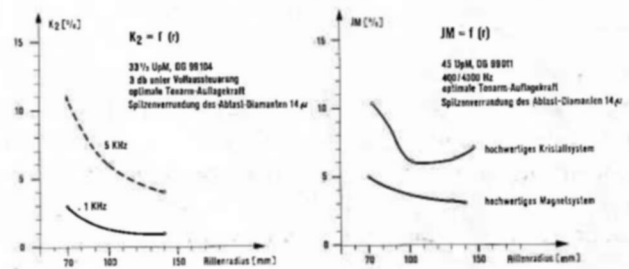
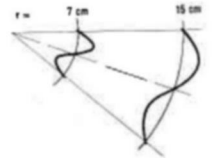


Abb. 52 Klirr- und Intermodulationsverzerrungen bei Tonabnehmersystemen in Abhängigkeit vom Rillradius

Die Abb. 52 zeigt mit den relativ hohen k_2 -Werten nun nicht etwa die Meßergebnisse eines schlechten Tonabnehmersystems, im Gegenteil, diese Messungen wurden unter optimalen Bedingungen mit einem der besten Studiosysteme durchgeführt. Die Klirrfaktoren billiger Kristallsysteme liegen natürlich noch höher. Manchmal ergeben sich jedoch gleiche Größenordnungen oder auch noch kleinere Werte. Das ist durch den Aufbau dieser Systeme bedingt. Der kapazitive Innenwiderstand begrenzt – besonders bei hoher Grundwelle – die Übertragung der entstandenen Oberwellen.

Solange die angeschlossenen Lautsprecher nicht übersteuert werden, bleibt ihr Klirrfaktor klein (ca. 1–3 %). Es ist aber empfehlenswert, die Belastbarkeit der Lautsprecher-Bestückung mindestens doppelt so groß, wie sie die maximal ausnutzbare Verstärkerleistung beanspruchen würde, zu wählen und nach Möglichkeit getrennte Hoch- und Tieftonsysteme vorzusehen, da insbesondere bei tiefen Frequenzen und großer Lautstärke der Lautsprechermembrane erhebliche Auslenkbewegungen aufgezwungen werden und nichtlineare Auslenkbewegungen – besonders bei einer leicht möglichen Ungleichmäßigkeit der Membraneinspannung – den Klirrfaktor erheblich ansteigen lassen. Obertöne allein bewirken jedoch noch keinen ausgesprochenen Störeindruck, da sie zur Grundwelle harmonisch klingen und bei den natürlichen Lauten der Sprache und Musik ohnehin schon vorhanden sind.

Werden zwei Frequenzen gleichzeitig abgetastet, entstehen im Bereich der gekrümmten Kennlinien Summen- und Differenzfrequenzen, die nun allerdings nicht mehr harmonisch zu den Grundtönen sind (s. Abb. 53) und einen erheblichen Verzerrungseindruck bewirken. Diese Verzerrungen werden unter dem Begriff Intermodulation erfaßt. Bei wertmäßigen Angaben muß man unterscheiden zwischen dem Intermodulationsgrad und dem Intermodulationsfaktor. Während der meist angegebene Intermodulationsgrad 100 % werden kann, beträgt der maximale Wert des Inter-

modulationsfaktors nur ca. 30 %. Die Intermodulationsmessung ist international noch nicht einheitlich, deshalb ist

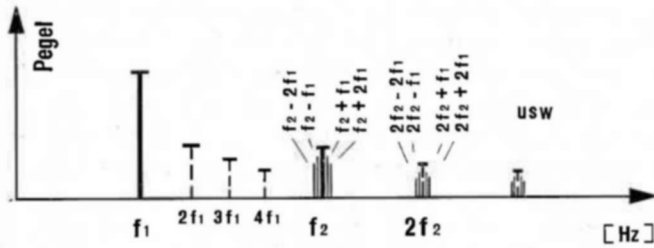


Abb. 53 Entstandene Summen- und Differenzfrequenzen durch Intermodulation von f_1 und f_2

es notwendig, zusätzlich die Meßfrequenzen und deren Amplitudenverhältnis anzugeben. Die Abb. 52 zeigt den IM-Faktor für je ein hochwertiges Kristall- und Magnet-system. Die Werte liegen zahlenmäßig hoch. Das ist rein theoretisch auch bedingt, da für den Fall, daß – bei den zur Intermodulationsmessung herangezogenen Frequenzen – der Spitzenwert der Aussteuerung gleich ist wie bei der Klirrfaktormessung, sich für den quadratischen Intermodulationsfaktor m_2 das 3,2fache des quadratischen Klirrfaktors k_2 ergeben muß. Angaben von IM-Faktoren, die um 1 % oder gar noch unter 1 % liegen, sind daher mit Vorsicht zu betrachten und es sollte nicht so sehr der Prospektwert des Einzelbauteils, sondern die Kombination, in der es verwendet wird, bewertet werden.

Stereophone Abtastung und deren Einfluß auf die monaurale Technik

Die Abtastung der stereophonen Schallaufzeichnung erfolgt im umgekehrten Sinne wie das Schneiden und darf, wegen der vertikalen Komponente der Rillenmodulation, nur mit dem Stereo-Tonabnehmersystem vorgenommen werden. Bei der Abtastung der Stereo-Rille mit einem monauralen Tonabnehmersystem würde die Modulation, durch die beim Monosystem vorhandene geringe Nachgiebigkeit des Systems in vertikaler Richtung, zerstört. Trotzdem braucht man nicht gleich zu verzweifeln, wenn man aus Versehen eine Stereoplatte mit einem monauralen Tonabnehmersystem abgetastet hat. Die heutige Qualität der Schallplattenmasse hält das schon einmal aus. Mit einem Stereo-System kann man jedoch ohne weiteres eine Mono-Schallplatte abtasten. Der Wert einer monauralen Schallplattensammlung wird also durch die Anschaffung einer Stereoapparatur nicht vermindert. Im Gegenteil – man erreicht durch Abtastung einer Mono-Schallplatte mit einem parallelgeschalteten Stereosystem eine saubere und störungsfreiere Wiedergabe als mit einem Monosystem. Die bei einigen Dual-Abspielgeräten in die Bedienungselemente einbezogene Stereotaste bietet die Möglichkeit, diese Parallelschaltung herbeizuführen. Bei Stellung \odot der Stereotaste sind beide Kanäle zur Stereo-Wiedergabe getrennt geschaltet. In der zweiten Schaltstellung der Stereotaste \circ werden die beiden Kanäle bzw. die beiden Elemente des Stereo-Tonabnehmersystems parallelgeschaltet. Es wird dann bei der Abtastung monauraler Schallplatten die vertikale Störkomponente völlig beseitigt, gleichgültig, ob sie auf der Schallplatte als Rumpeln enthalten war oder durch Störgeräusche des Abspielgerätes verursacht wurde. Besonders deutlich und angenehm wird die Kompensation vertikaler Störeffekte empfunden, wenn Schallplatten durch häufiges Abspielen und lieblose Behandlung bei der Abtastung mit dem Monosystem knistern und rauschen. Beim Abspielen monauraler Schallplatten wird somit – wie oben bereits angedeutet – eine Wiedergabegüte erreicht, wie sie mit den bisherigen einkanaligen Tonabnehmersystemen kaum möglich ist. Bei kompletten Tonmöbeln ist diese Stereotaste vielfach nicht am Phono-gerät, sondern mit in die Bedienungselemente des Rund-

funkgerätes oder Verstärkers einbezogen. Die Tastenstellung »Mono« würde dann die Parallelschaltung der beiden Kanäle herbeiführen.

Mit dieser – so bedeutsamen – Taste wird außerdem bei Parallelschaltung (d. h. Taste in Stellung \circ) eine beträchtliche Linearisierung des Frequenzganges nicht nur bei den hohen, vor allem auch bei tiefen Frequenzen erreicht. Darüber hinaus bietet sie die einzige Möglichkeit beim Abspielen einer Stereo-Schallplatte, den stereophonen Effekt, die Mittenjustierung bzw. das Ausbalancieren der Stereo-Anlage während des Spieles vorzunehmen bzw. zu kontrollieren.

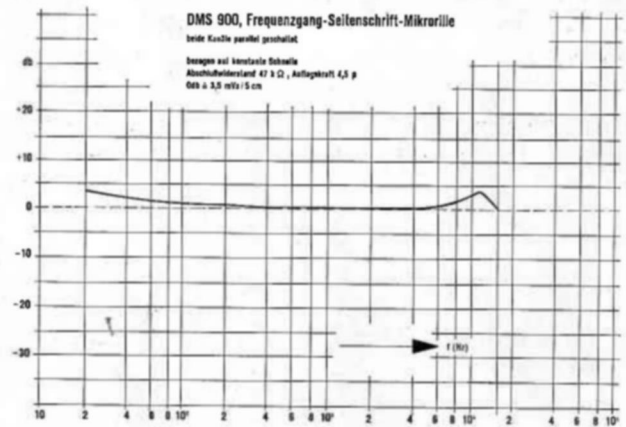


Abb. 54 Frequenzgang des DMS 900 mit parallelgeschalteten Kanälen bei der Abtastung von Seitenschrift

Möglich wäre es, Stereoplatten auf einer Einkanalapparatur abzuspielen, wenn man in den alten Tonarm ein Stereo-Tonabnehmersystem einsetzen und die Tonarmauflegekraft von 10 auf 6 p verringern kann. Die beiden Ausgänge des Systems müssen dann parallelgeschaltet werden. Die Stereoaufzeichnung erklingt nun zwar monophon, aber – sofern sie „compatibel“ ist – ohne klangliche Beeinträchtigung. Compatibel sind alle Stereoaufnahmen, die nach Zusammenschaltung beider Kanäle eine vollwertige Monowiedergabe ermöglichen.

Stereo-Plattenabspielgeräte

Man unterscheidet bei Plattenabspielgeräten zwischen manuell zu bedienenden Laufwerken (Turntables), die keinen angebauten Tonarm aufweisen, und den heute allgemein üblichen Abspielgeräten mit organisch eingebautem Tonarm und den verschiedensten Bedienungsautomatiken. Beim Turntable wird besonderer Wert auf störungsfreien Antrieb des sehr großen und schweren Plattentellers gelegt. Der Tonarm wird getrennt vom Laufwerkchassis montiert und übt außer der Rillenabtastung keine Steuerfunktion aus. Das Laufwerk muß also von einem besonderen Netzschalter ein- und ausgeschaltet und der Tonarm von Hand auf- und abgesetzt werden. Eine derartige Anordnung — im Studiobetrieb allgemein eingeführt — hat den Vorteil, daß mit geringsten Auflagekräften abgetastet werden kann.

Bei den bisher bekannten Plattenspielern und -wechslern für den Heimbetrieb bildet das Laufwerk mit dem Tonarm eine Einheit. Dadurch besteht die Möglichkeit, Plattentellerantrieb und Tonarmbewegungen für den automatischen Betrieb zu kombinieren. Der dazu erforderliche mechanische Steuerungsaufwand braucht die Qualität des Plattentellerantriebs und die Funktion des Tonarms während der Schallrillenabtastung in keiner Weise nachteilig zu belasten. Diese modernen Plattenabspielgeräte lassen sich somit

1. als automatische Plattenwechsler,
2. als automatische Spieler (also Einzelspiel ohne Plattenabwurf von der Stapelachse) und
3. als manuell zu bedienendes Laufwerk betreiben.

Die Verfeinerung der Schneidtechnik und die zusätzliche Tiefenkomponente der Stereo-Schallrinne fordern in vieler Hinsicht erhöhte Präzision der Mechanik des Abspielgerätes. Keinesfalls ist ein bisher monaurales Abspielgerät durch einfaches Aufstecken eines Stereo-Tonabnehmerkopfes in ein Qualitäts-Stereo-Abspielgerät umwandelbar. Es müßten vielmehr alle die Dinge in gleichem Maße verfeinert werden, die in Relation zur Auflagekraft stehen, wie z. B. auch die Reibungskräfte der Tonarmlager. Auch dann dürfte die Stereo-Wiedergabe kaum befriedigend sein, weil die vertikale Störkomponente monauraler Abspielgeräte, die bisher bei der Seitenschrift-Abtastung unwesentlich war, sich nunmehr aber voll auswirkt und die Wiedergabe störend beeinträchtigt.

Ungleichförmigkeiten im Antrieb des Laufwerks (Rumpeln) und Vibrationen des Motors (Brummen) wirken sich durch die vertikale Empfindlichkeit der Stereosysteme besonders nachteilig aus. Es ist daher nicht zu empfehlen, ein Monolauferwerk durch Auswechseln des Tonarmes in ein Stereolauferwerk umwandeln zu wollen.

Dual ist deshalb nicht den Weg der einfachen Adaption der monauralen Abspielgeräte gegangen, sondern hat alle Stereo-Abspielgeräte von Grund auf speziell für diese neue Technik entwickelt.

Die Messung des Rumpelstörabstandes erfolgt nach Empfehlungen der NARTB (Nationale Association of Radio and Television Broadcasters). Danach werden wechselweise über ein spezielles Filter auf einer Meßplatte 100 Hz Amplituden (1,4 cm/s) und Leerrillen abgetastet. Das Laufwerk ist gut, wenn der Spannungsunterschied zwischen diesen

beiden Meßwerten mindestens 56fach ist, d. h. 35 dB beträgt. Für tieffrequente Rumpelstörungen werden jedoch — wegen der frequenzabhängigen Ohrempfindlichkeit — geringere Werte zugelassen. Da sie noch nicht allgemein normiert sind, ist es schwierig, die unterschiedlichsten Angaben über Störspannungsabstände miteinander zu vergleichen.

Da die Rillenauslenkungen gewissermaßen erst auf dem Umweg über Abtaststift, Zunge und Kopplungsglied auf das eigentliche Wandlerelement übertragen werden, ist es wichtig, daß keine Fremdeinflüsse die Abtastbewegungen dieser Bauteile stören oder sich den — von den Rillenauslenkungen stammenden mechanischen Bewegungen — überlagern. Bei dem verringerten Auflagegewicht und der geringen Rückstellkraft sind die Tonarme außerordentlich empfindlich gegen Erschütterungen. Dieses wird verständlich, wenn man bedenkt, daß bereits Rillenauslenkungen von einigen μ (10^{-6} m = $1/1000$ mm) genügen, um beim Abtastsystem Vollaussteuerung zu erreichen.

Besonders bei Stereo-Tonabnehmersystemen, die auch in der Vertikalen eine große Empfindlichkeit besitzen, wirken sich bei der Wiedergabe Unregelmäßigkeiten im Plattentellerantrieb akustisch besonders nachteilig aus. Man kann einen ausreichenden Abstand zwischen der vom Tonabnehmersystem erzeugten Nutz- und Störspannung nur erreichen, wenn man alle Antriebsteile mit höchster Präzision fertigt und das montierte Antriebsaggregat strengen Auswahlprüfungen unterzieht. Durch federnde Aufhängung des Plattenspielers kann man eine weitgehende Dämpfung gegen akustische Rückkopplung und Gehäuseerschütterungen erreichen. Alle Dual-Plattenspieler sind federnd aufgehängt. Nach Möglichkeit sollten getrennte Plattenspieler- und Lautsprechergehäuse verwendet werden. Ist dieses nicht zu verwirklichen, kann man die Schallwand — etwa durch Schaumgummizwischenlagen — federnd anbringen. Trittschallerschütterungen sind in der Mitte eines Raumes am größten, deshalb wird man zweckmäßiger den Plattenspieler an einer Wand aufstellen.

Da sich bei neuzeitlichen Tonarmen der Tonarmkopf bzw. der Einsatz auswechseln läßt und somit für die wahlweise Benutzung von Kristall- oder Magnetsystemen eingerichtet ist, besteht durchaus die Möglichkeit, Tonabnehmerqualität und Betriebsart den jeweiligen Ansprüchen anzupassen. Hier ist dann das Vorhandensein eines streuarmlen 4pol. Motors und die Möglichkeit der kontinuierlichen Einstellung der Tonarmauflegekraft besonders wichtig.

Rein äußerlich unterscheidet sich ein Stereolauferwerk nicht von einem Monolauferwerk. Bild 55 zeigt in der Unteransicht den hochwertigen Dual-Plattenwechsler 1006 AM. Man erkennt den streuarmlen Vierpol-Asynchronmotor, der schwingungsbedämpft mit dem Chassis verbunden ist, sowie den betriebssicheren stabilen Steuermechanismus. In Abb. 56 ist ein mit höchster Präzision gefertigtes Reibradgetriebe dargestellt, wie es in vielen Dual-4-Touren-Plattenwechslern und -spielern verwandt wird. Das Getriebe wird bei Abschaltung des Gerätes automatisch entlastet, so daß Druckstellen im Gummibelag der Antriebselemente vermieden werden.

Für Betrieb an 60-Hz-Netzen wird die Antriebsrolle auf der Motorachse ausgewechselt.

Gleichlaufschwankungen, die entstehen, wenn sich der Plattenteller nicht mit konstanter Winkelgeschwindigkeit dreht, verursachen Tonhöhenschwankungen.

Bei Gleichlaufabweichungen bewertet man:

1. die Abweichungen von der Nenndrehzahl (Schlupf)
2. langsame Tonhöhenschwankungen (»Wow«)
3. schnelle Tonhöhenschwankungen (»Flutter«)

Die Abweichung von der Nenndrehzahl — die mit Hilfe einer Stroboskopscheibe sehr genau festgestellt werden kann — beträgt bei den Dual-Laufwerken höchstens $\frac{1}{2}$ Umdrehung; wenn man die Drehzahl des Plattentellers bei der Abtastung eines großen Plattendurchmessers mit der Drehzahl bei der Abtastung des kleinsten Durchmesserbereiches vergleicht. Die Drehzahl wird im Werk mit geringstmöglicher Toleranz auf die Nenndrehzahl eingestellt und ist so bemessen, daß auch bei Netzspannungsschwankungen von $\pm 10\%$ der Drehzahlschlupf höchstens $0,3\%$ beträgt. Damit ist gewährleistet, daß sich die absolute Tonhöhe während des Abspielens beispielsweise bei einer 30-cm-Langspielplatte — auch für geschulte Ohren — praktisch nicht verändert; denn es können erst dann zwei verschiedene Töne festgestellt werden, wenn ihre Frequenzen um etwa $0,5\%$ voneinander verschieden sind.

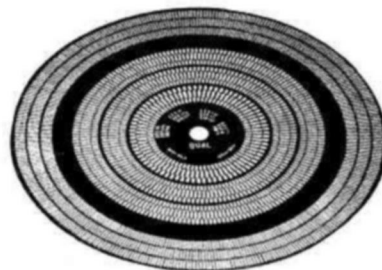
Bei starken Temperaturschwankungen ist eine höhere Abweichung möglich, besonders wenn nachträglich ungeeignetes Öl zur Lagerschmierung verwandt wird. Wir empfehlen daher nach einer Betriebszeit von 1–2 Jahren eine allgemeine Überprüfung, insbesondere eine Erneuerung der Schmiermittel, bei unseren Kundendienststellen durchführen zu lassen.

Die langsamen Tonhöhenschwankungen, die durch einen schlagenden Plattenteller, meistens aber durch eine schlecht zentrierte Schallplatte (ausgeschlagenes Mittelloch) auftreten, sowie die schnellen Tonhöhenschwankungen, sind jedoch für den akustischen Eindruck einer Wiedergabe weitaus unangenehmer, da das menschliche Ohr hiergegen außerordentlich empfindlich ist.

Bei Frequenzen > 500 Hz sind Frequenzschwankungen um 3% noch festzustellen. Für alle Dual-Laufwerke gilt daher dieser Wert als höchst zulässige Grenze.

Dual hat durch genaue Untersuchungen der Gleichlauf-Störquellen an Plattenspielern außerordentlich strenge Fertigungstoleranzen eingeführt. So läßt die Dual-Werknorm z. B. für den Höhenschlag des Plattentellers nur $\pm 0,15$ mm, für den Seitenschlag nur $\pm 0,035$ mm zu. Nur durch eine derartige Präzision kann ein ausreichender Gleichlauf erzielt werden.

Der Wert 3% wird bei Verwendung eines schweren Plattentellers in Hi-Fi-Ausführung (ca. 1,5 kg und 27 cm Durchmesser) mit Sicherheit unterboten.



Wird die Stroboskopscheibe auf den rotierenden Plattenteller gelegt und aus dem Wechselstrom-Lichtnetz beleuchtet, so scheint die kreisringförmige Strichteilung der gewünschten Tourenzahl — trotz Rotation der Scheibe — stillzustehen, wenn die Drehzahl des Plattentellers mit der Soll-Drehzahl übereinstimmt. Mit dieser verblüffend einfachen Methode kann eine sehr genaue Drehzahlkontrolle vorgenommen werden.

Bei einer genauen Messung der Gleichlaufschwankungen werden diese über eine Frequenzänderung festgestellt.

Steht keine Meßapparatur zur Verfügung, kann man z. B. beim Abspielen einer Klavieraufnahme den Gleichlauf durch die — besonders bei langanhaltenden Grundtönen — auftretenden Tonhöhenschwankungen leicht beurteilen. Tritt ein »Jaulen« auf, so sind langsame Tonhöhenschwankungen vorherrschend (Plattenteller schlägt, un rundes Schallplatten-Mittelloch, Gummiauflage ist verzogen, das Treibrad rutscht durch Verölen). Wird ein schnelles »Wimmern«, ein »Vibriren« festgestellt, kann evtl. die durch den Transport beeinflusste Motoraufhängung oder hochtourig laufende un runde Vermittlungsräder die Ursache sein. Sind die Ursachen nicht eindeutig zu erkennen, wird empfohlen, den Fachmann zu Rate zu ziehen.

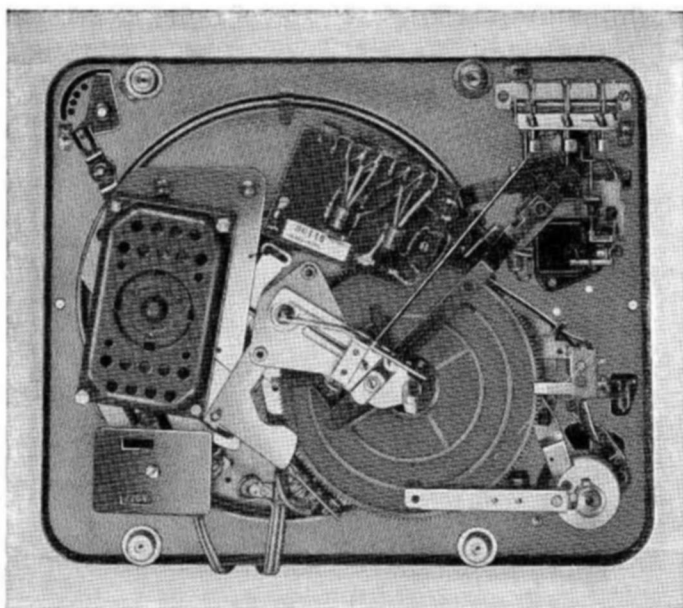


Abb. 55 Hochwertiger Plattenschweller mit 4-Pol-Motor und Entzerrer-Vorverstärker

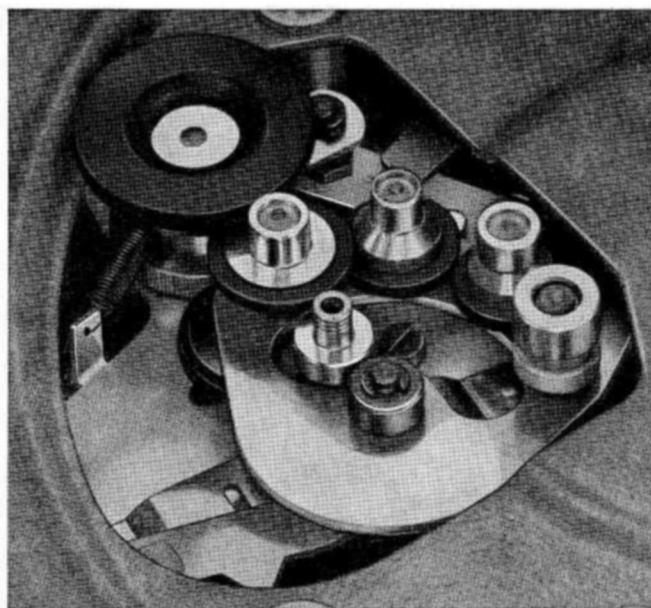


Abb. 56 Umschaltbares Reibradgetriebe für 4 Plattenteller-Drehzahlen

Ein HiFi-Plattenspieler mit Wechselautomatik

Das Problem — im Interesse einer optimalen Übertragung der Rillenauslenkungen bei weitgehender Plattenschonung — mit noch geringeren Auflagekräften abzutasten, liegt — durch eine ganze Reihe damit verbundener Forderungen — mehr beim Laufwerk und Tonarm, als beim Tonabnehmersystem. Die Nachgiebigkeit der Tonabnehmer kann fast beliebig vergrößert werden. Es sind bereits Systeme mit einer Compliance von $40 \cdot 10^{-6}$ cm/dyn auf dem Markt. Ein derart weiches System läßt sich also schon mit 0,15 g um 60μ auslenken und könnte mit einer ganz geringen Auflagekraft, z. B. 1 p, betrieben werden. Schwieriger ist es jedoch, die Laufwerk- und insbesondere die Tonarmmechanik diesen extremen Werten anzupassen. So dürfen beispielsweise die Reibungskräfte der vertikalen und horizontalen Tonarmlagerungen keinesfalls die Größenordnung der verminderten Tonarmauflagekraft erreichen, da eine einwandfreie Führung der Abtastnadel in der Schallrinne dann nicht mehr stattfinden könnte. Der Tonarm würde beispielsweise bei zu großer Reibung im Horizontallager vom sehr nachgiebigen System nicht zum Plattenmittelpunkt geführt werden können. Die Nadel, mit dem sehr weich eingespannten Nadelträger, springt über den Zwischensteg immer wieder in die alte Rinne zurück. Dann kommt es zu einer zwar originellen, aber doch unerwünschten fortlaufenden Wiederholung des Inhaltes derselben Rinne. Ist die vertikale Reibungskraft des Lagers größer als die Tonarmauflagekraft, könnte der Tonarm bei Stereoplatten den vertikalen Rillenauslenkungen nicht folgen, welches erhebliche Abtast-Verzerrungen verursachen würde.

Aber selbst wenn man geringste Lagerreibungen erreichen könnte, ist der extremen Verringerung der Tonarmauflagekraft eine Grenze gesetzt. Die hohen Beschleunigungskräfte an der Nadelspitze, die besonders bei der Abtastung hoch ausgesteuerter kleiner Wellenlängen auftreten, können der Auflagekraft des Tonarms entgegenwirken und diese — wenn sie sehr gering gewählt wurde — ständig variieren lassen.

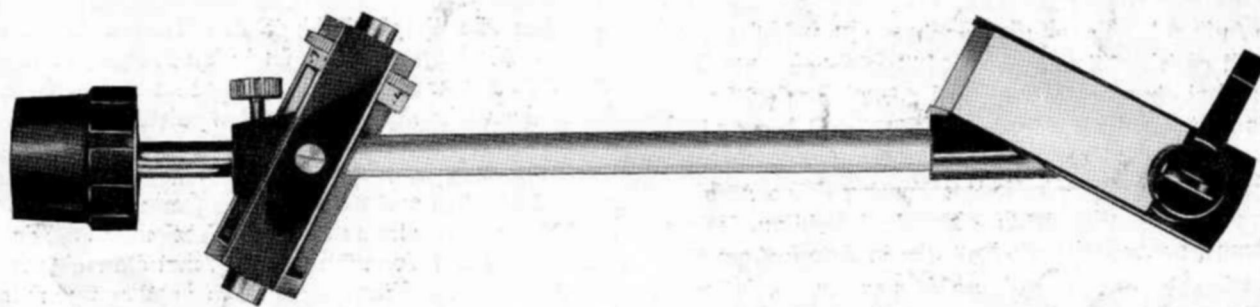
noch aus der Zeit der ersten Wechslerkonstruktionen herrührt, bei denen die Platten — unter zum Teil erheblichen Schaltgeräuschen — recht unsanft von der Stapelachse auf den Teller geworfen und der Tonarm bei der Abtastung



Abb. 57

ein erhebliches Steuerungsgestänge mitziehen mußte. Inzwischen wurden jedoch wertvolle Erfahrungen an einer Vielzahl von Antriebs- und Tonarmsteuerungen gewonnen und bei den ständig verbesserten Dual-Laufwerken mit gutem Erfolg erprobt, so daß heute ein Wechslermechanismus bei der Abtastung kaum noch störend in Erscheinung tritt.

Die Tonarmsteuerungen — automatisches Einsetzen in die Einlaufrillen sowie das Abheben aus den Auslaufrillen — arbeiten beim 1009 so außergewöhnlich feinfühlig, daß sie noch bei Tonarmauflagekräften von 0,5 p einwandfrei funk-



Dual hat nun in umfangreicher Entwicklungsarbeit das Laufwerk 1009 konstruiert, mit dem es möglich ist, bei geringsten Tonarmauflagekräften eine einwandfreie und betriebssichere Schallrillen-Abtastung durchzuführen. Dieses Gerät stellt eine gelungene Kombination von einem Plattenspieler höchster Präzision und einem Wechsler in Spitzenqualität dar.

Bei vielen Schallplattenbesitzern besteht eine grundsätzliche Abneigung gegen einen Plattenwechsler, die wohl

tionieren. Es ist nicht bei jedem Benutzer zu erwarten, daß er, in mehr oder weniger beengter Umgebung, einen Tonarm mit beispielsweise 1,5 p Auflagekraft von Hand sicher in die Einlaufrillen einsetzt. Dazu gehört schon eine sehr behutsame Hand. Wenn eine präzise und sicher arbeitende Automatik derartige Tonarmsteuerungen übernehmen kann, ist das unbedingt ein gerätetechnischer Fortschritt.

Man erkennt in den Abbildungen die besonderen Konstruktionseigenarten des Tonarms und der Tonarmlagerung. Um

die bereits besprochenen geringsten Lagerreibungen in den horizontalen und vertikalen Bewegungsrichtungen zu erreichen, werden in einem stabilen Lagerbügel hochpräzise Kugellagerungen verwandt. Der sorgfältig dimensionierte, resonanzfreie Tonarm kann in allen Bewegungsrichtungen vollständig ausbalanciert werden, so daß er seinen Schwerpunkt im Schnittpunkt der beiden Lagerachsen erhält. (S. Abb. 60)

Das Ausbalancieren des Tonarms in der vertikalen Bewegungsrichtung hängt vom Gewicht des verwandten Ton-

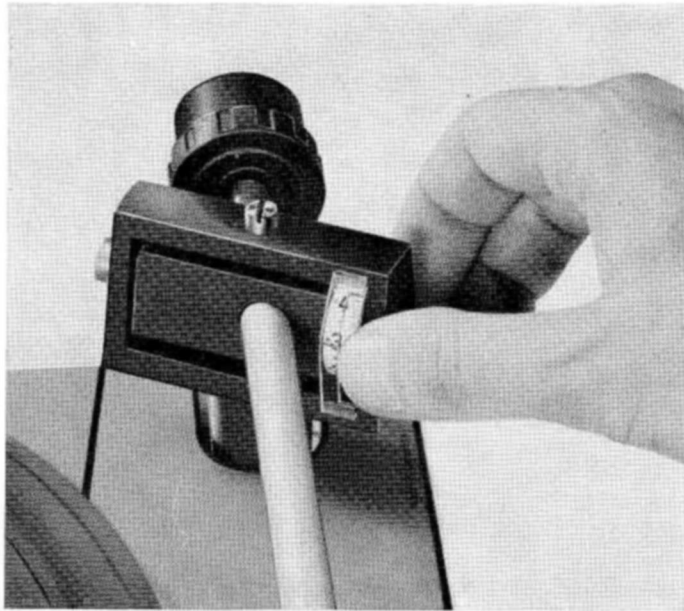


Abb. 58 Einstellung der Tonarm-Auflagekraft

abnehmersystems ab. Nach Einbau des Systems in den auswechselbaren Tonarmkopf ist eine Justierung der Tonarmbalance erforderlich. Diese Justierung kann — mit Grob- und Feinverstellung — durch das am Tonarmende befindliche Ausgleichsgewicht bequem durchgeführt werden. Bei richtiger Justierung müßte der Tonarm trägheitslos in jeder Stellung innerhalb seines Bewegungsbereiches stehen bleiben. Ein in allen Bewegungsrichtungen vollständig ausbalancierter Tonarm kann die Rillenflanken, auch bei extremer Schiefstellung des Laufwerkes, nicht mehr unsymmetrisch belasten und bietet die Gewähr dafür, daß die Auflagekraft genau senkrecht zur Plattenoberfläche und damit gleichwertig auf beide Rillenflanken wirkt. Erst nachdem, bei eingebautem System, der Tonarm völlig ausbalanciert ist, kann mit dem in Abb. 58 gezeigten Rändelknopf — durch eine, im Bild 60 angedeutete, auf die Horizontalachse wirkende Spiralfederspannung — die Auflagekraft von 0–7 kontinuierlich eingestellt werden. Diese Einstellung der Auflagekraft bzw. deren Anzeige am Ein-

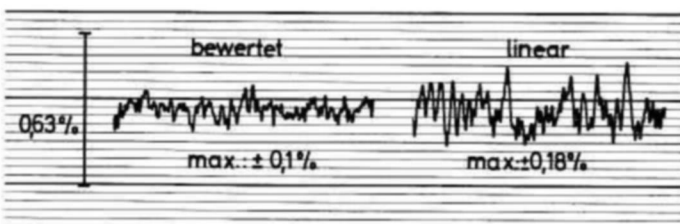


Abb. 59 Geschwindigkeitsschwankungen des Dual 1009

stellrad ist dann völlig unabhängig vom Gewicht des eingebauten Abtastsystems. Um die Tonhöhenchwankungen auf unkritische Größenordnungen zu beschränken, wird ein 3,2 kg schwerer ausgewuchteter, nicht magnetischer Druckguß-Plattenteller benutzt. Das damit erzielte große Schwungmoment des Plattentellers bietet einen wirksamen Schutz gegen Unregelmäßigkeiten des Antriebs.

Bild 59 zeigt die Geschwindigkeitsschwankungen des 1009. Ausgeprägte periodische Störmodulationen, die auf Exzentrizitäten im Antrieb schließen würden (jaulen), sind nicht

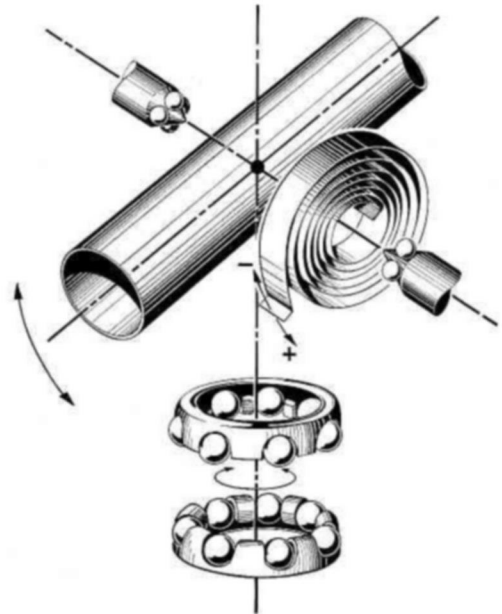


Abb. 60 Schematische Ansicht der Tonarmlagerungen und der Auflagekraftregelung

zu erkennen. Während die — nicht normgerechte — „lineare“ Messung alle entstehenden Frequenzschwankungen von 0,4 bis 300 Hz beim 1009 mit einer maximalen Abweichung von $\pm 0,18\%$ anzeigt, berücksichtigt die genormte „bewertete“ Messung die frequenzabhängige Störwirkung auf das menschliche Ohr. Hier beträgt die Schwankung nur ca. $0,1\%$, liegt damit also weit unter der feststellbaren Grenze von 3% .

Über die Bewertung von Rumpelstörungen

Je höher die Empfindlichkeit des Tonabnehmersystems und der Wiedergabeanlage im tiefen Frequenzbereich ist, um so deutlicher und unangenehmer machen sich bei der elektroakustischen Wiedergabe Rumpelstörungen des Laufwerkes bemerkbar. Diese Störspannungen entstehen als Folge unzulässiger Relativbewegungen zwischen Laufwerk und Abtastspitze und enthalten ein Geräuschspektrum von 0 ... 800 Hz. Daher ist es eine der wichtigsten Forderungen, Plattenteller und Tonarmlager möglichst starr gegeneinander anzubringen. Störender als die impulsartig auftretenden tiefsten Rumpelgeräusche, die meistens als Folge geringster Bauteileigenschwingungen entstehen, wirken sich die in der Tonhöhe fast konstanten Vibrationen des Motors oder der von diesem angeregten Bauteile mit der Grund- oder einer Oberwelle der Netzfrequenz aus. Damit sie auch bei hochwertigen Anlagen mit guten Tieftonlautsprechern praktisch unhörbar bleiben, sollte nach NARTB ein Mindest-Störabstand von 35 dB angestrebt werden. Hierbei handelt es sich um eine Messung, die alle Störfrequenzen des Laufwerkes unterhalb 800 Hz als Summen-Meßwert darstellt. Bild 61 zeigt die Meßwerte der Rumpelstörungen des

„Dual 1009“-Laufwerks im Frequenzbereich 25... 800 Hz. Diese zwischen 20 und 1000 Hz ± 1 dB linear bewerteten Rumpelfremdspannungen erfassen auch die elektrischen und magnetischen Beeinflussungen des zur Messung verwandten Abtastsystems und der Zuleitung, die jedoch leichter zu beherrschen sind und daher einen geringeren Störwert aufweisen als die eigentlichen Rumpelstörungen (der Bereich der Störkomponenten wurde mit sehr steilen Terzfiltern ausgesiebt). Diese Fremdspannungsabstände sagen jedoch nichts über den akustischen Störeindruck aus, der (abgesehen von der Qualität der benutzten Wiedergabeanlage) subjektiv sehr unterschiedlich bewertet wird. Durch die in HiFi-Anlagen eingesetzten tief abgestimmten Lautsprecherkombinationen und den sehr tief liegenden Reso-

stück, für drei verschiedene Aufgaben in drei unterschiedliche Stellungen gebracht werden. Für den Geräte-Trans-

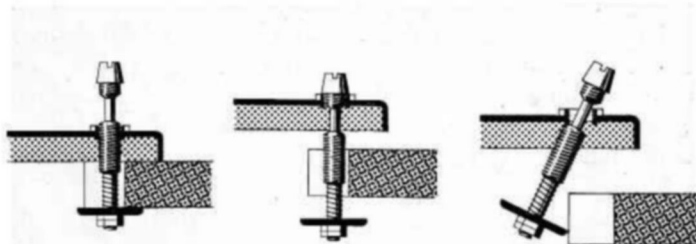


Abb. 62 Laufwerk-Transportsicherungsschrauben

port wird durch Linksdrehung des Gewindebolzens das Laufwerk fest an das Montagebrett gezogen. Die Betriebsstellung zeigt das mittlere Bild. Der Gewindebolzen berührt den Montageboden nicht. Trotzdem kann das Laufwerk nicht nach oben herausgenommen werden (Entnahmesicherung!). Bei der Montage wird der Schraubenbolzen aus dem Gewinde gelöst, so daß er frei beweglich ist und das Laufwerk leicht in das Montagebrett eingesetzt oder diesem entnommen werden kann. Dabei sind keinerlei Handgriffe unterhalb des Montagebrettes erforderlich.

Federaufhängung

Zur Verminderung der Körperschallempfindlichkeit wird ein Laufwerk federnd im Montageboden – oder der Zarge – gehalten. Diese Federn müssen eine genau auf das Laufwerk abgestimmte Nachgiebigkeit aufweisen, damit einerseits das Laufwerk nicht zu hart aufliegt, andererseits nicht zu labil schwimmt. Trotz einer relativ weichen – auf ca. 4 Hz abgestimmten – Aufhängung, müssen die, sowohl aus vertikaler als auch horizontaler Richtung stoßerregten

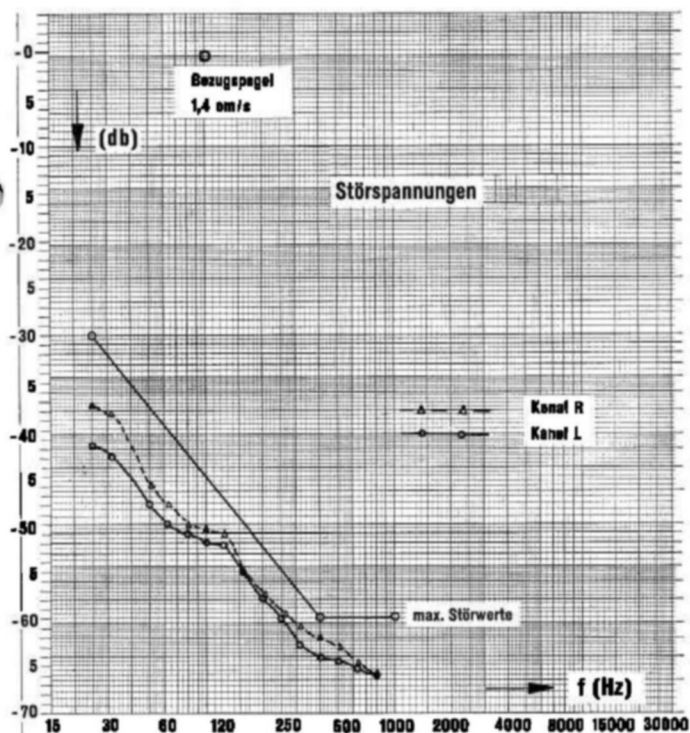


Abb. 61 Frequenzgang der Rumpelstörungen beim Dual 1009

nanzbereich des Abtasters werden die Rumpelfremdspannungen besonders bei gering ausgesteuerten Schallplatten recht deutlich wiedergegeben. Auch die im nicht mehr wahrnehmbaren tiefen Frequenzbereich liegenden Rumpelstörungen können durchaus noch eine Beeinträchtigung der Wiedergabe hervorrufen. Nur eine sinnvolle Ausführung und Anordnung des Antriebmotors, die weitgehende Dämpfung der Platinenschwingungen und die sorgfältige Entkoppelung des Tonarmlagers von diesen Schwingungen können Rumpelstörungen klein halten.

Montage und Befestigung

Das bei den Dual-Laufwerken über die eigentliche Aufgabe als Abspielgerät hinaus auch an die Probleme der Montage und des Service gedacht wurde, soll das Beispiel der durchdachten Konstruktion der Laufwerk-Aufhängung und -Befestigung zeigen.

Transportsicherungsschrauben

Durch eine sinnreiche Konstruktion lassen sich die Transportsicherungsschrauben vielseitig anwenden. Wie die Abb. 62 zeigt, können die Schrauben, z. B. mit einem Geld-

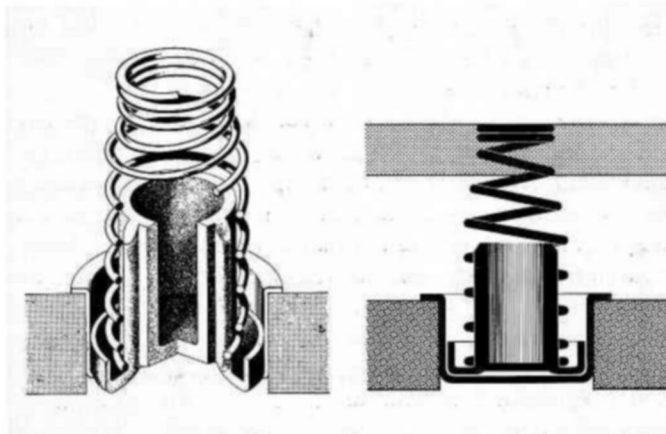


Abb. 63 Elastische Aufhängung des Dual 1009

Schwingungen des Laufwerks (angeregt durch tiefe Bässe, Trittschall oder direkten Stoß) ausreichend schnell gedämpft werden. Die Abb. 63 zeigt die bewährte Anordnung am Dual 1009. Die Feder ist am Chassis befestigt und ruht, gegen das Montagebrett körperschallisoliert, in einer Gummihalierung, die wiederum an einem Metalltopf – der in eine Bohrung des Montagebodens eingelassen wird – befestigt ist. Chassis und Federaufhängung gehören wirkungsmäßig zusammen. Sie sind optimal aufeinander abgestimmt. Die Verwendung der Federaufhängung für eine andere Laufwerk-Type ergäbe nicht die gewünschte Wirkung.

Warum und wie sollte man einen HiFi-Plattenspieler testen?

Plattenspieler bzw. -wechsler werden meist in Verbindung mit einer Wiedergabeanlage, z. B. Musiktruhe oder Koffergerät, angeschafft. Dabei wird dem Abspielgerät nicht immer die ihm gebührende Beachtung geschenkt, da es mit seiner mehr oder minder empfindlichen Mechanik gewissermaßen als das notwendige Übel in einer Schallplatten-Wiedergabeanlage betrachtet wird, was manchmal auch nicht ganz unberechtigt ist, da ein schlechtes oder störanfälliges Abspielgerät weder kostbare Schallplatten noch Nerven schont.

In welchem starkem Maße seine technischen Eigenschaften in die Qualität der elektroakustischen Wiedergabe eingehen, ist den meisten Gerätebesitzern bisher kaum bekannt, da man bei einem Abspielgerät das Tonabnehmersystem hier als das allein verantwortliche Element ansieht. Ein Laufwerk einschließlich Tonarm kann jedoch – wenn es nicht unter Berücksichtigung ganz bestimmter Forderungen konstruiert worden ist – für eine ganze Reihe von Störungen verantwortlich sein, bzw. eine – der Qualität der heutigen Schallplatten entsprechende – optimale Wiedergabe der Aufzeichnung unmöglich machen.

Bei Musikschränken und Phonokoffern, die aus Preisgründen bisher fast ausschließlich mit Standard-Laufwerken bestückt sind, ist das Laufwerk nicht immer ausschlaggebend für die Auswahl und die Schallplatten-Wiedergabe wird den Interessenten – auch schon durch das Bewußtsein, etwas Neues und damit wohl Fortschrittliches gekauft zu haben – im allgemeinen befriedigen. Bei – nach individuellen Wünschen – selbst zusammengestellten Schallplatten-Wiedergabeanlagen, z. B. einer Kombination aus Phono-Componenten, wird man der Auswahl eines geeigneten Plattenspielers sicher mehr Beachtung schenken.

Wonach kann man sich bei der Auswahl nun richten und welches sind die entscheidendsten Kennzeichen eines guten Abspielgerätes?*

Die Abtasteigenschaften eines Tonabnehmersystems sind grundsätzlich für den Frequenzgang, Verzerrungen und Störspannungsabstand von ausschlaggebender Bedeutung. Doch kann ein gutes System seine Leistungen nur in Verbindung mit einem guten Tonarm unter Beweis stellen. Erst wenn die Abtasteigenschaften des Systems, insbesondere vom Tonarm, nicht mehr beeinflußt werden, das heißt, wenn derselbe sich so verhält, als wäre er überhaupt nicht da, kann man das Ergebnis der Schallrillen-Abtastung allein auf den Abtaster zurückführen. Nun werden aber auch die Tonarmeigenschaften vom Tonabnehmersystem beeinflußt (z. B. von dessen Gewicht und Rückstellkraft). Es besteht also eine Wechselwirkung zwischen beiden Bauteilen und ein Tonarm ist um so besser, je unabhängiger seine Eigenschaften vom eingebauten System sind.

Bei der Vielzahl der heute auf dem Phono-Markt angebotenen Plattenspielergeräten besteht für den Laien – abgesehen von äußeren Gesichtspunkten der Formgebung und der allgemein bekannten Betriebsfunktionen – kaum eine Möglichkeit, die technischen Angaben der Hersteller bezüglich der Tonarm- und Laufwerkqualität bei einem Kauf zu kontrollieren bzw. die Einhaltung der wertbestimmenden Faktoren nach einer längeren Betriebszeit festzustellen, wenn ihm die Probleme einer vollwertigen Schallrillen-

Abtastung völlig unbekannt sind. Es besteht allerdings kaum eine Möglichkeit, eine technisch hochentwickelte Apparatur, wie sie ein modernes HiFi-Abspielgerät darstellt, mit volkstümlich verständlichen sowie allgemein anerkannten Wertfaktoren auszuzeichnen. Ein PS ist z. Z. eben noch populärer als ein dB, obwohl die Definition einer Pferdestärke als Leistungsangabe in der Automobilindustrie nicht weniger kompliziert ist als die eines Dezibels in der Phontechnik.

Es gibt jedoch einige bewährte Testmethoden, bei denen man – ohne komplizierte Meßgeräte zu benötigen – mit ein bißchen Überlegung und natürlich auch technischem Gefühl durchaus ein Schallplatten-Abspielgerät auf seine technischen Fähigkeiten hin testen kann. Bei dieser Untersuchung sollen nicht die Funktionen, wie z. B. der Start-, Stop- oder Wechsellvorgang, sondern das Verhalten des Abspielgerätes während der Schallrillen-Abtastung getestet werden. Schallplatte und Tonabnehmer werden in den Test einbezogen und damit eine wichtige Voraussetzung für eine – dem praktischen Betrieb angepaßte – brauchbare Testaussage erfüllt.**

Neundrehzahl

Die Prüfung auf Einhaltung der Neundrehzahl wird mit der Stroboskopscheibe vorgenommen (siehe Seite 26). Nach einem Vorschlag für HiFi-Plattenspielergeräten ist eine Abweichung von der Neundrehzahl um + 1,5 % und – 1,0 % zulässig. Höhere Abweichungen ergeben auffallende Tonhöhenänderungen. Auftretende kurzzeitige Drehzahländerungen lassen sich als Tonhöhenschwankungen über die Lautsprecheranlage (siehe Seite 28) akustisch feststellen.

Tonhöhenschwankungen gehören zu den unangenehmsten Störungen bei der Schallplattenwiedergabe. Sie sollten daher durch Auswahl eines Präzisionserzeugnisses von vornherein verhütet werden. Ein Laufwerk mit schlechten Gleichlaufeigenschaften kann auch von einem Fachmann nicht verbessert werden, denn ausschlaggebend ist hier ausschließlich die Konstruktion und Sorgfalt der Herstellung. Das gilt im besonderen Maße auch für die

Rumpelstörungen des Laufwerkes

Je hochwertiger die Lautsprecheranlage ist, desto deutlicher wird die Notwendigkeit der Verwendung eines rumpeleichen Laufwerkes erkannt. Die Größenordnung der tieffrequenten Rumpelgeräusche läßt sich am zweckmäßigsten – unter Zuhilfenahme einer Leerrillenplatte – ebenfalls nur über die in Betrieb genommene, normal eingestellte Lautsprecheranlage abschätzen. Wichtig ist bei dieser Prüfung, daß das später zu verwendende Tonabnehmersystem mit der empfohlenen Auflagekraft benutzt wird und keine Brummstörungen (schlechte Abschirmungen, falsche Erdleitungen) die akustische Kontrolle beeinträchtigen.

* Technische Probleme des HiFi-Plattenspielers
Funktechnik, Heft 15, Jahrgang 63, Seiten 531–533, Heft 16, Seiten 564–566
** „Wie sollte man einen HiFi-Plattenspieler testen?“
Funkschau, Heft 17, Jahrgang 63, Seiten 485–487
Auf Wunsch erhalten Sie unsere Sonderdrucke

Exzentric-Test (in den USA bekannt unter Mc.Proud-Test).

Hier wird eine 17-cm-Platte mit großem Mittelloch so auf den Plattenteller gelegt, daß der Lochrand – wie die Abb. 64 zeigt – an dem Plattenteller-Mittelstift anliegt. Bei einer Rotation bei 45 U/min. werden die Schallrillen stark exzen-

Abb. 64



trisch umlaufen. Der in eine Schallrinne abgesetzte Tonarm wird nun mit erheblichen horizontalen Auslenkungen hin- und herbewegt. Ist es eine schwere Ausführung (also mit großer Trägheitsmasse), wird er einem plötzlichen Richtungswechsel nicht folgen können, sondern in Richtung der – aus der exzentrischen Schallrinne übermittelten – Beschleunigung aus der Rinne geschleudert. Bei geringer Masse und geringsten horizontalen Lagerreibungen des Tonarms wird er die Spurführung beibehalten. Das läßt sich – wenn man gleichzeitig den Wiedergabeverstärker anschließt – akustisch kontrollieren. Tonarmträgeit und Lagerreibung in vertikaler Bewegungsrichtung des Tonarms lassen sich durch den sogenannten

Zigaretten-Test erkennen.

Unter eine 30-cm-Schallplatte wird – bei etwa dem halben Durchmesser – eine Zigarette gelegt und mit dem Plattenteller in Drehung versetzt (s. Abb. 65). Die Schallplatte wird

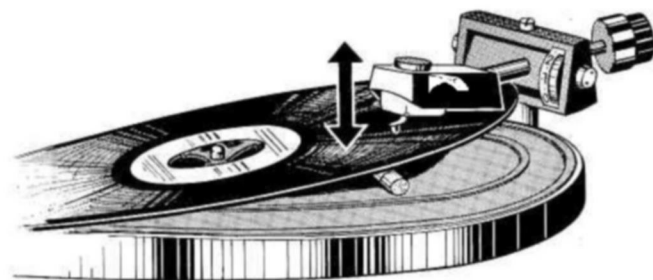


Abb. 65

nun stark taumeln und den – mit dem betriebsmäßigen Auflagegewicht – aufgesetzten Tonarm in vertikaler Richtung unter starker Beschleunigung auf- und abbewegen. Ist nun bei geringer Auflagekraft die Trägheitsmasse bzw. die Lagerreibung des Tonarms in vertikaler Richtung zu groß, wird er bei einer Abwärtsbewegung oder nach dem Ende der Aufwärtsbewegung den Kontakt mit der Schallrinne verlieren, da der Tonarm diesen Bewegungen nicht trägheitslos genug folgen kann. Für eine weitgehend stabile Spurführung sowohl in horizontaler als auch in verti-

kaler Bewegungsrichtung sind also Tonarme mit sehr geringen Trägheitsmassen und geringsten Lagerreibungen erforderlich.

Natürlich stellt der Exzentric- und Zigaretten-Test für den Tonarm eine stark übertriebene Belastung dar, sie sind jedoch in Sekunden ohne Hilfsmittel durchführbar und gestatten einen sofortigen Vergleich zwischen zwei Laufwerktypen. Ein Gerät – wie z. B. das Dual-Laufwerk 1009 –, das diese Tests anstandslos übersteht, ist in der Lage, alle praktisch vorkommenden Beanspruchungen in der Praxis zu meistern, ohne dabei seine optimalen Antriebs- und Abtasteigenschaften zu verlieren.

Wenn der Schwerpunkt des Tonarms (einschließlich Abtastsystem) im Schnittpunkt der beiden Lagerachsen liegt, ist der Tonarm in jeder Lage statisch ausbalanciert. Er wird also auch bei extremer Schiefstellung des Laufwerkes – über den Abtaststift in der Schallrinne – die Rillenflanken durch unterschiedlichen Auflagedruck nicht unsymmetrisch belasten. Es ist deshalb auch nicht erforderlich, die waagrechte Lage des Laufwerk-Chassis genau auszurichten. Man könnte also praktisch mit senkrecht oder auch auf den Kopf gestelltem Laufwerk eine Schallplatte einwandfrei abtasten.

Will man feststellen, ob die Tonarmbalance nach Einstellung der Auflagekraft noch erhalten geblieben ist, braucht man nur das Laufwerk zu kippen. Der Tonarm darf dann nicht aus der Rinne rutschen. Wird die Auflagekraft durch eine Gewichtsungleichheit erzeugt, werden bei geringer Laufwerkschrägstellung die Rillenflanken zunächst unsymmetrisch belastet, bei Vergrößerung des Kippwinkels rutscht der Tonarm von der Platte ab. Der gleichmäßige Auflagedruck auf die beiden Rillenflanken ist jedoch besonders bei der Stereo-Rillenabtastung eine unerläßliche Forderung.

Der vom Tonarm bei einem bestimmten Durchmesser der Schallplatte zu betätigende Abschaltmechanismus darf keinen größeren Kraftaufwand erfordern, als es die sehr geringen Tonarmauflagekräfte zulassen. Das ist für einen mechanischen Schaltvorgang eine außerordentlich hohe Anforderung, weshalb auch sehr viele HiFi-Laufwerke diese automatische Abschaltmöglichkeit nicht aufweisen bzw. sie mit der Bedingung einer erhöhten Auflagekraft verbinden. Beim Dual-1009-Laufwerk wird dieser Vorgang durch eine sinnreiche Anordnung derartig feinfühlig vorgenommen, daß auch bei einer Tonarmauflagekraft von nur 0,5 p der Abschalt- oder Wechselvorgang bereits sicher durchgeführt wird.

Dieses läßt sich – außer dem betriebsmäßigen Vorgang durch die Auslaufrille der Schallplatte – folgendermaßen nachweisen. Durch eine Balanceänderung des Tonarms wird er in seiner Stellung so justiert, daß der Tonkopf frei über der Platte stehen bleibt, also sich nicht zum Plattenteller absenkt. Wird er nun, bei rotierendem Plattenteller, durch vorsichtiges Anblasen zur Tellermitte „gepustet“, schaltet er, auch bei dieser sanften Luftführung, das Laufwerk betriebssicher ab. Ein derart feinfühligere Abschaltmechanismus, der ja auch die automatische Tonarmsteuerung einleitet, ist erforderlich, wenn die Wiedergabe der letzten Tonrillen verzerrungsfrei erfolgen soll, da es nicht immer gelingt, den mechanischen Fühlhebel, erst nachdem der Abtaststift aus der letzten Tonrinne in die Auslaufrille übergegangen ist, in Eingriff zu bringen.

Die Stereo-Anlage

Grundsätzliche Voraussetzung für eine ideale stereophone Wiedergabe sind zwei elektrisch und besonders auch akustisch völlig gleichwertige Übertragungswege (Kanäle). Sie beginnen an den beiden Rillenflanken in der gemeinsamen Schallrinne der Stereoplatte. Diese beiden voneinander getrennten Modulationen werden dann von dem Tonabnehmersystem abgetastet, den beiden Verstärkerkanälen zugeführt und danach – von pro Kanal mindestens einem Lautsprecher – abgestrahlt.

Diese drei Baugruppen lassen sich am einfachsten in einer Musiktube zusammenfassen. Die gesamte Stereoanlage ist somit komplett und recht preiswert erhältlich.

Es werden jedoch in zunehmendem Maße Musikübertragungsanlagen aus einzelnen hochwertigen Bausteinen zusammengestellt (s. Seite 48). Hier gibt es elektrisch und architektonisch die verschiedensten Kombinationsmöglichkeiten. Die Qualität der elektroakustischen Wiedergabe ist dann jedoch nicht nur abhängig von der technischen Perfektion des Übertragungsgliedes, sondern auch von der Anpassung – oder überhaupt den Anpassungsmöglichkeiten – aneinander.

Verstärker

Man unterscheidet grundsätzlich zwischen Spannungs- und Leistungsverstärkern. Sie sind – auf Grund ihrer Verwendung – als Vorverstärker und Endstufe gekennzeichnet. Der Vorverstärker besitzt je nach Aufwand die verschiedensten Eingänge für die Tonfrequenzquellen (Mikrofon, Plattenspieler, Radio usw.) und dient hauptsächlich als Verstärker für die von den Quellen gelieferten geringen Spannungen. In diesem Verstärker wird auch die Lautstärke und Klangfarbe geregelt. Da er bei Schallplattenübertragungen die Entzerrung der Tonabnehmereigenschaften vornimmt, bezeichnet man ihn auch als Entzerrer-Vorverstärker.

Die Endstufe – auch Leistungsstufe genannt – dient zur Erzeugung der für eine Schallabstrahlung notwendigen NF-Leistung. Qualitätsentscheidende Merkmale sind seine Ausgangsleistung, Frequenzgang, Klirrfaktor und Störspannungsabstand. Diese beiden Verstärker können sowohl räumlich getrennt als auch in einem gemeinsamen Gehäuse untergebracht werden – wie z. B. in einem Rundfunkgerät –, wobei es gleichgültig ist, ob es sich um einen Mono- oder Stereoverstärker handelt. In einem Stereoverstärker sind zwei völlig gleichwertige Verstärkerkanäle vorhanden, die nur durch eine gemeinsame Stromversorgung und den Balanceregler elektrisch miteinander verbunden sind.

Bei Verwendung eines Stereo-Verstärkers sind dessen zwei Kanäle also gleichwertig. Schwieriger ist die Erzielung der Gleichwertigkeit im Frequenzgang und Lautstärke beider Kanäle bei Verwendung von zwei einzelnen, verschiedenen Verstärkern.

Gleichgültig aber, ob ein Stereo-Verstärker oder zwei einzelne Verstärker Verwendung finden, ist darauf zu achten, daß die Verkabelung zwischen Plattenspieler und Verstärker für beide Kanäle gleichwertig erfolgt. Die Anschlußkabel sollen gleich lang und in ihren elektrischen Eigenschaften (wie z. B. Kabelkapazität usw.) identisch sein.

Der Anschluß von Tonabnehmersystemen an NF-Verstärker

Werden für eine Schallplattenübertragungsanlage Geräte herangezogen, die entwicklungsmäßig nicht ohne weiteres zusammengehören, entstehen – bei Aufrechterhaltung des HiFi-Gedankens – gewisse Probleme.

Der Anschluß von Tonabnehmersystemen an das Wiedergabegerät erfordert eine genaue Kenntnis der Eigenschaften des Systems sowie des NF-Wiedergabegerätes. Die Anpassung an den Verstärker-Eingangswiderstand und die Entzerrung des Frequenzverlaufes des Übertragungsweges entscheiden in hohem Maße die Übertragungsgüte und Wiedergabequalität.

Anschluß von Kristalltonabnehmern

Je höher der Wechselstrom-Innenwiderstand Z_i des Systems, desto empfindlicher reagiert es auf die Belastung und die Leitungskapazitäten. Solange der fast rein kapazitive Innenwiderstand des Kristallsystems klein ist gegen den äußeren Belastungswiderstand R_a , ist die Frequenzgangbeeinflussung unbedeutend (Abb. 66). Die Wiedergabegüte einer Schallplattenübertragung wird jetzt in wesentlichen von dem Frequenzgang des unbelastet bzw. schwach belasteten, nicht entzerrten Abtastsystems bestimmt. Die Spannung eines Tonabnehmer-Kristallsystems ist proportional den abgetasteten Amplituden auf der Schallplatte. Den Amplitudenverlauf auf der Schallplatte bei einer Aufzeichnung der 3180, 318 und $50 \mu s$ Schneidkennlinie zeigt Abb. 67. Ein gutes Kristallsystem würde also die Schneidkennlinie annähernd ausgleichen und einen ausreichend geraden Frequenzgang erzielen (Abb. 39).

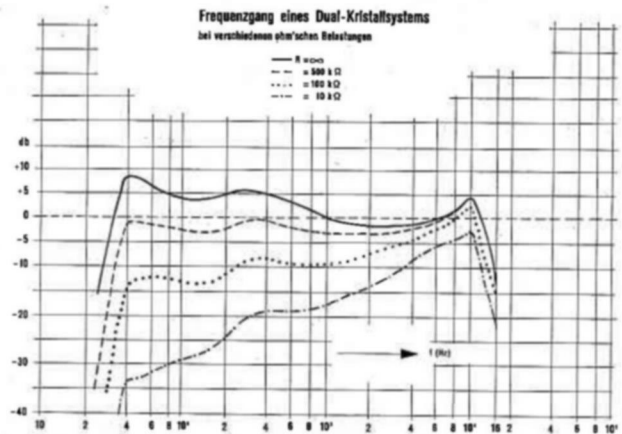


Abb. 66

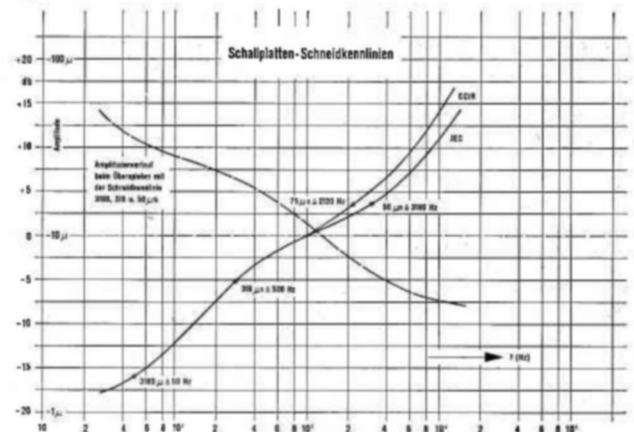


Abb. 67

Es gab eine Zeit, da jede Schallplattenfirma ihre Platten nach einer eigenen Schneidkennlinie schnitt, so daß bei der Wiedergabe für die verschiedenen Schallplattenmarken theoretisch ebenso viele Korrekturmöglichkeiten vorhanden sein mußten. Im Jahre 1956 ist eine Regelung auf internationaler Basis zustande gekommen. Genormt sind heute lediglich zwei Schneidkennlinien, die in Amerika verwandt nach RIAA (Record Industries Association of America) 3180, 318 und $75 \mu\text{s}$ und die in Europa bisher allgemein eingeführte Kennlinie 3180, 318 und $50 \mu\text{s}$ nach CCIR (Control Comitee of International Regulations). Obwohl sich diese beiden Schneidkennlinien nicht wesentlich voneinander unterscheiden, kommt es doch häufig vor, daß bei den europäischen Schallplatten im Vergleich zu den amerikanischen bei der Wiedergabe weniger Höhen festgestellt werden. Das liegt nicht an der Plattenqualität, sondern an der falschen Entzerrung in der Wiedergabeanlage. Im allgemeinen wird man jedoch durch den – in modernen Verstärkern vorhandenen – kontinuierlich einstellbaren Höhenregler einen entsprechenden Ausgleich schaffen können, solange nach den Vorschlägen der IEC (International Electrotechnical Commission) die $75\text{-}\mu\text{s}$ -Entzerrung der amerikanischen Norm in Deutschland noch nicht allgemein verwandt wird.

Im Mittel beträgt der Systemscheinwiderstand Z_i bei $800 \text{ Hz} = 250 \text{ k}\Omega \cong 800 \text{ pF}$. Da Z_i frequenzabhängig ist und sich z. B. bei 200 Hz auf ca. $1 \text{ M}\Omega$ erhöht, sollte die Belastung $R_e \geq 1 \text{ M}\Omega$ sein.

Den – in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur – nicht konstanten Scheinwiderstandsverlauf zeigt Abb. 68. Daraus ist ersichtlich, daß Z_i bei $T > 20^\circ \text{C}$ stark ansteigt. Ist der Eingangswiderstand R_e eines Verstärkers gleich groß oder geringer als Z_i , setzt ein Tiefenabfall ein, dessen Frequenzverlauf durch die Betrachtung der Parallelschaltung ($R_e \parallel Z_i$) leicht abgeschätzt werden kann. Die Empfindlichkeit eines guten Kristall-Tonabnehmersystems, z. B. Dual CDS 420, beträgt rd. 100 mVs/cm . Bei einer vollausgesteuerten Stereo-Schallplatte würde ein unbelastetes System max. $8 \text{ cm/s} \cdot 100 \text{ mVs/cm} = 800 \text{ mV}$ liefern. Die mittlere Aussteuerung deutscher Schallplatten beträgt bei klassischer Musik nur ca. 30% ; von den einzelnen Aussteuerungsspitzen abgesehen, die nur unwesentlich an der Lautstärke beteiligt sind. Hiermit verringert sich die zur Verfügung stehende Tonfrequenzspannung im Mittel auf $0,3 \cdot 800 \text{ mV} = 240 \text{ mV}$. Für diese Eingangsempfindlichkeit müßte der NF-Wiedergabeteil mindestens bemessen werden. Liegt eine höhere Empfindlichkeit vor, so wird empfohlen, eine Eingangsentzerrung vorzusehen, die den Frequenzverlauf des Systems für den gesamten Tonfrequenzbereich so linearisiert und bedämpft, daß keine Bevorzugung einzelner Frequenzbereiche (Resonanzüberhöhungen) auftritt.

Das unbedingt als geschirmte Leitung erforderliche Verbindungskabel vom System zum Verstärker sollte die Länge $1,5 \text{ m}$ nicht überschreiten.

Sogenannte »Verlängerungen« aus handelsüblichen geschirmten Leitungen sind hier ungeeignet, da eine unzulässig hohe Kabelkapazität eine Verringerung der Empfindlichkeit hervorruft, wie z. B. bei einer Kabelkapazität von 100 pF/m und einer Leitungslänge von 3 m bei 10 kHz das System bereits mit ca. $53 \text{ k}\Omega$ belastet und einen Empfindlichkeitsabfall von $3\text{--}4 \text{ dB}$ bewirkt.

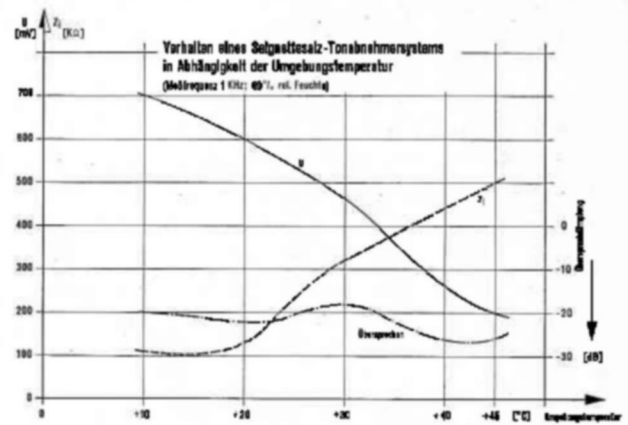


Abb. 68 Einfluß der Umgebungstemperatur auf Spannungsabgabe, Übersprechen und Innenwiderstand bei einem Kristalltonabnehmer.

Wegen der Gefahr erhöhten Übersprechens ist es erforderlich, die Leitungen der beiden Systemkanäle getrennt abzuschirmen. Wobei man darauf achten sollte, daß die Abschirmungen nur an einem Ende des Kabels miteinander verbunden sein dürfen.

Der heute am meisten verwandte Tonabnehmerkristall ist das Seignettesalz. Er verliert seine piezoelektrischen Eigenschaften bei ca. 52°C . Abb. 68 zeigt die Abhängigkeit der elektrischen Größen eines Seignettesalz-Tonabnehmersystems von der Umgebungstemperatur. Diese Eigenschaften der Kristallsysteme zeigen deutlich ihren Nachteil gegenüber einem elektromagnetischen System, wo Temperatureinflüsse kaum auftreten.

So verringert z. B. der Temperaturanstieg von 20° auf 30°C die Empfindlichkeit eines Kristallsystems bei 1 kHz um ca. 25% .

Der Isolationswiderstand zwischen den beiden Kristallbelegen beträgt über $100 \text{ M}\Omega$. Auch deshalb ist ein unbehandeltes Kristallsystem gegen Feuchtigkeit außerordentlich empfindlich. Ist ein Seignettesalz-Tonabnehmerelement gegen Luftfeuchtigkeit ungeschützt, bricht dieser Isolationswiderstand sehr rasch zusammen, da das Element durch die Feuchtigkeit praktisch kurzgeschlossen und damit unbrauchbar wird. Das kann bei sehr hoher Feuchte so weit gehen, daß sich das Element vollkommen zersetzt. Eine Abnutzung infolge häufiger Benutzung tritt bei den Kristallelementen jedoch nicht auf.

Dual hat für seine Kristallsysteme gegen die oben beschriebenen Einflüsse durch eine – sehr aufwendige – Spezialpräparation einen wirksamen Schutz gefunden, so daß es beispielsweise durch keine praktisch vorkommende Luftfeuchtigkeit möglich ist, den Isolationswiderstand von Dual-Kristallsystemen entscheidend zu verringern.

Anschluß von magnetischen und dynamischen Abtastern

Diese Abtaster entsprechen den höchsten Qualitätsanforderungen. Sie sind elektrisch wesentlich unempfindlicher und können im Gegensatz zu den Kristallsystemen eine normale Rundfunkgeräte-NF-Endstufe nicht aussteuern und werden deshalb in vielen Fällen mit einem speziellen Entzerrer-Vorverstärker geliefert (Dual TVV 40 bzw. TVV 43). Der Innenwiderstand eines magnetischen bzw. dynamischen Tonabnehmersystems setzt sich aus einem mit der Frequenz ansteigenden induktiven und einem konstanten ohmschen

Widerstand zusammen. Der komplexe Widerstand beträgt bei einem Magnetsystem bei 10^3 Hz ca. 1,5–5 k Ω . Bei einem dynamischen System beträgt er aus konstruktionsbedingten Gründen nur 1,5 Ω .

Dynamische Stereosysteme stellen unter den Tonabnehmern das „Nonplusultra“ dar. Sie werden nur in Verbindung mit hochwertigen Plattenabspielgeräten (Turntables) angewandt.

Dimensionierung von Schneidkennlinien-Entzerrungen

Der Verlauf der Schallplatten-Schneidkennlinien und der reziproke Verlauf der Tonabnehmer-Entzerrung wird durch die Angabe von drei Zeitkonstanten in Mikrosekunden gekennzeichnet (s. Abb. 69). Unter einem Entzerrer versteht man im allgemeinen ein RC-Netzwerk (evtl. auch mit Induktivitäten), welches einen bestimmten Teil des übertragenen Frequenzbereiches in der Amplitude beeinflusst, also entweder schwächt oder anhebt. Dadurch sollen beispielsweise in einem Entzerrer-Vorverstärker die beim Schallplattenschnitt vorgenommenen linearen Entzerrungen aufgehoben werden, damit am Ausgang des Entzerrers ein geradliniger Frequenzgang vorliegt.

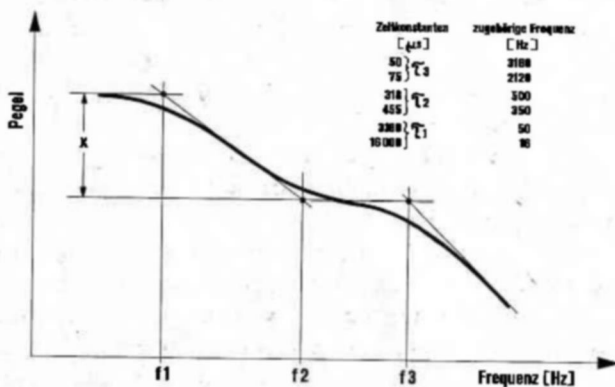


Abb. 69 Verstärker-Frequenzgang zur Entzerrung der Schallplatten-Schneidkennlinie

Obwohl sich im Prinzip die in den verschiedenen Ländern eingeführten Kennlinien nicht wesentlich voneinander unterscheiden, können beim Zusammenwirken voneinander abweichenden Kennlinien (also unterschiedliche Schallplatten-Schneidkennlinie und Entzerrung am Verstärker) Klangverfälschungen auftreten.

Will man eine bestimmte Schneidkennlinie (oder die reziproke Entzerrung zur Linearisierung der Schneidkennlinie) durch RC-Glieder wieder nachbilden, so können diese Glieder rechnerisch aus folgenden Beziehungen ermittelt werden: Im Knickpunkt ist $R = 1/\omega C$ und mit $\omega = 2\pi f$ die zugehörige

Frequenz $f = \frac{1}{2\pi RC}$ gegeben. Mit $\tau = RC$ zeigt sich der

Zusammenhang zwischen der Zeitkonstanten und der Übergangsfrequenz $f = \frac{1}{2\pi\tau}$ f in [Hz]; τ in [s].

Berechnungsbeispiel für eine Schneidkennlinien-Entzerrung nach 3180, 318 und 75 μ s.

Beide Abtaster ergeben der Auslenkgeschwindigkeit (Schnelle) proportionale Spannungen. Da die Schallplatten über den gesamten Tonfrequenzbereich nicht mit konstanter Schnelle geschnitten werden, können diese Abtastspannungen auch nicht auf einen Verstärker mit geradem Frequenzgang gegeben werden. Hier ist eine Schneidkennlinienentzerrung unbedingt erforderlich.

Zunächst wird R_1 und R_2 bestimmt. Sie ergeben sich unter Berücksichtigung der Anpassung der RC-Glieder in die gewählte Verstärkerschaltung. Für das nachfolgende Berechnungsbeispiel soll das RC-Glied an eine Anodenfolgestufe (Abb. 70) angeschlossen werden, also muß eine (von R_a abhängige) hochohmige Ausführung gewählt werden.

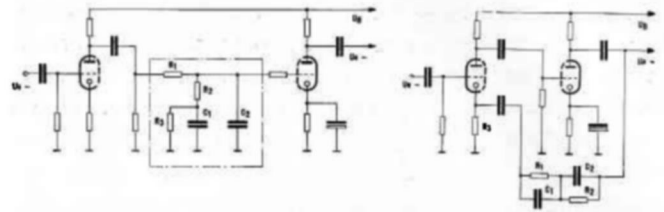


Abb. 70 RC-Glieder zur Entzerrung der Schneidkennlinie in Röhrensaltungen

Bei einer Überhöhung von $x = 20$ dB $\hat{=}$ 10fach wird bei $R_2 = 100$ k Ω

$$R_1 = R_2 \cdot (x-1) = 100 \text{ k}\Omega (10-1) = 900 \text{ k}\Omega$$

Dann ergeben sich folgende R- und C-Werte:

$$C_1 = \frac{\tau_2}{R_2} = \frac{318 \cdot 10^{-6} \text{ s}}{100 \text{ k}\Omega} = 3,18 \text{ nF}$$

$$C_2 = \frac{\tau_3}{R_1} = \frac{75 \cdot 10^{-6} \text{ s}}{900 \text{ k}\Omega} = 84 \text{ pF}$$

$$R_3 = \frac{\tau_1}{C_1} = \frac{3180 \cdot 10^{-6} \text{ s}}{3,18 \cdot 10^{-9} \text{ F}} = 1 \text{ M}\Omega$$

Werden die frequenzbestimmenden Glieder in den Gegenkoppelungsweg, z. B. einer Doppeltriode, gelegt (Abb. 70), wird dadurch die Verstärkung dieser Doppelstufe im Sinne der gewünschten Entzerrung beeinflusst. Die Auswahl der Widerstände R_1 , R_2 und R_3 bestimmen die Grunddämpfung, also die größtmögliche Tiefenanhebung. Die zu den Widerständen parallelgeschalteten Kondensatoren bewirken dann eine frequenzabhängige Gegenkopplungsspannung im Sinne der gewünschten Entzerrung. Dadurch werden aber die Verzerrungen dieser Stufe ebenfalls frequenzabhängig.

$$f_1 = \frac{1}{2\pi R_2 \cdot C_2} \quad f_2 = \frac{1}{2\pi R_1 \cdot C_2} \quad f_3 = \frac{1}{2\pi \cdot R_1 \cdot C_1}$$

In der Praxis wird es erforderlich sein, die nach obigen Formeln errechneten Werte nach erfolgter Messung am fertigen Gerät zu korrigieren (Abstimmung auf handelsübliche C- und R-Werte). Soll in einem vorliegenden Verstärker eine der Zeitkonstanten umgestellt werden, so ist vorher der Einfluß des betreffenden RC-Gliedes auf die beiden anderen Zeitkonstanten zu überprüfen, da in der Regel eine doppelte Ausnutzung der Bauteile vorgenommen wird.

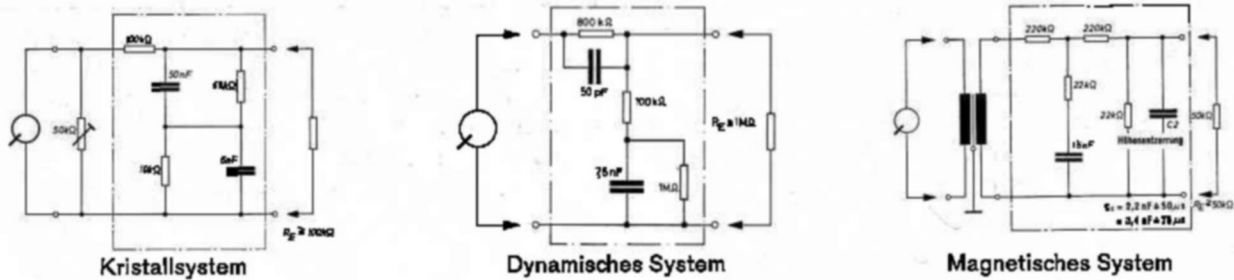


Abb. 71 Schneidkennlinien-Entzerrungen für Kristall-, magnetische und dynamische Systeme

Die Abbildung 71 zeigt praktisch erprobte Schneidkennlinienentzerrungen.

Der Belastungswiderstand beim Magnetsystem liegt in der Größenordnung 5–60 kΩ. Er ist abhängig vom Innenwiderstand des Systems und wird gleichzeitig zur Resonanzbedämpfung und zur Linearisierung in den hohen Frequenzbereichen festgelegt. So kann – wenn man diesen Wider-

stand in gewissen Grenzen variiert – zu jedem System ein optimaler Belastungswiderstand gefunden und damit ein weitgehend gerader Frequenzgang erreicht werden. Das gilt auch für die Parallelschaltung der Kanäle bei Monobetrieb (s. auch Abb. 54).

Die Empfindlichkeit eines Stereo-Magnetsystems beträgt ca. 1 mVs/cm; d. h. bei Vollaussteuerung stände – allerdings noch nicht nach der Schneidkennlinie entzerrt – ca. 8 mV zur Verfügung. Das weitaus unempfindlichere dynamische System (0,06 mVs/cm) kann nur rund 0,5 mV liefern. Hier wird ein Übertrager (ca. 1:400) erforderlich, so daß man an der Sekundärspule dann etwa 150–200 mV an 240 kΩ erhält. Auch hier muß dann noch eine Entzerrung vorgesehen werden. Derartige Entzerrungsglieder sind in jedem der beiden Verstärkerkanäle erforderlich und sollten genau übereinstimmen.

Wegen des geringen Pegels wird man beim Magnetsystem die Entzerrung zweckmäßigerweise nach der 1. Verstärkerstufe vornehmen (Abb. 70).

Für eine genaue Schneidkennlinienentzerrung ist eine Verstärkungsreserve von ca. 25 dB erforderlich. Wird die Entzerrung in einen Gegenkopplungsweg gelegt, sollte beachtet werden, daß damit die verzerrungsmindernde Wirkung der Gegenkopplung frequenzabhängig wird (siehe auch Seite 34).

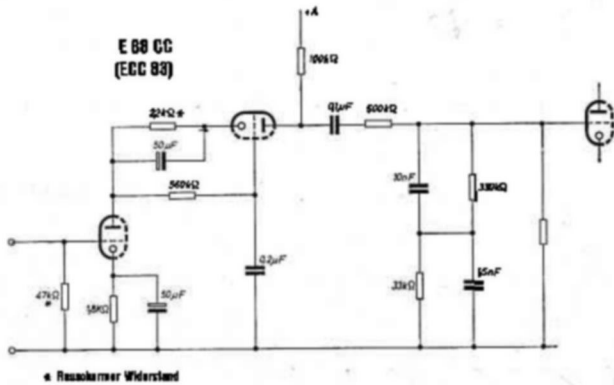


Abb. 72 Rauscharme Cascode-Eingangsstufe für ein Magnetsystem mit Schneidkennlinien-Entzerrung

Tonabnehmer-Umrüstung von Kristall- auf Magnetsystem

Grundsätzlich ist eine Umrüstung möglich, falls das Magnetsystem in den Tonarm eingebaut werden kann. Es ist jedoch folgendes zu beachten:

Magnetsysteme können mit geringerer Auflagekraft betrieben werden als Kristallsysteme. Da Magnetsysteme meist schwerer sind als Kristallsysteme, muß die Auflagekraft des Tonarms mit ausreichendem Spielraum nachträglich verringert werden können. Magnetische Systeme sind gegen magnetische Fremdfelder sehr empfindlich. Normale Laufwerkmotoren für Laufwerke mit Kristallsystembestückung haben für die Verwendung von Magnetsystemen keine ausreichende Streufeldabschirmung. (Brummstörungen!)

Die Spannungsabgabe eines Magnetsystems beträgt rund hundertmal weniger als beim Kristallsystem. Außerdem muß der System-Frequenzgang entzerrt werden. Es ist also ein zusätzlicher Entzerrer-Verstärker erforderlich, wenn für die Verstärkung der Tonfrequenzspannung nur die bisherige Verstärkung (z. B. Rundfunkgerät) zur Verfügung steht.

Vergleich der optimalen technischen Daten zwischen dem Kristall- und Magnetsystem.

	Kristallsystem	Magnetsystem
Frequenzgang	30–12 000 Hz	10–30 000 Hz
Innenwiderstand bei 10 ³ Hz	250 kΩ	2,5 kΩ
Belastung durch R _E -Verstärker	≥ 500 kΩ	5–60 kΩ
Spannungsabgabe (max.)	0,8–1,5 V	0,8–15 mV
Kanaltrennung bei 10 ³ Hz	20–25 dB	25–30 dB
Klirrfaktor bei 10 ³ Hz	3–5 ‰	1–3 ‰
Intermodulationsfaktor 400/4000 Hz	4–10 ‰	1–3 ‰
Compliance	0,5–2 · 10 ⁻⁴ $\frac{\text{cm}}{\text{dyn}}$	20–40 · 10 ⁻⁴ $\frac{\text{cm}}{\text{dyn}}$
Auflagekraft (min.)	3 p	0,5 p

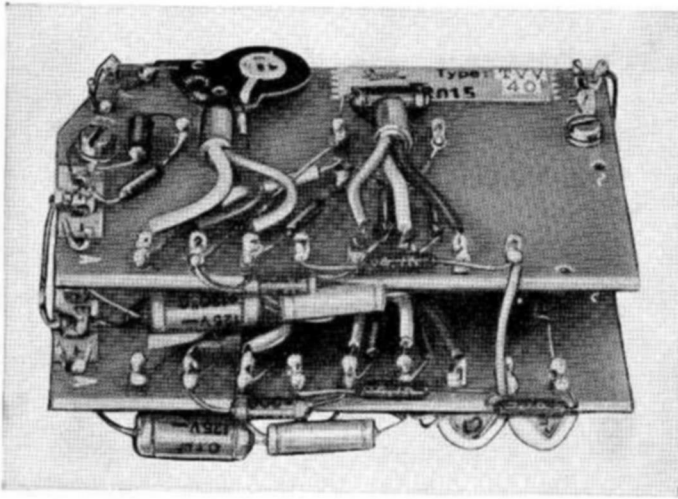


Abb. 78 Transistoren-Entzerrer-Vorverstärker zum Anbau unter ein Laufwerk-Chassis (Betriebsspannung wird von der Motorwicklung abgenommen).

Abb. 73 zeigt einen transistorisierten Stereo-Entzerrer-Vorverstärker. Er kann durch seine geringen Abmessungen direkt unter dem Laufwerkchassis angebracht werden und gestattet den Anschluß an Magnet- und Kristall-Tonabnehmersystemen. Durch diese Kombination eines Entzerrer-Vorverstärkers mit einem geeigneten Laufwerk (z. B. Dual 1006) kann – ohne daß ein zusätzliches Platz- oder Stromversorgungsproblem auftritt – mit einer guten Stereo-Endstufe eine hochwertige Wiedergabeanlage gebildet werden. Abb. 74 zeigt einen separaten Entzerrer-Vorverstärker in kompakter Bauweise. Der Verstärker ist mit einem eigenen 110/220-V-Netzteil ausgerüstet und in einem stabilen Gehäuse (205 x 75 x 60 mm) untergebracht. Er kann somit bequem unter dem Laufwerk-Montageboden montiert bzw.

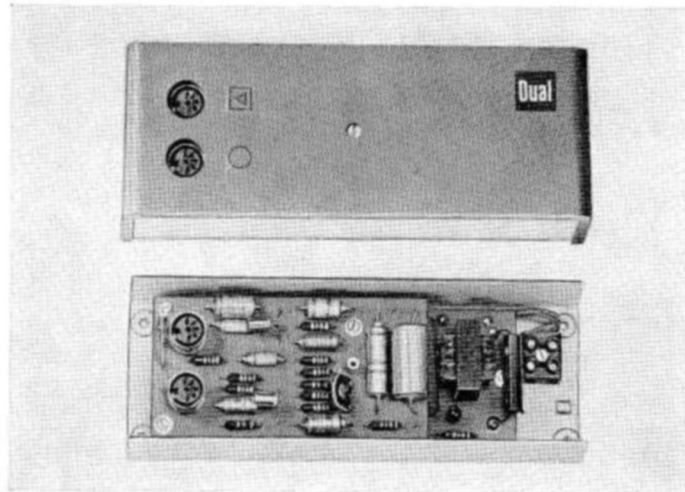


Abb. 74 Separater Entzerrer-Vorverstärker mit eigenem Netzteil und genormten Anschlußbuchsen

abgestellt werden. Ein- und Ausgang sind an DIN-Buchsen geführt, so daß für seinen Anschluß zum Laufwerk und Wiedergabe-Verstärker keine Lötarbeit erforderlich ist. Der temperaturstabilisierte 2 x 2stufige Verstärker liefert am Ausgang – bei geradem Frequenzgang – eine Spannung, die je nach der Empfindlichkeit des benutzten Systems mit

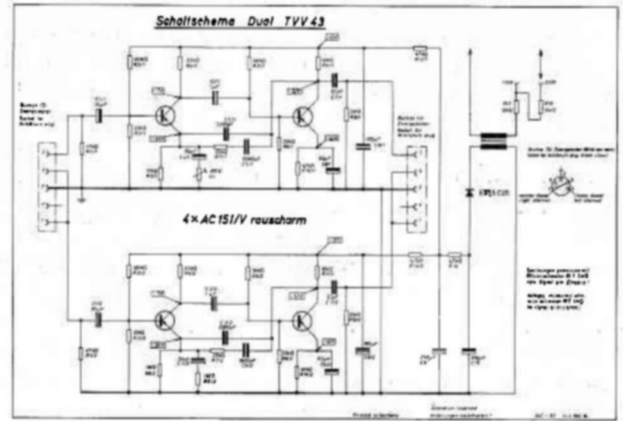


Abb. 75 Stromlauf im Dual TVV 43 mit eigenem 110/220 V-Netzteil

0,8 bis 1,5 V etwa der Ausgangsspannung eines normalen Kristallsystems entspricht. Der Störabstand ist > 70 dB. Die Eingangsimpedanz beträgt ca. 20 kΩ und ist damit auf den erforderlichen Abschlußwiderstand der gebräuchlichsten Magnetsysteme abgestimmt. Die Entzerrung der Schneidkennlinie ist nach 3180, 318 und 75 μs vorgenommen.

Damit bei der Inbetriebnahme einer Phonoanlage mit Entzerrer-Vorverstärker derselbe nicht separat geschaltet zu werden braucht, ist an den neuen Dual-Abspielgeräten der Laufwerkschalter so ausgelegt, daß sowohl Vorverstärker als auch Hauptverstärker mit dem Laufwerkschalter an das Netz geschaltet werden kann. Dieser Schalter kann eine zusätzliche Schaltlast von 300 VA bewältigen, so daß auch größere Leistungsstufen geschaltet werden können. Wegen der fortfallenden Anheizzeit lassen sich besonders

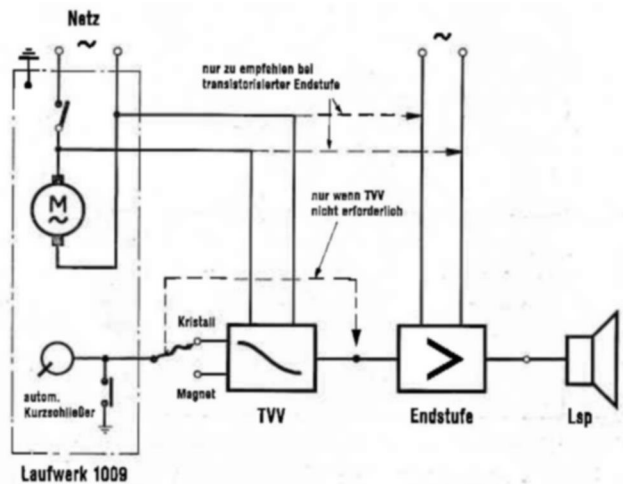


Abb. 76 Inbetriebnahme der Verstärkeranlage über den Laufwerk-Netzschalter

günstig Transistoren-Verstärker auf diese Art an das Netz schalten, da ja die gesamte Phonoanlage unmittelbar nach der Inbetriebnahme des Plattenspieler spielbereit ist und ebenso die Verstärkeranlage nach Abspielen der letzten Platte automatisch mit dem Laufwerk abgeschaltet wird (Abschaltautomatik). Siehe Abb. 76.

78 und $16\frac{2}{3}$ UpM - überflüssig?

Man findet kaum ein modernes Plattenabspielgerät, an dem nicht die Plattenteller-Drehzahlen 78 und $16\frac{2}{3}$ eingestellt werden können. Es mangelt nicht an Stimmen, diese Tourenzahlen, zumindestens bei HiFi-Geräten, zur Kostensenkung und Qualitätssteigerung doch fortfallen zu lassen.

Abgesehen davon, daß sich dadurch nur eine unwesentliche Kostenersparnis ergeben würde, bleibt die Qualität des Antriebes für die Tourenzahlen $33\frac{1}{3}$ und 45 UpM vom Vorhandensein der anderen beiden Drehzahlen unbeeinflusst. Abwohl 78er-Platten schon seit Jahren nicht mehr gepreßt werden, möchten doch viele Musikfreunde auf die Abspielmöglichkeit ihrer zum Teil unersetzbaren historischen Aufnahmen auf Schellack-Platten mit 78 UpM nicht verzichten, und ein Weglassen dieser Tourenzahl könnte daher sehr leicht bemängelt werden.

Die allgemeine Tendenz, die Spielzeit für einen Tonträger zu erhöhen, wirkte sich gleichermaßen auf Bandgeräte und Schallplattenspieler aus. Man glaubte, für Sprachaufnahmen, die mit der Verringerung der Tonträgergeschwindigkeit verbundene Qualitätsverschlechterung in Kauf nehmen zu können, um z. B. zur Vertonung von Büchern, Schauspielen, Sprachkursen usw. mit geringstem Tonträgermaterial auszukommen. Dagegen wäre im Prinzip nichts zu sagen, solange für den Interessierten die von der Aufzeichnung und Abtastung abhängige verminderte Qualität der Wiedergabe ausreicht. Den erheblichen durchmesserabhän-

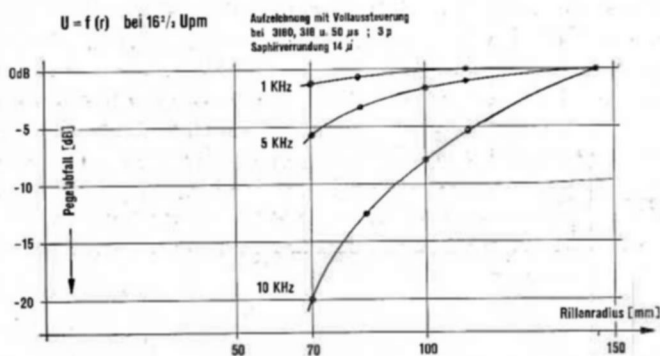


Abb. 77 Durchmesserabhängiger Pegelabfall beim Abtasten einer $16\frac{2}{3}$ -UpM-Platte

gigen Pegelverlust beim Abtasten einer $16\frac{2}{3}$ -UpM-Platte bei verschiedenen Frequenzen zeigt die Abb. 77. Während sich bei Bandgeräten die Bandgeschwindigkeit von 2,4 cm/sec für Sprachaufnahmen (speziell bei Diktiergeräten) eingeführt hat, sind $16\frac{2}{3}$ -UpM-Platten zumindestens in Europa kaum zu haben. In bezug auf die Spielzeiten erreichte man laut eingehenden physikalischen Untersuchungen der Schallplatten-Industrie auf der 25-cm-Platte mit $33\frac{1}{3}$ UpM und Füllschrift mehr, als auf einer 17-cm-Platte mit $16\frac{2}{3}$ UpM, die doch nur auf einer Spiegelbreite von ca. 35 mm bespielt werden kann. Da außerdem der Preis einer Schallplatte im wesentlichen nicht durch den Materialaufwand, sondern durch GEMA- und Künstler-Gebühren bestimmt ist, bestände auch von der Seite her keine zwingende Notwendigkeit für die Einführung einer $16\frac{2}{3}$ -UpM-Platte.

Da es sie in Amerika aber nun gibt und demzufolge die Drehzahl an den dort produzierten Abspielgeräten durchweg vorhanden ist, würde es unsere Exportaufträge sicherlich negativ beeinflussen, wenn die $16\frac{2}{3}$ -Tourenzahl-Einstellmöglichkeit nicht vorhanden wäre. Speziell für den deutschen Markt ist sie zur Zeit jedoch noch nicht ausnutzbar. Ob sie damit überflüssig ist, bleibt abzuwarten.

Was ist HF-Stereophonie?

Obwohl die Stereophonie ihren praktischen Wert ausschließlich im Bereich der hörbaren Töne, also der Niederfrequenz (NF) hat, spricht man von einer sogenannten Hochfrequenz (HF)-Stereophonie. Sie dient jedoch nur dazu, die NF-Stereophonie auch bei der Übertragung von Rundfunksendungen anwenden zu können. Mit HF-Stereophonie wird ganz allgemein die Modulation einer hochfrequenten Trägerwelle mit den NF-Informationen der beiden Stereokanäle L (links) und R (rechts) bezeichnet. Die in bekannter Weise gewonnenen NF-Stereoinformationen L und R müssen für eine elektromagnetische Ausstrahlung über Rundfunksender einer — dem betreffenden Sender zugeordneten — Trägerwelle aufmoduliert werden. Da jedoch diese beiden voneinander verschiedenen NF-Informationen die Trägerwelle nicht gleichartig modulieren können, werden sie in einer besonderen Schaltung zunächst zu einem Summensignal L+R und einem Differenzsignal L-R zusammengefügt. Während das Summensignal L+R nun die UKW-Trägerfrequenz mit optimaler Bandbreite frequenzmoduliert, wird in der sogenannten Zweiseitenband-Amplitudenmodulation das Differenzsignal L-R einem 38-kHz-Hilfsträger aufmoduliert. Der Hilfsträger wird später unterdrückt und das nunmehr trägerlose Signal wird dem L+R-Signal zugefügt. Zusätzlich mit einem 19-kHz-Pilotton ist damit ein Multiplex-Signal entstanden, dessen Zusammensetzung es gestattet, einen Stereo-Rundfunkempfänger, wie bisher in bekannter Weise, nur auf eine Empfangsfrequenz abzustimmen. Die Addition L+R ist erforderlich, weil man auch mit HF-Monogeräten bisher bekannter Bauart die Stereo-Sendung empfangen möchte. Das Multiplex-Signal ist damit also kompatibel.

Im Empfänger muß das von der Antenne aufgenommene Multiplex-Signal wieder decodiert werden. Das geschieht in dem sogenannten Decoder. Am Ausgang dieser, nicht umfang- aber sinnreichen Schaltung — die das Signal L+R mit L-R addiert, L-R von L+R subtrahiert — stehen, einschließlich der Erzeugung des 38-kHz-Trägers aus der 19-kHz-Pilotton-Frequenz, wieder die voneinander getrennten Signale L und R zur Verfügung. In der Stereo-Endstufe des Rundfunkgerätes werden diese beiden Spannungen verstärkt und über mindestens einen Lautsprecher pro Kanal abgestrahlt. Eine derartige Rundfunkgeräte-Stereo-Endstufe unterscheidet sich im Aufbau und in der Arbeitsweise nicht von einem Stereo-Phono-Verstärker. Über ein Stereo-Rundfunkgerät kann eine Stereo-Schallplatten-Wiedergabe somit ohne weiteres durchgeführt werden. Die Anschlüsse für den Stereo-Plattenspieler sind — wie bisher bei den Monogeräten — an der Rückseite des Rundfunkgerätes vorgesehen. Lautstärke-, Klang- und Balanceregulierung sowie die Umschaltung Mono-Stereo können ebenfalls durch die Bedienungselemente des Rundfunkgerätes vorgenommen werden. Wenn auch das Stereo-Rundfunkgerät eine besonders einfache und billige Möglichkeit der Stereo-Schallplatten-Wiedergabe darstellt, so kann es jedoch für anspruchsvolle Stereoanlagen (z. B. mit Magnetsystem) günstiger sein, die gesamte Stereoanlage (also HF- und NF-Teil sowie Lautsprecher) in Komponenten aufzuteilen, da insbesondere die Abstrahlbasis — wie sie die Rundfunkgerätegehäuse bei Stereowiedergabe zulassen — naturgemäß sehr beengt ist. Die vielfältigen Möglichkeiten, eine Stereoanlage für Rundfunk und Phono individuell zusammenzustellen, sind bei der Komponenten-Bauweise besonders günstig (siehe auch Seite 48).

Geräte-Anschluß und Kontaktbelegungen genormter Phono-Steckverbindungen

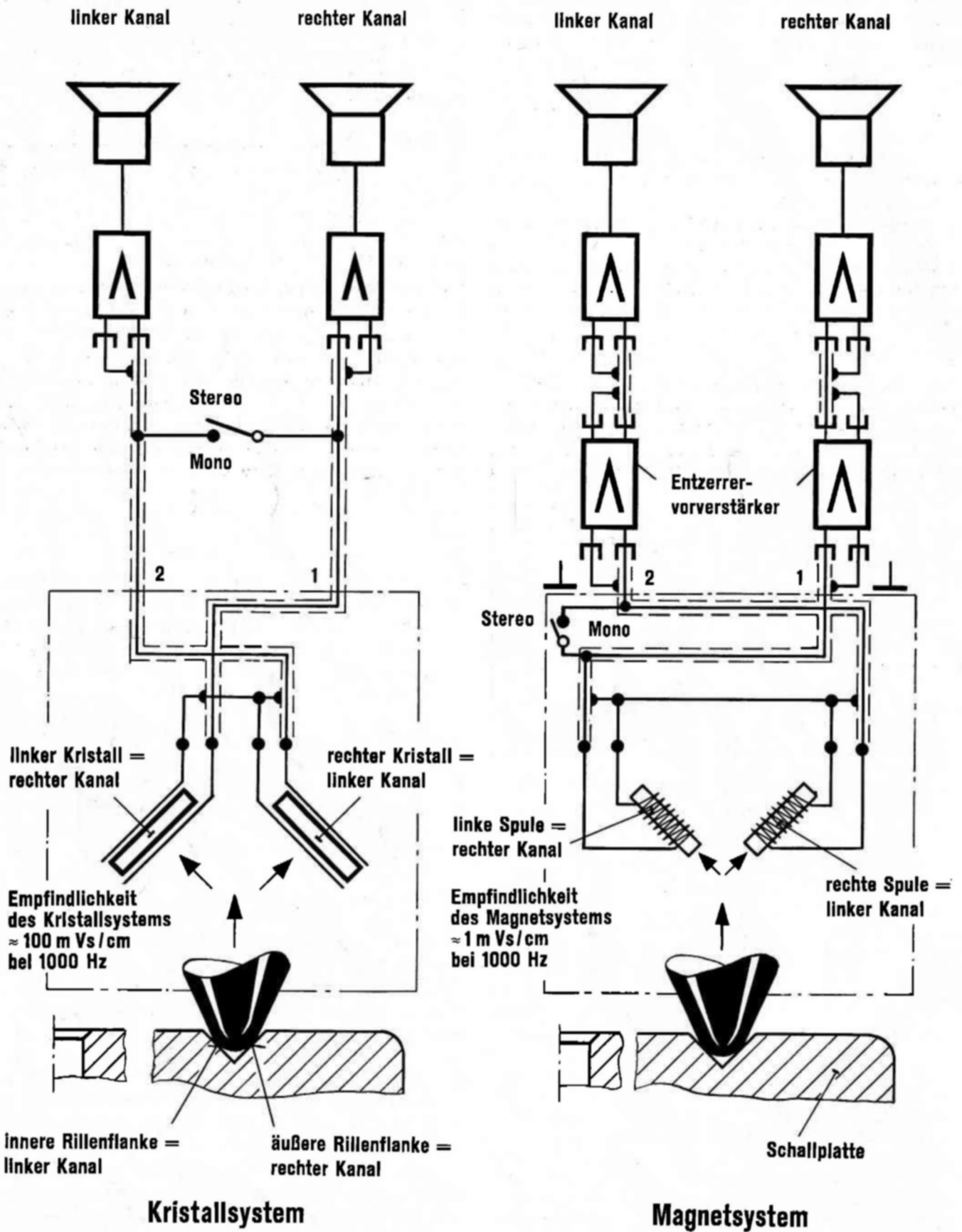


Abb. 78

In der Abb. 78 ist der NF-Stromlauf für eine Phonoanlage mit einem Kristallsystem und einem Magnetsystem gezeichnet. Die Anschlüsse für das Tonabnehmerkabel am Plattenspieler oder -wechsler sind bei allen Dual-Stereo-Geräten in gleicher Weise bezeichnet, und zwar der Anschluß für den linken Kanal mit 2 und für den rechten Kanal mit 1. Diese Anschlußbezeichnung befindet sich an den Anschlußklemmen des Tonabnehmerkabels unter dem Laufwerkchassis. Bei der Anlage mit dem Magnetsystem ist ein Entzerrer-Vorverstärker erforderlich, der die besondere Eigenart des Magnetsystems gegenüber dem Kristallsystem ausgleicht. Selbstverständlich kann an Stelle der gezeichneten Einzelverstärker (für jeden Kanal) ein spezieller Stereoverstärker verwandt werden, wobei natürlich auf richtigen Anschluß geachtet werden muß.

Die Tonabnehmerkabel der Dual-Stereogeräte können neben den in Abb. 79 ersichtlichen fünf Bananensteckern auch mit dem in Abb. 80 veranschaulichten Zwergstecker nach DIN 41 524 oder mit den in der Abb. 81 dargestellten Cynch-Steckern bestückt sein. Für die Steckertypen nach Abb. 80 ist am Eingang des Wiedergabegerätes eine der Buchsen nach Abb. 83 bzw. 84, für die Steckertypen nach Abb. 81 sind Buchsen nach Abb. 85 erforderlich. Während früher die Tonabnehmerleitungen ausschließlich mit Bananensteckern bestückt wurden, werden heute die genormten mehrpoligen Kleinstecker verwandt. So ist es möglich, daß sich ein modernes Plattenabspielgerät nicht sofort z. B. an ein älteres

Rundfunkgerät anschließen läßt. Für einen derartigen Fall hat jedoch der Fachhändler Übergangsstücke von der einen zur anderen Steckerart bereit.

Eine besondere Erdleitung wird sich bei richtiger Zusammenschaltung der Phonogeräte im allgemeinen erübrigen. Es ist jedoch bei hochwertigen, brummempfindlichen Anlagen (mit Magnetsystem) oft vorteilhaft, eine Erdung der Anlage vorzunehmen (2,5-mm²-Cu-Leitung zur Heizungs- oder Wasserleitung). Der günstigste Anschlußpunkt (Laufwerkchassis oder Verstärker) wird zweckmäßigerweise ausprobiert.

Beim Anschluß an einen Allstromempfänger oder Empfänger mit Spartransformator ist eine besondere Schutzerdung des Chassis erforderlich, für die an der Anschlußplatte des Gerätes eine Lötöse freigehalten ist. Bei Verwendung des Gerätes für gewerbliche Zwecke ist in jedem Fall eine Schutzerdung nach VDE notwendig.

Die beim Schallplattenhandel erhältlichen Stereo-Demonstrations- und Prüfplatten (z. B. DG 220495) gestatten eine akustische Kontrolle der zusammengestellten Anlage. Hierzu sind keine speziellen Meßeinrichtungen erforderlich. So kann beispielsweise u. a. die Seitenrichtigkeit, Lautstärke- und Klanggleichheit der Kanäle akustisch sofort durch einen vorher eindeutig erklärten Musiktest kontrolliert werden. Diese Schallplatten leisten auch für den Reparaturdienst ausgezeichnete Hilfe.

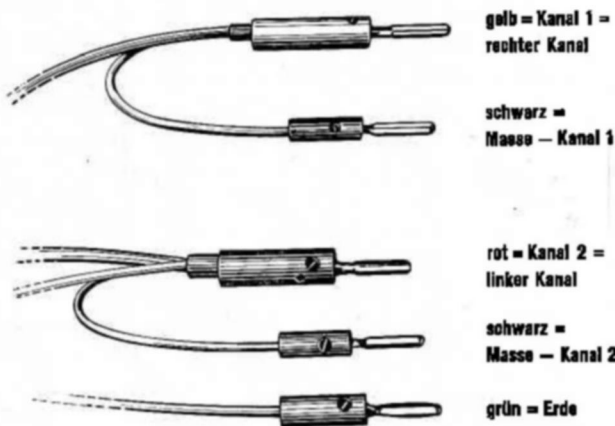


Abb. 79



Abb. 80

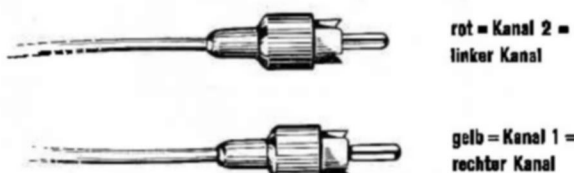


Abb. 81

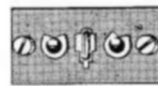


Abb. 82



Abb. 83



Abb. 84



Abb. 85

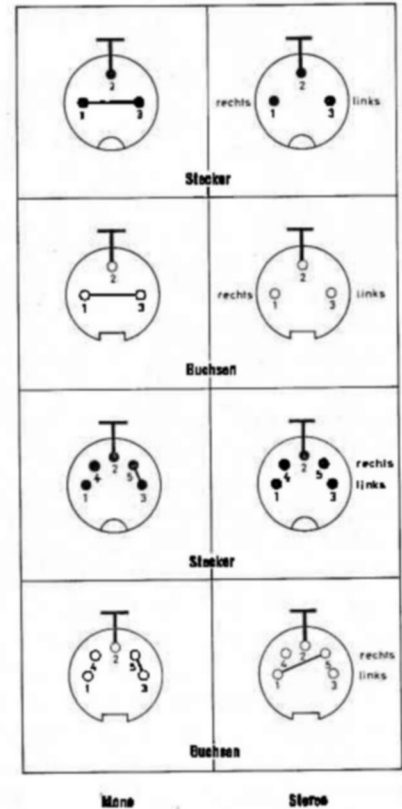


Abb. 86

Anordnung der Stereo-Anlage im Raum

Stellt man eine Stereo-Anlage aus einkanaligen Übertragungsgliedern zusammen, sollte man der Lautsprecherabstrahlung der beiden Kanäle erhöhte Beachtung zuwenden. Eine Stereo-Wiedergabe ist nicht dadurch definiert, daß die beiden Lautsprecher oder Lautsprechergruppen unabhängig voneinander verschiedene Klangbilder oder die Klangbilder verschiedener Instrumente abstrahlen, ihr muß vielmehr die Breiten- und Tiefenwirkung – die Plastik – der Originaldarbietung innewohnen. Der Platz jedes einzelnen Instrumentes muß sich sowohl in der Tiefe als auch in der Breite eines Orchesters lokalisieren lassen.

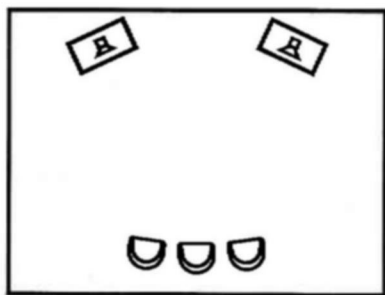


Abb. 87 Günstige Anordnung der Lautsprecher in Räumen mit rechteckiger Grundfläche und schallharten Wänden

Streng genommen dürfen sich die Abstrahlcharakteristika der Lautsprecher nicht voneinander unterscheiden. So wäre eine Stereo-Wiedergabe recht fragwürdig, wenn man beispielsweise für den Kanal 1 eine Musiktruhe mit mehreren Lautsprechern (evtl. in 3-D-Anordnung) und für den Kanal 2 nur einen kleinen Zusatzverstärker mit Lautsprecher verwendete. Das akustische Gleichgewicht zwischen den Kanälen muß annähernd gewährleistet sein, wenn man nicht die von der Stereo-Platte genau ausgewogene Verteilung des Stereo-Klangbildes völlig verfälschen will. Die Benachteiligung eines Kanales, sei sie durch den Tonabnehmer, den Verstärker oder den Lautsprecher verursacht, kommt einem halb abgedeckten Orchester gleich, gleichsam einer Bühne mit halb zugezogenem Vorhang. Die Gleichwertigkeit für beide Stereo-Kanäle sollte weitgehend auch vom Wiedergaberaum her gegeben sein. Eine gute Stereo-Wiedergabe wird sich vornehmlich in Räumen geringer und gleicher Seitenreflexionen erzielen lassen. Reflektierende bzw. schallschluckende Wände oder Gegenstände in der Umgebung der Lautsprecher verursachen sehr leicht eine Ortungs- oder Klangbildverschiebung, die sich nicht immer mit dem Symmetrie- bzw. Klangregler voll ausgleichen lassen. Bei schallharten Wänden werden sich in Räumen mit rechteckiger Grundfläche gute Ergebnisse erzielen lassen, wenn die Lautsprecher raumsymmetrisch an einer längeren Wand angeordnet sind, wie das die Abb. 87 zeigt. Aber auch in Räumen anderer Grundflächen-Geometrie läßt sich einwandfrei Stereo-Wiedergabe erzielen, wenn die Bedingung gleicher Seitenreflexion annähernd erfüllt ist. Der Stereo-Eindruck wird beispielsweise bei einer Anordnung der Lautsprecher nach Abb. 88 erheblich beeinträchtigt, weil die Fensterfront die akustische Symmetrie des Raumes durch übermäßige Schallreflektion stark stört. Diesem Nachteil des Wiedergaberaumes kann entweder durch Vorhänge an den Fen-

stern (Verringerung der zu starken Reflektion) oder durch Aufstellung der Lautsprecher nach Abb. 89 begegnet werden.

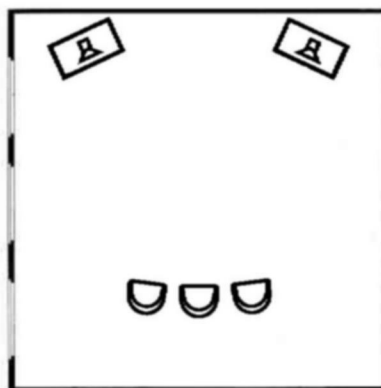


Abb. 88 Ungünstige Anordnung der Lautsprecher, akustische Symmetrie des Raumes durch Fensterfront gestört

Eine andere interessante Art der Lautsprecheranordnung ist aus Abb. 90 zu ersehen. Die Lautsprecher sind hier

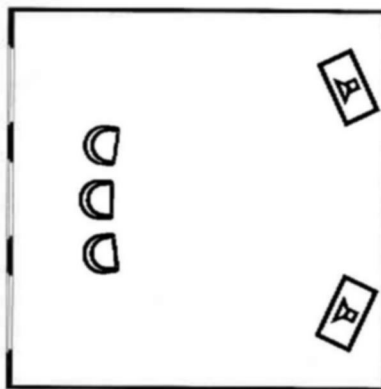


Abb. 89 Günstige Anordnung der Lautsprecher in Räumen mit einseitig übermäßiger Schallreflektion (vergl. Abb. 88)

symmetrisch zu einer Raumecke angeordnet, die nach Art eines Resonators für tiefe Frequenzen unterstützend wirkt.

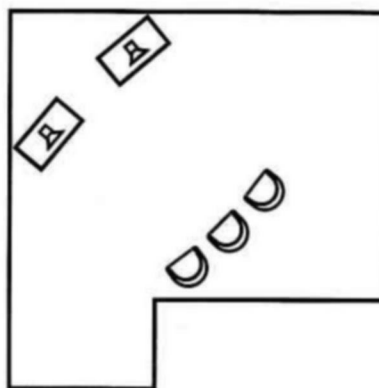


Abb. 90 Günstige Anordnung der Lautsprecher im geometrisch ungünstigen Raum

In manchen geometrisch ungünstigen Wohnräumen mag diese Lautsprecher-Anordnung gute Ergebnisse der Stereo-Wiedergabe bringen. Der Abstand der beiden Lautsprecher muß in jedem Falle den raumakustischen Verhältnissen angepaßt sein. Er soll dem räumlich günstigen Hörer-Abstand entsprechen. Die Abstrahl-Richtung der Lautsprecher ist so zu wählen, daß sich ihre Mittelachsen etwa am Platze des Hörers kreuzen. Die Aufstellung der Lautsprechergehäuse in den Abb. 87–90 ist lediglich schematisch angedeutet. Der aus räumlichen Gründen ungünstige schräge Stand der Boxen mit rechteckiger Grundfläche ist bei hochwertigen industriellen Erzeugnissen – durch entsprechenden Einbau der Lautsprecher – nicht unbedingt erforderlich.

Die Stereo-Hörsamkeit

Bei der Originaldarbietung im Konzertsaal unterscheidet man zwischen akustisch guten und weniger guten Plätzen. Die akustisch günstigsten Plätze liegen etwa auf der Mittellinie des Orchesters, und zwar in einem Abstand, der ungefähr der Breitenausdehnung des Orchesters entspricht. Ähnlich ist es bei der Stereo-Wiedergabe, die dem Hörer die Originaldarbietung in den Wohnraum bringen soll. Der Platz besten Stereo-Eindrucks liegt auf der Mittelsenkrechten der Lautsprecher in einem Abstand, der etwa der Lautsprecherbasis entspricht (siehe Abb. 91). Je nach Lautsprecherbasis (Entfernung der Lautsprecher voneinander) und Richtcharakteristik der Lautsprecher bildet sich im Wiedergaberaum ein Bereich gleicher Hörsamkeit, dessen Fläche in Abb. 91 schraffiert dargestellt ist. In diesem Bereich entspricht der Stereo-Eindruck etwa dem Klangbild im Parkett des Konzertsalles. Es empfiehlt sich deshalb, die Lautsprecher so im Raum anzuordnen, daß der Bereich gleicher Hörsamkeit durch Sitzgruppen genutzt werden kann. In der Praxis wird die Zone gleicher Hörsamkeit besonders an den Randgebieten durch evtl. unterschiedliche Raumreflexionen häufig verschoben. Das läßt sich mit dem Balanceregler ausreichend korrigieren. Plattenspieler und

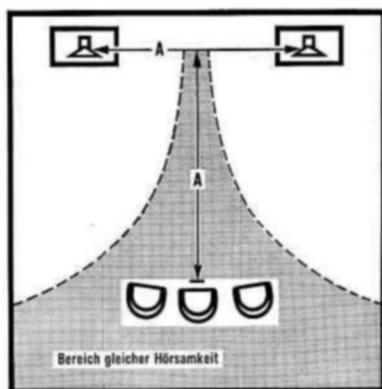


Abb. 91

Verstärkeranlage sollten möglichst im Raum gleicher Hörsamkeit und in Bedienungsnähe des Hörers aufgestellt sein.

Inbetriebnahme der Stereoanlage

Man vergewissere sich zunächst, daß die Anlage entsprechend dem Schaubild Abb. 78 verkabelt ist. Bei seitenverkehrttem Anschluß ergibt sich auch seitenverkehrte Wiedergabe! Der linke Lautsprecher (vom Hörer aus gesehen) muß über den Verstärker an der Anschlußklemme 2 des Plattenspielers liegen. Bei Musiktruhen und kompletten Stereoanlagen werden evtl. lösbare Anschlüsse unverwechselbar gekennzeichnet sein. Bei getrennt aufgestellten Geräten mit mehreren Verbindungsleitungen untereinander kann eine Leitung schon leichter verwechselt werden. Hier ist zunächst zu prüfen, ob die Information der linken Rillenflanke auch vom linken Lautsprecher abgestrahlt wird. Das läßt sich am einfachsten mit einer Testplatte feststellen.

Die Ausbalancierung bzw. Mittenjustierung wird beim Abspielen einer monauralen Mikrorillen-Schallplatte mit den Lautstärkereglern der beiden monauralen Einzel-Verstärker oder dem Balanceregler des Stereoverstärkers so durchgeführt, daß die Schallquelle genau in der Mitte zwischen den beiden Lautsprechern zu liegen scheint. Man kann auch bei Geräten mit einer Stereotaste beim Abspielen einer Stereo-Schallplatte in Stellung O der Stereotaste diese Einstellung vornehmen.

Steht keine Stereo-Prüfplatte zur Verfügung, prüft man die Stereo-Anlage mit einer Mono-Schallplatte und verändert Lautstärke, Klang und räumliche Aufstellung der einzelnen Übertragungswege so lange, bis bei keinem der beiden Kanäle eine einseitig überbetonte Abstrahlung wahrgenommen werden kann. Das Ausbalancieren der Wiedergabekanäle ausschließlich mit einer Musik-Stereoplatte ist nicht ganz einfach. Der – auf beide Kanäle verteilte – musikalische Inhalt müßte entweder bekannt sein oder die Wiedergabe über einen längeren Zeitraum akustisch sorgfältig kontrolliert werden.

Es ist schließlich noch auf phasengleiche Polung der Lautsprecher zu achten. Bei falscher Polung tritt bei tiefen Frequenzen eine Lautstärkeschwächung, verbunden mit geringfügiger Verzerrung auf, und bei mittleren Frequenzen wird die Ortungsmöglichkeit, beispielsweise der einzelnen Schallquellen eines Orchesters, deutlich beeinträchtigt. Falsche Polung darf nicht mit Kanalvertauschen verwechselt werden. Während bei Vertauschen der Kanäle lediglich das Lautsprecherkabel bzw. der Anschluß des Tonabnehmers ausgetauscht zu werden braucht, muß bei falscher Polung bei einem beliebigen Kanal der Anschluß entweder beim Lautsprecher oder beim Tonabnehmersystem umgewechselt werden.

Diese Hinweise sind – wie schon gesagt – nur bei selbst zusammengestellten Baugruppen von besonderer Wichtigkeit, da industrielle Anlagen in dieser Hinsicht vom Hersteller genauestens überprüft werden.

Zur Überprüfung der Schallplattenwiedergabeanlagen hat die Schallplattenindustrie verschiedene Meßplatten herausgebracht, die nicht nur beim Einmessen einer Anlage erforderlich sind, sondern auch bei der laufenden Wartung einer HiFi-Anlage wertvolle Dienste leisten (siehe Seite 43).

Zur Frage des Hörtests

Das letzte und wohl entscheidendste Urteil über eine Wiedergabeanlage fällt jedoch unser Ohr, da es eine ganze Anzahl akustischer Bewertungsfaktoren gibt, die mit objektiven Meßmethoden nicht zu erfassen sind. Bei der Beurteilung der Wiedergabe-Qualität einer Phonoanlage erweist es sich als wesentlicher Nachteil, daß ein unmittelbarer Vergleich mit dem Originalklang nicht möglich ist. Eine richtige Beurteilung erfordert deshalb eine sehr gute Vorstellung von den reproduzierten Klangbildern, die jedoch im allgemeinen von „Nur-Technikern“ nicht erwartet werden kann. Aber auch von Musikern ist nur sehr schwer ein klares Urteil zu erhalten, da sie nicht gewohnt sind, auf die technischen Eigenschaften der Wiedergabe (z. B. Verzerrungen) zu achten, sondern ihre Aufmerksamkeit auf den musikalischen Inhalt der Reproduktion konzentrieren. Der Techniker wird sich vom Zauber der Akkorde und Melodien weniger beeinflussen lassen, aber häufig etwas im Klang suchen, was da nun wirklich nicht hingehört. Infolge des Fehlens einer direkten Vergleichsmöglichkeit ist es beispielsweise sehr schwierig, die Frage zu beantworten, ob der Lautsprecher in seinem linearen Verhalten richtig ausgewogen ist, d. h. ob die Energieanteile der hohen Töne ab etwa 4 kHz im richtigen Verhältnis zu den Energieanteilen der Töne etwa unterhalb 500 Hz stehen, oder ob der mittlere Tonbereich gegenüber den Randbereichen bevorzugt oder benachteiligt wird. Es hat sich bei zahlreichen akustischen Vergleichen gezeigt, daß derartige Gleichgewichtsverschiebungen in den Übertragungseigenschaften mit einem sehr großen Gewicht in die Reproduktion eingehen, und fast immer war es so, daß die Meinungsverschiedenheiten bei mehreren Hörern durch unterschiedliche Auffassungen über das Zuviel oder Zuwenig an Höhen oder Tiefen bedingt waren. Es gibt jedoch noch verschiedene andere Faktoren, die das Urteil beeinflussen können. So ist es beispielsweise von Bedeutung, ob man weiß, daß die Anlage viel oder wenig gekostet hat, ob der Lautsprecher in einem gefälligen Gehäuse sitzt und nicht zuletzt, ob die Apparatur im Vergleich mit anderen Ausführungen angehört wird. Werden verschiedene Anlagen vergleichsweise abgehört, so ist es — insbesondere bei der Beurteilung der Lautsprecher — leicht möglich, durch richtige Auswahl der Klangbilder einen Lautsprecher in seiner Klangtreue einem Vergleichs-Lautsprecher gegenüber als besser erscheinen zu lassen, indem man Klangbilder verwendet, deren Hauptenergieanteile in dem Bereich der guten Übertragungseigenschaften desjenigen Lautsprechers liegen, den man als besser beurteilt haben möchte. Wird beispielsweise das Klangbild einer Geige reproduziert, so kann dieses gegenüber dem wirklichen Original infolge des Frequenzganges des Lautsprechers und der Wiedergabeanlage einige Änderungen erfahren haben. Es ist jedoch durchaus denkbar, daß eine andere Geige im Original gerade das Klangbild besitzt, wie es die Reproduktion aufweist. Subjektive Unterscheidungen im Klangbild werden sich nicht vermeiden lassen und es ist gut, daß es so ist. Trotzdem muß man schon ein beträchtliches Maß an Hörerfahrung und gesunder Selbstkritik aufweisen, um eine Schallplatten-Wiedergabeanlage akustisch beurteilen zu können, denn akustische Eindrücke lassen sich als flüchtige Erscheinungen nicht normieren. In der Praxis der Stereo-Demonstrationen werden die Anlagen sehr oft mit großer Lautstärke betrieben, deshalb wird beim Publikum angenommen, eine Stereowiedergabe müsse lauter als eine monaurale Wiedergabe sein. Das ist jedoch nicht der Fall. Lautstärke sollte man nicht mit Wiedergabequalität verwechseln.

So eindrucksvoll eine große Lautstärke sein kann, in der normalen Mietwohnung wird man sich in der Regel mit

normaler Zimmerlautstärke begnügen müssen. Aber auch bei geringer Lautstärke kann eine richtig dimensionierte Stereoanlage eine gute Stereo-Wiedergabe vermitteln. Wichtig ist dabei, daß sich der — zur Berücksichtigung der bei geringen Lautstärken im Einfluß zunehmenden frequenzabhängigen Ohrempfindlichkeit — Höhen- und Tiefenanteil selbstständig mit der Lautstärkeregelung an die Wiedergabelautstärke anpaßt. Die in den Wiedergabeverstärkern mehr oder weniger sorgfältig dimensionierte physiologische Lautstärkeregelung hebt mit verringerter Lautstärke die Tiefen stark an. Bei einer Lautstärke von ca. 60 phon (mittlere Zimmerlautstärke) muß diese Anhebung bei 30 Hz bezogen auf 10³ Hz immerhin 20fach sein!

Trotz der physiologischen Lautstärkeregelung kann es — gerade bei in kleinen Räumen betriebenen Verstärkern mit großer Endleistung und großen Lautsprecherboxen — vorkommen, daß der Klang bei Zimmerlautstärke unbefriedigend ist. Das kann dann sowohl an der Verstärker- wie auch an der Lautsprecherdimensionierung liegen. Je größer der Unterschied zwischen der minimalen und maximalen Lautstärke, mit der man eine Anlage jeweils betreibt, desto kritischer ist die richtige Dimensionierung und Anpassung von Verstärker und Lautsprecher. Die Beurteilung einer Stereo-Wiedergabeanlage bei geringer Lautstärke sollte daher nicht versäumt werden.

Nicht ohne Einfluß ist außerdem die mit zunehmendem Lebensalter abnehmende Ohrempfindlichkeit für hohe Töne. Vom 20. bis zum 60. Lebensjahr sinkt sie beispielsweise bei 8000 Hz um 32 dB, also um den Faktor 40! Nun ist es nicht für jeden wichtig zu wissen, eine perfekte Wiedergabeanlage zu haben. Eine Anlage erfüllt voll ihren Zweck, wenn der Besitzer mit der akustischen Wiedergabe zufrieden ist, wobei natürlich der Inhalt der Reproduktion — die mit einer bestimmten Anlage wiedergegeben werden soll — eine gewisse Rolle spielt. Ein Konzert für Klavier und Orchester wird an die Anlage höhere Ansprüche stellen, als rhythmische Schlagermusik. Dynamik und Frequenzumfang der Aufzeichnung entsprechen bei letzterer keineswegs den technischen Möglichkeiten, und vielfach wird die Güte einer Wiedergabeanlage erst durch eine anspruchsvolle Schallplatte offensichtlich. Wie weit die Qualität einer Anlage ausreicht, derartige Schallplatten originalgetreu wiederzugeben, läßt sich mit geeigneten Musikplatten leicht feststellen. Der Frequenzumfang guter Schallplatten ist bei hervorragender Dynamik und Verzerrungsfreiheit oft erstaunlich, und Abtaster, Verstärker und Lautsprecher müssen schon eine erhebliche Qualität aufweisen, wenn sie diesen Inhalt voll ausschöpfen sollen.

Meß- und Prüfplatten

In der Aufstellung „Meßplatten“ werden die — für die wichtigsten Messungen an Tonabnehmern und Laufwerken benötigten — Meßplatten aufgeführt. Diese Platten sind nach den Normvorschriften der Phono-Industrie hergestellt und erfordern zur Bildung objektiver Meßwerte die genaue Berücksichtigung der jeweiligen Meßvorschriften. Diese Meßvorschriften sind als Beilageblätter den Meßplatten beigelegt. Nähere Angaben erhalten Sie von der Schallplatten-Industrie.

Unter der Rubrik „Empfehlenswerte Prüfplatten für Musiktests“ sind aus der Vielzahl des Angebotes einige besonders geeignete Schallplatten — unter Angabe der speziellen akustischen Wirkung — aufgeführt, mit denen die Leistungsfähigkeit einer Anlage getestet werden kann.

Meßplatten

Bezeichnung der Meßplatte	Bestell-Nr.		Verwendung	Benötigte Meßinstrumente
	Mono	Stereo		
Schneidkennlinie: 3180, 318, 50 μ s 3180, 318, 75 μ s	DG 99009 —	DG 99102 DG 99106	Zur Überprüfung des Frequenzganges	Röhrenvoltmeter Oszillograph
Meßplatte für Stereo- und Monopegel	—	DG 99103	Zur Bestimmung der Pegelverhältnisse bei Vollaussteuerung 1000 Hz, bei Flanken- und Seitenschrift	Röhrenvoltmeter Oszillograph
Meßschallplatte für Klirr- und Modulationsverzerrungen	DG 99011	DG 99104	Zur Bestimmung der Klirr- und Intermodulationsverzerrungen der Anlage	Klirrfaktor- bzw. Intermodulationsmeßgerät
Meßschallplatte für Störgeräusche des Laufwerks	DG 99012	—	Für Rumpelmessungen des Laufwerks nach NARTB	Rumpelstörspannungs-Meßgerät (RUMS 2, Lindström) oder Rumpelfilter nach NARTB, Röhrenvoltmeter
Meßschallplatte für Gleichlaufschwankungen	DG 99008 (5000 Hz) DG 99012 (3150 Hz)	—	Zur Überprüfung der Gleichlaufeigenschaften des Laufwerks	Tonhöschwankungs-Meßgerät (z. B. EMT 418 A bzw. EMT 420 A)

Für Messungen auf Laufwerken, die nur die Abtastung 17-cm-Platten (45 UpM) gestatten, stehen u. a. folgende Meßplatten zur Verfügung:

Schneidkennlinie: 3180, 318, 50 μ s	DG 22943	—	Zur Prüfung des Frequenzganges von Abtaster und Wiedergabeanlage	Röhrenvoltmeter Oszillograph
Meßschallplatte für Gleichlaufschwankungen	DG 22943 (5000 Hz) DG 22944 (3000 Hz)	—	Zur Überprüfung der Gleichlaufeigenschaften des Laufwerks bei 45 UpM	Tonhöschwankungsmeßgerät
Schallplatte zur Erprobung und Einstellung von Plattenwechslern	DG 22941	—	Zur Überprüfung des Laufwerkwechsel- und -abschaltmechanismus	—

Zur akustischen Überprüfung der gesamten Wiedergabeanlage eignen sich nachstehend aufgeführte HiFi- und Stereo-Demonstrationsplatten. Meßgeräte sind hierbei nicht

erforderlich. Die einzelnen Prüfungen (Seitenrichtigkeit, Phasenlage usw.) werden vor dem eigentlichen Test angesagt und erklärt.

Schallplatte zur Prüfung von Stereo-Wiedergabegeräten	—	DG 220495 Telefunken TSt 72363	Zur akustischen Prüfung der Stereoanlage mit kurzem Demonstrationsteil	—
Was ist HiFi?	Orbis KL 4051	—	Eine akustische Einführung in die Bedeutung eines Schlagwortes	—

Empfehlenswerte Prüfplatten für Musiktests

Titel:	Best.-Nr.	Besondere Merkmale:
Beethoven, Symphonie Nr. 6 Berliner Philharmoniker Herbert von Karajan	DGG Stereo 138 805 Mono 18 805	Die Aufnahme zeichnet sich durch sehr klare Bässe aus (4. Satz). Die Geigen sind weich und verzerrungsfrei. Die Platte ist hervorragend geeignet zur Beurteilung der Baßwiedergabe.
Tschaikowskij, Konzert für Klavier und Orchester Nr. 1 b-Moll op. 23 Svjatoslav Richter und die Wiener Symphoniker Herbert von Karajan	DGG Stereo 138 822 Mono 18 822	Prägnantes, trockenes Klavier mit brillanten, aber nicht scharfen Höhen, die sich auch im Orchestertutti noch klar differenziert abzeichnen. Die Platte stellt hohe Anforderungen an das Tonabnehmersystem.
Zoltan Kodály, Háry-János-Suite Radio-Symphonie-Orchester Berlin Ferenc Fricssay	DGG Stereo 138 828 Mono 18 828	Sehr dynamische Bläser und brillantes Schlagzeug. Mit dieser Platte kann die Verzerrungsanfälligkeit der Wiedergabeanlage gut getestet werden.
Dreaming in Wonderland Bert Kaempfert und sein Orchester	Polydor Stereo 237 598 Mono 46 398	Eine zur Demonstration in jeder Hinsicht zu empfehlende Platte. Sie zeichnet sich durch ein gutes stereophonisches Klangbild aus.
Hazy's Nightclub, Hazy-Osterwald-Sextett	Polydor Stereo 237 529 Mono 46 329	Eine durch die kleine Besetzung sehr durchsichtige Platte mit markanten Klangfarben (Tiefen und Höhen) sowie eine sehr brillante gestopfte Trompete, die nur mit einem einwandfreien Tonabnehmersystem eine brauchbare Wiedergabe ergibt.
Off-Bear-Drum, Don Lamond and his Orchestra	Command Stereo 298 028	Differenzierte, verzerrungsfreie Aufzeichnungen, außergewöhnlich dynamisches, eindrucksvolles, stereophones Klangbild. Gut geeignet zur Kontrolle der Lautsprecher und Kanaltrennung der Anlage.
Big Band Bossa Nova, Enoch Light and his Orchestra	Command Stereo 298 023	

Lautsprecherprobleme und Ratschläge für die Zusammenstellung einer Lautsprecher-Kombination

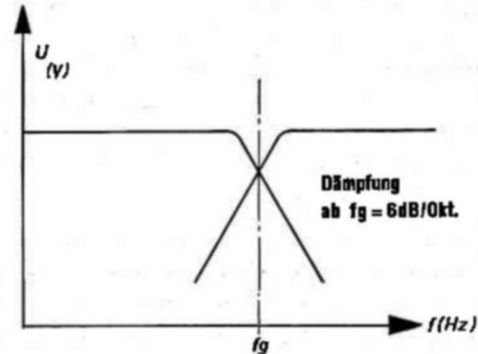
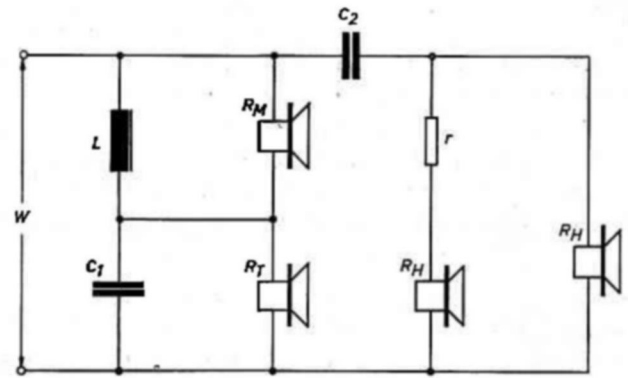
Der Lautsprecher oder die Lautsprecher-Kombination ist das letzte Glied der elektroakustischen Übertragungskette. Seine Qualität entscheidet in den meisten Fällen die Übertragungsgüte.

Es gibt heute im Handel bereits eine größere Auswahl hochwertiger Lautsprecherkombinationen, die den Wünschen des an HiFi interessierten Publikums in Ausführung und Preis weitgehend entgegenkommen. Wer eine HiFi-Stereoanlage zusammenstellt, steht zunächst vor dem Problem »Wohin mit den Lautsprechern?« Es kommt dann häufig vor, daß man – wenn man auf eine Anlage mit getrennten Lautsprechern nicht verzichten will – sich den räumlichen Gegebenheiten durch besondere Unterbringungsmöglichkeiten mit meistens dann erforderlichen Sonderkonstruktionen anpassen muß. Was dabei zu beachten ist – wenn man von dem Ergebnis seiner Konstruktion nicht enttäuscht sein will –, sollen die folgenden Überlegungen andeuten.

Besondere Schwierigkeiten bereitet die Abstrahlung der tiefen Frequenzen unterhalb etwa 80 Hz, da hierzu große Membranamplituden bei großen Membrandurchmessern erforderlich sind. Konstante Leistungen abzustrahlen ist in diesen Frequenzbereichen außerordentlich schwierig, da man den Membrandurchmesser nicht beliebig groß machen kann. Um die Schallabstrahlung möglichst auch auf die tiefsten Töne ausdehnen zu können, sind Lautsprecher mit tiefen Eigenresonanzen erforderlich. Die Resonanzfrequenz wird durch die Abmessungen von Membrane und Schwing-spule sowie durch die Art der Aufhängung und Zentrierung bestimmt. Gute, gleichzeitig preiswerte Tieftonlautsprecher mit ca. 25–30 cm Membrandurchmesser weisen eine Eigenresonanz zwischen 40–60 Hz auf. Tiefere Eigenresonanzen können nur durch Sonderkonstruktionen erreicht werden. Sie sind entsprechend teuer und können – da sie ausschließlich in tiefen Frequenzbereichen exakt abstrahlen und deshalb über eine Tieftonweiche gespeist werden – nur in Verbindung mit Mittel- und Hochtonlautsprechern verwandt werden. In Leder oder Schaumgummi gefaßte Lautsprechermembranen haben zwar eine besonders tiefe Eigenresonanz, aber lange Ein- und Ausschwingzeiten, die mit denen der Originalinstrumente nicht immer übereinstimmen, wodurch sich erhebliche Klangverfälschungen ergeben können, insbesondere dann, wenn sie zur Abstrahlung des ganzen Frequenzbereiches herangezogen werden. Ein idealer Lautsprecher müßte alle ihm zugeführten elektrischen Schwingungen gleichmäßig in Schall abstrahlen. Er müßte die tiefsten hörbaren Frequenzen (ca. 16 Hz) genau so behandeln wie die höchsten bei ca. 16 000 Hz. Da die Amplituden der schwingenden Membrane sich umgekehrt proportional zum Quadrat der abgestrahlten Frequenzen verhalten, ist dieses mit den handelsüblichen Lautsprechern nicht erreichbar.

Originalgetreue Wiedergabe mit nur einem Lautsprecher läßt sich nur dann erreichen, wenn die Lautsprecher-membran nicht unterteilt schwingt. Das ist gewährleistet, solange die Wellenlänge größer ist als der doppelte Durchmesser des Lautsprechers. Die an der Abstrahlung beteiligten Membranbereiche schwingen für relativ eng benachbarte Frequenzen teils gleichphasig, teils gegenphasig, so daß der Frequenzgang eine Reihe von Resonanz-

überhöhungen bzw. -einbrüchen aufweist. Man verteilt darum die Abstrahlung des gesamten Frequenzbereiches



Für $W = R$
gilt: $R = \sqrt{\frac{L}{C}}$
 $f_g = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$

z. B. bei $f_g = 500 - 550$ Hz
 $R_T = R_M = 4,5 \Omega$
 $C_1 = 64 \mu F$
 $L = 1,3$ mH
 $C_2 = 8 \mu F$

Die Ankopplung der Hochtonsysteme über C_2 stört die Weiche nur unwesentlich

Abb. 92 Beispiel einer Lautsprecher-Kombination mit Tief-, Mittel- und Hochtonsystemen für einen Stereo-Kanal bei Anschaltung über einer Boucherotweiche

über entsprechende Weichen auf separate Tief-, Mittel- und Hochtonlautsprecher. Eine derartige bewährte Lautsprecher-Kombination zeigt Abb. 92. Sie ist für jeden Kanal vorzusehen.

Die Dimensionierung der Ankopplungsglieder ist so bemessen, daß der Tieftonlautsprecher R_T nur Frequenzen bis ca. 500 Hz abstrahlt. Der Mitteltonlautsprecher R_M arbeitet ab 500 Hz und die beiden Hochtöner R_H ab ca. 4 kHz. Dadurch erhält man eine verzerrungsfreiere Wiedergabe, da Überlastungen sowie gegenseitige Modulationen zwischen hohen und tiefen Tönen nicht auftreten können.

Der Kondensator C_2 begrenzt den Wiedergabebereich der Hochtonlautsprecher nach unten, er hält somit die tiefen Frequenzen vom Hochtöner fern. Die maximale Belastbarkeit der Kombination bestimmt deshalb ausschließlich der Tieftonlautsprecher. Die Nennleistung eines Lautsprechers wird für die Vollaussteuerung mit Sinustönen angegeben, so daß mit einem Frequenzgemisch – Sprache und Musik – der Lautsprecher wesentlich höher belastet werden kann. Man muß zwischen der theoretisch erwünschten Schallabstrahlung und den Abstrahlungsmöglichkeiten gewisse Kompromisse schließen. Der Lautsprecher – den man ja aus ganz bestimmten Gründen in einem Holzgehäuse unter-

bringt – wirkt als Schallquelle für tiefe und mittlere Frequenzen sowohl an der Vorder- als auch an der Rückseite. Die bei diesen Bewegungen erzeugten Luftschwingungen schließen sich jedoch kurz, d. h. sie heben sich auf, wenn keine Schallwand bzw. Box verwandt wird. Bei Verwendung einer Schallwand hängt der Lautstärkeabfall bei tiefen Frequenzen von den Abmessungen der Schallwand ab. Sie sind für den Hausgebrauch jedoch wegen der akustisch anzustrebenden großen Abmessungen unpraktisch. Um z. B. 60 Hz noch abstrahlen zu können, müßte die Schallwand – wenn der Lautsprecher genau in der Mitte angebracht würde – ca. 2,8 m im Quadrat aufweisen.

Gute Lautsprecher-Kombinationen werden heute durchweg in genau berechneten Gehäusen untergebracht. Man ist gezwungen, diese – für eine naturgetreue Tiefenabstrahlung – ziemlich groß zu machen, da in einem geschlossenen Gehäuse die Resonanzfrequenz bis zu einer gewissen Grenze umgekehrt proportional dem Quadrat des eingeschlossenen Luftvolumens ist. Als Faustformel kann man bei einem vorhandenen Lautsprecher-Membrandurchmesser D ein Mindestgehäuse-Volumen $V = (2 D)^3$ für erforderlich betrachten (z. B. $D = 2,5 \text{ dm} \Rightarrow V = 125 \text{ ltr.}$).

Da die Gehäuse danach jedoch recht groß werden, ist der Wunsch verständlich, dennoch mit kleineren Gehäusen auszukommen, die auch für HiFi-Ansprüche eine gute Wiedergabe der Bässe gewährleisten. So werden seit einiger Zeit Lautsprecherboxen mit kleinen Gehäuseabmessungen angeboten, die nach Angaben der Hersteller eine ausreichende Wiedergabe tiefer Frequenzen ermöglichen. Man verwendet hierzu ein allseits abgeschlossenes, mit Dämmstoffen ausgefülltes Gehäuse, welches einer unendlich großen Schallwand gleichkommt. Weil ein eingeschlossenes Luftvolumen die rückwärtigen Membranamplituden stark dämpft und die Resonanzfrequenz des Lautsprechers nach oben verschiebt, müssen jedoch – bei Erhöhung der Verstärkerleistung – extrem tief abgestimmte Lautsprecher (ca. 20–25 Hz) eingebaut werden.

Die Richtwirkung der verwendeten Lautsprecher ist von entscheidender Wichtigkeit (s. Abb. 94). Grundsätzlich hat jeder Lautsprecher eine mit steigender Frequenz zunehmende Richtwirkung. Je höher die Frequenz, desto stärker wird die Abstrahlung gebündelt. Dadurch wird auch die Wiedergabequalität in den hohen Tonlagen stark beeinflusst. Die Abstrahleigenschaften der Tieftonlautsprecher werden davon

nicht betroffen, deshalb kann man sie auch in beliebiger Höhe der Schallwand anbringen. Bei den Hochtönsystemen macht sich eine Richtcharakteristik jedoch in erheblichem Maße nachteilig bemerkbar. Ein außerhalb der Abstrahlungsrichtung befindlicher Hörer hört die hohen Frequenzen immer schlechter als der Hörer auf der Lautsprecherachse. Aus diesem Grund ist zu empfehlen, pro Kanal 2 Hochtönsysteme zu verwenden, die in ihrer geometrischen Anordnung so aufgestellt werden, daß eine möglichst breite Basis gleichmäßig beschallt wird, wobei jedoch die zugeführte elektrische Leistung so abgestuft sein muß, daß über die Basisbreite keine Zonen erhöhter Schalleistung auftreten.

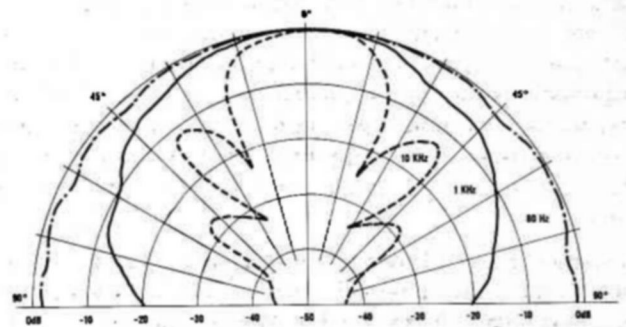


Abb. 94 Frequenzabhängige Abstrahlcharakteristik eines Lautsprechers

Aus diesem Grund erhielt im Schaltbild der Abbildung 92 der zweite Hochtöner – der unter 45° nach innen (zur Verbindungslinie zwischen beiden Lautsprechergruppen) abstrahlt – keinen Vorwiderstand. Die beiden äußeren Hochtöner werden über je einen $3\text{-}\Omega$ -Widerstand angeschlossen. Durch diese Maßnahme wird eine Verbesserung der Raumpunktunabhängigkeit für die Ortung bei hohen Frequenzen erreicht. Selbstverständlich kann man die Anzahl der Lautsprecher pro Kanal beliebig festlegen, solange – unter Beachtung des Obengesagten – die Anpassung an die Endstufe und die Leistung derselben es gestatten. Je nach den Erfordernissen der zu beschallenden Räume lassen sich Lautsprechergruppen zusammenstellen, die im Frequenzgang und der Richtwirkung keine Wünsche offenlassen.

Während das Vorhergesagte im wesentlichen für Stereoanlagen mit voneinander getrennt aufgestellten Lautsprechern gilt, soll nicht unerwähnt bleiben, daß sich auch mit Musikmöbeln, in denen die Stereoanlage komplett eingebaut ist, befriedigende Stereo-Wiedergabe erzielen läßt. Da es über den Rahmen eines üblichen Möbels weit hinausgeht, wolle man die Lautsprecher auf einer Basis von ca. 2 m anordnen, hat man beispielsweise bei den Stereo-Musikschränken die Lautsprecher so untergebracht, daß sie seitlich abstrahlen und über die Raumreflektion die Basis vergrößert erscheinen lassen. Bei vielen Stereotruhen besteht die Möglichkeit, getrennt aufzustellende Hochtöner-Zusatzlautsprecher anzuschließen, so daß man dadurch eine Basis erzielt, die über die Abmessungen der Truhe hinausgeht. Wie und wo man diese Zusatzlautsprecher räumlich anordnen muß, um einen optimalen Effekt zu erreichen, hängt stark von den Gegebenheiten des Wiedergaberaumes ab und wird zweckmäßigerweise durch Versuche ermittelt. Gleichgültig, ob eine Stereo-Musiktruhe oder eine Stereoanlage mit getrennten Lautsprecherboxen verwandt wird, ist es unumgänglich, die Anlage vor der endgültigen Aufstellung bzw. Installation akustisch auf die vorstehend ge-

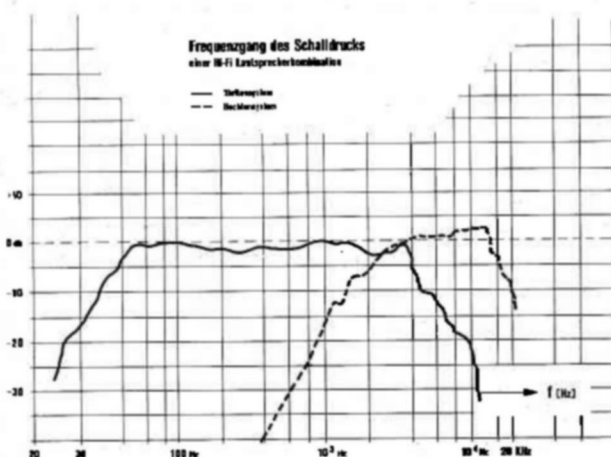


Abb. 93 Frequenzgang einer HiFi-Lautsprecherkombination

schilderten Belange zu überprüfen, da der Wiedergaberaum mit seinen besonderen akustischen Verhältnissen entscheidend in die Übertragungsqualität eingeht und es durchaus

möglich ist, daß die gleiche Anlage, die in einem Raum als gut bezeichnet wurde, in einem anderen Raum nicht befriedigt.

Stereophonie mit eigenen Mitteln

Die auf den Seiten 40 und 41 aufgestellten Forderungen für die Erzielung echter stereophoner Wiedergabe gelten dem Idealfall, der nicht immer zu verwirklichen sein wird. Meist werden beschränkte bzw. weniger geeignete Raumverhältnisse sowie vorhandene Geräte, von denen man sich nicht trennen möchte, zu Kompromissen zwingen. Besonders die Forderung nach akustisch völlig gleichwertigen Übertragungskanälen wird in solchen Fällen nur schwer realisierbar sein. Häufig ist gerade das Vorhandensein guter einkanaliger Phonogeräte ausschlaggebend für die Ablehnung einer umfangreichen Neuanschaffung.

Man braucht jedoch auch bei beschränkten Platzverhältnissen und finanziellen Möglichkeiten nicht auf die Nutzung

des Fortschritts in der Phontechnik zu verzichten, wenn man sich mit verminderter Wiedergabequalität begnügt. Grundsätzliche Voraussetzung ist jedoch in jedem Fall ein Stereo-Plattenabspielgerät. Wie auf den Seiten 24 und 25 näher ausgeführt, ist es nicht ratsam, einen bereits vorhandenen monauralen Plattenspieler lediglich durch Einbau eines Stereo-Tonabnehmersystems umzurüsten. Die Anschaffung eines modernen Plattenspielers, der schon in seiner Grundkonstruktion alle Belange einer weitgehend störungs- und einwandfreien Stereowiedergabe berücksichtigt, ist in jedem Fall zu empfehlen, zumal die Kosten für eine Umrüstung beträchtlich sein können, wenn sie überhaupt durchgeführt wird.

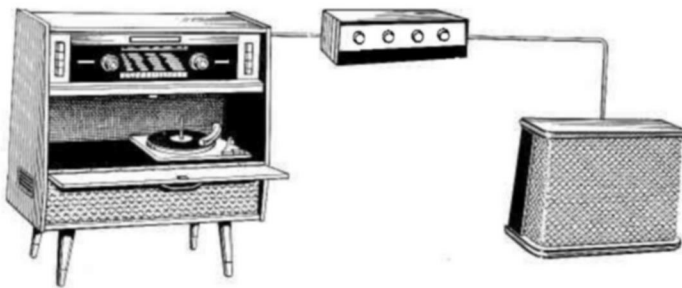


Abb. 95

Der linke Kanal des Stereo-Plattenspielers wird dem NF-Eingang der Musiktruhe zugeführt, der rechte Kanal den Monoverstärker. Lautstärke und Klangfarbe der beiden Verstärkerkanäle müssen zunächst im Monobetrieb gleichwertig eingestellt werden. Balanceausgleich bei Stereobetrieb ist durch Regeln des betreffenden Lautstärkereglers möglich. (Seitlich abstrahlende Hochtöner in der Musiktruhe außer Betrieb nehmen!)

1. Monauraler Musikschrank mit Stereo-Phonogerät und separatem Einkanal-Verstärker und Lautsprecher



Abb. 96

Anschaltung und Einregeln wie bei Abb. 95. Die Aufteilung des Tonabnehmer-Anschlußkabels ist nach den Hinweisen auf den Seiten 38 und 39 durchzuführen. Auf gleiche Leitungslängen achten!

2. Stereo-Plattenspieler oder -Plattenwechsler mit zwei Rundfunkgeräten



Abb. 97

Hier ist in einem monauralen Verstärkerkoffer ein Stereo-Phonogerät eingebaut. Der rechte Kanal wird vom Rundfunkgerät verstärkt und abgestrahlt. Der linke Kanal über den Kofferverstärker und separaten Lautsprecher. Auch hier ist nur eine getrennte Lautstärke- und Klangregelung möglich.

3. Verstärkerkoffer mit Stereo-Phonogerät und Rundfunkempfänger



Abb. 98

Die in Abb. 98 dargestellte Kombination ist eine komplette tragbare Stereoanlage. Eine derartige Phonoapparatur kann eine Stereowiedergabe bereits in einem hohen Grad von High Fidelity ermöglichen, da die einzelnen Bauteile in einer zusammengefaßten Einheit günstig aufeinander abge-

stimmt werden können. Das gilt insbesondere für den Verstärker, der in seinem Frequenzgang optimal an das Tonabnehmersystem und den vorgesehenen Lautsprecher einschließlich Lautsprechergehäuse angepaßt werden kann. Weiterhin kann durch die gemeinsame Unterbringung von Stereoverstärker und Laufwerk in einem Koffergehäuse der Platzbedarf sehr klein gehalten werden. Die Bedienung ist – bei vielseitigen Aufstellungsmöglichkeiten – sehr bequem durchführbar. Lautstärke und Klangfarbe können für beide Kanäle gemeinsam geregelt werden. Zusätzlich ist noch ein Balanceregler vorhanden (siehe auch Seite 47).

4. Phonokoffer mit Stereo-Laufwerk, Stereo-Verstärker und getrennten Lautsprechern

Bei der Wahl eines Stereo-Plattenspielers wäre zu überlegen, ob man sich, durch die Anschaffung eines hochwertigen Laufwerkes mit Magnetsystem, die Möglichkeit vorbehalten sollte, die Anlage später einmal durch die Anschaffung hochwertiger Verstärker und Lautsprecher auf einen HiFi-Qualitätsstand zu erweitern, oder bei der Kompromißlösung zu bleiben beabsichtigt. Bei Verwendung eines preisgünstigen Kristallsystems wird man jeden handelsüblichen Phonoverstärker — wie etwa die NF-Stufen eines Rundfunkgerätes — voll aussteuern können. Für die ausreichende Verstärkung der von einem Magnetsystem gelieferten Spannung ist jedoch ein Entzerrer-Vorverstärker erforderlich, wenn man als Endverstärker ein Rundfunkgerät verwenden will (siehe Seite 35). Es gibt eine Anzahl moderner Rundfunkgeräte, die bereits mit einem zweiten NF-Kanal ausgerüstet sind. Mit einem derartigen Gerät und einem Stereo-Plattenspieler ist dann die Wiedergabe stereophonischer Schallplatten besonders einfach.

Koffer-Stereoanlagen

Nach Kenntnis der auf vorstehenden Seiten besprochenen Probleme einer befriedigenden und allen Teilen gerecht werdenden HiFi-Stereo-Wiedergabe, könnte man mit Recht fragen: Ist eine gute, vollwertige Stereo-Wiedergabe über eine Kofferapparatur überhaupt möglich? Dieses ist eindeutig zu bejahen, da die Wiedergabe stereophoner Musikdarbietungen durchaus nicht nur in großen Räumen mit dementsprechend aufwendigen Apparaturen durchgeführt zu werden braucht. Eine gute stereophone Wiedergabe ist praktisch in jedem Raum möglich, da eine elektrisch und akustisch sorgfältig durchkonstruierte stereophone Wiedergabeanlage in der Lage ist, die räumliche Begrenzung des Wiedergaberaumes zu ignorieren und ein Klangbild abzustrahlen, bei dem durch einen erheblichen akustischen Gewinn an räumlicher Tiefe der Eindruck entstehen kann, sich in einem Raum zu befinden, der wesentlich größer ist und sich damit auch den Gegebenheiten der Orchesteraufstellung bzw. des Aufnahmeortes nähert. Auch bei geringerer Lautsprecherbasis in kleineren Räumen kann diese Erscheinung als eine der wesentlichen Kennzeichen der Stereophonie noch wahrgenommen werden. Die einzelnen Klangkörper lassen sich nicht nur einwandfrei orten, die Illusion des vergrößerten Wiedergaberaumes bleibt auch hier erhalten. Das trifft auch für die Stereo-Wiedergabe über Koffergeräte zu.

Die richtige Entfernung des Hörers von der Verbindungslinie zwischen den Lautsprechern ist für einen optimalen Eindruck bei verringerter Basisbreite sehr wichtig. Diese Entfernung hängt grundsätzlich von der Basisbreite — dem Abstand der beiden Lautsprecher voneinander — ab (siehe Seite 41). Bei der Aufstellung der Lautsprechergehäuse wird man bemüht sein, die Basis möglichst der Ausdehnung des Original-Schallereignisses zu nähern, d. h. maximal die ganze Zimmerbreite auszunutzen. Trotz dieser Verbreiterung muß bei der Stereowiedergabe auch in der Mittelzone eine Ortung möglich sein. Ist in der Mitte ein akustisches Loch (ein Bereich, aus dem man nichts wahrnimmt), prüfe man die

Das Problem einer behelfsmäßigen Lösung mit vorhandenen monauralen Geräten besteht im wesentlichen aus der Forderung, für beide Kanäle gleichwertige Verstärker und Lautsprecher zu kombinieren.

Nachstehend sind einige Vorschläge skizziert, wie mit relativ einfachen Mitteln unter Verwendung vorhandener Übertragungsglieder bzw. moderner Phonokoffer mit verhältnismäßig geringem Aufwand ganz brauchbare Ergebnisse erzielt werden können, vorausgesetzt, daß die auf den vorhergehenden Seiten aufgestellten Grundregeln der Stereotechnik beachtet werden. Wenn auch derartige Kombinationen nicht als Stereo-HiFi-Kombinationen bezeichnet werden können, gewähren sie jedoch, im Verhältnis zu dem zusätzlich erforderlichen Aufwand für den 2. Kanal, einen weitaus größeren Gewinn an Musikerleben, als es die Benutzung nach zwar bewährter, aber wiedergabeteknisch überholter Weise ermöglicht.

Anlage zunächst mit einer Mono-Schallplatte. Wenn jetzt die Abstrahlung nicht eindeutig aus der Mitte zwischen den beiden Lautsprechern zu kommen scheint, müssen alle die auf den vorstehenden Seiten beschriebenen Grundbedingungen einer einwandfreien Stereowiedergabe kritisch untersucht und gegebenenfalls korrigiert werden.

Kann die Lautsprecherbasis aus räumlichen Gründen nur gering sein, muß sich der Hörer dem Lautsprecher entsprechend nähern. Solange die Forderung: Hörerentfernung von der Verbindungslinie der Lautsprecher = Entfernung der Lautsprecher voneinander eingehalten wird, kann auf der Mittelachse zwischen den Lautsprechern eine gute stereophone Wiedergabe wahrgenommen werden.

Dual-Stereo-Phonokoffer entsprechen weitgehend den Forderungen einer vollwertigen Stereowiedergabe. Sie sind durch sorgfältige Auswahl hochwertiger Bauteile außergewöhnlich betriebssicher und passen sich durch ihre zeitlos elegante Form jeder Geschmacksrichtung an.



Abb. 99 Moderne Koffer-Stereoanlage

Stereo-Componenten

Als Stereo-Componenten werden elektroakustische Baugruppen bezeichnet, die in sich zwar abgeschlossene Geräte darstellen (Plattenspieler, Verstärker und Lautsprecher), aber als getrennte Bauteile ausschließlich für eine Kombination elektrisch und in der Form aufeinander ab-

gestimmt sind. Derartige Componenten können zu einer Stereo-Musikwiedergabeanlage nach speziellen Wünschen betreffend der Ausstattung, also der technischen Leistung und der räumlichen Aufstellung, zusammengestellt werden. (Siehe die Abbildungen 100 und 101.)

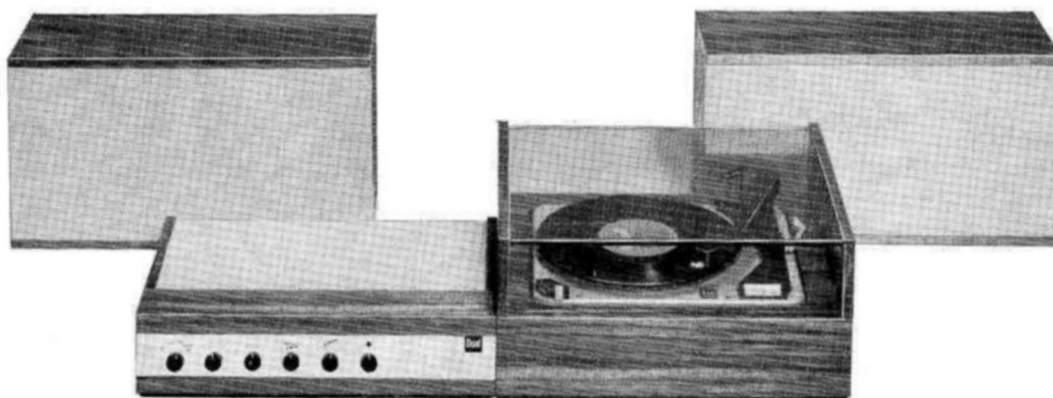


Abb. 100 Dual-Stereo-Componenten

Die Componenten können je nach den Ansprüchen in mehreren qualitativ unterschiedlichen Ausführungen bezogen werden, jedoch gilt auch hier die bereits auf Seite 22 besprochene Tatsache, daß die einzelnen Componenten in der Qualität aufeinander abgestimmt sein sollten. Das heißt natürlich nicht, daß – wenn man in der Qualität etwas mehr Aufwand treiben will – immer nur eine gleichzeitige Anschaffung hochwertiger Componenten erforderlich ist. Es kann hier dem Interessenten weitgehend überlassen blei-

ben, welche der modernen Stereo-Componenten er sich als Grundstein einer HiFi-Anlage zuerst anschaffen möchte und welche vorhandenen Apparaturen zunächst mit verwandt werden sollen. Doch das sollte man sich schon reiflich überlegen. Sicherlich ist es falsch, eine vorhandene, qualitativ beschränkte Anlage zunächst mit guten Lautsprechern auszustatten. Sie würden die Mängel der Apparaturen erst aufdecken und kaum eine – dem finanziellen Aufwand entsprechende – Verbesserung erwirken.

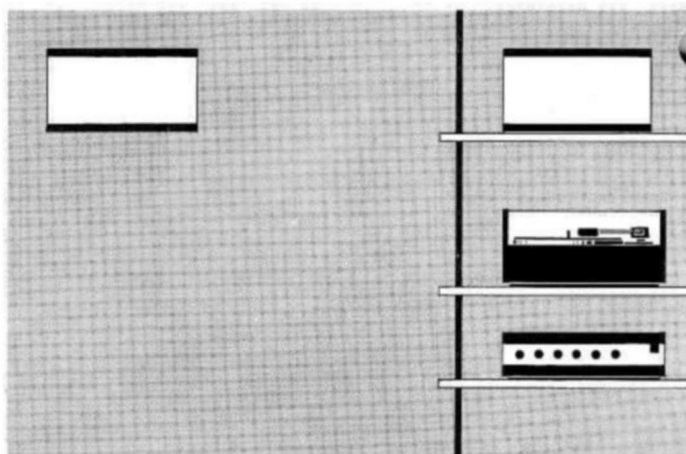
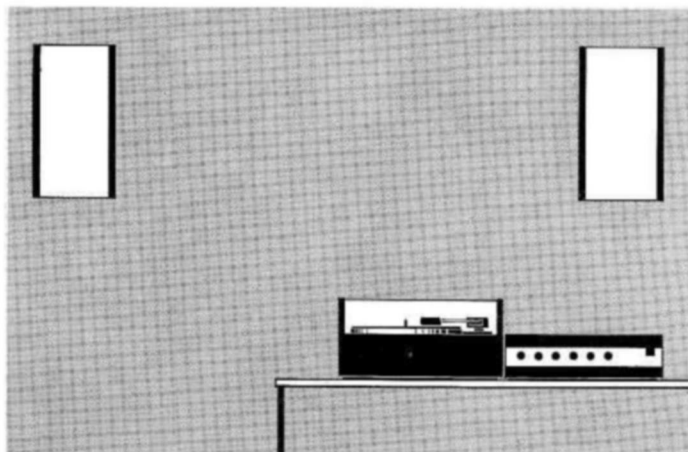


Abb. 101 Aufstellungsmöglichkeiten der Dual-Stereo-Componenten

Die Anschaffung eines HiFi-Laufwerkes mit Magnetsystem kann schon eine Verbesserung der Wiedergabe bringen, die jedoch dann von der Verstärker- und Lautsprecher-Apparatur in Grenzen gehalten wird. Also erscheint es zunächst zweckmäßig, einen guten Verstärker auszuwählen, damit dann die Qualität der angeschlossenen Tonfrequenz-

Spannungsquellen optimal bewertet und gegebenenfalls ausgesucht werden kann. (Vorausgesetzt, daß die vorhandenen Lautsprecher nicht allzu schlecht sind!)

Die Spannungen dieser Quellen – Tonabnehmer, Tonband und Rundfunkuner – können über flexible Steckverbindungen dem Verstärker zugeführt werden, wobei es im Falle

des Dual-Hauptverstärkers CV 2 außerdem gleichgültig ist, ob es Mono- oder Stereo-Informationen sind, die verstärkt werden sollen. Die Betriebsarten-Umschaltung sowie sämtliche Regelvorgänge (außer der Senderabstimmung am Tuner) werden an diesem Verstärker vollzogen (Abb. 104). Dadurch ergibt sich eine einfache, übersichtliche Bedienbarkeit der Anlage. Das Zusammenschalten bzw. das Auswechseln der einzelnen Komponenten kann werkzeuglos über die mitgelieferten Verbindungskabel auch von jedem Laien durchgeführt werden. Durch Wahl geeigneter Kabellängen besteht bezüglich der räumlichen Verteilung der Komponenten weitgehende Freiheit. Sofern die Geräte

mit Netzspannung versorgt werden müssen, geschieht das über eigene Netzkabel unabhängig voneinander. Das Laufwerk benötigt ja sowieso keinen separaten Netzschalter, da es mit der Starttaste eingeschaltet wird. Mit dem Einschalten des Verstärkers ist somit die gesamte Anlage betriebsbereit. (Über die Stromversorgung von Verstärkern über den Laufwerk-Netzschalter s. Seite 38.) Bei Verwendung hochwertiger Magnetsysteme ist entweder ein — zwischen Laufwerk und Hauptverstärker anzubringender — Entzerrer-Vorverstärker erforderlich oder ein Kompaktverstärker, der diese Aufgabe mit übernehmen kann (Dual CV 2).

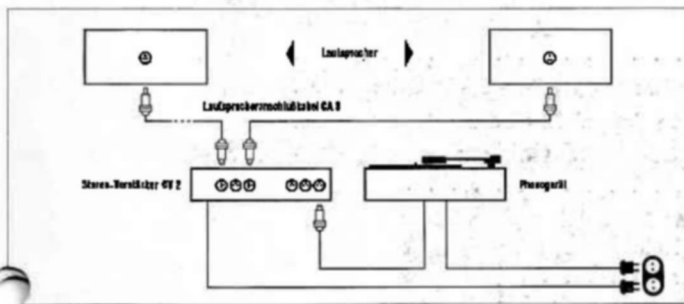


Abb. 102 Zusammenschaltung der Dual-Stereo-Komponenten
a) bei Verwendung eines Kristallsystems mit CV 1 und CV 2 oder
b) bei Verwendung eines Magnetsystems mit CV 2

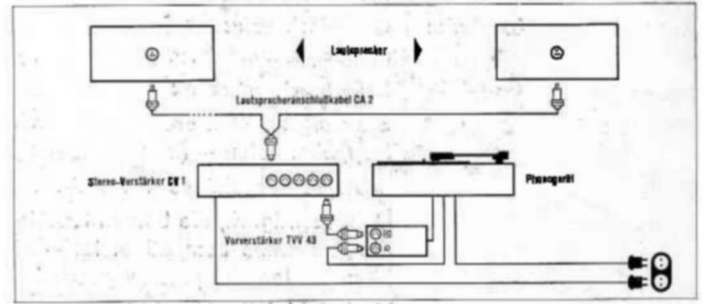


Abb. 103 Schaltplan bei Verwendung eines Magnetsystems, separatem Entzerrer-Vorverstärker TVV 43 und Hauptverstärker CV 1

Die Belastbarkeit der an den Verstärkerausgang angeschlossenen Lautsprecher sollte mindestens der Nennleistung des Verstärkers entsprechen. Wie und wo diese Lautsprecher im Raum und zueinander aufgestellt werden, ist für einen optimalen akustischen Eindruck nicht ganz unwesentlich. Über dabei zu beachtende grundsätzliche Probleme wurde auf Seite 40 bereits ausführlich gesprochen. Allgemeinlösungen können nicht angegeben werden, ein gewisses Experimentieren ist daher zu empfehlen. Eine häufig wiederkehrende Frage ist: „Muß man unbedingt im

Bereich der Symmetrieachse zwischen den Lautsprechern hören?“ Hierauf kann man nur antworten: „Nach Möglichkeit schon“, denn es sei zunächst angenommen, die beiden Lautsprecher strahlen mit gleicher Intensität ab. Ein Hörer, der sich nicht auf der Symmetrieachse befindet, wird die scheinbare Schallquelle nicht mehr in der Mitte lokalisieren, da sich der Schalldruck umgekehrt proportional mit dem Hörer-Abstand vom Lautsprecher verändert und außerdem die Wellenfronten wegen des Abstandsunterschiedes zu verschiedenen Zeiten an den Ohren des Hörers eintreffen. Man kann zwar durch gerichtete Abstrahlung hoher Frequenzen mit mehreren Hochtönlautsprechern (siehe auch Seite 44) diesen Einfluß eliminieren, darf aber — gerade bei kleineren Lautsprecherboxen — diese gerichtete Abstrahlung nicht immer voraussetzen. In diesem Fall muß man die Frontflächen der Lautsprechergehäuse zum Hörer ausrichten. Intensitätsunterschiede lassen sich zwar mit dem Balanceregler ausgleichen, Laufzeitunterschiede jedoch nicht. Gerade bei nichtstationären musikalischen Vorgängen in der Stereo-Technik treten ausgeprägte Richtungseffekte auf, die aber durch den Nachhall und unsymmetrische Reflexion des Wiedergaberaumes erheblich gestört werden können. Deshalb sollte auch der Hörer-Abstand von den Lautsprechern nicht zu weit sein, da nur in der Nähe des Lautsprechers die für den Richtungseindruck verantwortlichen primären Schallwellen überwiegen.

Weiterhin ist es aus folgenden Gründen auch nicht zu empfehlen, die Lautsprecherboxen allzu hoch aufzustellen: Der stereophone Mitteneindruck von zwei gleichphasigen Lautsprechern liegt nicht genau auf der Verbindungslinie zwischen den Lautsprechern, sondern etwas darüber. Dieser Elevationseffekt ist bei großen Abständen zu den Lautsprechern klein, aber schon bei einem symmetrischen Winkel von 45° zu den beiden Lautsprechern beträgt diese Verschiebung 40° nach oben und wird bei etwa 90° beim Abhören auf der Verbindungslinie selbst. (Dieser Elevationseffekt könnte auch eine Erklärung dafür sein, daß sich stereophone Klangbilder bei Kopfhörerbetrieb immer in einem Bogen über den Kopf verteilen!)

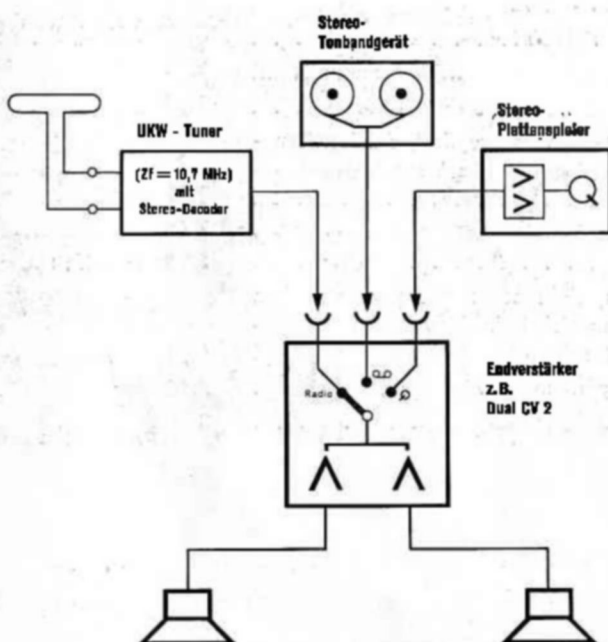


Abb. 104 Anschlußschema einer Stereoanlage für Rundfunk-, Tonband- und Schallplatten-Wiedergabe

Erklärung der Fachausdrücke

		Seite
Adaption:	Mechanisches Anbringen eines Gerätezusatzes	25
Akustische Rückkopplung	Rückwirkung des Lautsprechers auf das Tonabnehmersystem durch Luft- oder Körperschall und dadurch Änderung der Verstärkungseigenschaften für bestimmte Frequenzen. Überschreitet die Rückwirkung ein bestimmtes Maß, tritt Selbsterregung auf, die sich durch tieffrequentes Poltern äußert	25
Amplitude:	Auslenkung, Schwingungsweite	9, 17, 44, 14, 18
Amplitudenverlauf:	Die Amplituden in Abhängigkeit der Zeit	8
Balance, elektrisch	Akustisches Gleichgewicht zwischen den beiden Stereokanälen	32, 41, 49
mechanisch:	Mechanisches Ausbalancieren des Tonarmes	31, 28
Aussteuerungs-Kennlinie:	Graphisch aufgezeichnete Abhängigkeit der Ausgangsspannung von der Eingangsspannung	23
Basis:	Lautsprecherabstand oder auch virtuelle Breite der akustischen Ortung . . .	37, 47
Binaural	Binaurales Hören erzielt man durch einen doppelten Übertragungsweg vom Doppelmikrofon – (im Ohrabstand) bis zum Ohr (Kopfhörer)	45, 49
Box:	Lautsprechergehäuse	45, 49
Compatibel	D. h. verträglich, die beiden Kanäle einer Stereoinformation können – wenn die Aufnahme compatibel ist – ohne Klangeinbuße zu einer vollwertigen Monowiedergabe parallel geschaltet werden	24, 37
Compliance:	Nachgiebigkeit eines federnd eingespannten Bauteiles	21, 22, 27
Cynch-Stecker/Buchse:	Eine in den USA übliche einpolige Steckverbindung	39
dB:	Abkürzende Bezeichnung für ein logarithmisches Verhältnis, z. B. zweier Spannungen, $x = 20 \log. U/u$ [dB]	6, 30, 35, 33, 22
Dynamik:	Der Bereich wechselnder Lautstärke zwischen Maximum (laut) und Minimum (leise) innerhalb einer akustischen Darbietung	6
Ein-Auslaufrillen	Unmodulierte Rillen zu Beginn und Ende einer Schallplatte, zum Teil mit vergrößerter Steigung	27, 31
Ein-Ausschwingzeit:	Zeit, bis Amplitude auf Maximalwert ein- bzw. auf Minimalwert ausschwingt .	9, 44
Elektroakustischer Wandler:	Bauteil, welches elektrische Schwingungen in akustische Schwingungen umwandelt (oder umgekehrt)	17, 22
Elevation:	Verschiebung im vertikalen Bereich nach oben	49
Entzerrer:	Schaltglied zur Korrektur des Frequenzverlaufes eines Übertragungsgliedes	32, 34, 36, 49
Frequenz:	Schwingungszahl pro Sekunde in Hertz (Hz)	6, 7, 8, 9, 26, 44
Füllschrift:	Anpassung der Rillenabstände unter Berücksichtigung der jeweiligen Rillenauslenkungen	37
Frequenzumfang:	Der vorliegende Übertragungsbereich	22, 32, 33
Gleich/Gegenphasig:	Zeitliche Überein-/Nichtübereinstimmung zweier Amplituden	13
HF:	Hochfrequenz, das heißt Frequenzen über 100 000 Hz	37
„heißer“ Anschluß:	Der Punkt einer Schaltung (Bauteil), der gegen Masse (Erde) Spannung führt	19
Höhen, Tiefen:	Im allgemeinen Sprachgebrauch Ausdruck für hohe und tiefe Töne	11, 42
Intermodulation:	Das Entstehen von Frequenzen in einem Übertragungsglied, die im Klangbild ursprünglich nicht vorhanden waren, mit erheblichen Verzerrungseigenschaften	7, 22, 23, 24
Klirrfaktor:	Maß für die in einem Übertragungsglied (oder mehreren) entstandenen Verzerrungen	7, 22, 23, 32 12, 28, 37, 24, 13
Kristallachse	Man unterscheidet zwischen den optischen, elektrischen und geometrischen Achsen in Kristallen. Nach diesen muß man sich beim Zerschneiden orientieren, um z. B. einen optimalen piezoelektrischen Effekt zu erreichen . . .	18, 16
Kurvenform:	Verlauf der Amplitude bei einer Wechselspannung	8, 22
Longitudinalwelle	In Ausbreitungsrichtung fortlaufende Druckschwankung	8
Masse:	Ein Leitungs- bzw. Bauteilverbindungspunkt in einer elektronischen Schaltung, der als Nullpotential gilt und meist mit dem Chassis verbunden ist. (Nicht zu verwechseln mit der physikalischen Masse!)	39
Modulation	Modulieren $\hat{=}$ etwas zuordnen oder einprägen, z. B. einer Schallrinne Auslenkungen im Takt der Tonfrequenz	12, 28, 37, 24, 13
Monaural:	Übertragung des Klangereignisses durch einen Wiedergabekanal	12, 13, 17, 32, 24
Multiplex:	Bezeichnung eines Modulationsproduktes aus der HF-Stereo-Technik . . .	37
Mu-Metall	Magnetisch hochwertiges Material; dient u. a. zur Abschirmung magnetischer Störfelder	20

Nadelsprechen	Direkte akustische Abstrahlung von Abtaststift und Nadelträger	17
NF:	Niederfrequenz, alle Frequenzen unterhalb etwa 100 kHz	32, 37, 39
Oktave:	Der Frequenzbereich zwischen f und $2f$ ($f \cong$ beliebige Frequenz)	6, 8, 22
Ortung:	Richtungsbestimmung	22
Oszillogramm:	Sichtbar gemachte elektrische (akustische) Schwingung	8
Phon:	Lautstärkeinheit (z. B. lautes Sprechen 60 Phon)	6
Piezoelektrisch	Die Eigenschaft bestimmter Kristalle, durch mechanische Deformierung elektrische Spannungen zu erzeugen	18, 33
Resonanz:	Fremderregte Eigenschwingung eines mechanischen oder elektrischen Schwingkreises	9, 33, 44
Richtcharakteristik	Räumlicher Bereich einer bevorzugten Empfindlichkeit, z. B. bei einem Mikrofon oder für verschiedene Frequenzen unterschiedlich intensive Abstrahlrichtungen bei einem Lautsprecher	45
Rumpeln:	Tieffrequente Störgeräusche eines Schallplattenlaufwerkes	25, 29, 30, 28
Rückstellkraft	Die Kraft, die ein Tonabnehmersystem einer Auslenkung durch eine Schallrinne entgegengesetzt	21, 30
Schnelle:	Auslenkgeschwindigkeit, z. B. einer Saphirnadel in cm/sec	20, 34
Schneiddose	Vorrichtung zum Schneiden von Schallrillen an der Schallplatten-Schneidmaschine	9
Schneidkennlinie	Genormte Bewertung der verschiedenen Tonfrequenzen für einen optimalen Schallplattenschnitt	3, 33, 34, 32
Schwingungsverlauf	Frequenz oder auch Amplitude in Abhängigkeit der Zeit	8, 32
Spitzenwert:	Maximaler Amplitudenwert	24
Stroboskop:	Hilfsmittel zum Kontrollieren der Plattenteller-Drehzahl	26, 30
Tonfrequenz:	Die Frequenzen, die akustisch noch wahrgenommen werden können (16 Hz bis 16 kHz)	9, 19, 48
Tonhöschwankungen	Die laufende Änderung der Tonhöhe (Frequenz) vom Sollwert	26, 28, 30
Tuner:	HF-Rundfunk-Empfangsteil ohne NF-Verstärker	48, 49
Turnoversystem:	Ein Tonabnehmersystem mit 2 Zungen, die um 180° versetzt sind	15
Turntables:	Hochwertiger Plattenspieler ohne angebauten Tonarm	25, 34
Übergangsfrequenz:	Einsatzpunkt der Amplitudenänderung als Funktion der Frequenz in einem Übertragungsbereich	34
Übersprechen:	Die unerwünschte Beeinflussung der Stereokanäle untereinander	21, 22
Übersprechdämpfung	Die Unterdrückung eines Störanteiles vom Nachbarkanal	21, 22
Verhallung:	Nachträgliches Zufügen eines indirekten Schallanteiles	7
Vollaussteuerung:	Max. Spannung am Ein- oder Ausgang eines Übertragungsgliedes zur Erzielung der vollen Nennleistung	25, 35, 18

4. erweiterte Auflage.

Abdruck nur mit Quellenangabe gestattet.

Verantwortlich für den Inhalt: Hans-Joachim Haase, St. Georgen

Dual-Werksvertretungen

Platz	Firma	Straße	Tel.-Nr. · FS-Nr
1000 Berlin 41	H. F. Rohde	Schmargendorfer Straße 17	83 71 37/38 · 01 83419 (Habig, Bln.)
3300 Braunschweig	Walter Thomas	Coller Heerstraße 20	5 28 22
2800 Bremen	Rolf Kern	Langenstraße 58	31 08 81—83 · 02 44305
4600 Dortmund	Hubert Kampschulte	Ruhrallee 55	2 60 57/58
4000 Düsseldorf	H. W. Kleemann	Lindenstraße 47	68 45 41/42
6000 Frankfurt	Wilhelm Nutz	Wilhelm-Leuschner-Straße 27	33 15 75 und 33 53 21
7800 Freiburg	Friedrich Seibel	Kartäuserstraße 35	3 39 34
2000 Hamburg-Altona	Georg Himstedt	Thadenstraße 60	43 70 13
3000 Hannover M 1	Werner Müller	Blumenstraße 1	2 12 91
5860 Iserlohn/Westf.	Wilhelm Völker	Ohlstraße 41	2 42 56
3500 Kassel	Bruno Herz	Grüner Weg 19	1 20 98
2300 Kiel	Erich Hesse	Westring 333 a (Hofgebäude)	4 46 23/24
5400 Koblenz	Alfons Michels	Rizzastraße 28	3 20 98
5000 Köln	Alfons Michels	Neue Maastrichter Straße 12/14	52 20 71
6800 Mannheim	Hans Hottergott KG	H 7 / 28	2 55 61
8000 München 12	Heinz Seibt	Landsberger Straße 61	53 38 34 und 53 37 51 · 05 24853
8500 Nürnberg	Werner Weidner	Heideloffstraße 21—23	44 56 51—53 · 06 22848
4500 Osnabrück	Helmut Dreyer	Martinstraße 63	4 14 40 und 4 33 61
7980 Ravensburg/Wttbg.	Wilhelm Michels	Hindenburgstraße 36	47 22/23
6800 Saarbrücken 3	Josef Bücken	Heinrich-Böcking-Straße 7	6 70 71/72
7000 Stuttgart S	Helmut Braun	Sophienstraße 2 B	70 07 55 · 07 23419

Dual-Kundendienststellen

Platz	Firma	Straße	Tel.-Nr. · FS-Nr
5100 Aachen	H. Marschik	Lothringerstraße 37	3 71 81
8900 Augsburg	Cieslicki & Lukas	Dominikanergasse 20	2 06 39
1000 Berlin 41	H. F. Rohde	Schmargendorfer Straße 17	83 71 37/38 · 01 83419 (Habig, Bln.)
4800 Bielefeld	A. Rothgänger	Ernst-Rein-Straße 48	6 59 40
3300 Braunschweig	Ing. Karl Bäsche	Bültenweg 93	3 14 05
2800 Bremen	Rolf Kern	Langenstraße 58	31 08 81—83 · 02 44305
4800 Dortmund	Hubert Kampschulte	Ruhrallee 55	2 60 57/58
4000 Düsseldorf	H. W. Kleemann	Lindenstraße 47	68 45 41/42
4300 Essen	Gerstner & Marquardt	Münchener Straße 48	23 97 45/46
2390 Flensburg	Peter Jepsen	Bahnhofstraße 23	22 72
6000 Frankfurt	Wilhelm Nutz	Wilhelm-Leuschner-Straße 27	33 15 75 und 33 53 21
7800 Freiburg	Friedrich Seibel	Kartäuserstraße 35	3 39 34
2000 Hamburg-Altona	Georg Himstedt	Thadenstraße 60	43 70 13
3000 Hannover M	F. Kotte	Blumenstraße 1	2 12 91
5860 Iserlohn/Westf.	Wilhelm Völker	Ohlstraße 41	2 42 56
7500 Karlsruhe	E. Dzierzawa	Lessingstraße 74	2 70 89
3500 Kassel	Bruno Herz	Grüner Weg 19	1 20 98
2300 Kiel	H. W. Föh	Westring 273	4 14 57
5400 Koblenz	Alfons Michels	Rizzastraße 28	3 20 98
5000 Köln	Alfons Michels	Neue Maastrichter Straße 12/14	52 20 71
6800 Mannheim	W. Streicher	U 6 / 6	2 11 57
8000 München 12	Heinz Seibt	Landsberger Straße 61	53 38 34 und 53 37 51 ; 05 24853
4400 Münster/Westf.	Emil Neher	Paulstraße 7	4 11 43
8500 Nürnberg	Werner Weidner	Heideloffstraße 21—23	44 56 51—53 · 06 22848
4500 Osnabrück	Helmut Dreyer	Martinstraße 63	4 14 40 und 4 33 61
7980 Ravensburg/Wttbg.	Wilhelm Michels	Hindenburgstraße 36	47 22/23
8400 Regensburg	Heinrich Lederer	Am Vitusbach 19	3 08 09
6600 Saarbrücken 3	Josef Bücken	Heinrich-Böcking-Straße 7	6 70 71/72
5900 Siegen	Prümeß, Inh. Gerh. Kill	Adolfstraße 9	2 19 55
7000 Stuttgart S	Helmut Braun	Sophienstraße 2 B	70 07 55 · 07 23419
5500 Trier	Elektro-Goebel	Petrusstraße 4	7 34 22
8700 Würzburg	K. Rückert	Herzogenstraße 11	5 43 87