

HANS KLEFFE

Der gefangene Schall







Hans Kleffe
Der gefangene Schall

Hans Kleffe

Der gefangene Schall

Der Kinderbuchverlag Berlin



Illustrationen von Joachim Arfert

**Vor- und Nachsatz zeigen Musikautomaten
aus dem Märkischen Museum in Berlin**

Als Stühle Musik machten

Noch nie haben die Menschen ihr Leben mit so viel Musik zugebracht wie heute. Wir schalten das Radio ein, legen eine Schallplatte auf oder spielen eine Tonbandkassette ab – und schon erklingt Musik. Doch noch vor einhundert Jahren gab es kein Radio und keine Schallplatten. Die Magnetonteknik wurde sogar erst in den jüngsten dreißig Jahren für den alltäglichen Gebrauch erschlossen. Wenn man früher Musik hören wollte, mußte man sie meist selber spielen oder ein Liedlein singen. In reichen Bürgerhäusern gab es ein Cembalo oder ein Klavier. Vielleicht spielten einige Mitglieder der Familie auch Streichinstrumente. Zur Ausbildung der heranwachsenden Menschen aus den begüterten Schichten gehörte in früheren Jahrhunderten in der Regel, daß sie lernen mußten, ein Musikinstrument zu spielen.

Es kam aber auch schon früh der Wunsch auf, Musik zu hören, ohne sie selbst spielen oder singen zu müssen, sie zu „speichern“ und jederzeit wieder ertönen zu lassen, wenn man danach verlangte. Jahrhundertlang blieb das ein Wunschtraum. Seine Erfüllung war ein langer Weg. Er begann damit, daß man Automaten baute, die ein Instrument zu spielen vermochten, also einen Mechanismus, der beispielsweise die Tasten eines Instruments nacheinander in richtiger Reihenfolge niederdrückte. Im 14. Jahrhundert war in Holland und Flandern, dem heutigen Gebiet der Niederlande und eines Teils von Belgien, ein Instrument verbreitet, das sich für eine solche Automatisierung besonders eignete: das Glockenspiel. Es bestand aus mehreren Glocken, die auf verschiedene Töne gestimmt waren. Anfangs schlug man die Glocken direkt mit einem Hammer an, etwa so wie die einzelnen Holz- oder Metallstäbe eines Kinder-Xylophons mit einem Holzhämmerchen angeschlagen werden. Später ordnete man für jede Glocke einen Hammer an und verband ihn über einen Seilzug mit je einer Taste. Wurde die Taste gedrückt, so fiel der Hammer gegen die Glocke. Nun brauchte man nur noch einen Mechanismus, der die Tasten in richtiger Reihenfolge niederdrückte.

Diese Aufgabe lösten die Uhrmacher, die überhaupt jahrhundertlang eine wichtige Rolle als Konstrukteure und Erbauer von „Musikautomaten“ spielten. Taschen- oder gar Armbanduhren gab es im 14. Jahrhundert noch nicht. Die ersten Taschenuhren, die man ständig mit sich herumtragen konnte, baute der Nürnberger Mechanikus Peter Henlein um 1510. Wegen ihrer Form und Größe wurden sie Nürnberger Eier genannt. Große Uhren gab es aber schon viel früher. Bereits im Jahre 996 soll der Gelehrte Gerbert von Aurillac, der übrigens auch unsere gebräuchlichen arabischen Ziffern in Mitteleuropa einführte (vorher gab es nur die römi-



Drehorgel mit beweglichen Figuren

schen), in Magdeburg die erste mechanische Uhr mit Schlagwerk angefertigt haben. Gegen Ende des 13. Jahrhunderts begann man, in die Türme von Kirchen und später auch von Rathäusern große Räderuhren einzubauen, damit jeder schon von weitem sehen konnte, wie spät es ist.

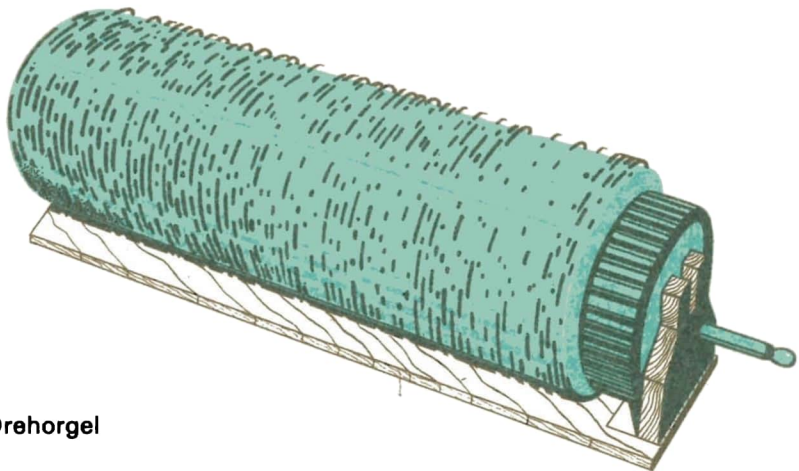
Wenn die Uhrmacher zugleich die Erbauer von automatischen Glockenspielen waren, was lag dann näher, als Turmuhr und Glockenspiel miteinander zu verbinden. So wetteiferten besonders die Städte Hollands und Flanderns darin, ihre Turmuhren mit immer wohlklingenderen Glockenspielen auszustatten. Die Automatik des Spielwerks bestand aus einer Holzwalze, in die in bestimmter Anordnung zahlreiche Stifte geschlagen waren. Wenn sich die Walze drehte, gelangten die Stifte in Stellungen, durch die sie nacheinander die Tasten des Glockenspiels niederdrückten. Durch gleichzeitige Betätigung zweier oder mehrerer Tasten entstand ein mehrstimmiger Klang. Später wurde die Holzwalze durch einen Metallzylinder ersetzt, der bis zu 30 000 Löcher hatte. In die Löcher wurden Stifte gesteckt. Dadurch vermochte das Instrument nicht immer nur dieselbe Melodie zu spielen: Durch Umstecken der Stifte ließ es sich auf verschiedene Melodien „programmieren“, wie wir heute sagen würden.

Auch Metallstäbe, die frei hängen, ergeben beim Anschlagen einen Ton, ebenso Metallröhren, die man deshalb Röhrenglocken nennt. Mit solchen Klangerzeugern wurden kleine Glockenspiele möglich, die in Zimmeruhren paßten. Allerdings waren Stubenuhren damals noch recht groß.

Einen besonders zarten Klang ergaben Glasglocken. Den Antrieb für die Umdrehung der Stiftwalze lieferte ein Federwerk, wie es auch das Uhrzeigerwerk antrieb, oder ein schweres Massestück, ein „Gewicht“, das an einem Seil oder einer Kette hing und durch die Schwerkraft nach unten gezogen wurde. Zum Aufziehen des Spielwerkantriebs brauchte das Massestück nur wieder hochgezogen zu werden.

Die Walze mit den Stiften würden wir in der heutigen Fachsprache als Programmträger bezeichnen. Er ist einer der wichtigsten Bestandteile jedes Musikautomaten. Die Anordnung der Stifte bildet das Programm. Mit einem geeigneten Programmträger können nicht nur Glockenspiele, sondern auch andere Instrumente automatisch gespielt werden, so zum Beispiel Orgeln. Dabei steuert die Stiftwalze eine Mechanik, die Ventile öffnet und schließt und so die Luftzufuhr zu den einzelnen Orgelpfeifen regelt. Verbindet man zwei oder mehr hintereinander liegende Stifte durch einen Steg, so erklingt der Ton doppelt beziehungsweise mehrfach so lange. Nicht allein die Tonfolge, auch die Länge der verschiedenen Töne ist also automatisch zu steuern. Bei einer mechanischen Orgel dreht das Antriebswerk die Programmwalze und den Blasebalg, der den nötigen Luftdruck erzeugt. Es gab sogar automatische Orgeln, die wie eine Wassermühle durch strömendes Wasser angetrieben wurden.

Am einfachsten ist es freilich, den Mechanismus durch Drehen einer Kurbel zu betätigen. Damit wären wir bei der Drehorgel, im Volksmund Leierkasten genannt. Ursprünglich diente sie in England armen Kirchen-



Stiftwalze einer Drehorgel

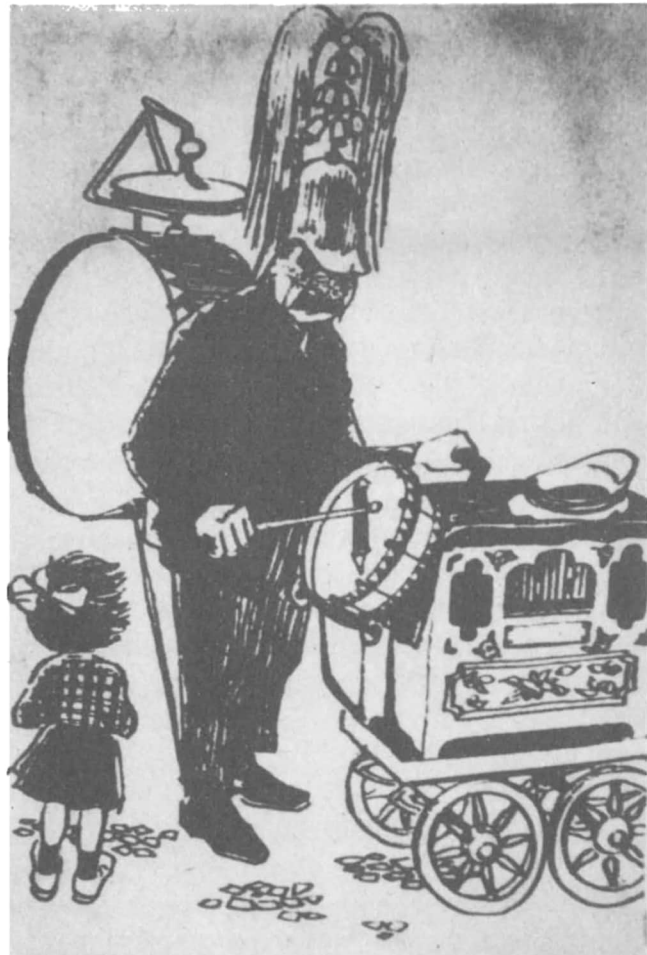


gemeinden, die sich weder eine große Orgel noch einen Orgelspieler leisten konnten, beim sonntäglichen Gottesdienst. Um 1750 baute die englische Firma Flight & Robson eine Drehorgel, die billig und durch jeden Laien zu bedienen war.

Doch war die Drehorgel nicht nur der Kirchenmusik vorbehalten. Es gab auch kleine Drehorgeln, die man vor dem Bauch oder auf dem Rücken tragen konnte. Manche armen Leute erbettelten sich durch Leierkastenspielen notdürftig ihren Lebensunterhalt. Noch in der Zeit bis zum zweiten Weltkrieg zogen Leierkastenmänner in den Städten von einem Hof zum andern und warteten, ob ihnen die Hausbewohner für ihr Spiel ein kleines Geldstück in Papier eingewickelt zum Fenster hinaus auf den Hof werfen würden. Die Leierkästen waren inzwischen auf kleine Fahrge-
stelle montiert und wurden wie Kinderwagen geschoben.

Manche Leierkastenmänner zeigten sich dem Publikum als Ein-Mann-Orchester. Während sie mit der einen Hand die Kurbel des Leierkastens drehten, schlugen sie mit der anderen eine Trommel. Mit einem Bein betätigten sie über ein Seil Pauke und Schlagzeug, die auf den Rücken geschnallt waren. Durch Wackeln mit dem Kopf spielten sie außerdem noch einen Schellenbaum. Auf einer Zeichnung fragt eine kesse Berliner „Jöre“ den Leierkastenmann keck: „– – – und mit de Neese könn’Se nischt?“

Auf großen und komfortablen Drehorgeln, die meist ortsfest aufgestellt wurden, standen häufig Puppen, die Musikanten und Tänzer darstellten. Sie bewegten sich im Takt der Musik und boten so nicht nur dem Ohr etwas, sondern auch dem Auge ein Spektakel, das viel Bewunderung bei den Zuschauern erweckte. Kunstwerke der Mechanik wurden in dieser Form geschaffen.



„Ein-Mann-Orchester“
(um 1930)



Vogelkäfig mit der Nachbildung
eines Kanarienvogels,
der sang und sich bewegte
(Ende des 18. Jh.)

Ein der Drehorgel verwandter Musikautomat war die Flötenuhr, eine Kombination von großer Standuhr und durch eine Stiftwalze gesteuertem Flöten-Spielwerk. Wie bei der Drehorgel war ein Blasebalg erforderlich. Eine solche Flötenuhr, die eine Ouvertüre von Gluck spielt, ist in der Musikautomaten-Sammlung des Märkischen Museums in Berlin zu besichtigen. Flötenuhren waren besonders vom Ende des 18. bis in die zweite Hälfte des 19. Jahrhunderts verbreitet. Freilich waren sie recht teuer, so daß sich nur besonders wohlhabende Bürger ein solches Prunkstück leisten konnten. Auch Könige und Fürsten beschenkten sich gegenseitig damit.

Erschwinglicher waren kleine Spielwerke, die den Gesang von Vögeln nachahmten. Man versuchte damit sogar, Kanarien- und anderen Vögeln das Singen bestimmter Melodien beizubringen. Zur Tonerzeugung diente bei manchen Vogelorgeln eine sogenannte Stempelpfeife, in die ein Kolben mehr oder weniger tief hineingeschoben wurde. Dabei entstanden Gleittöne, wie sie viele Vögel erzeugen. Ein kleiner Blasebalg sorgte für die Luftzufuhr. Um die Nachahmung perfekt zu machen, wurden einige „Vogeluhren“ noch mit der naturgetreuen Nachbildung eines Vogels kombiniert, der in einem Bauer saß und im Rhythmus der Flötentöne seinen Schnabel und die Flügel bewegte.

Den bisher erwähnten Musikautomaten war gemeinsam, daß ein bereits bekanntes und gebräuchliches Instrument lediglich durch eine Auto-

matik statt durch einen Menschen gespielt wurde. Ein ganz neues Prinzip führte dagegen der Schweizer Uhrmacher Antoine Favre 1796 ein. Er benutzte kein herkömmliches Instrument, sondern einen neuen Klangerzeuger, der auf besonders einfache und direkte Weise durch einen Programmträger zum Klingen gebracht werden konnte. Programmträger blieb weiterhin die Stiftwalze. Als Klangerzeuger aber diente ein Stahlkamm mit Zähnen oder Zungen unterschiedlicher Länge. Je nach Länge erzeugen die Zungen Töne verschiedener Höhe.

Wie diese Töne zustande kommen und wie ihre Höhe von der Länge der Zungen abhängig ist, können wir uns durch einen einfachen Versuch veranschaulichen. Wir legen ein Plastlineal so auf den Tisch, daß ein längerer Teil davon über die Tischkante ragt. Wenn wir das andere Ende fest auf den Tisch drücken, das über die Kante ragende aber anheben und dann plötzlich zurückschnellen lassen, schwingt es viele Male sehr schnell hin und her. Dabei entsteht ein schnarrendes Geräusch. Seine Tonlage ist um so tiefer, je länger der über die Tischkante ragende Teil ist und, umgekehrt, um so höher, je kürzer er ist.

Auch die Zungen des Stahlkamms werden durch die Stifte der rotierenden Walze „angerissen“, ähnlich wie die Saiten einer Gitarre. Ebenso wie das Linealende kehrt die Zunge nach dem Anreißen aber nicht sofort in ihre Ruhelage zurück, sondern vollführt zunächst sehr viele äußerst schnell aufeinanderfolgende winzige Hin- und Herbewegungen. Man bezeichnet sie als mechanische Schwingungen. Dabei entsteht ein Ton, dessen Höhe in gleicher Weise wie beim überstehenden Lineal von der Länge abhängt. Durch eine bestimmte Anordnung der Stifte auf der Walze werden verschiedene Zungen so nacheinander angerissen, daß eine Melodie ertönt. Der Antrieb der Walze erfolgt durch ein Federwerk, das man vorher aufziehen muß, oder durch eine kleine Kurbel.

Solche Spieldosen wurden nicht nur in Uhren, sondern auch in viele andere Gebrauchsgegenstände eingebaut. Besonders häufig hat man winzige Spieldöschen in eine Tabaksdose eingesetzt. Sobald man sie öffnete, begann das Spiel. Sogar „musikalische Stühle“ gab es. Wenn man sich darauf setzte, begann die eingebaute Spieldose zu klimpern. Reiche adlige Herrschaften ließen sich eine Spieldose in ihre Kutsche einbauen. Bei der Fahrt wurde die Stiftwalze durch die sich drehenden Räder angetrieben – ein Vorläufer des Autoradios im Zeitalter des „Hafermotors“. So nannte man scherzhaft das Pferd, weil es Hafer frißt und dafür wie ein Motor Zugkraft liefert.

Ab etwa 1830 verzichtete man darauf, die Spieluhr mit einem anderen Gebrauchsgegenstand zu kombinieren. Wohlhabende Leute schenkten ihren Kindern eine kleine Spieldose. Sie diente auch häufig als galantes



Die Zungendreihorgel,
ein Vorläufer des Plattenspieters

Geschenk junger Männer an ihre Verlobte. Daneben entstanden große und teure Spieldosen, die mehrere Melodien spielten. Die Programme der verschiedenen Melodien befanden sich auf der Walze nebeneinander. Am Ende eines abgespielten Stücks verschob sich die Walze gegenüber dem Stahlkamm so, daß eine andere Anordnung von Stiften dem Kamm gegenüberstand. Damit begann das Spiel der zweiten Melodie und so fort. Waren alle einprogrammierten Stücke abgespielt, so rückte eine Feder die Walze wieder in ihre anfängliche Lage, und die Melodienfolge konnte von neuem beginnen. Verglichen mit unseren heutigen hochwertigen Rundfunkempfängern und Schallplattenabspielgeräten waren diese Möglichkeiten musikalischer Unterhaltung zwar recht bescheiden. Aber die Leute hatten ihre Freude daran.

Spieldosen für mehrere Melodien waren ziemlich groß und ihr Mechanismus recht kompliziert. Es gab auch Spieldosen, in denen man die Stiftwalze auswechseln konnte. Aber das war ebenfalls noch keine ideale Lösung. Da kam 1885 dem Londoner Ellis Parr eine glänzende Idee. Er ersetzte die Stiftwalze durch eine runde Metallscheibe, die man fast so bequem auswechseln konnte wie heute eine Schallplatte. Die Metallscheibe hatte aber keine Rillen wie unsere Schallplatten, sondern häkchenförmige Vorsprünge ähnlich wie die Programmwalze Stifte. Wenn sich die Platte drehte, rissen die Vorsprünge die Zungen eines Stahlkamms an. Ein Leipziger Ingenieur, Paul Lochmann, erkannte sofort den großen Vorteil dieses Prinzips und führte es bei den in seiner Firma hergestellten Musikautomaten ein. Sie wurden unter der Bezeichnung Symphonion weltbekannt. Spätere, weiter verbesserte Musikautomaten des gleichen Grundprinzips nannte man auch Polyphone.

Die Mechanik war verhältnismäßig einfach. Musikautomaten dieser Art wurden in vielen verschiedenen Ausführungen gebaut. Ihre Größe

hing vom Durchmesser der verwendeten Platten ab. Bei kleineren Apparaten wurde die Metallscheibe waagrecht aufgesetzt wie bei unseren heutigen Plattenspielern. Bei Apparaten für große Platten stand sie senkrecht wie das Zifferblatt einer Wanduhr. Es gab Platten mit fast 1 m Durchmesser. Je größer die Platte, desto mehr Vorsprünge enthielt sie und desto mehr Töne konnte sie bei einer Umdrehung anreißen. Um so länger war daher die Spieldauer. Zum Unterschied von heutigen Schallplatten rotierte die Platte sehr viel langsamer. Denn sie spielte die ganze Melodie im Verlauf von nur einer Umdrehung ab. Dann blieb die Platte stehen. Auch ein solcher Musikautomat ist im Berliner Märkischen Museum ausgestellt.



Ein Symphonion oder Polyphon
genannter Musikautomat

Die großen Symphonions waren recht klangschöne Instrumente. Sie ergaben eine beachtliche Lautstärke, so daß sie auch in einem größeren Raum gut zu hören waren, beispielsweise in Cafés und Restaurants. Manche setzten sich von selbst in Funktion, wenn man eine Münze einwarf. In vielen Gaststätten schlangen die Leute nach der Musik eines Symphonions oder Polyphons munter das Tanzbein.

Doch auch diese Art von Musikautomaten wurde übertroffen. Die Grundlage der weiteren Verbesserung hat bereits im Jahre 1801 der Franzose Joseph Jacquard ersonnen – allerdings für einen ganz anderen Zweck, nämlich für die automatische Steuerung von Webstühlen, die Stoffe mit komplizierten Mustern weben. Jacquard benutzte als Programmträger Kartons, in die in bestimmter Anordnung Löcher gestanzt waren. Diese Erfindung wurde später auch bei Musikautomaten angewendet. Dabei lief der Karton über eine Reihe von kleinen Hebeln. Sie wurden durch den Karton niedergedrückt. Glitt jedoch ein Loch über einen Hebel, so konnte dieser für einen Moment hervorspringen. Er öffnete ein Ventil, das Luft in eine Orgelpfeife strömen ließ. Dabei hielt der Karton allerdings nicht lange.

Deshalb gingen die Drehorgelbauer zu einem anderen Verfahren über. Hierbei lief der Karton über ein System von Röhren, in denen ein bestimmter Luftdruck herrschte. Kam ein Loch über eine Röhre, so war sie geöffnet, und die Druckluft konnte entweichen. Sie strömte gegen eine Vorrichtung, die nun ihrerseits die Tonerzeugung auslöste. Seit etwa der Mitte des vorigen Jahrhunderts dienten solche gelochten Kartonstreifen als Programmträger von Drehorgeln und verdrängten mehr und mehr die Stiftwalze. Viele Kartonbögen waren in langer Reihe miteinander verbunden und, um sie auf kleinem Raum unterbringen zu können, ähnlich wie der Balg einer Ziehharmonika gefaltet. Orgeln dieser Art wurden in viele Karussells eingebaut. Für den Antrieb sorgte manchmal sogar eine Dampfmaschine. Sie trieb zugleich die Orgel und das Karussell an.

Etwa ab Mitte des vorigen Jahrhunderts entstand noch ein anderes Verfahren. An die Stelle der Kartonbögen als Programmträger trat eine lange mit Löchern versehene Papierrolle. Durch die Löcher wurde auf ähnliche Weise der Weg für einen Luftstrom freigegeben, der die Betätigung des Klangerzeugers auslöste. Auf der breiten Papierrolle ließ sich das Programm nicht nur für ein, sondern für mehrere Instrumente beziehungsweise Klangerzeuger, die Musikinstrumente nachahmten, unterbringen. So kam es zu riesigen Musikautomaten wie dem im Märkischen Museum ausgestellten Orchestrion „Fratihymnia“. Es wurde in den Jahren 1891 bis 1892 gebaut und ist größer als ein riesiger Kleiderschrank. Es erzeugt den Klang einer Kapelle von 28 Instrumenten, darunter Klavier, Cello,

Elektrischer Flügel (1908).
In der Mitte oberhalb
der Tastatur ist der
Lochstreifen angebracht



Harmonium, Trommel, Becken und Kastagnetten. 1919 wurde es nochmals umgebaut. Orchestrions blieben also bis weit in die Zeit, in der es schon Schallplatten gab, gebräuchlich.

Schließlich wurde auch das Klavierspielen mit Hilfe breiter gelochter Papierrollen automatisiert. Pianola nannte man das so umgebaute Klavier. Noch in den zwanziger Jahren unseres Jahrhunderts kauften sich reiche Leute, die ihren Gästen mit „Hausmusik“ imponieren wollten, aber selbst zu bequem oder unbegabt waren, das Musizieren zu erlernen, ein „elektrisches Klavier“.

Das Prinzip ließ sich auch umkehren: Mit einem besonderen Aufnahmegerät konnte beim Spielen des Klaviers eine Papierrolle so gelocht werden, daß sie alle Informationen enthielt, die für eine genaue automatische Wiederholung des Klavierspiels erforderlich sind.

Diesem Umstand verdanken wir, daß es heute Schallplatten gibt, auf denen wir längst verstorbene Komponisten eigenhändig ihre Werke spielen hören. Inzwischen wäre so etwas zwar auch auf andere Weise möglich, indem man eine Schallplattenaufnahme anfertigt. In den ersten Jahrzehnten unseres Jahrhunderts konnte man aber noch keine Platten mit der heutigen Klangqualität herstellen. Daher war es vorteilhaft, wenn berühmte Komponisten ihr Klavierspiel auf einer Papierrolle verewigten. Heute kann man danach Schallplatten von guter Klangqualität anfertigen.

Sehen wir einmal von diesem Sonderfall ab, so gibt es zwischen allen bisher beschriebenen Musikautomaten und unseren heutigen Schallplatten und Tonbändern sowie den dazugehörigen Abspielgeräten jedoch einen ganz grundlegenden Unterschied: Die Automaten spielen wirkliche Musikinstrumente beziehungsweise spezielle Klangerzeuger. Geräte zum Abspielen von Schallplatten und Tonbändern betätigen keine Musikinstrumente. Trotzdem ist die Musik, die Menschen auf Instrumenten einmal gespielt oder als Gesang mit ihrer Stimme dargeboten haben, auf den Platten und Bändern so festgehalten, daß sie immer wieder in derselben Weise erklingen kann. Das ganze Schallereignis mit allen seinen Besonderheiten, wie dem Nachhall im Raum, wird dabei wieder hörbar. Musikautomaten vermögen nur einfachste künstlerische Ansprüche zu befriedigen. Sie können keine Sinfonien und Chorwerke, keinen Gesang einzelner oder mehrerer Menschen nachahmen. Kurz gesagt: Automaten spielen Instrumente; Platte und Band speichern den Schall, der irgendwann einmal von Instrumenten oder menschlichen Stimmen erzeugt wurde. Ferner ist ein Schallplatten-Abspiel- oder ein Tonbandgerät auch weitaus billiger als ein Orchestrion. Selbst wer nur einfachste Ansprüche an musikalische Unterhaltung stellt, wird deshalb heute nicht mehr auf ein Orchestrion oder andere Musikautomaten zurückgreifen. Sie haben inzwischen nur noch historischen Wert für Museen und private Sammler.

Wie funktionieren Schallplatten- und Tonbandgeräte? Wie ist es möglich, klangschöne Musik auf die einfachen schwarzen Scheiben zu pressen? Und wie erklärt es sich, daß Musik und Worte mit Hilfe eines hauchdünnen schmalen Bandes ertönen können? Wenn wir dieses „Geheimnis“ enträtseln wollen, kommen wir nicht umhin, uns zunächst ausführlich mit einer anderen Frage zu beschäftigen. Sie lautet:

Was ist Schall?

Alles, was wir hören können – Töne, Klänge und alle Geräusche –, wird unter dem Begriff Schall zusammengefaßt. Wie entsteht Schall? Die Antwort darauf klingt im ersten Moment seltsam, fast unglaublich: Schall beruht auf sehr schnellen Hin- und Herbewegungen irgendwelcher Stoffe, Medien. Man nennt solche schnellen Hin- und Herbewegungen, wie wir sie bereits bei dem Stahlkamm der Spieldosen kennenlernten, mechanische Schwingungen. Wenn auf der Gitarre ein sehr tiefer Ton angerissen wird, sehen wir – wenn auch nur sehr undeutlich – ein Vibrieren, ein Schwingen der Saite. Das Schwingen erfolgt so schnell, daß wir die einzelnen Hin- und Herbewegungen nicht sehen oder gar zählen können.

Die Schwingungen der Saite stoßen auch die Luftteilchen, welche die Saite umgeben, zu gleich schnellen Schwingungen an. Luft besteht bekanntlich aus ungezählten unsichtbar winzigen Gasteilchen. In 1 cm^3 Luft sind unter normalen Bedingungen 2685000000000000000 Gasteilchen enthalten! Zuerst werden die der Saite unmittelbar benachbarten Teilchen in Schwingungen versetzt. Diese stoßen dann die ihnen benachbarten Gasteilchen ebenfalls zu schnellen Schwingungen an und so fort. Auf diese Weise breitet sich der Schall immer weiter durch die Luft aus und erreicht unser Ohr. Er wird ähnlich wie eine Stafette von den Luftteilchen weitergetragen. Doch wie jeder Vergleich hinkt auch dieser. Denn beim Stafettenlauf wird der Stab nur entlang einer bestimmten Richtung weitergereicht. Der Schall breitet sich dagegen rund um die Schallquelle nach allen Richtungen aus. Er breitet sich aus wie eine Kugel, die sich immer weiter aufbläht. Auch die Schwingungen der Luftteilchen sind unsichtbar.

Damit uns dies jedoch etwas anschaulicher wird, wollen wir einige Grundeigenschaften von Schwingungen an sichtbaren Beispielen betrachten. Eine Art sichtbarer Schwingungen kennen wir alle: das Schaukeln. Dabei schwingen wir um eine Mittelpunktslage abwechselnd bis zu dem vorderen und hinteren Endpunkt der Bewegung. Die Schwingungsweite zwischen den beiden Endpunkten heißt **Amplitude**. Eine volle Schwingungs**periode** haben wir dann zurückgelegt, wenn wir von der Mittelpunktslage (Ruhelage) einmal bis zum vorderen Endpunkt, von dort zurück zum hinteren Endpunkt und von hier wieder bis zur Mittelpunktslage geschaukelt sind.

Die Anzahl der Schwingungsperioden, die innerhalb einer Sekunde erfolgen, heißt **Frequenz**. Sie wird in einer Maßeinheit angegeben, die zu Ehren des deutschen Physikers Heinrich Hertz benannt ist. 1 Hertz (Kurzzeichen: Hz) bedeutet: 1 Schwingungsperiode je Sekunde. Beim Schaukeln werden wir kaum 1 Hz schaffen. Der für den Menschen hörbare Schall enthält Frequenzen zwischen etwa 16 und 20 000 Hz. Je höher die Frequenz, desto höher der Ton.

Diese Zahlen erklären zugleich, warum wir Schallschwingungen nicht sehen können. Nur wenn man beispielsweise eine schwingende Gitarrensaite mit einer Zeitlupenkamera filmen würde, die in jeder Sekunde Hunderte einzelner Bilder aufnimmt, ließen sich die Schwingungen sichtbar machen. Da außerdem die Amplitude der Schallschwingungen sehr klein ist, genügte die große Anzahl der Einzelbilder allein aber noch nicht. Man müßte außerdem durch eine Lupe filmen, so daß die winzigen Wegstrecken, welche die Saite beim Schwingen zurücklegt, stark vergrößert abgebildet werden.

Die Membran eines Lautsprechers – das ist der tellerähnliche, den Schall erzeugende Teil – bewegt sich bei der Wiedergabe einer lauten Sprechstimme nur um 3 Millionstelmillimeter hin und her. Bei einem Paukenschlag erhöht sich diese Amplitude auf das etwa 100fache. Bei einem leisen Ton beträgt sie Milliardstelmillimeter.

Auch die Ausbreitung des Schalls können wir uns durch eine sichtbare Erscheinung einigermaßen veranschaulichen. Werfen wir einen Stein ins Wasser, so gehen von dem Punkt, an dem er ins Wasser fiel, kreisförmig nach allen Seiten Wellen aus. Der Stein hat bei seinem Eintauchen Wasserteilchen nach unten gedrückt. Da dort aber andere Wasserteilchen vorhanden sind, müssen diese neben der Einschlagstelle nach oben ausweichen. Rund um den Einschlagspunkt wird folglich die Wasseroberfläche etwas nach oben gedrückt. Es entsteht ein Wellenberg.

Die Schwerkraft der Erde zieht die Wasserteilchen aus dieser oberen Lage aber schnell wieder zurück. Dabei schnellen sie über das Ziel hinaus und sinken für einen Moment unter die sonstige Wasseroberfläche hinab. So entsteht hinter dem Wellenberg ein Wellental. Die hinunterschnellenden Wasserteilchen verdrängen dabei wieder – wie zuerst der Stein – die unten vorhandenen Wasserteilchen, die ebenfalls seitlich nach oben ausweichen und den zweiten Wellenberg bilden, dem wieder ein Tal folgt und so fort.

Es entstehen immer mehr und immer weiter von der Einschlagstelle entfernte Wellen. Und da die Wasserteilchen nicht schon nach der ersten Schwingungsperiode wieder in ihrer Mittelpunktslage zur Ruhe kommen, sondern mehrmals auf und ab schwingen, dauert auch das Spiel der Wellenbewegung eine Weile an. Allmählich werden die Wellen aber immer flacher, bis die Wasseroberfläche wieder ruhig und glatt ist.

In einem Punkte täuscht die Beobachtung der Wasserwellen allerdings. Es sieht so aus, als würde sich das Wasser mit den Wellen von der Einschlagstelle immer weiter weg bewegen. Das ist in Wirklichkeit nicht der Fall. Legen wir einen Korken auf die Wasserfläche, so sehen wir, daß er mit der Wellenbewegung nur auf und ab schwingt, sich aber kaum von der Stelle bewegt. Würde das Wasser zusammen mit der Wellenbewegung weiterwandern, so müßte es den leichten Korken dabei mitreißen. Folglich wandern keine Wasserteilchen von der Einschlagstelle nach allen Seiten hinweg, sondern nur der Zustand des Auf-und-Ab-Schwingens der Wasserteilchen breitet sich nach allen Seiten aus. Das ist so ähnlich wie beim Abzählen in der Reihe. Dabei wendet jeder Schüler seinen Kopf nach rechts und ruft seinem Nachbarn die nächste Zahl zu. Der Zustand des Kopfwendens breitet sich die ganze Reihe entlang aus, aber keiner der Schüler läuft dabei die Reihe entlang.

Vielleicht haben wir schon einmal gelesen, daß die Geschwindigkeit der Schallausbreitung, kurz **Schallgeschwindigkeit** genannt, in Luft von normaler Temperatur und normalem Druck 332 m/s beträgt. Das ist schneller, als der schnellste Rennwagen fährt. Wenn jemand aus rund 3 m Entfernung zu uns spricht, dauert es also nur $\frac{1}{100}$ s, bis der Schall an unserem Ohr eintrifft. Es bedeutet aber nicht, daß sich Luftteilchen mit 332 m/s von der Schallquelle an unser Ohr bewegen. Vielmehr breitet sich nur das Hin- und Herschwingen der Luftteilchen mit dieser Geschwindigkeit aus.

Erscheinungen, bei denen zwar Energie – im Falle der Wasserwellen Bewegungsenergie von Wasserteilchen, im Falle des Schalls Bewegungsenergie von Luft- oder anderen Teilchen – transportiert wird, dabei jedoch kein Transport dieser Stoffe selbst erfolgt, bezeichnet man in der Physik als **Wellen**. Auch der Schall breitet sich folglich wellenförmig aus, und zwar als Kugelwelle wie eine sich immer mehr aufblähende Kugel.

Die Schallgeschwindigkeit kann man manchmal zum Abschätzen der Entfernung benutzen. Zählen wir die Sekunden, die zwischen dem Aufleuchten des Blitzes und dem Eintreffen des Donners vergehen, und dividieren das Ergebnis durch 3, so erhalten wir die Entfernung der Gewitterwolke in Kilometern. Denn $3 \cdot 332 \text{ m}$ ergeben rund 1 000 m. Folglich durchheilt der Schall in jeweils 3 s etwa 1 km. Übrigens breitet sich auch das Licht des Blitzes nicht unendlich schnell, sondern „nur“ mit einer Geschwindigkeit von rund 300 000 km/s aus. Das ist allerdings so schnell, daß wir den Zeit„verbrauch“ bei so relativ kurzen Strecken unberücksichtigt lassen können.

Wenn wir im Gebirge vor einer entfernten Steilwand stehen und ein Wort hinüberryufen, so tönt es nach einiger Zeit als Echo zurück. Die Schallwellen sind dabei von unserem Mund bis zur Wand gelaufen, wurden von dieser zurückgeworfen, reflektiert, und gelangten wieder zu uns. Das Echo ist um so deutlicher, je größer und ebener die Wand. Vergehen bis zur Rückkehr des Echos 2 s, so ist die Wand rund 330 m entfernt. Denn die Schallwellen müssen den Weg ja zweimal zurücklegen.

Auch die Wände unserer Wohnräume und des Klassenzimmers reflektieren den Schall. Da sie aber nicht weit voneinander entfernt sind, trifft die Schallreflexion so schnell an unserem Ohr ein, daß wir den winzigen Zeitunterschied nicht bemerken. Vielmehr addiert sich die Lautstärke der Reflexion nur zu der unserer Stimme. Darum klingt das Sprechen in einem geschlossenen Raum lauter als im Freien. Auch ein Radio, das im Freien betrieben wird, klingt bei gleicher Stellung des Lautstärkereglers nicht so laut wie in einem geschlossenen kleineren Raum.

Die Möbel, Gardinen und Teppiche in den Wohnräumen schwächen

aber die Reflexion des Schalls ab. Das merken wir deutlich, wenn ein Zimmer zum Renovieren leer geräumt wurde. Die Sprache klingt dann ganz anders. Wir hören einen Nachhall, der sonst nicht auftritt. Er ist um so deutlicher, je größer der Raum ist. In Theatern und Konzertsälen würden die Instrumente und Gesangsstimmen ohne jeden Nachhall nicht gut klingen. Doch zuviel Nachhall stört wiederum auch. Deshalb müssen vor jedem Bau eines Saales die zu erwartenden Schallreflexionen von Wissenschaftlern genau berechnet werden. In der Fachsprache unterscheidet man zwischen Reflexion und Echo. Erst wenn der zeitliche Abstand zwischen dem Originalton und der ersten Reflexion größer als $\frac{5}{100}$ s ist (das sind 50 Millisekunden), wird diese Reflexion für das Ohr unterscheidbar. Man bezeichnet sie dann als Echo.

Schall breitet sich nicht nur durch die Luft aus, sondern auch in flüssigen und festen Stoffen. Die Schallgeschwindigkeit im Wasser ist sogar wesentlich größer als in Luft, sie beträgt 1 407 m/s. Wenn wir beim Baden im See den Kopf unter Wasser halten, hören wir daher das Motorengeräusch eines Bootes schon früher als über Wasser durch die Luft.

Das beruht aber nicht allein auf der größeren Schallgeschwindigkeit, sondern noch auf einem anderen Umstand. Schall ist nicht beliebig weit zu hören – zum Glück, denn sonst wäre es auf der Welt vor Lärm nicht auszuhalten! Mit zunehmendem Abstand von der Schallquelle nimmt die Amplitude der Schallschwingungen ab und abhängig von ihr die Lautstärke des Schalls. Je größer die Amplitude, desto lauter der Schall. Die allmähliche Verringerung der Amplituden und damit der Lautstärke nennt man **Dämpfung**. In der Luft ist sie größer als im Wasser. Daher hört man ein Geräusch gleicher Lautstärke im Wasser weiter als in der Luft. Schiffe und Unterseeboote können mit hochempfindlichen Geräten durch ihr Motorengeräusch schon auf sehr weite Entfernungen bemerkt werden.

Als die Indianer Nordamerikas noch Herren ihres Landes waren, legten sie das Ohr auf den Boden, um das Herannahen einer Büffelherde schon auf große Entfernung zu hören und ihre Jagdvorbereitungen zu treffen. Das Büffelfleisch war für sie ein wichtiges Nahrungsmittel. Als die europäischen Einwanderer bemerkten, wie abhängig die Indianer vom Büffelfleisch waren, schossen sie die Tiere massenhaft ab. Durch die Vernichtung der Herden entzogen sie den Ureinwohnern des Landes die Lebensgrundlage.

Auch der Erdboden leitet also den Schall. Besonders gut breitet er sich in Eisen aus. Wenn irgendwo an der Gasleitung gearbeitet wird, hört man das im ganzen Haus. Der Schall pflanzt sich durch die Rohre fort. Ebenso hört man es im ganzen Haus, wenn an irgendeiner Stelle die Wasserlei-



Schnur-Telefon



tung „schnarcht“. Zum Unterschied vom Luftschall bezeichnet man die Ausbreitung in flüssigen und festen Körpern als Körperschall. Die Schallgeschwindigkeit in Eisen ist mit $4\,800\text{ m/s}$ rund 15mal so groß wie in Luft.

Die Ausbreitung von Körperschall läßt sich durch einen einfachen Versuch veranschaulichen. Mit etwas Bastelgeschick kann man sich ein Schnurtelefon bauen. Wir schneiden aus 5 mm starkem Sperrholz oder einem ähnlichen Material zwei Ringe aus, deren Durchmesser etwa dem einer Konservendose entspricht. Der Ring wird mit Zeichen-Pergamentpapier so beklebt, daß es ihn straff überspannt. Dann stechen wir in die Mitte des Papiers ein kleines Loch und fädeln eine dünne Schnur hindurch, die verknotet wird, damit sie nicht wieder herausrutscht. Das gleiche erfolgt mit dem anderen Ende der Schnur am zweiten Ring. Wenn nun ein Mitspieler auf das Pergamentpapier des einen Ringes spricht und sich der andere den zweiten Ring ans Ohr hält, hört er die Worte. Vielleicht klappt es auch mit zwei leeren Konservendosen. Was man in die eine Dose hineinspricht, ist zu hören, wenn man sich die andere Dose mit dem offenen Ende ans Ohr hält. Die Schnur zwischen beiden muß gerade so straff gespannt sein, daß der Faden nicht aus den Löchern reißt. Auch die Schnur leitet also den Schall.

Die Ausbreitung von Wellen – diesmal aber nicht von Schallwellen – können wir uns noch durch ein anderes Spiel veranschaulichen. Wir binden das eine Ende eines Seils an einen Pfahl oder anderen festen Gegenstand, lassen die Leine ein wenig durchhängen und bewegen das Ende, das wir in der Hand halten, einmal kräftig auf und ab. Es entsteht eine Welle, die über das ganze Seil hinweg zum anderen Ende wandert. Das bestätigt noch einmal, daß nicht etwa das ganze Seil mit der Wellenbewegung wandert, sondern nur die Welle allein.

Ein anderes Experiment – wir können es allerdings selbst kaum ausführen, es uns aber gut vorstellen – lehrt eine weitere grundlegende Eigenschaft des Schalls. Stellt man eine elektrische Klingel unter eine luftdicht schließende Glasglocke und pumpt aus dieser die Luft aus, so wird das Klingeln immer leiser, je weniger Luft sich noch unter dem Glas befindet. Sobald die Luft fast völlig ausgepumpt ist, hören wir überhaupt kein Klingeln mehr, obwohl der Klöppel noch immer anschlägt. Es wird also nach wie vor Schall erzeugt, aber er kann sich nicht mehr ausbreiten, weil die Klingel nun von einem luftleeren Raum, einem Vakuum, umgeben ist.

Um das Klingeln jetzt noch zu hören, müßten wir unser Ohr direkt an die Glocke legen.

Das Experiment bestätigt die eingangs erwähnte Tatsache, daß Schall auf den Schwingungen von Stoffen beruht. Daher ist auch die Ausbreitung von Schall nur in Stoffen möglich, nicht jedoch in einem stofflich leeren Raum. Darin unterscheidet sich der Schall vom Licht und den Radiowellen. Das Licht der Sonne und die Funksignale der Sender künstlicher Erdsatelliten und Planetensonden breiten sich auch durch ein Vakuum aus, dringen also auch durch den Weltraum zur Erde, obwohl in diesem noch weit weniger Gas- und Staubteilchen enthalten sind als bei unserem Gedankenexperiment mit der Glasglocke.

Auf der Oberfläche der Sonne ereignen sich gigantische Explosionen, die von einem unvorstellbar lauten Donnern begleitet sind. Daß wir davon nichts hören, liegt nicht allein an der großen Entfernung. Selbst wenn wir uns der Sonne mit einem Raumschiff sehr stark nähern könnten, blieben die Explosionen unhörbar, weil sich zwischen Sonne und Raumschiff ein Vakuum befindet. Im Weltall ist es daher so still wie nirgends auf der Erde. In der Kabine eines Raumschiffs hört man freilich alle Geräusche, die im Raumschiff selbst erzeugt werden. Denn sie ist ja mit Gas gefüllt, sonst könnten die Raumfahrer nicht atmen.

Schwingungen, bei denen Stoffe oder Stoffteilchen in periodische Bewegungen geraten, bezeichnet man in der Physik als **mechanische Schwingungen**. Licht und Radiowellen gehören nicht dazu, sie sind **elektromagnetische Schwingungen**. Was hierbei schwingt, sich also periodisch verändert, ist kein Stoff, sondern eine Erscheinungsform der Materie, die in der Fachsprache der Physik mit dem bildlich gemeinten Ausdruck **Feld** bezeichnet wird. Um einen Magneten herrscht zum Beispiel ein magnetisches Feld. In einem Feld finden bestimmte Wirkungen statt: So wird beispielsweise im Magnetfeld eine Kompaßnadel abgelenkt.

Warum niemand seine eigene Stimme kennt

Oft werden die erstaunlichen Leistungen unserer Augen bewundert. Aber das Ohr ist ein nicht weniger kompliziertes Sinnesorgan und das Hören eine ebenso erstaunliche Funktion unseres Nervensystems. In der Umgangssprache bezeichnen wir oftmals die Ohrmuschel als das Ohr. Sie ist aber nur ein Teil des Gehörorgans.

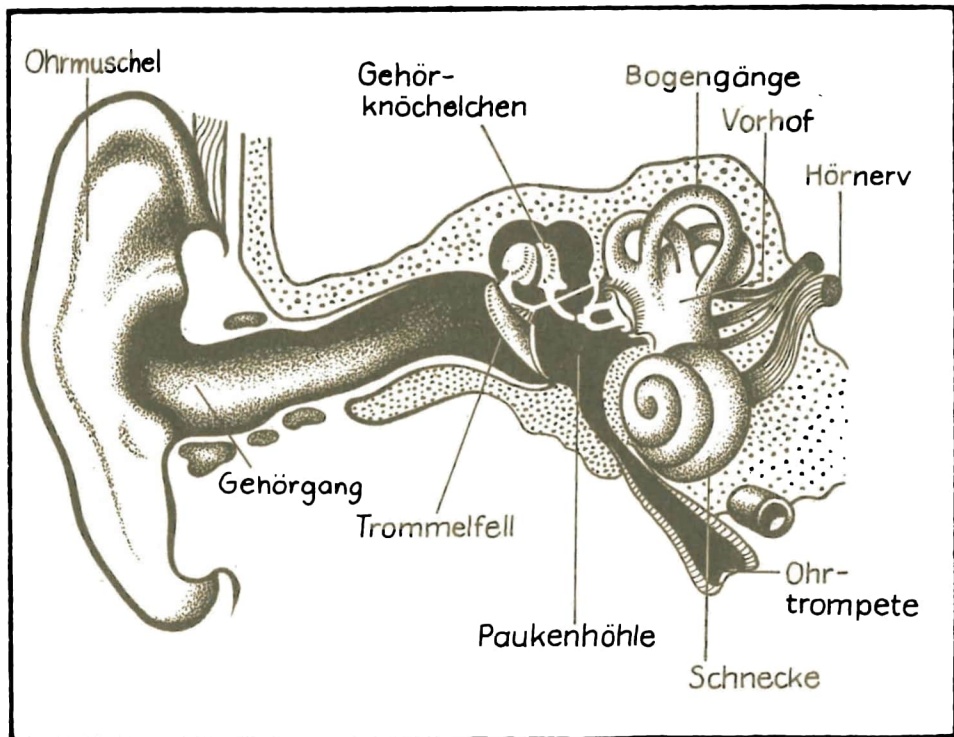
Ausgehend von der Ohrmuschel setzt sich dieses Organ weit nach innen fort. Die Muschel dient lediglich als Schalltrichter, der den Schall in den sich daran anschließenden Gehörgang weiterleitet. In ihn können wir

noch ein Stück weit hineinsehen. Aber die vielen komplizierten Teile des Ohrs, die sich daran anschließen, bleiben dem Blick verborgen. Im Gehörgang werden die Schallwellen gesammelt und treffen auf ein Häutchen, das den Gang an seinem Ende abschließt. Es heißt Trommelfell, ist aber nicht so straff gespannt wie das Kalbfell einer Trommel. Der Schall versetzt das Häutchen in Schwingungen.

Ohrmuschel, Gehörgang und Trommelfell bilden zusammen das sogenannte äußere Ohr. Daran schließt sich das Mittelohr an. Es besteht aus drei Gehörknöchelchen – Hammer, Amboß und Steigbügel genannt, weil ihre Form diesen Gegenständen ähnelt – sowie einem luftgefüllten Hohlraum, der Paukenhöhle. Der „Stiel“ des Hammers ist mit dem Trommelfell verwachsen. Dadurch übertragen sich die Schwingungen des Trommelfells auf die drei Gehörknöchelchen. Sie fungieren als eine Art Verstärker. Durch Hebelwirkung werden aus den Schwingungen des Trommelfells, die mit relativ großer Amplitude, aber geringer Kraft erfolgen, am Steigbügel Schwingungen von kleinerer Amplitude, aber zehn- bis zwanzigfach stärkerer Kraft.

Der Steigbügel überträgt die Schallschwingungen auf ein Häutchen, das ovale Fenster. Es gehört bereits zum Innenohr und schließt ein mit

Schnitt durch das menschliche Ohr



Flüssigkeit gefülltes Organ ab: die Schnecke, so genannt wegen der äußeren Ähnlichkeit seiner Form. Erst in der Schnecke befindet sich der Teil des Ohrs, der den Schall nicht bloß weiterleitet, sondern verarbeitet. Nach dem Forscher Alfonso Corti, der diesen Teil des Ohres wissenschaftlich beschrieb, wird es Cortisches Organ genannt. Es enthält etwa 16 000 Sinneszellen mit feinen Härchen. Wenn die Schallwellen in die Schnecke eindringen, versetzen sie die darin befindliche Flüssigkeit in Schwingungen und Wirbel. Dadurch schließlich werden über die Härchen die Sinneszellen des Cortischen Organs „erregt“.

Als Erregung bezeichnet man in der Wissenschaft, die sich mit der Funktion der Sinnesorgane und des Nervensystems befaßt, ganz allgemein die Veränderungen, die beim Einwirken eines Reizes, in unserem Falle des Schalls, hervorgerufen werden. Die Veränderungen sind chemischer und physikalischer Natur. Der Erregungszustand breitet sich über mikroskopisch feine Nervenfasern vom Cortischen Organ bis ins Gehirn aus. Dort werden die Erregungen zu den verschiedenen Gehörseindrücken weiterverarbeitet.

Für die Fortleitung des Schalls in das Innenohr gibt es noch einen zweiten Weg. Denn das Trommelfell und die Gehörknöchelchen können nur Frequenzen bis etwa 2 000 Hz übertragen. Bei höheren Frequenzen schaltet sich dieser Mechanismus daher ab, und es tritt ein anderer in Funktion, die sogenannte Knochenleitung. Dabei breiten sich die Schallschwingungen über knöcherne Teile des Schädels bis ins Innenohr aus. Berühren wir mit einer angeschlagenen Stimmgabel unser Schädeldach, die Zähne oder den kleinen Knochenvorsprung, der sich hinter der Ohrmuschel befindet, so hören wir deutlich den Ton.

Die Knochenleitung spielt auch eine besondere Rolle beim Hören der eigenen Stimme. Daraus folgt, daß niemand seine eigene Stimme kennt. Auf einer Tonbandaufnahme erscheint sie uns fremd. Denn infolge der Knochenleitung hören wir unsere Stimme direkt niemals so wie andere Menschen. Erst wenn wir sie indirekt über das Tonband hören, erlangen wir eine Vorstellung davon, wie unsere Mitmenschen die Besonderheiten unserer Stimme empfinden. Nur zum Teil beruhen die Klangveränderungen, die uns die eigene Stimme fremd erscheinen lassen, auf den physikalisch-technischen Umwandlungsprozessen der Schallaufzeichnung und -wiedergabe.

Ein besonders feines Gehör haben Blinde. Sie gleichen dadurch den Verlust an Orientierungsmöglichkeiten durch die Augen teilweise wieder aus. Aber auch bei allen anderen Menschen ist das Gehör erstaunlich leistungsfähig. Das zeigt sich unter anderem beim Richtungshören. Weil beide Ohren an etwas verschiedenen Stellen des Kopfes sitzen, gelangt

der Schall zu etwas unterschiedlichen Zeitpunkten an die Hörorgane. Aus dieser Zeitdifferenz erkennen wir die Richtung der Schallquelle.

Bei einem Experiment wurden den Versuchspersonen die beiden Enden eines genau 200 cm langen Gummischlauchs in die äußeren Gehörgänge gesteckt und der Mittelpunkt des Schlauches gekennzeichnet. Wenn man mit einem Stäbchen zuerst am Mittelpunkt und dann einen Zentimeter links oder rechts davon klopfte, so konnten die meisten Personen unterscheiden, ob links oder rechts geklopft wurde.

Da die Wegdifferenz des Schalls durch den Schlauch in diesem Falle lediglich 1 cm beträgt, ergibt das bei der Schallgeschwindigkeit von 33 200 cm/s eine Zeitdifferenz von nur 0,000 03 s. Ein derart feines Zeitunterscheidungsvermögen entspricht fast der Ganggenauigkeit einer Quarz-Armbanduhr: Würde bei ihr die Länge einer Sekunde um 0,000 03 s differieren, so ginge sie in 24 Stunden weniger als 3 s vor oder nach.

Erstaunlich ist auch, wie genau der Mensch Töne unterschiedlicher Frequenz unterscheiden kann. Am besten ist diese Fähigkeit im Bereich zwischen etwa 80 Hz und 600 Hz ausgeprägt. Dabei erreichen wir eine Genauigkeit von 0,1 Prozent. Das bedeutet, daß beispielsweise zwei aufeinanderfolgende Töne von 100 Hz und 100,1 Hz noch unterschieden werden. Zwischen 600 Hz und 3 000 Hz läßt die Genauigkeit zwar nach, beträgt aber immer noch 0,3 bis 0,5 Prozent. Deshalb sind beispielsweise 3 000 Hz und 3 015 Hz als verschieden hohe Töne zu erkennen. Allerdings ist das Unterscheidungsvermögen außer von der Frequenz auch von der Lautstärke abhängig. Bei sehr leisen Tönen ist es geringer. Insgesamt kann der Mensch 3 000 bis 6 000 verschiedene Tonhöhen unterscheiden. Das ist von Mensch zu Mensch unterschiedlich.

Bis zu welcher höchsten Frequenz unser Gehör noch funktioniert, hängt vom Alter ab. Bis 20 000 Hz hören wir bestenfalls in den ersten beiden Lebensjahrzehnten. Danach sinkt die obere Hörfrequenz ab, bis zum 35. Lebensjahr auf etwa 15 000 Hz, mit 50 Jahren auf etwa 12 000 Hz und im Greisenalter liegt sie häufig nur noch bei 5 000 Hz. Das allein ist aber noch nicht gleichbedeutend mit Schwerhörigkeit. Selbst wenn alle Frequenzen oberhalb von 4 500 Hz „abgeschnitten“ werden, sind Sprache und Musik noch deutlich zu erkennen. Den überzeugendsten Beweis dafür liefert der Rundfunk. Denn die Mittel-, Lang- und Kurzwellensender übertragen nur Frequenzen bis 4 500 Hz. Lediglich der Ultrakurzwellenrundfunk überträgt Frequenzen bis 15 000 Hz.

Durch das Telefon hören wir sogar nur etwa 300 bis 3 000 Hz. Trotzdem ist die Verständigung zufriedenstellend, sofern es keine technischen Störungen gibt. Aber manche Konsonanten, wie zum Beispiel S- und T-

Laute, sind am Telefon häufig nicht mehr eindeutig zu verstehen. Bei Wörtern, die uns bekannt sind, spielt das keine Rolle, weil wir aus dem Sinnzusammenhang des Gesprochenen meist wissen, welche Wörter gemeint sind. Schwieriger wird es aber bei Eigennamen. Sie müssen bei telefonischer Durchsage meist buchstabiert werden. Dabei benutzt man ein besonderes Buchstabier-Alphabet, in dem für jeden Buchstaben ein bestimmtes Wort zur Kennzeichnung dient. Die Buchstabier-Tafel ist in jedem Fernsprechbuch auf einer der ersten Seiten abgedruckt. Den am Telefon schwer verständlichen Namen Seeben, würde man beispielsweise so buchstabieren: Samuel, zwomal Emil, Berta, Emil, Nordpol. „Zwomal“ statt „zweimal“ sagt man, weil am Telefon auch die Zahlwörter zwei und drei nicht immer deutlich unterscheidbar sind.

Der Grundtonbereich der männlichen Tenorstimme beginnt bei etwa 150 Hz und endet bei rund 590 Hz. Bei der weiblichen Sopranstimme liegt er zwischen etwa 250 Hz und 1 400 Hz. Die Grundtonfrequenzen eines Kontrabasses variieren zwischen etwa 30 Hz und 390 Hz, der Pikkolo-Flöte zwischen 523 Hz und 4 700 Hz. Warum die hohen Frequenzen in den oberen zwei Dritteln des menschlichen Hörfrequenzbereichs dennoch nicht überflüssig sind, werden wir später ausführlich erfahren.

An die obere Grenze des vom Menschen hörbaren Schalls schließt der Ultraschall an. Man rechnet ihn von 20 000 Hz bis 10 Milliarden Hz. Den untersten Teil dieses riesigen Bereichs können manche Tiere noch hören. So gibt es beispielsweise – für das menschliche Ohr lautlos – Hundepfeifen, die Ultraschall von über 20 000 Hz erzeugen. Ein Hund kann damit herbeigerufen werden, ohne Menschen durch den Pfiff zu stören. Auch Fledermäuse können Ultraschall wahrnehmen. Außerdem erbringen sie Spitzenleistungen im Hören von Schall-Reflexionen. Als Nachttiere orientieren sie sich weniger mit den Augen als mit dem Gehör. Sie stoßen Ultraschall-Laute aus, die von Hindernissen reflektiert werden und als Echo zurück an ihre Ohren gelangen. Aus der Laufzeit des reflektierten Ultraschalls „errechnen“ die Fledermäuse die Entfernung und aus der Laufzeitdifferenz an den beiden Ohren die Richtung des Hindernisses. Bei einem Versuch wurden in einem völlig dunklen Raum in kurzen Abständen feine Drähte gespannt. Die Fledermäuse konnten sich darin so gut orientieren, daß sie niemals gegen einen der Drähte flogen. Die Kontrolle erfolgte auf einfache Weise: Jeder Zusammenstoß mit einem Draht hätte ein elektrisches Signal ausgelöst.

Ultraschall wird in vielfältiger Weise in der Wissenschaft und Technik sowie im Gesundheitswesen angewendet. Am bekanntesten ist gegenwärtig die Bedienung von Fernsehempfängern durch Ultraschall. Das kleine Fernbedienteil, das wir in der Hand halten, sendet auf Knopfdruck Ultra-

schall-Signale verschiedener Frequenzen aus. Sie breiten sich durch die Luft aus und treffen auf ein Ultraschall-Mikrofon, das in das Fernsehgerät eingebaut ist. Je nach der gewählten Frequenz werden dadurch bestimmte Bedienungsfunktionen, wie das Einstellen eines Senders, die Veränderung der Lautstärke und so weiter, ausgelöst. Man könnte dem Empfänger solche Fernsteuerungssignale auch mittels elektromagnetischer Wellen zustrahlen. Sie würden sich aber auch durch die Wand in benachbarte Wohnungen ausbreiten und unbeabsichtigt die Fernsehgeräte der Nachbarn bedienen. Deshalb und aus noch anderen Gründen wird die Fernbedienung durch Ultraschall (oder durch unsichtbare infrarote Lichtsignale) vorgezogen.

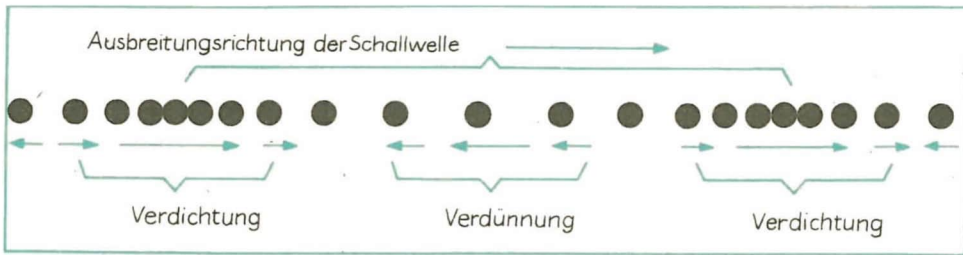
Mechanische Schwingungen von beliebig hoher Frequenz lassen sich nicht erzeugen. Der Ultraschall bildet jedoch noch nicht die Grenze. An ihn schließt sich der Hyperschall mit Frequenzen zwischen 10 Milliarden (10^{10}) Hz und 1 Billion (10^{12}) Hz an. Man nennt ihn auch Mikroschall oder Mikrowellenschall, weil er extrem kleine Wellenlängen hat. Er breitet sich aber nur bei sehr niedrigen Temperaturen aus. Oberhalb von etwa minus 263 °C beträgt seine Reichweite nur noch wenige Zehntelmillimeter. Der Hyperschall ist hauptsächlich von wissenschaftlichem Interesse und hat noch keine größeren praktischen Anwendungen gefunden.

Als Infraschall bezeichnet man den Bereich mechanischer Schwingungen mit Frequenzen unterhalb von 16 Hz. Wir können sie nicht hören.

Zu ihnen kann man auch die Erdbebenwellen rechnen. Das sind mechanische Schwingungen der Erdkruste, die sich durch den ganzen Erdball, also als Körperschall, ausbreiten. Stationen, in denen mit hochempfindlichen Instrumenten solche seismischen Schwingungen laufend aufgezeichnet werden, können deshalb ein Erdbeben auch dann registrieren, wenn es sich in einer völlig menschenleeren Gegend ereignet.

Allzu laut ist ungesund

Robert Koch (1843 bis 1910), ein weltberühmter deutscher Forscher, der die mikroskopisch kleinen Erreger der Lungentuberkulose und mehrerer anderer ansteckender Krankheiten entdeckte, sagte einmal: „Eines Tages wird der Mensch den Lärm ebenso unerbittlich bekämpfen müssen wie die Cholera und die Pest.“ Diese beiden Seuchen waren jahrtausendlang gefürchtet. Millionen Menschen fielen ihnen zum Opfer. Mit seinem Vergleich wies Robert Koch nachdrücklich darauf hin, daß dauernde Einwirkung von Lärm nicht etwa nur Schädigungen des Gehörs, sondern auch andere Krankheiten des Nervensystems und der inneren Organe



Beim Schall werden schnell aufeinanderfolgend abwechselnd Verdichtungen und Verdünnungen der Luft erzeugt, also sich ausbreitende örtliche Veränderungen des Luftdrucks

hervorrufen kann. Das ist eine inzwischen von der medizinischen Wissenschaft eindeutig bewiesene Tatsache.

Aber von welcher Lautstärke an empfinden wir Schall als Lärm? Diese Frage führt uns auf das Problem der Lautstärke-Messung. Sie ist sehr kompliziert. Denn hinter dem Begriff Lautstärke, den wir so leicht hin gebrauchen und der die Intensität der Schallempfindung kennzeichnen soll, verbergen sich äußerst verwickelte Zusammenhänge.

Es wurde schon kurz erwähnt, daß die Lautstärke des Schalls von der Größe der Amplitude der Schallschwingungen abhängt, also davon, wie weit die Gas-, Flüssigkeits- oder Feststoffteilchen hin und her schwingen. Dies war allerdings nur eine vorläufige und vereinfachende Beschreibung des Zusammenhangs zwischen Lautstärke und Amplitude. Der genaue Sachverhalt ist viel komplizierter.

Versuchen wir zunächst einmal, die Stärke des Schalls in einer exakt meßbaren Weise anzugeben! Besser als die Schwingungsweite (Amplitude) der Teilchen, die bei der Erzeugung und Ausbreitung von Schall in Bewegung gesetzt werden, eignet sich dafür die Größe der Schwankungen des sogenannten Schalldrucks, also der Schalldruck-Amplitude. Wir können Schallschwingungen, die sich durch die Luft ausbreiten, nämlich auch als sehr schnell aufeinanderfolgende Veränderungen des Luftdrucks beschreiben. Deutlicher als viele Worte veranschaulicht das unsere schematische Zeichnung.

Darin sind die Gasteilchen der Luft als Kugeln dargestellt. Wenn sie in Richtung der Ausbreitung der Schallwelle schwingen, drängen sie sich zu den benachbarten Teilchen. Folglich nimmt die Luftdichte, die Anzahl der Gasteilchen je Raumeinheit, an dieser Stelle zu. Da der Druck eines Gases mit der Anzahl der in einem Raumteil vorhandenen Teilchen ansteigt, nimmt auch der Luftdruck an der Stelle zu. Das ist in der Zeichnung dadurch angedeutet, daß die Kügelchen dichter beieinanderstehen.

Beim Zurückschwingen der Teilchen in die entgegengesetzte Richtung kommt es an derselben Stelle umgekehrt vorübergehend zu einer Verdün-

nung der Luft und damit zur Verringerung des Luftdrucks. Das ist durch die größeren Abstände der einzelnen Kugeln voneinander symbolisiert. Entlang der Ausbreitungsrichtung des Schalls befinden sich also zahlreiche Stellen, in denen der Luftdruck abwechselnd erhöht und verringert ist. Diese Druckschwankungen ereignen sich in jeder Sekunde so oft, wie die Frequenz der Schallschwingungen angibt, bei einem Ton von beispielsweise 1 000 Hz also 1 000mal je Sekunde.

Wie winzig diese Luftdruckschwankungen sind, lehrt erst ein Vergleich mit der Größe des normalen mittleren Luftdrucks. In jedem Wetterbericht des Rundfunks wird der Luftdruck angesagt. Er ist in der Einheit Millibar (Kurzzeichen: mbar) angegeben (früher wurde er in Torr gemessen). Der normale Druck der Luft beträgt 1013 mbar (= 760 Torr). Mit dem Wettergeschehen schwankt er im allgemeinen nur zwischen etwa 900 mbar bei Tiefdruck und 1 050 mbar bei Hochdruck, also insgesamt um ungefähr 150 mbar. Diese wetterbedingten Änderungen des Luftdrucks erfolgen jedoch nicht viele Male innerhalb einer Sekunde wie beim Schall, sondern sehr allmählich im Verlaufe von Stunden und Tagen.

Vergleichen wir die durch den Schall hervorgerufenen Schwankungen des Luftdrucks mit dem normalen, uns ständig umgebenden Luftdruck von ungefähr 1 000 mbar oder etwas mehr oder weniger, so zeigt sich nochmals, wie hochempfindlich unser Ohr ist. Die Schalldruck-Amplituden betragen nämlich bis herab zu etwa 1 Zehnmillionstel mbar. Das ist der rund zehnmilliardste Teil des normalen Luftdrucks, der ständig auf unserem ganzen Körper und folglich auch auf dem Trommelfell des Ohres lastet. Trotzdem reagiert unser Ohr auf diese zehnmilliardenfach kleineren Schwankungen des Luftdrucks.

Würde die von uns empfundene Lautstärke in genau demselben Maße zu- oder abnehmen wie die Schalldruck-Amplituden, so könnten wir diese zugleich als Maß der Lautstärke betrachten und beispielsweise festlegen, daß zum Schutz gegen gesundheitsschädigenden Lärm die Schalldruck-Amplituden soundso viel mbar nicht übersteigen dürfen. Doch eine solch einfache Zuordnung ist nicht möglich, weil der Eindruck der Lautstärke nicht nur von der Amplitude des Schalldrucks, sondern auch von der Tonhöhe, also der Frequenz abhängt.

Töne verschiedener Höhe ergeben also trotz gleicher Schalldruck-Amplitude unterschiedliche Lautstärken. Anders ausgedrückt: für bestimmte Frequenzen ist unser Ohr empfindlicher als für andere. Eine besonders hohe Empfindlichkeit besitzt es für Schallfrequenzen zwischen etwa 300 Hz und 8 000 Hz, und am empfindlichsten ist es innerhalb dieses Bereichs für 2 000 Hz bis 2 300 Hz. Um jedoch tiefere und höhere Frequenzen deutlich zu hören, müssen die Schalldruck-Amplituden sehr viel

größer sein. Der Unterschied ist dabei wiederum erstaunlich groß. Um beispielsweise die tiefsten Töne des Hörfrequenzbereichs gerade noch wahrzunehmen, muß die Schalldruck-Amplitude rund 100 000mal größer sein als bei Frequenzen zwischen 2 000 Hz und 2 300 Hz. Etwa gleiches gilt für die höchsten Frequenzen. Zum Glück ist unser Gehör für die tiefsten und höchsten Frequenzen unempfindlich. Denn wäre es nicht so, würden wir jede Luftbewegung, den beim Laufen erzeugten Schall sowie andere Geräusche in höchst belästigender Lautstärke hören.

Die Schalldruck-Amplitude allein gibt uns also auch noch keinen Anhaltspunkt dafür, wo man die Grenze der Lautstärke festlegen kann, von der an es zu Gehörs- und anderen gesundheitlichen Schäden kommt, so daß man beispielsweise bei unvermeidbaren Arbeitsgeräuschen Gehörschützer tragen muß. Wir müssen vielmehr weiter nach einem Maß suchen, bei dem die unterschiedliche Empfindlichkeit des Ohrs für die verschiedenen Frequenzbereiche mit berücksichtigt wird.

Auf dem Wege dazu geht man zunächst von der sogenannten Schallstärke, die nicht dasselbe wie der Schalldruck ist, aus. Die Schallstärke gibt an, wieviel Energie beim Auftreffen der Schallwellen auf eine Fläche bestimmter Größe übertragen wird. Denn die Schwingungen der Luftteilchen stellen ja eine Form von Bewegungsenergie dar. Im Bereich der größten Empfindlichkeit des Ohrs genügt zum deutlichen Hören bereits eine Schallstärke von größenordnungsmäßig 1 Zehnmillionstel Watt (Kurzzeichen: W) je Quadratzentimeter (10^{-7} W/cm²). (Watt ist eine Maßeinheit der Energie.)

Diejenige Schallstärke, die gerade noch für eine Hörempfindung ausreicht, nennt man Hörschwelle. Diese Schallstärke wird gleich 1 gesetzt. Da nunmehr die Schallstärke in Beziehung zur Empfindlichkeit des Ohrs gesetzt ist, wird sie als relative Schallstärke bezeichnet. Einem Geräusch, das eine 100fach größere Schallstärke als die an der Hörschwelle hat, sprechen wir folglich die relative Schallstärke von 100 zu.

Wenn wir in dieser Weise die vorkommenden Geräusche messen, stoßen wir auf eine weitere erstaunliche Eigenschaft unseres Gehörs. Es kann nämlich Schallstärken „verkräften“, die etwa 1 Billion mal (10^{12} mal) größer sind als die an der Hörschwelle! So wirkt beispielsweise beim Geräusch eines Flugzeugmotors eine 10^{12} mal größere Energie auf das Trommelfell ein als bei den leisesten, gerade noch hörbaren Geräuschen, etwa dem Ticken einer Armbanduhr oder dem ganz leisen Geräusch, das beim ruhigen Atmen entsteht. Aber auch schon bei mittleren Lautstärken wie zum Beispiel dem Läuten des Telefons ist die Schallstärke 1 Million mal (10^6 mal) größer als an der Hörschwelle. Wir müßten also sagen: die relative Schallstärke beträgt 1 000 000.

Abgesehen davon, daß wir das Telefonläuten jedoch nicht millionenfach lauter empfinden als das Ticken der Armbanduhr, wäre es zu umständlich, mit derart großen Zahlen zu operieren. Wir haben schon bei der Schreibweise der Zahlen in Klammern eine kürzere Darstellung hinzugefügt und sie in Zehnerpotenzen ausgedrückt. Weil das Gehör eine so riesige Skale von Zehnerpotenzen überstreicht, ist man in der Technik übereingekommen, nur noch die hochgestellte Zahl – mathematisch ausgedrückt: die Potenz – der relativen Schallstärken anzugeben und sie als Bel zu bezeichnen. Es sind also

10^0	0 Bel
10^3	3 Bel
10^6	6 Bel
10^9	9 Bel
10^{12}	12 Bel usw.

Um diese Maßeinheit aber doch wieder etwas feiner zu unterteilen, rechnet man nicht mit Bel, sondern mit Dezibel (Kurzzeichen: dB). 1 dB ist der zehnte Teil von 1 Bel, so wie 1 Dezimeter (dm) der zehnte Teil 1 Meters (m) ist. Dem Maß dB begegnen wir nicht nur beim Lärmschutz, sondern auch in der Radio-, Schallplatten- und Tonbandgerätetechnik.

Damit sind wir fast am Ziel, Lautstärken, wie sie unser Ohr empfindet, auch objektiv mit einem technischen Gerät messen und in Maß und Zahl ausdrücken zu können. Dafür muß in dem Gerät nur noch die unterschiedliche Empfindlichkeit des Ohrs für die verschiedenen Frequenzen technisch nachgeahmt werden. Das geschieht mit Hilfe eines Filters, das die Schallstärke der hohen und tiefen Frequenzen abschwächt. Sie wirken dann auf die Meßvorrichtung nur noch mit verringerter Stärke ein. Das bewirkt im Endergebnis dasselbe wie die verringerte Empfindlichkeit unserer Ohren für diese Frequenzbereiche. Das Filter besteht aber nicht etwa aus Watte oder irgendeinem anderen schalldämpfenden Stoff, sondern aus einer geeigneten elektronischen Schaltung.

Die Meßgröße, die man so erhält, nennt man Schallpegel und das dafür verwendete Gerät Schallpegelmesser. Der Schall trifft auf das Mikrofon des Geräts. Es wandelt den Schall in elektrische Spannungsschwankungen um. Dem Mikrofon ist das Filter nachgeschaltet. Dann folgt ein Verstärker, der die sehr schwachen Spannungsschwankungen erheblich vergrößert und dadurch genau meßbar macht. Das Meßergebnis ist an einem Anzeigeelement abzulesen.

Um keinen Zweifel daran aufkommen zu lassen, ob eine Messung mit oder ohne das erwähnte Filter erfolgte, drückt man das Meßergebnis in dBA oder dB(A) aus. A ist dabei die Bezeichnung des Filters. Eine solche Angabe des Schallpegels lautet beispielsweise 90 dBA.

Häufig begegnen wir in Büchern noch der Bezeichnung Phon. Das ist

eine früher gebräuchlich gewesene Einheit der Lautstärke. Für die Frequenz von 1 000 Hz stimmen Phon und dBA völlig überein. Bei den anderen Frequenzen gibt es geringe Abweichungen.

Erst nach vielen komplizierten Erläuterungen können wir verstehen, was die Angaben über die Größe des Schallpegels der verschiedenen Geräusche besagen. In der nachstehenden Tabelle sind für einige Schallbeziehungsweise Lärmquellen die Schallpegelwerte in dBA zusammengestellt:

	dBA
Hörschwelle	0
Atmen	10
Ticken einer Taschenuhr	20
Wünschenswerter	
Geräuschpegel im Schlafzimmer	bis 30
Flüstern	40
Läuten des Telefons	60
Geräuschpegel im Zugabteil	70
Lautes Sprechen	80
Motorradgeräusch	90
Lärm im Sägewerk	100
Lärm von Webstühlen	110
Flugzeugmotorengeräusch	120
Schmerzschwelle	130

Am Ende der Tabelle taucht zum ersten Mal der Begriff Schmerzschwelle auf. Das ist derjenige Schallpegel, von dem an der Schall nicht nur eine Hör-, sondern zugleich eine Schmerzempfindung hervorruft. Auch die Schmerzschwelle ist je nach den Frequenzen verschieden. Doch ist dies bei der Angabe des Schallpegels in dBA ja ebenfalls mitberücksichtigt.

Lärm wirkt aber nicht erst vom Überschreiten der Schmerzschwelle an gesundheitsschädigend, sondern bereits ab etwa 90 dBA. Alle Lautstärken, die diesen Grenzwert übertreffen, gelten als schädigender Lärm. Davon unterschieden wird der lästige Lärm, der im Bereich von 60 dBA bis 90 dBA liegt. Lärm von über 90 dBA schädigt das Gehör und indirekt auch andere Organe in jedem Falle. Wer ständig solchen Schallpegeln ausgesetzt ist wie zum Beispiel Arbeiter an stark lärmenden Maschinen, das Bodenpersonal von Flugplätzen und so weiter würde ohne besondere Schutzmaßnahmen früher oder später schwerhörig.

Sie müssen deshalb bei der Arbeit Gehörschützer tragen. Sie ähneln äußerlich Kopfhörern. Vielleicht haben wir auf einer Baustelle schon einmal beobachtet, daß ein Arbeiter, der an einer stark lärmenden Maschine oder an einem Fahrzeug beschäftigt ist, solche Schutzvorrichtung trägt. Es gibt

auch Lärmschutzhelme. Sie sind nicht zu verwechseln mit den Schutzhelmen, wie sie alle Arbeiter auf Baustellen und in vielen Betrieben tragen.

Lärmschutzhelme haben gegenüber einfachen Gehörschützern den Vorteil, daß sie auch die Knochenleitung des Schalls in gewissem Maße dämpfen. Über die Benutzung solcher persönlichen Lärmschutzmittel hinaus geht das Bestreben moderner Technik jedoch dahin, den Lärm schon an seiner Quelle zu bekämpfen, also Maschinen und Motoren zu konstruieren, die weniger starke Geräusche erzeugen.

Auch Lärm von 60 dBA bis 90 dBA kann bei Dauereinwirkung Schädigungen hervorrufen. Der Grad seiner Schädlichkeit hängt außer von der Größe des Schallpegels noch von anderen Faktoren ab. So können beispielsweise die Werktätigen in einem Büro das Geklapper der Schreibmaschinen leichter ertragen als Gesprächsfetzen, die häufig oder ständig aus dem gleichen oder einem Nachbarraum zu hören sind. Es gibt also Geräusche, die uns weniger, und solche, die uns mehr „auf die Nerven gehen“.

Schädigenden Lärm gibt es aber nicht nur bei manchen Arbeitsprozessen. Auch in der Freizeit setzen sich ihm heute viele Menschen aus. An erster Stelle sind hierbei Diskotheken und solche Tanzveranstaltungen zu nennen, bei denen Musikinstrumente mit elektronischen Verstärkern benutzt werden. Die dort erzeugte lärmende Musik ist keineswegs so harmlos, wie die Besucher ahnungslos annehmen. Ärztliche Untersuchungen an Disko-Stammgästen ergaben bereits in einem sehr frühen Alter eindeutige Schädigungen des Gehörs und des Nervensystems.

Mit einem Audiometer ist die Schädigung des Gehörs genau meßbar. Dabei setzt sich der Patient Kopfhörer auf. Die Lautstärke des in die Kopfhörer eingespielten Tons wird so lange gesteigert, bis der Patient den Ton gerade zu hören beginnt. Damit ist seine Hörschwelle ermittelt. Beim ungeschädigten Gehör liegt sie bei 0 dBA. Hört man den Ton aber erst ab einem Schallpegel von 40 dBA, so beträgt die Verminderung des Hörvermögens 40 dB. Ein Ton von 90 dBA würde dem betreffenden Menschen dann nur so laut wie 50 dBA erscheinen. Töne mit einem Schallpegel von unter 40 dBA kann er überhaupt nicht mehr hören. Ein Audiogramm ist eine Kurve, die den Hörverlust in den verschiedenen Frequenzbereichen grafisch darstellt.

Durch solche Messungen wurde bewiesen, daß bereits die einmalige Einwirkung eines nur 45 Minuten dauernden Lärms von 90 dBA auch bei einem gesunden Menschen eine Minderung des Hörvermögens nach sich zieht, die selbst nach 48 Stunden völliger Ruhe noch nicht wieder ganz abgeklungen ist.

Lärm kann auf vielerlei Weise bekämpft werden. Doch lassen sich die Maßnahmen in zwei große Gruppen einteilen, in Schalldämpfung und

Schalldämmung. Die erstere wird zum Beispiel bei jedem Kraftfahrzeug angewendet. Die Auspuffgase des Motors, mit denen zusammen auch der Schall aus dem Motor nach außen dringt, werden nicht sofort ins Freie gelassen, sondern erst in den Schalldämpfer geleitet. Dies ist eine Erweiterung des Auspuffrohrs. Durch die Mitte des Schalldämpfers ist – von außen nicht sichtbar – nochmals ein Rohr mit seitlichen Löchern gelegt. Dieses Rohr ist von Kammern umgeben, die mit lockerer Stahlwatte gefüllt sind. Die Schallwellen treten in die Kammern ein und werden dabei größtenteils in Wärme umgewandelt. Ganz allgemein erfolgt bei der Schalldämpfung stets eine Umwandlung der Schallenergie in Wärmeenergie. Doch ist dies nicht die Ursache dafür, daß der Schalldämpfer heiß wird. Der weitaus größte Teil seiner Erwärmung entsteht durch die heißen Auspuffgase. Wie wir sahen, ist die Energie des Schalls in Watt ausgedrückt äußerst gering. Daher entstehen bei der Schalldämpfung auch nur sehr kleine Wärmemengen.

Von der Schalldämpfung zu unterscheiden ist die Schalldämmung. Bei ihr wird ein Teil der Schallenergie von dem zu schützenden Raum dadurch ferngehalten, daß er vor dem Eindringen in den Raum reflektiert, zurückgeworfen wird. Leider ist eine vollständige Reflexion nicht möglich. Besonders stark ist die Schallreflexion, wenn der Unterschied zwischen den Stoffen, durch die sich der Schall ausbreitet, sehr groß ist. Luftschall wird daher besonders gut von Wänden oder Scheiben zurückgeworfen, die aus sehr hartem Material bestehen. Das lehrt uns ja auch das Echo, das von harten und steilen Wänden gut reflektiert wird.

Körperschall, der sich – wie wir bereits lasen – auch durch feste Stoffe ausbreitet, wird dagegen gut reflektiert, wenn er auf weiche Stoffe trifft. Will man den Schall dämmen, der sich durch Heizungs- und andere Rohre ausbreitet, so muß man sie deshalb mit einem weichen Material umkleiden. Rohre, durch die heißes Wasser oder Dampf strömt, sind sowieso mit Faserstoffen zu umhüllen, um die Abgabe von Wärme an die umgebende Luft stark zu vermindern.

Die Wände unserer Häuser aus harten Ziegelsteinen oder Beton wirken also zugleich schalldämmend. Sie verringern den von außen kommenden Lärm um etwa 40 dB. Eine etwa gleiche Schallpegelsenkung bewirken auch Doppelfenster, jedoch nur dann, wenn die Scheiben der beiden Fenster wenigstens 10 bis 12 cm Abstand voneinander haben. Doppelfenster, bei denen im selben Rahmen zwei Scheiben mit nur wenigen Zentimetern Zwischenraum angeordnet sind, bewirken zwar ebenso wie die anderen Doppelfenster eine Wärmeisolation. Sie sorgen also dafür, daß nicht so viel Wärme aus dem Raum an die kalte Umgebungsluft abgegeben wird. Aber sie ergeben keine so gute Schalldämmung.

Musik – physikalisch betrachtet

Ein Fachmann für Akustik – so nennt man die Wissenschaft vom Hören und vom Schall – würde zu unserem größten Erstaunen erklären, daß in einem Tonfilm gar keine Töne vorkommen. Ja, mehr noch: Töne im fachwissenschaftlichen Sinne des Wortes gibt es von Natur aus überhaupt nicht. Das Wort Ton hat nämlich eine unterschiedliche Bedeutung, je nachdem, ob wir es im Sinne der Umgangssprache oder als Fachausdruck der Akustik benutzen. In der Umgangssprache benutzen wir das Wort Ton häufig als zusammenfassenden Ausdruck für alles, was man hören kann. Wir sprechen beispielsweise vom Tonausfall, wenn im Fernsehempfänger das Bild weiter zu sehen ist, aber der Lautsprecher stumm bleibt. Von einem Radio, das so defekt ist, daß es nicht einmal mehr ein leises Brummen erzeugt, sagen wir: „Es gibt keinen Ton von sich.“ Doch selbst wenn es einwandfrei funktioniert, hören wir aus dem Radio nur ganz selten wirkliche Töne, nämlich dann, wenn das Zeitzeichen gesendet wird, das aus einer Folge kurzer und langer Pfeiftöne besteht. Der Fernseher gibt nur dann einen Ton von sich, wenn zum Testbild der Meßton gesendet wird.

Der „Ton“ aus dem Radio und Fernseher (der hier in Anführungsstrichen steht, weil das Wort im Sinne der Umgangssprache benutzt wird) setzt sich in Wirklichkeit aus Klängen und Geräuschen zusammen. Der Akustiker unterscheidet also Töne, Klänge und Geräusche. Als Ton läßt er nur einen reinen Ton gelten. Dies ist ein Schallereignis, bei dem gleichzeitig nur eine einzige Schallfrequenz erzeugt wird. Man nennt solche Töne auch Sinustöne, weil die grafische Darstellung dieser Schallschwingung eine genau sinusförmige Kurve ergibt (siehe Bild).

Wie wir beim Hören des Zeitzeichens oder des Meßtons leicht feststellen können, hören sich reine Töne äußerst fade, kalt, unmusikalisch und unwirklich an. Auch der „sumatic“-Wecker erzeugt einen so unangenehmen Ton, daß man davon selbst aus tiefem Schlaf gerissen wird. Aus solchen Tönen wohlklingende Musik aufzubauen, erscheint unvorstellbar. Wie kommt es nun, daß der „Ton“ der Musikinstrumente sowie der menschlichen Stimme und der Tierlaute ganz anders klingt?

Schallschwingungskurve eines reinen Tons (Sinuskurve)



Wenn man auf einem Musikinstrument beispielsweise den sogenannten Kammerton a' von 440 Hz – auch Stimmton genannt, weil danach die Instrumente gestimmt werden – spielt, so erzeugt es nicht nur diese Frequenz von 440 Hz, sondern gleichzeitig auch Schallwellen mit anderen Frequenzen. Besondere Bedeutung haben dabei solche, die ein ganzzahliges Vielfaches von 440 Hz haben, also 880 Hz, 1 320 Hz, 1 760 Hz und so weiter. Die 440 Hz nennt man in diesem Falle den Grundton, die Vielfachen dieser Frequenz Obertöne, Oberwellen oder Harmonische. Denn die gleichzeitige Erzeugung von Frequenzen, die in einem ganzzahligen Verhältnis zueinander stehen, klingt harmonisch.

In der Sprache der Noten ausgedrückt, bedeutet dies, daß der erste und der achte Ton der Tonleiter $c - d - e - f - g - a - h - c'$, also c und c' , besonders gut zusammenklingen, miteinander harmonisieren. Das wurde schon im alten Griechenland entdeckt. Wie wir uns beim Betrachten der Frequenzskale im unteren Teil des Bildes, auf das wir später noch ausführlicher zurückkommen werden, überzeugen können, besteht zwischen den Tönen c und c^1 tatsächlich das ganzzahlige Frequenzverhältnis von $1 : 2$. Der Ton c hat eine Frequenz von 131 Hz, c^1 (das sogenannte 1-gestrichene c , oben deshalb auch mit c' bezeichnet) von 262 Hz. Das Intervall zwischen beiden umfaßt genau eine Oktave. Das 2-gestrichene c der nächsten Oktave, also c^2 , hat wiederum ziemlich genau die doppelte Frequenz von c^1 , nämlich 523 Hz. Und so geht es weiter bis zur höchsten Oktave. Es gibt auch Subharmonische. Das sind bei der Erzeugung eines Grundtons mit hervorgerufene Schallwellen von einem ganzzahligen Bruchteil der Grundtonfrequenz. Subharmonische des Kammertons a^1 von 440 Hz haben also Frequenzen von 220 Hz, 110 Hz und so weiter.

Wird auf einem Musikinstrument eine bestimmte Note gespielt, entstehen auch Schallfrequenzen, die keine genau ganzzahligen Vielfachen oder Bruchteile des Grundtons darstellen. Das gilt auch für den Gesang und die Sprache des Menschen. Man nennt die Schallfrequenzbereiche, die beim Spielen oder Singen eines Grundtons in besonderer Stärke mit erzeugt werden, Formanten, und die Frequenzen, die besonders schwach ausgeprägt sind, Antiformanten.

Alle diese zugleich mit einem Grundton entstehenden Schallschwingungen bewirken, daß sich die Klangfarben der verschiedenen Musikinstrumente sowie der Gesangs- und Sprechstimmen deutlich unterscheiden und wir sofort erkennen, welches Instrument gespielt wird beziehungsweise welcher Mensch spricht oder singt.

Halten wir fest: Musikinstrumente erzeugen keine Töne, sondern Klänge. Ihre jeweilige Klangfarbe entsteht durch die miterzeugten Obertöne und Formanten. Der Anteil der Obertöne und deren Amplituden so-

wie die Lage der Formanten ist bei jedem Instrument anders. So erzeugt zum Beispiel die Geige viele Obertöne mit verhältnismäßig großen Amplituden, das Waldhorn dagegen wenige Obertöne und nur mit Amplituden, die im Vergleich zu den Oberwellen der Violine wesentlich kleiner sind.

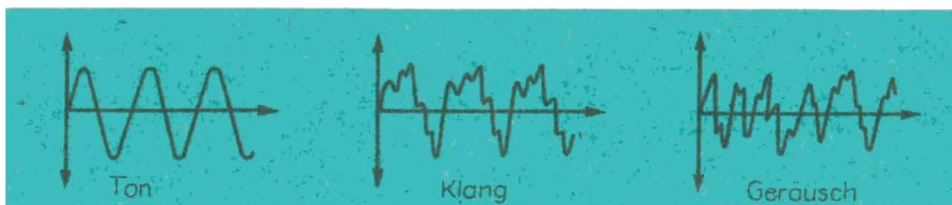
Einige Musikinstrumente erzeugen allerdings weder Töne noch Klänge, sondern nur Geräusche. Dazu gehören die Trommeln, Rasseln und Kastagnetten. Der von ihnen hervorgerufene Schall besteht aus einem völlig unregelmäßigen, chaotischen Gemisch der verschiedensten Frequenzen, die in keinen ganzzahligen Verhältnissen zueinander stehen. Geräusche werden auch in Natur und Technik auf vielfältigste Weise erzeugt. Das Rauschen der Wellen und der Blätter, das Wehen des Windes und der Donner, aber auch der von Maschinen, Motoren und Fahrzeugen erzeugte Schall gehören zu den Geräuschen.

Das Bild auf dieser Seite ist eine sehr grobe grafische Veranschaulichung der Unterschiede der Schallwellenzüge von Tönen, Klängen und Geräuschen. Die linke Kurve stellt den Schallschwingungsverlauf eines reinen Tons dar, die mittlere den eines Klangs und die rechte den eines Geräuschs. Beim Klang erkennt man, daß der Schwingung des Grundtons die Schwingungen einiger Obertöne überlagert sind. Der Schwingungsverlauf des Geräuschs ist dagegen völlig regellos.

Sehr aufschlußreich ist das schon erwähnte Bild auf Seite 39. In seinem oberen Teil zeigt es, wie weit sich der Frequenzbereich der von den verschiedenen Musikinstrumenten erzeugten Grund- und Obertöne erstreckt. Die Grundtonbereiche sind dick ausgezogen. (Die Unterbrechungen der dicken Linie, in welche die Namen der Instrumente geschrieben sind, bedeuten selbstverständlich keine Unterbrechung des Grundtonbereichs.) Die dünn ausgezogenen Linien markieren die Obertonbereiche. Wir müssen sie uns auch in die dick ausgezogenen Linien hinein fortgesetzt denken. Denn c^2 ist beispielsweise zugleich ein Oberton von c^1 und der Grundton zu c^3 .

In einer Spalte darunter finden wir die Tonlagen der menschlichen Gesangsstimme. Wir sehen, daß sie angefangen vom Baß bis zum Sopran auf-

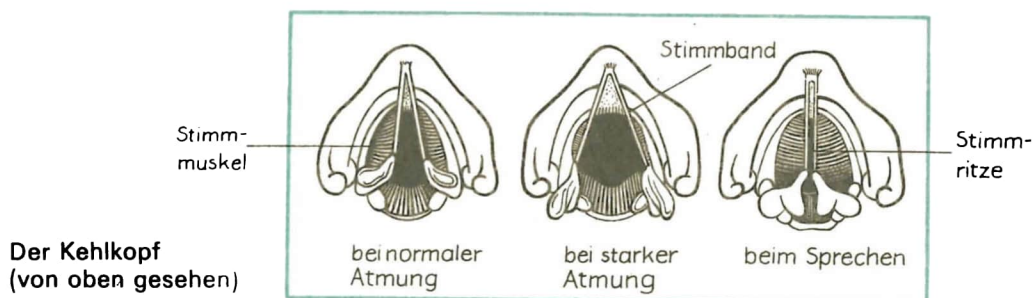
Vergleich der Schallschwingungskurven eines Tons, eines Klangs und eines Geräuschs

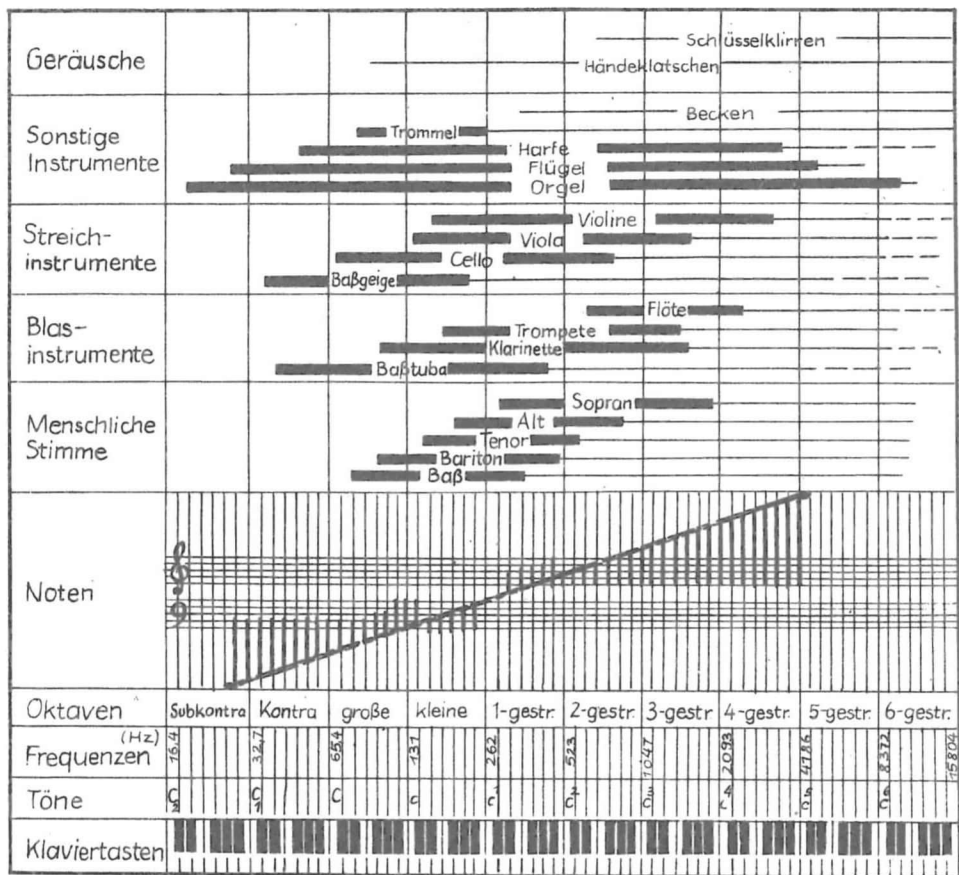


steigen. Baß, Bariton und Tenor sind männliche, Alt und Sopran weibliche Gesangstimmen. Zwischen Alt und Sopran liegt der in unserem Schema nicht eingezeichnete Mezzosopran, also eine Tonlage, die etwas tiefer als die des Soprans und etwas höher als die der Altstimme ist.

Wie der Schall erzeugt wird, ist bei manchen Instrumenten, beispielsweise der Gitarre, ganz deutlich zu sehen. Wir schlagen oder zupfen die Saiten an. Dadurch geraten sie in Schwingungen. Im Klavier befinden sich ebenfalls Saiten. Beim Niederdrücken der Tasten schlagen kleine Hämmer gegen die Saiten. Je kürzer die Saiten, desto höher die Schwingungsfrequenz und dementsprechend der Ton. Die Saiten der Geige werden mit dem Bogen gestrichen. Dieser wird vor dem Spiel mit etwas Harz eingerieben. Dadurch gleitet er nicht ganz gleichmäßig über die Saiten. Vielmehr reißt das leicht klebrige Harz die Saiten ein bißchen mit. Dadurch geraten sie in Schwingungen. In Flöten und anderen Blasinstrumenten sowie in den Pfeifen der Orgel wird durch Blasen eine im Hohlraum des Instruments eingeschlossene Luftsäule zum Schwingen gebracht.

An der Erzeugung der Laute unserer Stimme sind die Lunge, die Luftröhre, der Kehlkopf und die Stimmbänder unter Mitwirkung der gesamten Mundhöhle beteiligt. Eine besondere Rolle spielt dabei der Kehlkopf. Er liegt am Eingang der Luftröhre, die in die Lunge führt. Am Kehlkopf befinden sich Stimmbänder, auch Stimmlippen genannt. Sie umschließen die sogenannte Stimmritze. Durch Muskeln können die Stimmlippen verkürzt oder verlängert sowie gespannt und entspannt und dadurch die Stimmritze unterschiedlich weit geöffnet werden. Beim Ein- und Ausatmen ist sie weit geöffnet, beim Sprechen und Singen wird sie eng geschlossen und Luft aus der Lunge und Luftröhre durch den schmalen Spalt gepreßt. Dadurch geraten die Stimmbänder und die Luft in Schwingungen. Die Tonhöhe hängt von der Länge, Dicke und Spannung der Stimmbänder ab. Bei der Frau sind die Stimmbänder etwa 15 mm, beim Mann 25 mm lang. Daher ist die Tonlage der Frauenstimme höher als die des





Darstellung der Frequenzumfänge verschiedener Instrumente und Stimmen

Mannes. Im Alter zwischen 14 und 16 Jahren werden bei Jungen die Stimmbänder länger und dadurch die Stimme tiefer.

Aber auch der Rachen-, der Mund- und der Nasenraum bilden einen Hohlraum, der als Resonanzkörper dient und eine wichtige Rolle bei der Lautgebung spielt. Die in diesem Hohlraum eingeschlossene Luftsäule wird durch die Schwingungen der Stimmbänder mit in Schwingungen versetzt. Durch die Stellungen der Kiefer, der Zähne und der Zunge können wir die Form des von Rachen-, Mund- und Nasenhöhle umschlossenen Hohlraums in vielfältiger Weise verändern. Je nach den dabei entstehenden Formen der Luftsäule entstehen die verschiedenen Sprachlaute. Zur menschlichen Sprache gehören aber auch Geräusche. So ist bei stimmlosen Konsonanten wie dem B, P, G, K und Zischlauten wie dem S, F, Ch und dem Sch überhaupt kein Grundton mehr zu hören.

Wie der Walzer auf die Walze kam

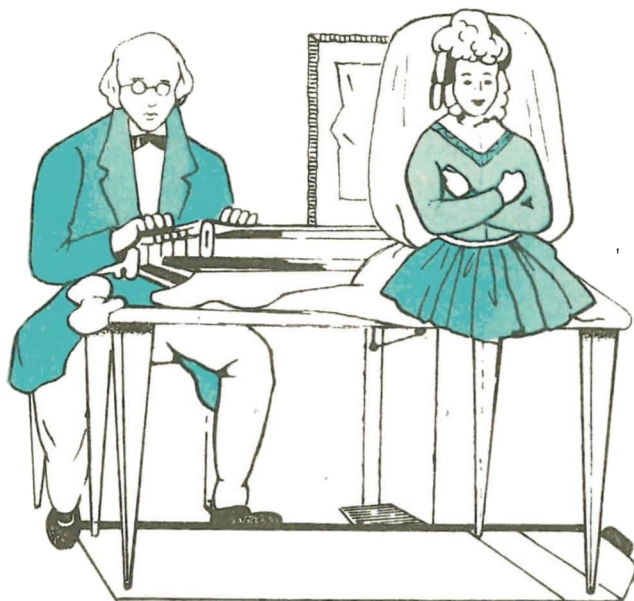
Der „Lügenbaron“ von Münchhausen erfand unter seinen vielen spaßigen Aufschneidereien auch die Geschichte von jenem Posthorn, in dem einmal bei sehr strenger Kälte die Töne, die der Postillon hineinblies, einfroren. Erst als er mit dem Horn in die warme Schankstube trat, tauten die Töne auf und erklangen plötzlich von selbst aus dem Instrument, ohne daß man hineinzublasen brauchte.

Noch früher, als diese launige Mär ersonnen wurde, hatte der italienische Gelehrte Giovanni Battista della Porta (1538 bis 1615), der auch den ersten Vorläufer unserer Fotoapparate, die Camera obscura, beschrieb, allen Ernstes etwas Ähnliches versucht. Von 1589 datiert ein Experiment, bei dem er Worte in eine bleierne Röhre sprach. Dann verschloß er diese schnell und hoffte, die Worte würden wiedererklingen, wenn er später das Rohr öffnete. Diese Erwartung erfüllte sich freilich nicht.

Die Laute der menschlichen Stimme zu speichern, zu konservieren, wurde mehrfach erfolglos versucht. Doch gelang es, Laute der menschlichen Sprache mit mechanischen Hilfsmitteln nachzuahmen. Jahrhundertlang verwendeten hochintelligente Uhrmacher und Mechaniker unsäglichen Fleiß darauf, künstliche Menschen und Tiere zu bauen. Das wohl glänzendste Prachtstück dieser Art war eine Uhr, die der Schweizer Pierre Jacquet Droz (1721 bis 1790) für den spanischen König Ferdinand IV. schuf. Sie zeigte nicht nur die Zeit an, sondern führte ein ganzes „Welttheater“ auf. Am Himmel der Uhr bewegten sich Sonne und Mond sowie die Planeten. Der Mond wechselte sogar die Phasen, und zur Regenzeit zogen Wolken auf. Unter dem Himmel saß eine zierliche Dame auf einem Balkon und las ein Buch. Erklang das Glockenspiel, so schlug sie mit den Händen den Takt dazu. Ab und an nahm sie etwas Schnupftabak aus einem Döschen. Ein Schäfer spielte auf der Flöte, und von Zeit zu Zeit blökte ein Schaf.

Als Droz die Uhr dem königlichen Auftraggeber vorführte, bat er ihn, einen Apfel aus dem Korb zu nehmen, der neben dem Schäferhund stand. Darauf sprang der Hund empor und hörte nicht auf zu bellen, bis der Apfel wieder zurückgelegt war. Dem König wurde dieses Wunderwerk der Technik bald unheimlich, und als er aufgefordert wurde, die ebenfalls zur Uhr gehörende Negerpuppe zu fragen, wie spät es ist, beauftragte er vorsichtshalber seinen Marineminister damit. Der Neger reagierte prompt und zeigte durch Gongschläge die Zeit an. Da ergriffen der König und seine Hofschranzen mit dem Aufschrei „Der Teufel ist los!“ die Flucht. Sie glaubten, Droz könne tatsächlich künstliche Menschen herstellen.

1841 vollendete ein Mechaniker namens Faber nach jahrelanger Arbeit



Die „sprechende Türkin“
(1841)

eine „sprechende Türkin“. Das war eine große Puppe mit künstlichen Sprechorganen: Kehlkopf, Zunge, Lippen und Zähnen. Als Lunge fungierte ein Blasebalg. Durch eine Tastatur konnten die einzelnen Sprechorgane so betätigt werden, daß dabei mehr oder weniger natürlich klingende Sprachlaute erklangen. Mit wirklicher Schallspeicherung hatte das alles freilich nichts zu tun.

Ein erster Schritt in der richtigen Richtung gelang im Jahre 1800 dem Deutschen W. E. Weber, der nicht identisch ist mit dem Physiker Wilhelm Weber, der zusammen mit Carl Friedrich Gauß 1833 den elektrischen Telegraphen erfand. Inzwischen wußte man schon, daß Schall auf mechanischen Schwingungen beruht. Wenn man also eine schwingende Saite oder Stimmgabel mit einer Nadel verband und unter deren Spitze eine berußte Walze rotieren ließ, so mußte die schwingende Nadelspitze eine „Schlangelinie“ mit vielen kleinen Auslenkungen in die Rußschicht ritzen.

Webers Apparat wurde später von zwei anderen Erfindern, Svart und Du Hamel, weiterentwickelt. Mit dieser verbesserten Konstruktion konnte man tatsächlich Schallschwingungskurven aufzeichnen. Wird die Walze nicht nur gedreht, sondern gleichzeitig langsam in Richtung ihrer Achse durch eine Spindel bewegt, so entsteht eine schraubenlinienförmige Schallschwingungsspur. Der Engländer Leon Scott baute 1859 eine solche Vorrichtung und nannte sie Phonoautograph. Bei ihr wurden Schwingungen auf einen Pappzylinder, der mit Ruß beschichtet war, aufgezeichnet.

Da die Nadel bei einem Ton von beispielsweise 440 Hz in jeder Sekunde 440mal hin und her schwingt, muß die von ihrer Spitze eingeritzte

Spur auf der Strecke, um die sich die Walze in einer Sekunde dreht, 880 Auslenkungen von der Mittellinie aufweisen, je 440 nach der einen und der anderen Seite. Es ist erstaunlich, daß dies mit Hilfe einer so verhältnismäßig einfachen Vorrichtung glückte.

Würde man nun eine Nadelspitze in diese Tonspur setzen und die Walze drehen, so müßten die Auslenkungen der Spur die Nadel 440mal in der Sekunde um ein winziges Stückchen hin und her bewegen, sie also wieder in schnelle Schwingungen versetzen und mithin den gleichen Ton von 440 Hz erzeugen. Das gelang allerdings weder Weber noch Scott. Dafür war die Apparatur zu einfach. Im Prinzip mußte so etwas jedoch möglich sein. Das erkannte auch der Franzose Charles Cros. Er beschrieb Anfang des Jahres 1877 ein Verfahren dieser Art und übergab dieses Schriftstück in einem versiegelten Umschlag der Französischen Akademie der Wissenschaften. Um entsprechende Apparate zu bauen, fehlten ihm aber die technischen Möglichkeiten.

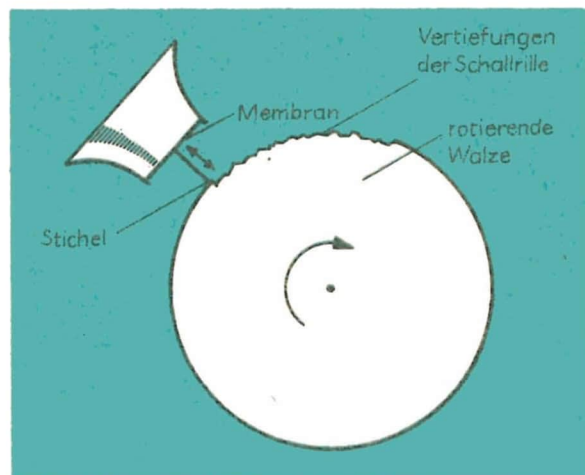
Die technische Verwirklichung glückte im gleichen Jahr einem Mann, dem insgesamt rund eintausend Erfindungen gelangen: dem Nordamerikaner Thomas Alva Edison (1847 bis 1931). Seine Zeitgenossen nannten ihn den größten Erfinder der damaligen Epoche. Allein in den vier Jahrzehnten von 1868 bis 1909 erhielt er 900 Patente. Daraus läßt sich errechnen, daß er durchschnittlich alle 17 Tage eine neue Erfindung machte. Ihm verdanken wir zum Beispiel auch die elektrische Beleuchtung. Zwar hatten schon andere vor ihm elektrische Glühlampen erfunden. Doch erst Edisons Glühlampe, die er 1878 schuf, setzte sich durch, weil er nicht nur die Lampe ersann, sondern auch für die zahlreichen elektrischen Einrichtungen sorgte, die für eine weite Verbreitung des elektrischen Lichts erforderlich waren. Als Edison 1931 starb, erloschen in der Riesenstadt New York für eine Minute alle Lichter. Die Autos und Straßenbahnen hielten an. Schweigend standen die Menschen in den dunklen Straßen und gedachten ihres großen Landsmanns, der der Welt das elektrische Licht erschlossen hatte.

Edison hatte von Scotts Phonoautographen gelesen. Das Verfahren von Cros kannte er freilich nicht. Aber der Gedanke, die menschliche Sprache so aufzeichnen zu können, daß man sie beliebig oft wieder hören kann, beschäftigte ihn ganz besonders. Vielleicht war ein Grund dafür seine Schwerhörigkeit, die sich nach einem dramatischen Ereignis eingestellt hatte. Als er noch ein Junge war und sich durch den Verkauf von Zeitungen in einem Eisenbahnzug Geld verdiente, erreichte er einmal den Bahnsteig erst, als der Zug schon angefahren war. Er rannte dem Zug nach und versuchte aufzuspringen. Behindert durch das schwere Zeitungspaket auf dem Rücken, wäre er dabei rücklings abgestürzt, wenn ihn der Schaff-

ner nicht noch buchstäblich an den Ohren zu fassen bekommen hätte. Die Geschwindigkeit des Zuges nahm zu. Verzweifelt zog der Schaffner weiter an den Ohren und zerrte so den Jungen schließlich in den Wagen. Edison berichtete später, daß es dabei einige Male in seinem Kopf geknackt hätte. Kurze Zeit nach diesem Vorfall wurde er schwerhörig. Er war dem Schaffner natürlich nicht böse, hatte er ihm doch sein Leben gerettet. Außerdem meinte Edison, daß er durch seine Schwerhörigkeit überall ungestört lesen, arbeiten und schlafen könne, ohne durch Geräusche aus der Umgebung allzusehr abgelenkt zu werden. Allerdings wurde ihm die Schwerhörigkeit bei seiner späteren Arbeit als Telegrafist hinderlich.

Nachdem er die Telegrafen- und Telefontechnik vielfach verbessert hatte, setzte er sich 1877 das Ziel, einen „Telegrafenwiederholer“ zu erfinden. Er konstruierte eine Vorrichtung, welche die Punkte und Striche der eintreffenden Morsezeichen in eine rotierende Papierscheibe eindrückte. Wurden die eingepprägten Punkte und Striche durch eine Art Tonarm wieder abgetastet, so konnte das Telegramm automatisch wiederholt werden.

Edison fiel dabei auf, daß ein hoher musikähnlicher Ton entstand, wenn man die Papierscheibe sehr schnell unter dem Abtaster rotieren ließ. Außerdem hatte er beobachtet, daß die Membran des Telefon-Mikrofons beim Sprechen in starke Schwingungen gerät. Beide Erscheinungen brachten ihn auf die Idee, nun auch einen „Telefonwiederholer“ zu bauen, also einen Apparat, der die Fernsprechdurchsage so aufzeichnet, daß man sie wiederholt hören konnte. Das Gerät sollte lediglich als Zusatzgerät zum Telefon dienen. Vielleicht würde es zum Beispiel automatische Ansagen ermöglichen, etwa von der Art unserer heutigen Telefondienste, bei denen wir nach Wählen bestimmter Nummern den neuesten



Prinzip der Schallaufzeichnung
nach Edison

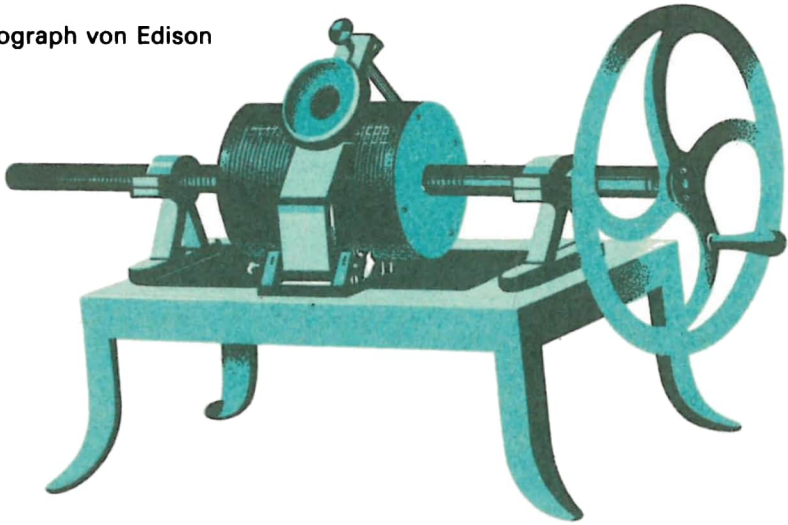
Wetterbericht, Kurznachrichten, den Ärzte- und Apothekenbereitschaftsdienst, Angebote des Reisebüros und dergleichen erfahren. Dabei sitzt am anderen Ende der Leitung nicht etwa eine Telefonistin, die uns persönliche Auskunft gibt. Vielmehr läuft im Fernsprechamt ein Tonband, das nur einmal besprochen zu werden brauchte, in endlosen Wiederholungen ab. Wählen wir die betreffende Nummer, so schalten wir uns in die Tonband-Wiedergabe ein.

Vier Monate arbeitete Edison an der Apparatur, bevor sich der erste bescheidene Erfolg zeigte. Er umwickelte ein Walze mit einer dünnen Metallfolie. Auf diese setzte er eine Nadel, die mit einer Membran verbunden war. Das ist ein Plättchen, das an seinem Rand fest eingefaßt ist, ansonsten aber so beweglich ist, daß es in Schwingungen versetzt werden kann. Wenn man dicht vor der Membran sehr laut sprach und dabei die Walze drehte, grub die Nadelspitze, die mitsamt der Membran in Schwingungen geriet, eine hauchfeine Rille in die Metallfolie. Die Rillentiefe wechselte dabei entsprechend den Schwingungen sehr schnell. Wurde die Nadelspitze wieder zum Anfang der Rille geführt und die Walze erneut gedreht, so versetzten die Vertiefungen der Rille nunmehr die Abtastnadel und mit ihr die Membran in Schwingungen. Das ergab Töne und Geräusche, die der menschlichen Stimme vorerst allerdings nur einigermaßen ähnlich waren.

Edison nannte die Vorrichtung Phonograph, was soviel wie Tonaufzeichner heißt. Am 29. November 1877 skizzierte er den Apparat in sein Labor-Tagebuch. Dann beauftragte er seinen Mechaniker Kruesi, einen Schweizer Uhrmacher, nach diesem Entwurf eine Vorrichtung zu bauen. Ihren Zweck verriet er diesmal noch nicht.

Kruesi baute aus viel Messing und Eisen das Gerät mit einem 9 cm langen Zylinder, einer Schraubenspindel und einer Handkurbel. An gegenüberliegenden Seiten des Zylinders waren verstellbare Röhren für das Einfügen einer Membran und einer Nadel montiert. Die eine Nadel sollte der Aufnahme, die andere der Wiedergabe dienen. Erst als Kruesi schon fast fertig war, erkundigte er sich, wofür denn der Apparat gut sein solle. Edison erwiderte beiläufig, die Maschine müsse sprechen. Danach sah sie so wenig aus, daß Kruesi die Antwort für nicht mehr als einen Scherz hielt. Niemand kam auf eine Idee, wie man diesen Apparat zum Sprechen bringen könnte, und Edisons Maschinenmeister Carmann wettete sogar um eine Kiste Zigarren, daß dieses Ding nie sprechen würde. Edison aber umwickelte gelassen die Walze mit einer dünnen Folie aus Zinn, im Volksmund Stanniol- oder Silberpapier genannt, drehte langsam die Kurbel und schrie in die Membran einen Vers aus einem amerikanischen Kinderlied.

Der erste Phonograph von Edison

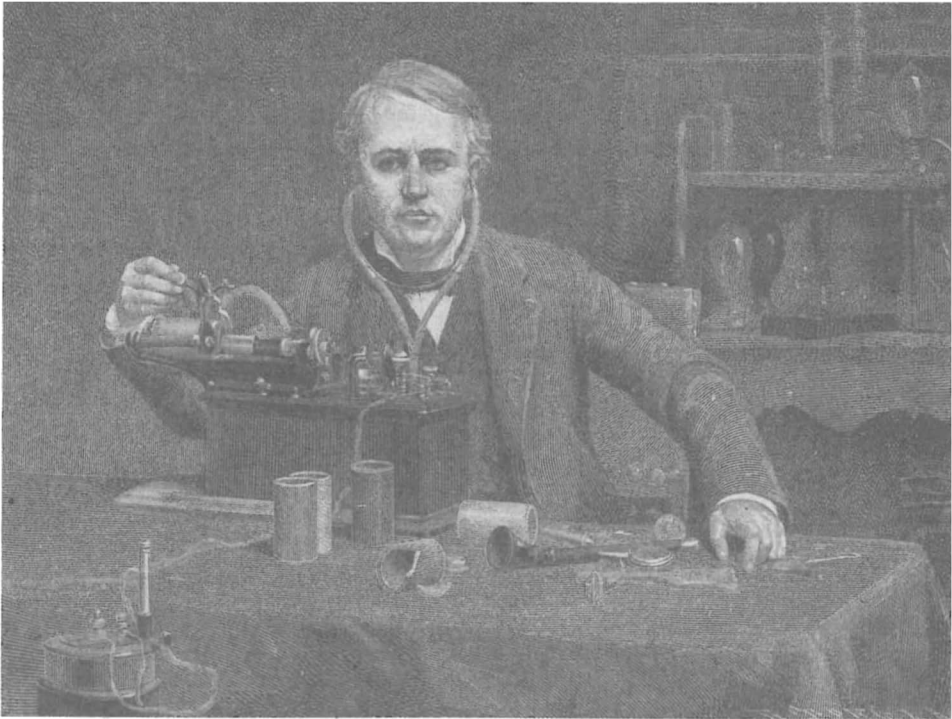


Dann führte er die Walze zu ihrem Ausgangspunkt zurück, brachte den Apparat in die für die Wiedergabe erforderliche Stellung und drehte an der Kurbel. Leise, aber deutlich hörte man jetzt Wort für Wort das Kinderlied, und auch die Stimme Edisons war unverkennbar. Kruesi wurde blaß vor Schreck, die anderen Mitarbeiter waren sprachlos. Sogar Edison selbst war, wie er später einmal berichtete, in seinem ganzen Leben noch nie so überrascht und ergriffen gewesen wie in diesem Augenblick. Es war die Geburtsstunde der Schallspeichertechnik.

Bei dieser Gelegenheit eine wichtige Anmerkung: Begriffe wie Schallaufzeichnung und Schallspeicherung sind zwar gebräuchlich, doch wir dürfen sie nicht wörtlich nehmen. Nach alledem, was wir inzwischen über den Schall wissen, ist klar, daß man Schall selbst weder aufzeichnen noch speichern kann. Vielmehr müssen durch den Schall mit Hilfe technischer Vorrichtungen stets erst Signale gebildet werden, die sich aufzeichnen lassen, im Falle von Edisons Erfindung die Auslenkungen einer Nadelspitze. Richtiger müßte man deshalb von Schallsignalaufzeichnung und Schallsignalspeicherung sprechen. Doch da diese Wörter sehr lang sind, haben sich die vereinfachenden kurzen Begriffe eingebürgert.

Als Edison die Erfindung Anfang Dezember 1877 zum Patent anmeldete, wagten die Beamten es zum ersten und einzigen Male, Zweifel und Bedenken darüber zu äußern, ob der neue Apparat des bereits berühmten Edison wirklich funktionieren könne. So unvorstellbar war ihnen der Gedanke, daß eine Maschine die menschliche Stimme aufzuzeichnen und wiederzugeben vermöge.

Tausende kamen in Edisons Labor nach Menlo Park, dem „Dorf der Wissenschaft“, wie sie sagten, um den Phonographen zu bestaunen.



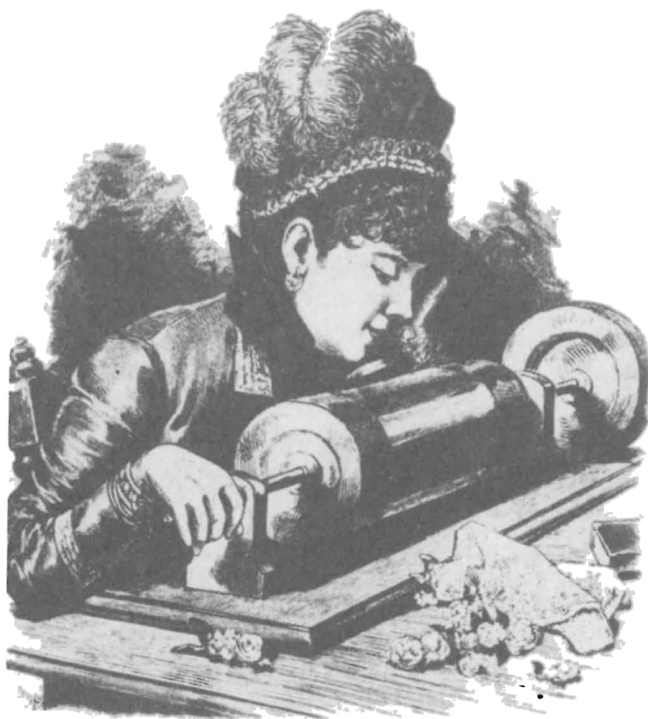
Edison mit seinem Phonographen

Kaum hatten die Menschen die Wirkungsweise des Telefons begriffen, da wurden sie schon mit dieser neuen Erfindung konfrontiert. Edison erhielt jetzt den Beinamen „Zauberer von Menlo Park“. Auch die Abgeordneten der beiden Häuser des amerikanischen Kongresses und der Präsident der USA interessierten sich lebhaft für den Phonographen. Durch keine der bisherigen Erfindungen war Edison so berühmt und populär geworden wie durch die „Sprechmaschine“.

Für die Verwendung seines Phonographen stellte Edison sogleich ein Zehnpunkteprogramm auf. Der Apparat sollte 1. als Diktiermaschine, 2. als tönendes Buch für Blinde, 3. für den Sprachunterricht, 4. zur Musikwiedergabe, 5. als Familienarchiv zum Sammeln akustischer Erinnerungen, 6. als Spielzeug und Musikbox, 7. gekoppelt mit Uhren zur Zeit- und Terminansage, 8. zur genauen Demonstration der Besonderheiten verschiedener Sprachen, 9. ganz allgemein als Lehrmittel für den Unterricht und 10. zum Festhalten von Telefongesprächen dienen. Damit hatte Edison zwar erstaunlich genau fast den gesamten Anwendungsbereich der heutigen Schallspeichertechnik vorausgesehen, doch die Leistungsfähigkeit seines Phonographen erheblich überschätzt. Denn der Apparatur hafteten noch beträchtliche Mängel an.

Die Spieldauer einer Walze betrug nur anderthalb Minuten. Eine heutige Mikrorillen-Schallplatte von 30 cm Durchmesser hat eine Spieldauer von 20 bis 25 Minuten je Seite, zusammen also von fast einer Stunde. Außerdem war die Handhabung der ersten Phonographen sehr schwierig. Es gehörte sehr viel Fingerspitzengefühl dazu, die Nadel richtig in ihre Halterung einzusetzen und die Zinnfolie aufzuziehen. Die Konsonanten wurden zu weich wiedergegeben, so daß man bei vielen Wörtern Schwierigkeiten hatte, sie zu verstehen. Wurde die Kurbel nicht sehr gleichmäßig gedreht, waren die Stimmen oder die aufgezeichnete Musik so verfälscht, daß es urkomisch klang und die Leute zum Lachen brachte. Vor allem aber war die Wiedergabe ziemlich leise. So erfuhr denn auch Edisons Phonograph im August 1878 in der „Leipziger Illustrierten“ eine niederschmetternde Kritik. Das Blatt schrieb, daß der Apparat in seiner gegenwärtigen Form kaum mehr als ein interessanter Versuch sei, da einzelne Worte zwar mit großer Deutlichkeit zu hören, andere aber dumpf und undeutlich klängen und so kaum zu verstehen wären.

Edison erwartete, daß sein Phonograph vor allem als Diktiergerät verwendet würde. Fortan sollte niemand mehr der Stenotypistin Briefe ins Stenogramm zu diktieren brauchen. Unabhängig davon, ob gerade eine



Eine Sängerin besingt
die Schallwalze eines
Edison-Phonographen

Sekretärin zur Verfügung stünde oder nicht, könnten Geschäftsleute, Richter und Beamte jetzt ihre Briefe und andere Schriftstücke in den Phonographen diktieren. Später würde die Angestellte die Walzen abhören und den Text niederschreiben.

Es gelang zwar, vom Obersten Gerichtshof der USA einen Auftrag über mehrere hundert Phonographen zu erhalten. Doch wurde die gesamte Lieferung wegen Nichtverwendbarkeit wieder zurückgegeben. Somit hatte sich die größte Hoffnung Edisons nicht erfüllt. Die neugegründete Gesellschaft, welche die Phonographen gebaut hatte, konnte nur dadurch vor dem völligen Ruin gerettet werden, daß ein Schaubudenbesitzer 50 der Apparate zu ermäßigtem Preis ankauft und mit je zehn Hörschläuchen ausstatten ließ. Wenn man sich zwei dieser Gummiröhrchen in die Ohren steckte, hörte man die Wiedergabe lauter. In dieser Form fand der Phonograph als sensationelles Kuriosum beim Publikum großen Anklang. Bald wurde er in vielen Restaurants aufgestellt, und die Leute hockten, mit den Gummischläuchen in den Ohren, staunend um den Zauberkasten. Auch auf Rummelplätzen bewunderte man die neue Erfindung. Doch als die Neugier der Leute befriedigt war, erlosch das Interesse ebenso schnell, wie es aufgeflackert war. Nachdem der Apparat so zum Spielzeug degradiert war, beschäftigte sich Edison vorerst nicht mehr mit dem Phonographen, obwohl er ihn als seine Lieblingserfindung empfand.

Edisons Untätigkeit in dieser Sache wurde nun aber zur Herausforderung an andere Erfinder, die Apparatur zu verbessern. Chisester Bell, ein Neffe Alexander Graham Bells, einer der Erfinder des Telefons, und Charles Sumner Tainter ersetzten die Zinnfolie durch gewachsenen Karton. In das weichere Wachs drang die Nadel etwas tiefer ein. Außerdem wurde sie nicht mehr so starr, sondern federnd an der Membran befestigt. Um eine stets gleiche Umdrehungsgeschwindigkeit der Walze zu gewährleisten, wurde anstelle der Handkurbel ein kleiner Elektromotor verwendet. Dieses „Graphophon“ gab auch die Zischlaute der Konsonanten deutlich wieder, und das bei Edisons Phonographen noch sehr starke Rauschen, Kratzen genannt, war etwas gemildert.

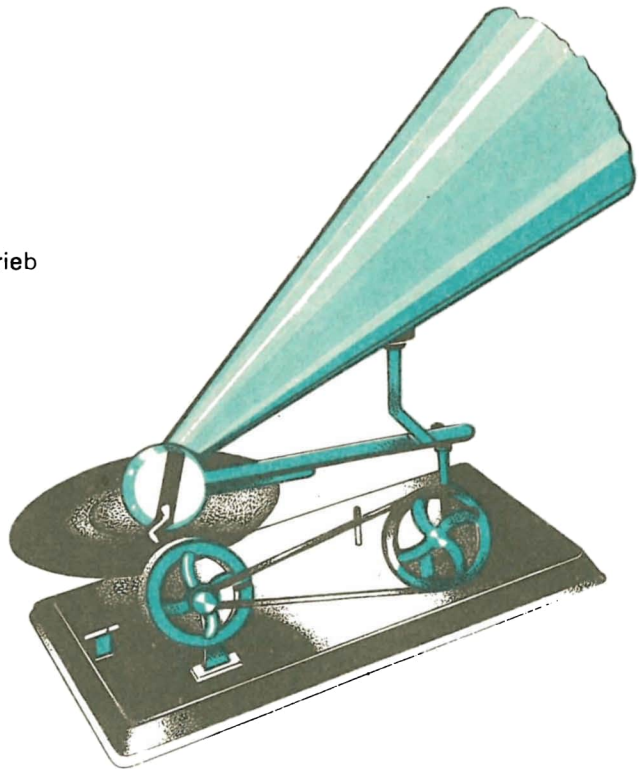
Jetzt wurden viele Schlager auf die Walzen gesungen. Für das Besingen einer Walze erhielt der Künstler ein Honorar von 25 Pfennigen. Bedeutende Künstler fanden sich dafür freilich nicht bereit. Jede Walze mußte einzeln besungen oder bespielt werden. (In der modernen Schallplattentechnik wird dagegen das Musikstück nur einmal aufgenommen. Nach dieser einen Aufnahme kann man dann beliebig viele Platten pressen.) Auch die Stimmen von Kaisern, Königen und Staatspräsidenten wurden auf Wachswalzen gebannt und in einem Archiv aufbewahrt, damit man

sie später noch sollte hören können. Allerdings nutzte sich die Wachsrille schon nach vier-, fünfmaligem Abspielen der Walze so stark ab, daß dann kaum noch etwas zu verstehen war.

Wettlauf zwischen Walze und Platte

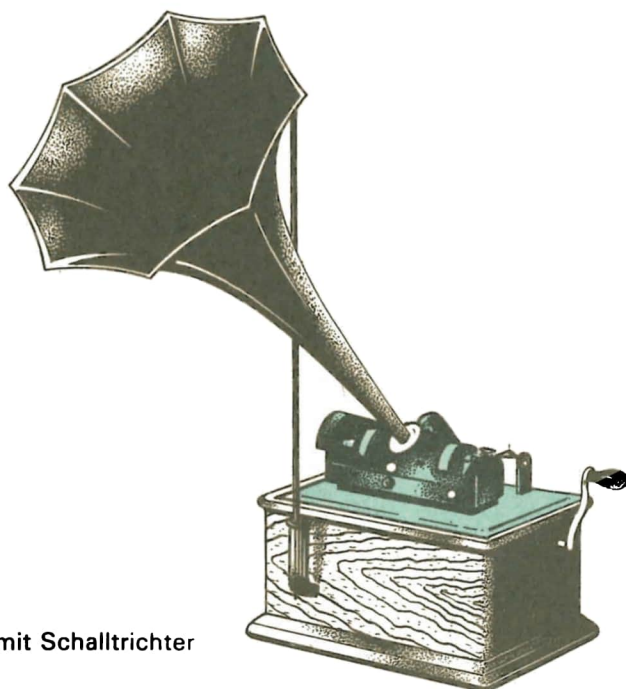
Seit 1883 experimentierte der in Hannover geborene und später nach den USA ausgewanderte Emil Berliner an einer anderen Methode der Schallspeicherung. Er hatte sich von Anfang an weniger die Aufzeichnung von Sprache als von Musik zum Ziel gesetzt. Auf sein Gerät – er nannte es „Grammophon“ – erhielt er 1887 ein Patent. Berliner benutzte keine Walze, sondern eine kreisrunde Scheibe. Anfangs bestand sie aus Glas und war mit einer Rußschicht versehen. Die auf die Platte gesetzte Nadel wurde bei ihren Schwingungen auch nicht abwechselnd tiefer und flacher in die Rußschicht gedrückt, sondern nach den Seiten ausgelenkt. Man nennt diese Aufzeichnungsform Seitenschrift, die von Edison dagegen Tiefenschrift. Während sich die Platte drehte, wurde gleichzeitig der Nadelträger langsam in radialer Richtung, also vom Rand zum Mittelpunkt

Plattenspieler mit Handantrieb
von Emil Berliner (1887)



der Scheibe bewegt. So entstand eine spiralförmige Tonspur mit vielen sich immer mehr verengenden Windungen.

Später ersetzte Berliner die Glasscheibe durch eine Zinkplatte, die er mit Wachs überzog. Nach dem Einschneiden der Rillen wurde die Platte in Chromsäure geätzt. Überall dort, wo die Nadelspitze die dünne Wachs- schicht weggeschnitten und somit das Metall freigelegt hatte, fraß das Ätzmittel kleine Vertiefungen in das Metall. Nach dem Abwaschen des übriggebliebenen Wachses war eine Zinkplatte mit Rillen entstanden. Nach dieser „Mutter“-Platte ließ sich ein Negativ anfertigen, das überall dort, wo sich auf der „Mutter“-Platte Vertiefungen, also Rillen befanden, winzige Erhöhungen hatte. Damit konnte man in Platten aus hinreichend weichem Material das gleiche Rillenmuster einprägen, wie es sich auf der „Mutter“-Platte befand. Dieses Verfahren ermöglichte zum Unterschied von Edisons und Tainters Walzen von vornherein die Herstellung sehr vieler Platten nach einer einzigen Aufnahme. Sie brauchten also nicht mehr einzeln besungen oder bespielt zu werden. Als Material, in das die Rillen eingepreßt wurden, benutzte Berliner anfangs Hartgummi, später ein dafür wesentlich besser geeignetes Gemisch aus Schellack, Gesteinsmehl, Ruß und Fasern. Allerdings waren diese Platten zum Unterschied von unseren heutigen, die aus dem Plastwerkstoff Polyvinylchlorid (PVC) bestehen, sehr zerbrechlich.



Edison-Walzenphonograph mit Schalltrichter
(um 1900)



Trichter-Grammophon mit Federwerk-Antrieb

Obwohl Berliners Grammophon schon vom Prinzip her dem Walzen-Phonographen überlegen war, konnte es sich zunächst nicht gegen die Konkurrenz der Walze durchsetzen. Denn zehn Jahre nachdem er die Arbeit am Phonographen vorerst aufgegeben hatte, begann Edison nochmals, seine Erfindung wesentlich zu verbessern. So kam es zu einem hartnäckigen Wettlauf zwischen Walze und Platte, in dem Berliner anfangs zurückblieb. Der Walzen-Phonograph wurde in vielen Einzelheiten, die hier nicht beschrieben werden sollen, weil sie nur noch von historischem Interesse sind, verbessert.

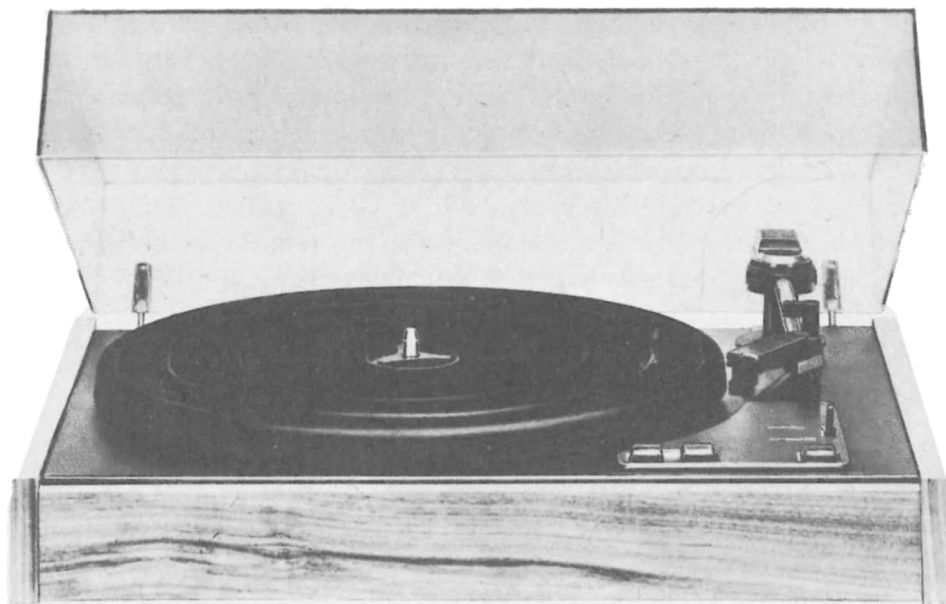
Inzwischen steckte man sich keine Gummiröhrchen mehr in die Ohren, um die Walzen abzuhören, sondern es wurde ein großer Trichter auf die Membran gesetzt. Das ergab zwar keine so großen Lautstärken wie bei den heutigen elektronischen Verstärker-Systemen. Aber die Leute fanden sich damit ab. In die Wohnstuben aller einigermaßen begüterten Familien hielt jetzt der Phonograph seinen Einzug. Die Spieldauer der Walzen konnte auf drei Minuten verdoppelt werden, und später fand Edison sogar ein Verfahren, um recht haltbare Walzen anzufertigen, die 3 000mal abgespielt werden konnten.

Edison organisierte großangelegte Werbekampagnen für seinen Phonographen, und es gelang ihm sogar, den damals weltberühmten Tenor Enrico Caruso dazu zu bringen, einige Walzen zu besingen. Auch der Komponist Johannes Brahms bespielte auf dem Klavier eigenhändig Edison-Walzen mit Ausschnitten seiner Ungarischen Rhapsodien. Allerdings betrachtete Edison solche Musikaufnahmen von hohem künstlerischem Niveau mehr als Versuche, um die Grenzen der Leistungsfähigkeit des Phonographen zu ermitteln. Auf den weitaus meisten Walzen wurde nur ziemlich anspruchslose Unterhaltungsmusik aufgezeichnet.

Der Walzen-Phonograph war beim Publikum bereits eingeführt, als sich Berliner noch bemühte, sein Grammophon populär zu machen. In vieler Hinsicht war der Plattenspieler dem Phonographen anfangs unterlegen. So betrug die Spieldauer einer Platte zunächst nur eine Minute, und die ersten Plattenspieler mußten mit einer Handkurbel angetrieben werden. Erst der Nähmaschinen- und Uhrwerksmechaniker Eldridge R. Johnson führte als weitere wesentliche Verbesserung den Federmotor ein. Jetzt brauchte man nicht mehr während des ganzen Abspiels zu kurbeln, sondern nur vorher das Federwerk aufzuziehen. Durch Fliehkraftregelung wurde sogar eine einigermaßen gleichbleibende Drehzahl der Platte erreicht.

Als Berliner an den Verbesserungen seines Grammophons arbeitete, wurde er ständig durch Geldmangel behindert. Verzweifelt suchte er nach Kreditgebern. Schließlich fand er auch welche, aber sie versprachen sich von Platten mit Musik kein Geschäft. Sie stellten Berliner vielmehr die Bedingung, daß seine Apparatur in Puppen eingebaut wird, die dadurch sprechen und singen sollten. Berliner aber wollte seine Erfindung nicht zum Spielzeug degradieren lassen, sondern den Menschen musikalische Kunstgenüsse verschaffen.

Nach vielen Bemühungen gelang es ihm endlich, andere Geldgeber zu finden. Nach einer umfangreichen Werbung in den Zeitungen für die „einzige sprechende Maschine, die eine natürliche Sprache spricht“, erzielte er 1898 schließlich den Durchbruch zu den ersten großen Erfolgen. In Amerika allerdings kam er gegen den Walzen-Phonographen vorerst nicht auf. Doch in Deutschland konnten im Herbst 1898 die ersten vier Maschinen zum Pressen von Schallplatten aufgestellt werden, und im Jahre 1900 wurden hier bereits zweieinhalb Millionen Platten verkauft. Es gelang, die Spieldauer der Platten auf drei Minuten zu verlängern. Vorerst war jedoch zum Unterschied von unseren heutigen Platten nur eine Seite mit Rillen versehen. Doppelseitig bespielte Platten stellten erst eine Sensation der Leipziger Messe des Jahres 1904 dar.

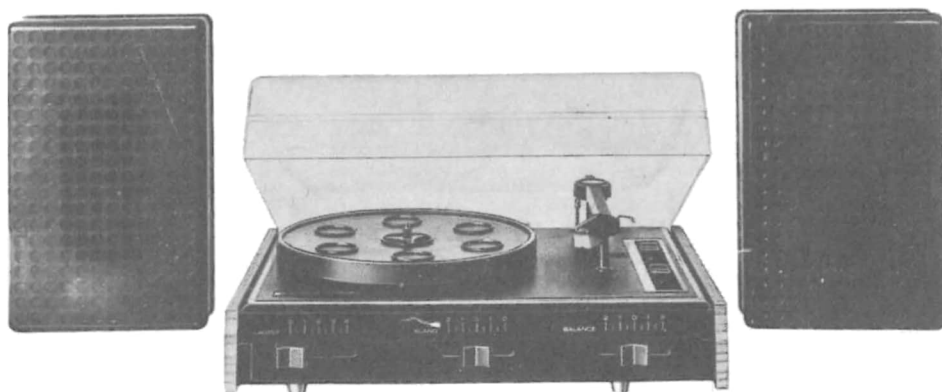


Moderner Plattenspieler: Phonoautomat MA 224

Vom Trichter-Grammophon zum HiFi-Plattenspieler

Was selbst den einfachsten heutigen Plattenspieler vom Grammophon unserer Urgroßeltern unterscheidet, ist das Fehlen des riesigen Schalltrichters. Dieser Verschiedenheit im äußeren Erscheinungsbild liegt ein noch größerer physikalisch-technischer Unterschied zugrunde. Bei den alten Plattenspielern wurden die durch die Auslenkungen der Schallrinne

Modernes Schallplatten-Abspielgerät mit eigenem Verstärker und zwei Lautsprecherboxen: Combo 523

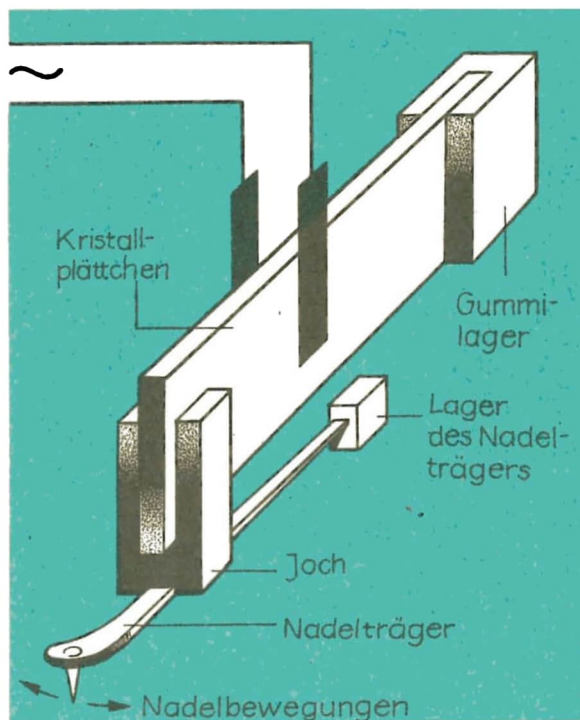


bewirkten Schwingungen der Abtastnadel auf eine Membran übertragen. Sie versetzte die Luft in Schallschwingungen. Das war ein verhältnismäßig direkter Weg der Rückverwandlung der in der Rille gespeicherten Tonsignale in Schall. Dabei entstand nur ein sehr leiser Ton. Um ihn lauter zu hören, mußte auf die Schalldose, welche die Membran enthielt, ein Trichter gesetzt werden. Er bündelte die Schallenergie und strahlte sie in eine bestimmte Richtung ab, so daß sie auf engerem Raum konzentriert blieb. Die gleiche Wirkung hat ein Megaphon, wie es zum Beispiel beim Wassersport benutzt wird, um jemand über weite Entfernung etwas zuzurufen.

Bei allen heutigen Plattenspielern wird der Schall indirekt – auf dem Umweg über elektrische Vorgänge – erzeugt. Daher heißt das Fachgebiet, mit dem wir uns im folgenden beschäftigen, Elektroakustik. Elektrische Schwingungen lassen sich verstärken. Dadurch erhält man auch ohne Schalltrichter große Lautstärken, sogar noch viel größere als mit Trichter-Grammophonen. Außerdem brachte die Einführung elektroakustischer Verfahren eine wesentlich bessere Klangqualität. Auch bei den modernen Plattenspielern versetzen die Auslenkungen der Schallplatten-Rille eine Abtastnadel in schnelle mechanische Schwingungen. Sie werden aber nicht direkt auf eine Membran übertragen, welche die Luft in Schallschwingungen versetzt, sondern zunächst in elektrische Schwingungen umgewandelt. Elektrische Schwingungen sind eine schnelle Folge vieler kurzer Strom„stöße“. Bei jedem Stromstoß steigt die Spannung von Null auf einen bestimmten Wert an und fällt dann wieder auf Null ab.

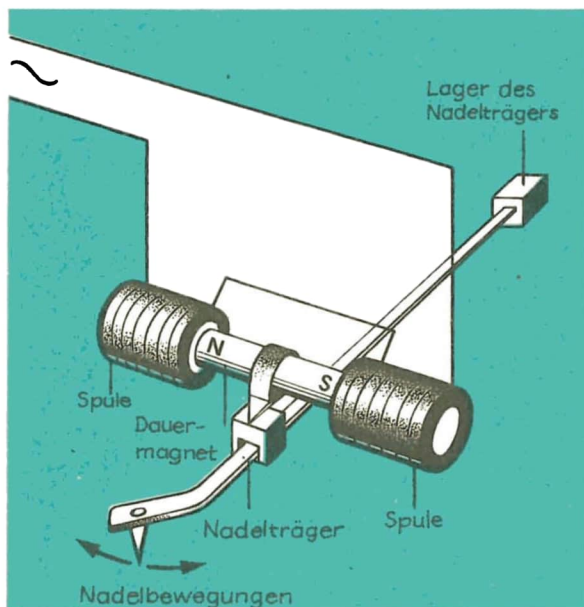
Für die Umwandlung mechanischer Schwingungen in elektrische gibt es verschiedene Methoden. Schon 1880 entdeckten französische Physiker, die Brüder Paul und Pierre Curie, den piezoelektrischen Effekt: Wenn auf bestimmte Kristalle Druck- oder Zugkräfte einwirken, so erzeugen sie schwache elektrische Spannungen. Ein Kristall-Abtastsystem enthält eine Abtastnadel, die von einem Nadelträger gehalten wird. Durch die Hin- und Herbewegungen der Nadel gerät auch der Nadelträger mit in mechanische Schwingungen. Dabei übt er in schnellem Wechsel Druckkräfte auf ein Kristallplättchen – bei Stereo-Systemen auf zwei getrennte Plättchen – aus. Diese erzeugen dadurch im selben Rhythmus elektrische Spannungsschwankungen, elektrische Schwingungen. Weil sie durch Druckkräfte erzeugt werden, nennt man solche Abtastsysteme Druckwandler. Sie werden besonders für Plattenspieler einfacher Art verwendet. Die Abtastnadel besteht nicht mehr wie bei dem alten Trichter-Grammophon aus Stahl, sondern aus kleinen Halbedelsteinen wie Saphir, Rubin und Korund oder aus einem Diamanten. Sie kann sehr viel länger benutzt werden als eine Stahlnadel.

Schema des
Kristall-Abtastsystems



Eine noch bessere klangtechnische Qualität ergeben Abtastsysteme, bei denen die Umwandlung der mechanischen Schwingungen in elektrische durch Induktion erfolgt: Wird eine Spule, die aus Windungen elektrisch leitfähigen Drahtes besteht, in bestimmter Weise relativ zu einem Magnetfeld bewegt oder umgekehrt ein Magnetfeld relativ zu einer Spule, so entstehen in der Spule elektrische Spannungen. Auf diesem Grundprinzip beruht übrigens auch die Stromerzeugung in den Kraftwerken. In den Induktionswandlern sind deshalb die Nadelträger entweder mit kleinen Magneten oder mit Spulen verbunden. Durch die Nadelauslenkungen werden die Magnete beziehungsweise Spulen in schnellem Wechsel bewegt. Bei magnetischen Abtastsystemen bewegen sich Magnete relativ zu Spulen, bei dynamischen Systemen Spulen relativ zu Magnetfeldern. In beiden Fällen erhält man elektrische Schwingungen.

Induktionswandler haben eine höhere Nadelnachgiebigkeit (Fachausdruck: Compliance, sprich: camplaienß), das heißt, sie können den feinsten Auslenkungen der Rille besser folgen als Kristallsysteme. Deshalb erfordern Kristallsysteme eine höhere Auflagekraft. Ihre Nadeln müssen also mit größerer Kraft als bei Induktionswandlern auf die Plattenrille drücken. Außerdem sind Kristalle temperatur- und feuchtigkeitsempfindlich und reagieren nicht auf alle Tonfrequenzbereiche gleich gut.



Schema des magnetischen Abtastsystems

Diese Nachteile sind bei keramischen Systemen, die ebenfalls Druckwandler darstellen, etwas gemildert. Doch erreichen auch sie nicht die Qualität von Induktionswandlern. Es gibt noch andere Abtastsysteme, die allerdings weniger gebräuchlich sind und auf die deshalb hier nicht eingegangen wird.

Nun müssen die elektrischen Schwingungen wieder in mechanische Schallschwingungen umgewandelt werden, um den in der Rille aufgezeichneten Ton hörbar zu machen. Für diese Rückverwandlung kommt uns noch einmal die „Verwandtschaft“ zwischen Elektrizität und Magnetismus zu Hilfe. Magnetische Kraftfelder können nämlich nicht nur Elektrizität erzeugen, sondern umgekehrt Elektrizität auch magnetische Felder. Wird eine Spule von Strom durchflossen, dann entsteht in dem von ihr umschlossenen Raum ein magnetisches Kraftfeld. Dieses Prinzip findet beim Lautsprecher Anwendung. Er verwandelt die elektrischen Schwingungen wieder in mechanische Schallschwingungen.

Der Lautsprecher enthält eine Spule, der die elektrischen Spannungsschwankungen des Abtastsystems – erheblich verstärkt – zugeführt werden. Da die Polarität (Plus und Minus) der elektrischen Spannungen ständig wechselt, fungiert die Spule wie ein Stabmagnet, bei dem im selben Rhythmus der Nord- und der Südpol vertauscht werden. Dasselbe Ende der Spule wirkt also abwechselnd wie ein magnetischer Nord- und Südpol.

Die Spule umschließt den Kern eines anderen Magneten. Dies ist ein

Dauermagnet, auch Permanentmagnet genannt. Er bedarf, um magnetisch zu sein, keines elektrischen Stroms, sondern ist von sich aus magnetisch. Nun ziehen sich ungleichnamige Magnetpole an und gleichnamige stoßen einander ab. Da die Spule wie ein Stabmagnet wirkt, bei dem die Lage der Pole dauernd wechselt, entsteht zwischen der Spule und dem Permanentmagneten abwechselnd eine Anziehungs- und eine Abstößungskraft. Beide wechseln im selben Rhythmus wie die elektrischen Schwingungen, die der Spule zugeführt werden. Folglich gleitet die Spule auf dem Kern des Permanentmagneten im Rhythmus der elektrischen Schwingungen hin und her, gerät also in mechanische Schwingungen. Man nennt sie deshalb Schwingspule.

Mit ihr verbunden ist eine große Membran. Das ist jenes in der Form einem sehr flachen Trichter ähnelnde Bauteil, das wir sehen, wenn die Stoffverkleidung des Lautsprecher-Gehäuses abgenommen ist. Die Membran wird bei den Hin- und Herbewegungen der Schwingspule mit in Bewegung versetzt. Die Schwingungen der Membran stoßen die Luftteilchen zu gleich schnellen Schwingungen an und erzeugen so den Schall, der an unser Ohr gelangt. Damit ist der Kreis geschlossen: Aus den mechanischen Schwingungen der Abtastnadel sind wieder mechanische Schallschwingungen der Luft geworden. Kleine Lautsprecher enthält auch jedes Kopfhörerpaar. Da sie sich in unmittelbarer Nähe des Ohrs befinden, brauchen sie keine so großen Schall-Leistungen abzugeben wie Lautsprecherboxen.

Wenn es ganz still im Raum ist und wir den Lautstärkeregler völlig zudrehen, können wir den Ton der Schallplatte allerdings auch bei heutigen Plattenspielern noch ganz leise direkt hören. Denn die Schwingungen der Abtastnadel versetzen die umgebende Luft ebenfalls in Schallschwingungen. Doch sind sie sehr schwach und daher äußerst leise. Dies ist daher nur noch ein interessanter Nebeneffekt, für das Abhören der Schallplatte hat er keine Bedeutung mehr.

Da die bisher beschriebenen physikalischen Gesetzmäßigkeiten schon zu Zeiten der Erfindung der Schallplatte bekannt waren, könnte man fragen, warum dann überhaupt Trichter-Grammophone gebaut und nicht von vornherein elektroakustische Verfahren angewendet wurden. Der Grund: Die von Druck- und Induktionswandlern erzeugten elektrischen Spannungen sind sehr schwach. Bei Magnetsystemen betragen sie nur einige Millivolt (= Tausendstelvolt, Kurzzeichen: mV), bei Kristallsystemen rund 0,5 Volt (Kurzzeichen: V). Aber auch das wäre zu wenig, um dadurch die Schwingspule des Lautsprechers in so kräftige Bewegungen zu versetzen, daß dabei eine relativ große und schwere Membran mitbewegt werden kann. Die feinen elektrischen Spannungsschwankungen, die

das Abtastsystem liefert, müssen daher erst erheblich verstärkt werden. Die Möglichkeit solcher elektronischen Verstärkung wurde aber erst in den Jahren von 1905 bis 1913 durch mehrere Erfinder, deren Ideen sich ergänzten, geschaffen.

Sie entwickelten Elektronenröhren, die unter anderem auch zur Verstärkung elektrischer Spannungen geeignet sind. Davon wurde anfangs jedoch überwiegend nur in der Funktechnik Gebrauch gemacht. Sie war damals noch nicht gleichbedeutend mit dem, was wir heute unter Rundfunk verstehen. Zunächst wurden hauptsächlich Morsezeichen gefunkt und so Nachrichten und Telegramme drahtlos übertragen. Der öffentliche Rundfunk begann in Deutschland 1923. Erst auf dem Wege über die Radiotechnik fand dann auch bei Schallplatten-Wiedergabe-Anlagen die elektronische Verstärkung zunehmende Verbreitung. Heute sind die Elektronenröhren durch Transistoren ersetzt, die ebenfalls eine Verstärkung ermöglichen. Die Funktionsweisen von Elektronenröhren und Transistoren sind in vielen populärwissenschaftlichen Büchern über Radiotechnik beschrieben, weshalb sie hier nicht erläutert werden.

Da jeder Rundfunkempfänger einen Verstärker für die Tonfrequenzen – auch NF(= Niederfrequenz)-Verstärker genannt – enthält, wird bei den meisten Typen von Plattenspielern auf den Einbau eines eigenen Verstärkers verzichtet. Diese Geräte lassen sich daher nur in Verbindung mit einem Radioapparat oder einem anderen gesonderten Verstärker benutzen.

Damit hätten wir den elektrischen Teil von Schallplatten-Abspielgeräten im wesentlichen kennengelernt und können uns den mechanischen Teilen zuwenden.

Dazu gehören das Laufwerk und der Tragarm, an dessen vorderem Ende sich das Abtastsystem befindet. Meist wird er – weniger zutreffend – als Tonarm bezeichnet. Das Laufwerk hat die Aufgabe, den Plattenteller, auf den die Schallplatte gelegt wird, in Umdrehung zu versetzen. Dabei kommt es darauf an, daß eine bestimmte Anzahl von Umdrehungen pro Minute (Abkürzung: UpM) eingehalten wird, daß die Umdrehung stets mit genau gleicher Geschwindigkeit erfolgt – in der Fachsprache als Gleichlauf bezeichnet – und daß kein Rumpeln entsteht. Die früheren sogenannten Normalplatten werden mit 78 UpM, die heutigen Mikrorillen-Langspielplatten mit $33\frac{1}{3}$ oder 45 UpM abgespielt. An vielen Plattenspielern sind außerdem noch $16\frac{2}{3}$ UpM einzustellen. Doch gibt es dafür keine Platten, da Versuche zeigten, daß bei dieser langsamen Umdrehungsgeschwindigkeit die klangtechnische Qualität nicht mehr befriedigt.

Vom genauen Einhalten der Nenndrehzahl hängt es ab, ob die Ton-

höhe richtig wiedergegeben wird. Denn dreht sich die Platte schneller, dann durchfährt die Abtastnadel je Zeiteinheit mehr Auslenkungen als bei der richtigen Umdrehungsgeschwindigkeit. Folglich werden je Zeiteinheit auch mehr Schwingungen erzeugt: Es entsteht ein höherer Ton. Dreht sich der Teller zu langsam, entsteht ein zu tiefer Ton. Bei $33\frac{1}{3}$ UpM ergibt eine Abweichung um 2 UpM bereits einen halben Ton Differenz.

Noch schlimmer und selbst für musikalisch ungeschulte Ohren deutlich hörbar ist es, wenn die Umdrehungsgeschwindigkeit langsam wechselt. Dann verändert sich die Tonhöhe gleitend. Das hört sich wie ein Jaulen an. In der Fachsprache bezeichnet man das als Gleichlaufschwankungen. Langsam aufeinanderfolgende nennt man auch wow (sprich: wau), schnell aufeinanderfolgende flutter (sprich: flutter). Diese bewirken einen rauhen, kratzigen Klang. Ob ein Plattenspieler einen guten Gleichlauf hat, läßt sich besonders deutlich beim Abspielen von Klavier- oder Orgelmusik feststellen, in der lang anhaltende Töne vorherrschen. Man hört dann das langsame An- und Abschwellen der Tonhöhe oder auch einen geringfügigen, aber sehr schnell aufeinanderfolgenden Wechsel der Tonhöhe, eine Art Trillern.

Besonders hochwertige Schallplatten-Abspielgeräte ermöglichen eine optische Kontrolle des Gleichlaufs durch eine Stroboskop-Einrichtung. Dabei befindet sich am Rande des Plattentellers eine Markierung aus abwechselnd schwarzen und weißen Balken. Eine Glimmlampe beleuchtet die bei der Umdrehung des Tellers an ihr vorbeilaufenden Balken. Sie sendet aber kein kontinuierliches Licht aus, sondern je Sekunde 100 kurzzeitige Lichtblitze. Die Dunkelpausen zwischen den Lichtblitzen bemerkt unser Auge normalerweise nicht. Die Glimmlampe scheint ununterbrochen zu leuchten.

Die Breite der schwarzen und weißen Balken ist so bemessen, daß bei der richtigen Umdrehungszahl jeder Balken beim Aufleuchten des nächsten Blitzes an die Stelle gelangt, an der sich der vorige schwarze beziehungsweise weiße Balken befand, als der vorangegangene Blitz aufleuchtete. Dadurch scheinen sich die Balken überhaupt nicht zu bewegen, sondern stillzustehen. Läuft der Plattenteller aber zu schnell, so sind die Balken beim nächsten Lichtblitz schon ein Stückchen zu weit gewandert. Läuft er zu langsam, bleiben sie zurück. Folglich sieht man die Balken bei zu schneller Umdrehung vorwärts, das heißt in der Drehrichtung des Plattentellers laufen und bei zu langsamer Geschwindigkeit rückwärts. Mit einer Feinregulier-Vorrichtung wird dann die Umdrehungsgeschwindigkeit so lange korrigiert, bis die Balken stillzustehen scheinen.

Rumpeln ist ein rollendes, bullerndes Geräusch, das sich ungefähr so anhört, als schütete jemand Kartoffeln in eine Holzkiste. Die Hauptursa-

che des Rumpelns sind Vibrationen, die beim Lauf des Elektromotors entstehen, der den Plattenteller antreibt. Die Vibrationen übertragen sich bis auf das Abtastsystem, das sie gleichfalls in elektrische Schwingungen umwandelt, die mitverstärkt und im Lautsprecher wiedergegeben werden. Man kann diese tiefen Frequenzen zwar durch ein Rumpelfilter, das in hochwertige Rundfunkempfänger beziehungsweise Verstärker eingebaut ist, weitgehend unterdrücken. Doch werden dabei auch die zum Klang der Musikinstrumente oder Stimmen gehörenden tiefen Frequenzen mit abgeschwächt und so der Klang etwas verfälscht. Besser ist es daher, schon das Entstehen von Rumpelgeräuschen zu vermeiden. Ein starkes Rumpeln kommt auch zustande, wenn der Plattenspieler zu dicht neben einem Lautsprecher steht. Dann versetzt dieser das Abtastsystem in zusätzliche Vibrationen. Aus dem gleichen Grunde sollen Lautsprecher und Plattenspieler nicht auf derselben Unterlage stehen.

Um einem Rumpeln vorzubeugen, wird der Plattenspieler nicht direkt vom Elektromotor angetrieben, sondern indirekt über ein oder mehrere Zwischenglieder und der Motor außerdem federnd aufgehängt. Bei der einfachsten Konstruktion drückt ein Reibrad aus Hartgummi zugleich gegen die Achse des Elektromotors und gegen den Innenrand des Plattentellers. Dadurch wird dieser über das Reibrad in Drehung versetzt. Die Motorachse ist als stufenförmige Welle ausgebildet. Jede Stufe hat einen anderen Durchmesser. Je nachdem, gegen welche Stufe der Welle das Reibrad drückt, dreht es sich schneller oder langsamer. Dadurch ist es möglich, ohne Veränderung der Drehzahl des Motors unterschiedliche Umdrehungsgeschwindigkeiten des Plattentellers zu erreichen, also verschiedene UpM einzustellen.

Beim Reibrad-Antrieb verbleiben aber noch feine Vibrationen, die erst durch ein weiteres Zwischenglied verringert werden. Dabei treibt die Motorwelle über einen Gummiriemen ein Zwischenrad an, das als Stufenwelle ausgebildet ist. Dieses überträgt die Bewegung auf den Innenrand des Plattentellers. Der Riemen fängt den größten Teil der Vibrationen ab. Günstig ist es ferner, wenn der Plattenteller recht schwer ist. Das kommt auch dem Gleichlauf zugute. Denn dann fungiert der Teller wie ein Schwungrad. Nach dem physikalischen Gesetz der Trägheit der Masse ist jeder Körper bestrebt, sich mit gleicher Geschwindigkeit und Richtung weiterzubewegen. Je schwerer ein Körper, desto größer ist auch seine träge Masse und um so weniger wird daher seine Bewegung durch andere einwirkende Kräfte gestört und verändert. Es gibt noch andere Laufwerkskonstruktionen, die jedoch weniger gebräuchlich sind und daher hier nicht beschrieben werden.

Große Sorgfalt ist auch auf den Tragarm zu verwenden, da seine Be-

schaffenheit ebenfalls großen Einfluß auf die klangtechnische Qualität hat. Er soll möglichst leicht sein, damit die Abtastnadel mit nur geringer Kraft in die Rille drückt. Bei hoher Auflagekraft würden sowohl die Rille als auch die Spitze der Abtastnadel stärker abgenutzt. Andererseits darf die Auflagekraft nicht zu gering sein, weil die Nadel sonst nicht sicher in der Rille geführt wird, sondern schon bei schwächsten Vibrationen aus der Rille springt. Dafür genügen bereits die feinen Vibrationen des Fußbodens, die entstehen, wenn jemand durch das Zimmer geht. Sie übertragen sich auf das Möbelstück, das auf dem Boden steht, und von diesem auf den Plattenspieler.

Bei magnetischen Abtastsystemen genügen Auflagekräfte von 20 bis 30 Millinewton (= Tausendstelnewton, Kurzzeichen: mN; nach früherer Maßeinheit: etwa 2 bis 3 Pond, Kurzzeichen: p). Folglich dürfte der Tragarm samt Abtastsystem nur eine Masse von 2 bis 3 g haben. Obwohl man heute Rohrtonarme verwendet, die zur Verringerung der Masse hohl sind und außerdem aus Leichtmetall bestehen, kann man derart leichte Tragarme nicht herstellen. Deshalb befindet sich am anderen Ende des Tragarms, jenseits des Punktes, an dem er drehbar gelagert ist, ein Gegengewicht. Es gleicht das Gewicht des Tonarms zum großen Teil aus. Außerdem kann man durch Verschieben des Gewichts die Auflagekraft verändern und auf den bestmöglichen Wert einstellen. Er richtet sich nach den Eigenschaften des Abtastsystems. Für jedes System wird meist eine bestimmte Auflagekraft empfohlen. Mit einer Spezialwaage, die normalerweise aber nur Fachwerkstätten haben, kann sie gemessen werden.

Der Tragarm ist so gelagert, daß er sich um eine senkrechte und eine waagerechte Achse äußerst leicht schwenken läßt. Das Heben und Senken um die waagerechte Achse ist nicht nur erforderlich, um die Nadel in die Rille abzusenken und nach vollendetem Abspiel wieder herauszuheben, sondern aus noch einem anderen Grund. Leider sind nämlich manche Platten nicht völlig eben wie eine Glasscheibe, sondern leicht „verbeult“. In der Fachsprache nennt man das Höhengschlag. Wenn die Platte rotiert und wir unsere Augen in Höhe des Tellers halten, sehen wir, wie sich der Rand der Platte abwechselnd hebt und senkt, obwohl der Plattenteller eben ist. Die Abtastnadel muß aber trotz dieser ständigen Auf- und Abbewegungen stets sicher in der Rille liegenbleiben. Das ist nur möglich, wenn sich der Tragarm leichtgängig um die waagerechte Achse bewegen kann. Ebenso leicht muß er sich um die senkrechte Achse drehen können. Denn die Schallrille führt ja vom Rand der Platte in sich immer mehr verengenden Spiralwindungen zur Plattenmitte. Während des Abspiels wird der Tragarm dadurch langsam in Richtung vom Rand zur Mitte geführt.

Da der Tonarm in einem Punkt außerhalb des Plattentellers gelagert ist, verläuft seine Bewegung vom Plattenrand zur Mitte hin nicht in genau gleicher Richtung wie der Radius der Platte, sondern in einem bestimmten Winkel dazu. Schon bei einem Winkel von mehr als 2 Bogengrad entstehen hörbare Verzerrungen. Um diesen kritischen Winkel zu unterschreiten, wird der Tonarm etwas länger bemessen, und an einer Stelle leicht abgewinkelt. Aus dieser Kröpfung des Tonarms und der Reibung der Abtastnadel in der Schallrinne ergibt sich jedoch eine sogenannte Scating-Kraft, die ebenfalls eine geringfügige Beeinträchtigung der Klangqualität verursacht. Bei besonders hochwertigen Plattenspielern wird sie deshalb durch eine etwa gleich große Gegenkraft, die mit Federn oder magnetisch erzeugt wird, ausgeglichen, kompensiert. Dies ist eine Antiscating-Einrichtung.

Viele technische Feinheiten sind also zu beachten, um die bestmögliche Klangqualität bei der Wiedergabe zu erreichen. Abspielgeräte, die bestimmte technische Daten, die für eine besonders gute Klangqualität erforderlich sind, erreichen oder überschreiten, werden mit „HiFi“ (sprich: hai-fi) gekennzeichnet. Dies ist eine Abkürzung für High Fidelity (englisch), sinngemäß zu übersetzen mit hohe Wiedergabetreue. In der DDR sind die Mindestanforderungen für die HiFi-Kennzeichnung in der TGL 28660 (Abkürzung für: Technische Normen, Gütevorschriften und Lieferbedingungen) festgelegt. Will man HiFi-Qualität erreichen, so müssen freilich nicht nur der Plattenspieler, sondern auch das angeschlossene Radio beziehungsweise der Verstärker und die Lautsprecher den HiFi-Normen entsprechen.

Zum behutsamen Einsetzen und Abheben des Abtasters von der Platte haben die meisten heutigen Abspielgeräte einen sogenannten Tonarmlift. Wir brauchen dabei den Tragarm nicht direkt anzufassen, sondern nur einen kleinen Hebel zu schwenken. Der Tonarm wird dadurch sehr sanft ab- oder aufwärts bewegt. Besonders komfortable Geräte sind sogar mit einer Vorrichtung ausgestattet, die den Tragarm automatisch bis zum Plattenrand führt, dann in die Einlaufrille absenkt und nach vollendetem Abspiel bei Erreichen der Auslaufrille wieder abhebt und in die Ausgangsstellung zurückführt. Tonarmlift und diese Automatik tragen zwar zur Schonung der Platte bei, haben aber keinen Einfluß auf die klangtechnische Qualität.

Stereofonie – Quadrofonie – Kunstkopf-Stereofonie

Obwohl die Schallplatte in ihrer nunmehr fast 100jährigen Geschichte schon wesentliche Verwandlungen erfahren hat, stehen ihr die größten Umwandlungen noch bevor. So hochwertig die heutigen Langspielplatten auch sind, sie bilden keinen Abschluß der Entwicklung. Doch vergleichen wir zunächst einmal das Einst und das Jetzt der Schallplatte. Jahrzehntlang gab es nur die sogenannten Normalplatten für 78 UpM. Sie hatten Rillen von 120 Mikrometer Breite. 1 Mikrometer (Kurzzeichen: μm , das erste Zeichen ist der Buchstabe μ des altgriechischen Alphabets) = 1 Millionstelmeter = 1 Tausendstelmillimeter. Auf eine Platte von 30 cm Durchmesser paßten deshalb nur so viele Rillen, wie für eine Spieldauer von etwa 5 Minuten je Seite ausreichten. 1948 kamen die ersten Langspielplatten auf. Sie haben Mikrorillen von nur 60 μm Breite und ergeben je Seite etwa 25 Minuten Spieldauer. Dies ist außer durch die schmalere Rillen auch durch die langsamere Umdrehungsgeschwindigkeit von $33 \frac{1}{3}$ UpM bedingt. Bei den modernen Stereo-Schallplatten ist die Rillenbreite nochmals auf im Mittel 40 μm verringert.

Die Rillen konnten immer schmaler bemessen werden, weil man inzwischen für die Platten sehr viel feinkörnigere Materialien verwendete. Den Zusammenhang zwischen Feinkörnigkeit des Materials und kleinstmöglicher Rillenbreite können wir uns durch einen Vergleich veranschaulichen: In eine Schicht aus feinkörnigem Sand läßt sich eine viel schmalere Rille einritzen als in eine Schicht, die aus Erbsen besteht. Das Grundmaterial der heutigen Mikrorillen-Platten ist der Plastwerkstoff Polyvinylchlorid (PVC). Doch hat jedes Herstellerwerk sein „Hausrezept“ für die Plattenmasse. Ihre Eigenschaften haben wesentlichen Einfluß auf die erreichbare klangtechnische Qualität.

Auch die Auslenkungen der Rille messen nur nach Tausendstelmillimetern. Bei großer Lautstärke sind sie größer als bei kleiner. Winzig sind auch die Abstände der entlang der Rillen, „strecke“ aufeinanderfolgenden Auslenkungen. Durchfährt der Abtaster beispielsweise auf einer 30-cm-Mikrorillen-Platte für $33 \frac{1}{3}$ UpM in der Nähe des Plattenrandes je Sekunde etwa 500 mm Rillenstrecke, und es ist ein Ton von 1000 Hz aufgezeichnet, der folglich 1000 Auslenkungen nach jeder Seite, insgesamt also 2000 bedingt, so beträgt der Abstand der einzelnen Zacken hintereinander nur $500 \text{ mm} : 2000 = 0,25 \text{ mm}$, bei einem Ton von 10 000 Hz nur 0,025 mm. Noch wesentlich geringer werden diese Abstände bei den in der Nähe der Plattenmitte liegenden Rillen. Denn da die Umfänge der einzelnen Rillenwindungen dort kleiner sind als außen in Nähe des Plat-

tenrandes, die Umdrehungsgeschwindigkeit der Platte aber stets gleich bleibt, legt der Abtaster auf den innenliegenden Rillen je Sekunde eine viel kürzere Strecke zurück. Trotzdem muß er die vielen winzigen Bewegungen mit äußerster Präzision ausführen.

Die modernen Mikrorillen-Platten haben nicht nur eine längere Spieldauer, sondern ergeben auch eine wesentlich verbesserte Klangqualität. Störende Nebengeräusche, wie sie bei Normalplatten fast unvermeidbar waren, sind jetzt kaum noch hörbar. Außerdem wird ein sehr viel größerer Tonfrequenzumfang wiedergegeben. Man hört also – eine gute Wiedergabe-Anlage vorausgesetzt – sowohl sehr tiefe als auch sehr hohe Frequenzen und somit die Obertöne der Instrumente und Gesangsstimmen. Schließlich ist die Mikrorillen-Platte wesentlich haltbarer. Man soll sie 500mal abspielen können, ohne daß sich eine grobe Verschlechterung der Klangqualität bemerkbar macht.

Wegen der unterschiedlichen Breite von Normal- und Mikrorillen darf man beide Arten von Platten nicht mit derselben Nadel abtasten. Es gibt allerdings Abtastsysteme, die für Normal- und Mikrorillen umschaltbar sind und zwei verschiedene Nadeln haben. Wer noch Normalplatten abspielen möchte, muß ein solches System einsetzen und je nach der verwendeten Platte richtig umschalten. Normalerweise werden heutige Plattenspieler aber nicht mit einem solchen Universalsystem ausgerüstet, man muß es zusätzlich anschaffen und sich beim Kauf vergewissern, daß es für den betreffenden Plattenspieler-Typ geeignet ist. Das geht meist auch aus der Bedienungsanleitung des Abspielgeräts hervor. Ein Mikrorillen-Abtaster würde in der breiten Normalrille nicht sicher geführt, sondern hin und her schleudern, wobei er und auch die Platte beschädigt werden können. Umgekehrt wäre ein Normalrillen-Abtaster für die Mikrorille viel zu breit. Er würde die Rille beschädigen, außerdem hätte er ebenfalls keine sichere Führung. Zulässig ist es dagegen, Mikrorillen-Monoplatten mit einem Stereo-Abtastsystem abzuspielen. Andererseits darf die Abtastung einer Stereo-Platte nicht mit einem Mono-System erfolgen, auch dann nicht, wenn es ein für Mikrorillen vorgesehener Abtaster ist.

Entsprechend den unterschiedlichen Rillenbreiten haben die dafür bestimmten Abtastnadeln verschieden feine Spitzen. Wie spitz oder stumpf eine Nadel ist, wird durch den sogenannten Verrundungsradius angegeben. Er beträgt bei Nadeln für Normalplatten 60 µm, für Mono-Mikrorillen 25 µm und für Stereo-Mikrorillen nur 15 bis 17 µm. Niemals darf eine Nadel so spitz sein, daß sie bis auf den Grund der Rille eintaucht. Dann würde nämlich jedes feinste Staubteilchen, das sich am Rillengrund abgelagert hat, ein störendes Geräusch erzeugen. Die Nadelspitze berührt stets nur die seitlichen Rillenflanken.

Eine Stahlnadel für Normalrillen-Platten konnte man nur einige wenige Male verwenden. Dann war sie bereits so abgenutzt, daß sich die Klangqualität verschlechterte und die Rille angegriffen wurde. Die heutigen Nadeln aus Saphir, Rubin oder Korund können für Mono-Platten etwa 50, für Stereo-Platten 20 Stunden, Diamantnadeln sogar 300 bis 500 Stunden benutzt werden. Da solch lange Zeiten aus dem Gedächtnis schwer überschaubar sind, empfiehlt es sich, eine Strichliste zu führen und nach dem Abspiel jeder Seite einer 30-cm-Platte (für $33\frac{1}{3}$ UpM) einen Strich auf einen Zettel zu zeichnen. Knapp 50 Betriebsstunden sind etwa dann erreicht, wenn die Liste 100 Striche enthält, also 100 Plattenseiten abgespielt wurden.

Jedesmal, wenn eine Seite einer 30-cm-Mikrorillen-Platte abgespielt wird, „durchfährt“ die Abtastnadel eine etwa 600 m lange Rillenstrecke. Das ergibt – eine Plattenseite zu 25 Minuten Spieldauer gerechnet – in 500 Stunden 720 km. Verständlich, daß sich dabei allmählich selbst das härteste Material abnutzt. Je mehr die Nadel abgenutzt ist, desto größer wird die Fläche, in der sich die Nadel und Rillenflanke unmittelbar berühren. Von einer gewissen Grenze an kann die Nadel dann nicht mehr den Auslenkungen der Rille in vollkommener Weise folgen. Das führt zur Verschlechterung der Klangqualität. Außerdem können die Rillenflanken beschädigt werden. Eine Nadel wird aber schon wesentlich früher als in den genannten Richtwerten angegeben unbrauchbar, wenn sie durch Stoß, Fall oder andere mechanische Gewalteinwirkung splittert. Manche größeren Schallplatten-Fachgeschäfte haben ein Spezialmikroskop, mit dem man feststellen kann, ob die Nadel noch in Ordnung ist.

Tritt eine Verschlechterung der sonst gewohnten Klangqualität einer Platte ein, so besteht stets der Verdacht auf Abnutzung oder vorzeitige Beschädigung der Nadel. Die Test-Schallplatte „Klangerlebnis Stereofonie“ (ETERNA LB 107) bietet unter anderem auch eine Kontrollmöglichkeit für den Grad der Nadelabnutzung. Dafür ist auf der Plattenseite 2 dasselbe Musikstück an zwei verschiedenen Stellen aufgezeichnet. Klingt beide Aufzeichnungen gleich gut, so ist die Nadel noch brauchbar. Klingt die zweite, ganz innen liegende jedoch unsauberer und verzerrt, ist die Nadel abgenutzt. Diese Platte enthält außerdem noch viele andere Tests, nach denen eine Stereo-Anlage richtig einzustellen und bis zu einem gewissen Grade auch ihre Qualität zu prüfen ist.

Zwischen den einzelnen Aufzeichnungen derselben Plattenseite befinden sich sichtbar große Abstände des Rillenmusters. Dadurch kann man – nicht nur auf der Testplatte – bestimmte einzelne Musikstücke abspielen, ohne die gesamte Plattenseite hören zu müssen.

Will man die Abtastnadel erneuern, muß man nicht unbedingt ein gan-

zes neues System kaufen. Man sendet es zum Einsetzen einer neuen Nadel ein, wohin – darüber geben größere Fachgeschäfte Auskunft. Neue Nadeln kann man in ein Kristall- oder keramisches System auch selbst einsetzen. Keinen Sinn hat es aber, Abtastsysteme auf Vorrat zu halten, um sie erst nach vielen Jahren zu verwenden. Denn die Gummilagerung der Nadel unterliegt selbst dann, wenn das System nicht benutzt wird, der Alterung. Auf hochwertigen Systemen befindet sich deshalb manchmal ein Aufkleber, aus dem hervorgeht, in welchem Vierteljahr sie hergestellt wurden.

Obwohl mit der Mikrorillen-Monoplatte bereits ein sehr hoher Stand klangtechnischer Qualität erreicht war, gaben sich die Elektroakustiker damit noch nicht zufrieden. Die Schallplatte sollte dem Hörer ein weiter vervollkommnetes Klangerlebnis bieten: die Stereophonie. Vordem waren alle Schallplatten und Rundfunksendungen monofon. Man verwendete bei der Aufzeichnung der Musik von Orchestern oder anderen großen Klangkörpern zwar mehrere Mikrofone, die an verschiedenen Punkten des Raumes aufgestellt waren. Doch der Ton aller Mikrofone kam zum Schluß in ein und denselben „Topf“. Dementsprechend ertönte die Musik aus dem Lautsprecher wie aus einem Loch, von einem eng umgrenzten Punkt her. Man konnte nicht das Empfinden haben, vor einem Orchester zu sitzen, dessen Instrumente über einen breiten Raum verteilt sind und daher auch nicht heraushören, welche Instrumente links, in der Mitte oder rechts angeordnet sind.

Bei der Stereophonie ist es dagegen in einem gewissen Grade möglich, herauszuhören, aus welchen Richtungen die Instrumente ertönen. Diese „Ortung“ der verschiedenen Schallquellen ist allerdings nicht der einzige Sinn der Stereophonie. Ausschlaggebend ist, daß die Instrumente und Stimmen deutlicher voneinander abgesetzt erklingen und sich das Hörerlebnis mehr dem annähert, das wir in dem Raum hätten, in dem die Musikaufführung stattfindet.

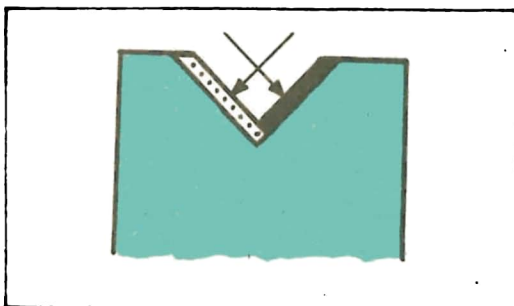
Der Ton wird dabei über zwei getrennte „Kanäle“ aufgenommen. Der eine Kanal überträgt überwiegend den Ton, der von links zu hören ist, der zweite Kanal den Rechts-Ton. Links- und Rechts-Ton müssen freilich auch auf der Schallplatte getrennt aufgezeichnet, getrennt abgetastet und verstärkt und über zwei gesonderte Lautsprecherboxen wiedergegeben werden. Der beste stereofone Eindruck entsteht, wenn der Hörplatz und die beiden Lautsprecherboxen ein gleichseitiges oder zumindest gleichschenkliges Dreieck bilden, so daß der linke und der rechte Lautsprecher gleich weit vom Kopf entfernt sind und sich in gleichen Winkeln links und rechts vor uns befinden.

Die Techniker standen nun vor der Aufgabe, auf der Schallplatte zwei

Rillen in einer zu vereinen. Das ist möglich, wenn die ursprünglich von Edison angewandte Tiefschrift und die später von Berliner eingeführte Seitenschrift kombiniert werden. Würde man aber den einen Kanal durch senkrechte Auslenkungen der Rille, also in Tiefschrift, und den anderen durch waagerecht verlaufende, also in Seitenschrift aufzeichnen, so wäre das keine gute Lösung. Denn die Tiefenschrift würde durch die Schwerkraft, die ebenfalls in senkrechter Richtung auf das Abtastsystem wirkt, diesen Kanal stärker beeinflussen als den anderen. Die Nadel drückte in senkrechter Richtung mit größerer Kraft in die Rille als gegen die seitlichen Rillenflanken, deren Auslenkungen die Tonspur des zweiten Kanals darstellen.

Um das zu verhindern, werden beide Auslenkungsebenen um 45 Grad geneigt, so daß die eine schräg von links oben nach rechts unten und die andere schräg von rechts oben nach links unten verläuft. Diese Vereinigung von zwei Auslenkungsebenen in derselben Rille bezeichnet man als Flankenschrift, weil die beiden Tonkanäle in je einer Flanke der Rille aufgezeichnet sind. Die äußere, in Richtung zum Plattenrand liegende Flanke enthält den Rechts-Ton, die innere, in Richtung zur Plattenmitte liegende den Links-Ton. Der Abtaster wird zugleich in zwei verschiedenen Ebenen ausgelenkt. Dadurch lassen sich zwei voneinander getrennte Tonsignale gewinnen. Der Einfluß der Schwerkraft ist auf den Abtastvorgang beider Kanäle gleich groß, weil beide Rillenflanken in gleichem Winkel zur Richtung der Schwerkraft geneigt sind.

Der Klangeindruck ließe sich dem Hörerlebnis, das wir bei unmittelbarer Anwesenheit in dem Raum hätten, in dem die Musik aufgeführt wird, noch weiter annähern, wenn mehr als zwei Tonkanäle verwendet würden. Man könnte dann entweder deutlicher heraushören, wo die einzelnen Instrumente oder Gesangsstimmen im Orchester beziehungsweise im Chor angeordnet sind oder aber – was sinnvoller wäre – die besondere Akustik des Aufführungsraumes besser zur Darstellung bringen. Denn wir hören den Schall ja nicht nur auf dem direkten Wege, der vom Instrument oder



Schema der Stereo-Aufzeichnung
in Flankenschrift

vom Sänger in gerader Linie bis an unser Ohr führt. Vielmehr wird er zum Teil auch von den Wänden, der Decke und dem Fußboden des Raumes reflektiert und gelangt so auf Umwegen an unser Ohr. Dieser Reflexions-schall, der Nachhall, bildet einen wesentlichen Bestandteil des Hörerlebnisses und ist von Konzertsaal zu Konzertsaal etwas verschieden, je nach den architektonischen Besonderheiten des Raumes. Manche Musikwerke wurden von den Komponisten speziell für die Aufführung in einem bestimmten Raum geschaffen und ergeben deshalb auch nur in diesem oder einem ähnlich beschaffenen Saal ihre ganze Schönheit und Ausdruckskraft.

Eine solche weitere Steigerung des Hörerlebnisses ist Sinn der Vierkanal-Stereofonie, kurz Quadrofonie genannt, mit vier Aufnahme-, vier Übertragungs- und vier Wiedergabekanälen. Doch stehen ihrer Einführung bei Rundfunk und Schallplatte große technische Schwierigkeiten im Wege. Quadrofone Platten wurden zwar in einigen Ländern schon herausgebracht. Doch konnte man sich international noch nicht auf ein einheitliches Verfahren einigen. Da außerdem der technische Aufwand ziemlich hoch ist, bleibt offen, ob die Quadrofonie Verbreitung finden wird.

Eine mit geringem Aufwand mögliche Kompromißlösung ist dagegen die Pseudoquadrofonie, auch Stereo-Ambiofonie genannt. Sie erfordert außer der normalen Stereo-Schallplatte und Stereo-Anlage lediglich ein einfaches Zusatzgerät, das inzwischen in manche Empfänger beziehungsweise Verstärker schon fest mit eingebaut ist, und zwei zusätzliche kleine Lautsprecher. Sie werden links hinten seitlich und rechts hinten seitlich aufgestellt.

Bei der Stereo-Ambiofonie wird zur Wiedergabe über die hinteren Lautsprecher aus dem Links- und dem Rechts-Ton die Differenz gebildet. Alle Schallinformationen, die auf dem linken und rechten Kanal gleich sind, werden also unterdrückt. Übrig bleiben nur die Schallinformationen, bei denen ein Unterschied zwischen dem linken und dem rechten Kanal besteht. Davon kann man sich leicht überzeugen, indem man die Mono-Taste des Rundfunkempfängers beziehungsweise Verstärkers drückt. Da dann über beide Kanäle derselbe Ton läuft, also kein Unterschied zwischen links und rechts besteht, verstummen die beiden zusätzlichen Lautsprecher.

Bei der Bildung des Differenzsignals werden die meisten Schallinformationen, die dem Schallanteil entsprechen, der auf direktem und kürzestem Wege von der Schallquelle an das Ohr gelangt, stark geschwächt oder fallen ganz aus dem Klang„bild“ heraus. Übrig bleiben vorwiegend die Schallinformationen, die hauptsächlich von den Wänden, der Decke

und dem Boden des Aufführungsraumes reflektiert werden, in der Fachsprache zusammenfassend auch als Raumsignal bezeichnet. Dieser Schall wird über die beiden hinteren Zusatzlautsprecher abgestrahlt. Dadurch entsteht in begrenztem Maße das Empfinden, in die Akustik des Aufführungsraumes einbezogen zu sein. Allerdings tritt der Effekt nur ein, wenn bei der Aufnahme der Schallplatte oder der Rundfunksendung auf beiden Kanälen den Direktschall-Informationen stärkere Raumsignal-Anteile überlagert werden. Das geschieht in vielen, aber nicht in allen Fällen, so zum Beispiel weniger bei Tanzmusik.

Eine weit verbreitete, aber sinnwidrige Anwendung der Pseudoquadrofonie besteht darin, daß die beiden hinteren Zusatzlautsprecher so nahe zum Hörplatz aufgestellt werden, daß man sie in zu großer Lautstärke hört. Dann tritt nicht der bezweckte Effekt ein, sondern das Empfinden, inmitten des Orchesters oder Chores zu sitzen und von rundum beschallt zu werden. Manche Leute finden das schön, aber mit dem eigentlichen Sinn der Stereo-Ambiofonie hat es nichts zu tun. (Eine wünschenswerte Verbesserung bestünde daher darin, die Lautstärke der beiden Zusatzlautsprecher getrennt von den beiden vorderen Hauptlautsprechern stufenlos regeln zu können.)

Leider besteht aber auch dann, wenn dieser Fehler nicht begangen wird, für das Zustandekommen des stereo-ambiofonen Effekts eine Einschränkung. Er tritt nämlich nur auf einem recht eng umgrenzten Hörplatz ein. Es ist schon schwierig, nur zwei Personen so zu plazieren, daß beide den Effekt deutlich hören. In etwas geringerem Grade gilt das übrigens auch für das einfache stereofone Hören.

Das ist einer, wenn auch nicht der hauptsächliche Grund für die Einführung eines weiteren Verfahrens: der sogenannten kopfbezogenen Stereophonie, auch Kunstkopf-Stereophonie genannt. Dabei kann man seinen Hörplatz beliebig wählen. Denn es werden Stereo-Kopfhörer benutzt. Die Lautsprecher bleiben ausgeschaltet. In manchen Ländern gibt es bereits einzelne, speziell für dieses Verfahren geeignete Platten. Auch der Rundfunk bringt regelmäßig Sendungen in Kunstkopf-Stereophonie. Weder bei den Schallplatten noch beim Rundfunk ist allerdings daran gedacht, die normale Zweikanal-Stereophonie durch die Kunstkopf-Stereophonie zu verdrängen oder zu ersetzen. Sie wird eine Ausnahme für einen Kreis spezieller Liebhaber bleiben.

Das Prinzip der kopfbezogenen Stereophonie ist eigentlich so alt wie der Rundfunk. Bereits 1923 versuchte man in Frankreich, mit Hilfe des Kopfes einer Schaufensterpuppe, in den zwei Mikrofone eingebaut wurden, und mit zwei getrennten Leitungen zu einem Kopfhörerpaar eine möglichst naturgetreue Vorstellung von der Originalaufführung und der Aku-

stik des Raumes zu vermitteln. Heute wird für die Aufnahme des Schallereignisses – es muß sich nicht immer um Musik handeln, besonders geeignet sind auch Hörspiele, Features und Reportagen – die genaue Nachbildung eines menschlichen Schädels benutzt. An den Stellen der beiden Trommelfelle sind zwei Mikrofone angeordnet. Der von ihnen aufgenommene Ton wird völlig getrennt über zwei Stereokanäle weiterverarbeitet und der linken beziehungsweise rechten Hörmuschel des Kopfhörers zugeleitet. Das ist ein wesentlicher Unterschied gegenüber dem stereofonen Hören über Lautsprecher. Denn dabei ist nicht zu vermeiden, daß auch das rechte Ohr den Links-Ton mithört und umgekehrt.

Durch die völlig getrennte Zuführung des Tons beider Kanäle in die beiden Ohren ist nicht nur die Ortung der Schallquellen und ihrer Bewegungen weit genauer möglich, sondern auch die durch Schallreflexionen geprägte Akustik des Raumes (oder die besonderen akustischen Verhältnisse im Freien) kommen viel deutlicher als bei der normalen Stereophonie zur Darstellung. Eine absolute Originaltreue ermöglicht allerdings auch dieses Verfahren nicht. Dafür gibt es eine Reihe von Gründen. So ist beispielsweise der Kopf jedes Menschen etwas anders beschaffen. Der für die Aufnahme verwendete Kunstkopf kann aber nur der durchschnittlichen Beschaffenheit der Köpfe vieler Menschen entsprechen. Daraus resultieren Unterschiede der Laufzeit und der Amplitude der empfangenen Schallsignale. Darauf ist es auch mit zurückzuführen, daß man häufig den Eindruck hat, das Schallereignis spiele sich vorzugsweise hinter und nicht vor uns ab.

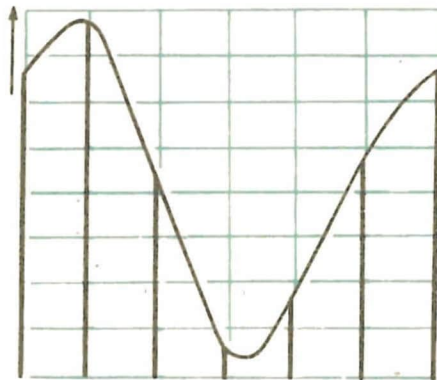
Um den bestmöglichen Effekt zu erreichen, sind ferner besonders hochwertige Kopfhörer erforderlich. Auch ihre äußere Ausführung muß so beschaffen sein, daß sie die Ohrmuscheln nicht verformen, sondern den Kopf nur an Stellen außerhalb des Ohres berühren. Es wird zwar auch an der Kunstkopf-Stereophonie für Lautsprecher-Wiedergabe gearbeitet. Doch ob solchen Entwicklungen ein Erfolg beschieden sein wird, ist noch ungewiß. Nach dem gegenwärtigen Stand der Kunstkopf-Stereophonie ist bei Lautsprecher-Wiedergabe solcher Schallplatten oder Rundfunksendungen der Eindruck schlechter als bei normalen Zweikanal-Stereo-Schallplatten beziehungsweise Radio-Übertragungen.

Musik aus „Morsezeichen“

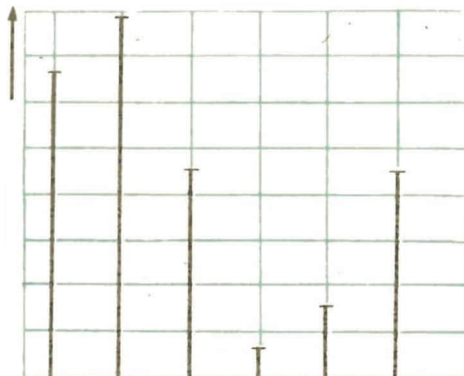
Bei allen bisherigen Veränderungen der Schallplatte wurde stets ein gemeinsames Grundprinzip gewahrt: Die Aufzeichnung der Tonsignale erfolgt in Form einer Rille, deren Verlauf dem der elektrischen Schwingun-

gen analog ist. Die Anzahl der Auslenkungen je Sekunde entspricht der Frequenz, und die Weite der Auslenkungen ist der Amplitude der elektrischen Schwingungen analog (aber nicht proportional). Analog bedeutet soviel wie gleichsinnig, übereinstimmend, entsprechend. Bei der bevorstehenden größten Umwälzung der Schallplattentechnik, die in einigen Ländern bereits in das Versuchsstadium getreten ist, geht man von der analogen zur digitalen Aufzeichnung über. Digital bedeutet zahlenmäßig. Zum Beispiel zeigt eine Digitaluhr die Stunde, Minute und Sekunde nicht mehr durch Zifferblatt und Zeiger an wie eine Analoguhr, sondern direkt in Zahlen.

Das Prinzip der digitalen Schallplatte ist sehr kompliziert. Wer es wenigstens in groben Zügen begreifen möchte, muß die nächsten Seiten mit besonderer Aufmerksamkeit lesen. Bei den bisherigen Schallplatten werden die Tonsignale fortlaufend, in Form einer durchgehenden Rille aufgezzeichnet. Diese zeitkontinuierliche Aufzeichnung ist jedoch gar nicht nötig. Es genügt, aus dem Verlauf der elektrischen Schwingungen, in welche der Schall umgewandelt wurde, in sehr kurzen Zeitabständen gleichsam Stichproben zu entnehmen. Geschieht das oft genug innerhalb jeder Sekunde, so bleiben wir trotzdem stets über den gesamten Verlauf der Schwingungskurve hinreichend informiert.



Schema zur digitalen Schallsignalaufzeichnung



Das ist am leichtesten zu begreifen, wenn wir die elektrischen Schwingungen grafisch als fortlaufende Kurve darstellen wie in dem Bild auf Seite 71. Die geschwungene Linie ist ein kurzer Abschnitt aus dem zeitkontinuierlichen Tonsignal, also aus der Schwingungskurve von wechselnder Frequenz und Amplitude. Die senkrechten Striche, die von der Grundlinie bis zu dem Schwingungszug verlaufen, sind die Stichproben, die in gleichbleibenden Zeitabständen entnommen werden. Abweichend von der schematischen Zeichnung folgen sie allerdings sehr viel dichter, also in sehr kurzen Zeitabständen aufeinander. In jeder Sekunde werden 32 000 Stichproben entnommen. Da dies mehr als das Doppelte der auf der Schallplatte vorkommenden höchsten Tonfrequenz von etwa 15 000 Hz ist, bleiben wir durch die Stichproben über die Frequenz der Schwingungen informiert. Man nennt die Stichproben zeitdiskrete Abtastwerte. Das Wort diskret kennzeichnet hierbei den Gegensatz zu kontinuierlich. (Es hat noch eine andere Bedeutung: geheimnisvoll, vertraulich. In diesem Sinne ist es hier jedoch nicht gemeint.) Auch das Wort „abtasten“ dürfen wir nicht so wörtlich nehmen wie beim Abtastvorgang der Rille mittels einer Nadel. Durch die zeitdiskreten Abtastwerte wird vielmehr nur gemessen, wie hoch die Spannungen der elektrischen Schwingungen in den einzelnen Momenten der Stichproben-Entnahme sind, wie groß also die Amplitude der Schwingungen ist. Erinnern wir uns daran, daß das Auf und Ab der Schwingungskurve ja einen Wechsel der Spannung darstellt! Folglich lassen sich die aufeinanderfolgenden zeitdiskreten Abtastwerte in soundso viel Millivolt ausdrücken.

Diese Zahlenwerte der Spannung müssen nun nacheinander auf der Platte gespeichert werden. Das geschieht jedoch nicht, indem man Zahlen auf die Platte druckt. Man kann jede Zahl in Form ganz einfacher Signale verschlüsseln, codieren. Das ist ähnlich wie beim Morsealphabet. Dabei sind die Buchstaben und Satzzeichen in Form bestimmter Abfolgen von Punkten und Strichen codiert. Drei aufeinanderfolgende Punkte bedeuten zum Beispiel das S, drei aufeinanderfolgende Striche das O. Bei einer digitalen Schallplatte ist es aber einfacher, die zeitdiskreten Abtastwerte nicht in Form von Strichen und Punkten zu codieren, sondern beispielsweise nur durch Punkte und Fehlen von Punkten.

Eine solche Signalaufzeichnung auf einer Platte ist unter anderem auf fotografischem Wege möglich. Mit einem extrem fein gebündelten Laserstrahl werden winzige Punkte mit Durchmessern von Bruchteilen eines Mikrometers auf die Platte belichtet oder Stellen unbelichtet freigelassen, so daß die nächste Stelle der Platte frei bleibt. Fotografisch lassen sich derartige Platten auch vervielfältigen. Beim Abspielen wird mit einem Laserstrahl die Abfolge von Punkten und leeren Stellen abgetastet und

durch eine geeignete elektronische Schaltung in elektrische Schwingungen mit bestimmten Frequenzen und Amplituden zurückverwandelt. Da also keine Berührung der Punkte durch einen mechanischen Abtaster erfolgt, können sie sich nicht abnutzen. Digitale Platten sind daher die haltbarsten Tonaufzeichnungen.

Nun könnte man fragen: Warum denn so kompliziert, wenn's auch einfacher geht? Gerade weil die Signale, die hierbei zu bilden und aufzuzeichnen sind, so einfache Zeichen darstellen, sind sie verfälschungssicher. Sie können nicht wie bei der komplizierten Form der Schallrinne durch kaum zu beseitigende technische Unvollkommenheiten gestört, mit allerlei Fehlern behaftet werden. Man erhält daher eine noch sauberere Aufzeichnung des Tonsignals und folglich eine bessere klangtechnische Qualität. Das ist der Hauptvorteil der digitalen Schallspeichertechnik.

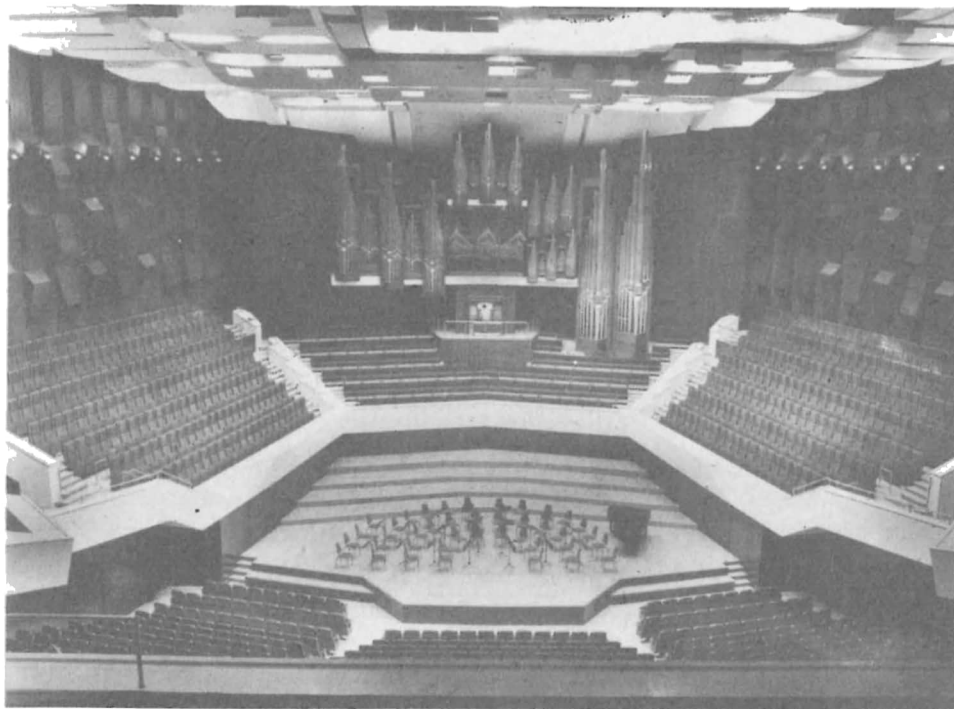
Kompliziert sind allerdings die mannigfachen elektronischen Prozesse, die dafür ablaufen müssen. Doch sie lassen sich durch die moderne Mikroelektronik mit sogenannten integrierten Schaltungen beherrschen. Bevor es solche Schaltungen gab, wäre die digitale Tonspeichertechnik zu aufwendig und daher zu teuer gewesen. So billig wie heutige einfachere Plattenspieler wird man Abspielgeräte für digitale Schallplatten allerdings nicht herstellen können.

Digitale Schallplatten werden mit einer viel größeren Anzahl von UpM abgespielt als unsere gewöhnlichen Langspielplatten, beispielsweise mit 900 oder gar 1 800 UpM. Die Nachführung des Abtastsystems, das in völlig anderer Weise als beim herkömmlichen Plattenspieler funktioniert, muß sehr viel feiner erfolgen, weil die Signalspuren wesentlich schmaler sind. Deshalb werden auf der Platte zusätzliche Signale mit aufgezeichnet, welche die genaue Nachführung des Abtastsystems elektronisch steuern. Da die einzelnen Zeichen winzig sind und deshalb sehr viele von ihnen auf einer Flächeneinheit Platz finden, kann man mit digitalen Schallplatten nicht nur zwei, sondern vier oder noch mehr Kanäle aufzeichnen. Dadurch könnte die Quadrofonie einmal praktische Bedeutung erlangen.

Wann digitale Schallplatten größere Verbreitung finden werden, ist noch nicht vorherzusagen. Auf jeden Fall wird die herkömmliche Mikrorillen-Platte noch lange Bedeutung behalten. Beide Arten von Platten und Abspielgeräten dürften lange Zeit nebeneinander existieren. Es braucht also niemand zu befürchten, daß es für einen normalen Plattenspieler bald keine Platten mehr oder, umgekehrt, für eine vorhandene Mikrorillen-Platte bald kein Abspielgerät mehr geben wird. Wenden wir uns deshalb nach diesem kurzen Ausflug in die Zukunft wieder der Gegenwart zu und werfen eine ganz neue Frage auf, nämlich:

Wie wird Musik auf Platten gepreßt?

Auf der Dresdner Südhöhe stoßen die Autofahrer häufig auf das bekannte Verkehrszeichen mit dem roten Ring: „Durchfahrt verboten!“ Es steht an der Straße, die zur Lukaskirche führt. Sie wissen dann Bescheid: In der Kirche wird wieder eine Schallplattenaufnahme hergestellt. Die Lukaskirche hat dafür nämlich eine besonders gute Akustik. Außerdem baut man noch verstellbare Wände aus Holz, „Kabinen“ und so weiter auf, um die Akustik weiter zu verbessern. Nicht nur Kirchenmusik, auch Sinfonien, Opern, Kammermusik, Klavier- und andere Werke werden hier aufgenommen. Die Lukaskirche gehört zu den besten und begehrtesten Studios der Welt. Berühmte Künstler vieler Länder kommen hierher. Daher kann man nicht riskieren, daß mitten in eine Aufnahme Geräusche eines vorüberfahrenden Kraftfahrzeugs hineinplatzen und so die in höchster Konzentration von Musikern und Technikern geleistete Arbeit zunichte machen. Wer möchte schon während eines Klaviersolos auch ein Motorengeräusch von der Schallplatte hören. . .



Der große Konzertsaal des Leipziger Neuen Gewandhauses ist nach den modernsten Erkenntnissen der Raumakustik gestaltet

In der Lukaskirche – oder anderswo – wird die Musik zunächst auf Magnettonband gespeichert. Deshalb finden wir in der Kirche einen Wald von Mikrofonen und ein Labyrinth von Kabeln. Hochwertige Tonbandgeräte und Steuerpulte mit vielen Tasten, Reglern und Meßinstrumenten stehen bereit. (Auf die Funktion des Magnettongeräts kommen wir später ausführlich zurück.) Das war nicht immer so. In den Anfangsjahren beherrschten ähnliche Schalltrichter, wie wir sie von Plattenspielern unserer Urgroßeltern her kennen, das Bild eines Aufnahmestudios. Die Musiker spielten und sangen in die Trichter, und die Rille der Urplatte wurde mit einem Stichel geschnitten, der über Trichter und Membran direkt durch den Schall in Schwingungen versetzt wurde. Erst seit etwa 1924 kam auch hier die Elektroakustik zur Anwendung und ließ die Trichter überflüssig werden. Das brachte eine sprunghafte Vergrößerung des Frequenzumfangs um drei Oktaven. Der Frequenzumfang gibt an, von welcher niedrigsten bis zu welcher höchsten Frequenz Töne aufgezeichnet und wiedergegeben werden. Noch später kam die Magnetontechnik hinzu.

Am Beginn des Herstellungsprozesses einer heutigen Schallplatte steht das Mikrofon. Es ist wie der Lautsprecher ein elektroakustischer Wandler. Aber während dieser elektrische Schwingungen in Schallschwingungen umwandelt, ist es beim Mikrofon umgekehrt: Es verwandelt Schall in elektrische Schwingungen. Das ist auf verschiedene Weise möglich. Dementsprechend gibt es mehrere Arten von Mikrofonen. Die Wirkungsweise des Kristallmikrofons ist der des Kristall-Abtastsystems verwandt. Das dynamische Mikrofon, das heute hauptsächlich in Verbindung mit Kassettenrecordern und anderen Heim-Tonbandgeräten verwendet wird, ist ein Verwandter des dynamischen Abtastsystems. Am hochwertigsten sind Kondensator-Mikrofone. Wegen ihres Preises werden sie für den Hausgebrauch kaum benutzt. Aber in den Schallplatten- und Rundfunk-Studios beherrschen sie das Bild. Auch Mikrofone geben nur sehr schwache elektrische Spannungen ab, die daher stets verstärkt werden müssen.

Musikaufnahmen erfolgen nicht mit nur einem Mikrofon, und auch bei der Stereophonie sind es meist nicht bloß zwei – entsprechend den zwei Kanälen –, sondern viele an verschiedenen Punkten aufgestellte oder aufgehängte. Zum Schluß werden die Töne allerdings in zwei Kanälen zusammengefaßt. Die Töne aller Mikrofone können am Regiepult gemischt werden. Dort sitzt der Tonregisseur. Er ist nicht nur Techniker, sondern braucht für seinen Beruf auch ein hohes Maß an Musikverständnis. Wie der Dirigent hat er die Noten vor sich und verfolgt jeden Takt mit größter Konzentration. Durch Betätigung der verschiedenen Regler kann er die

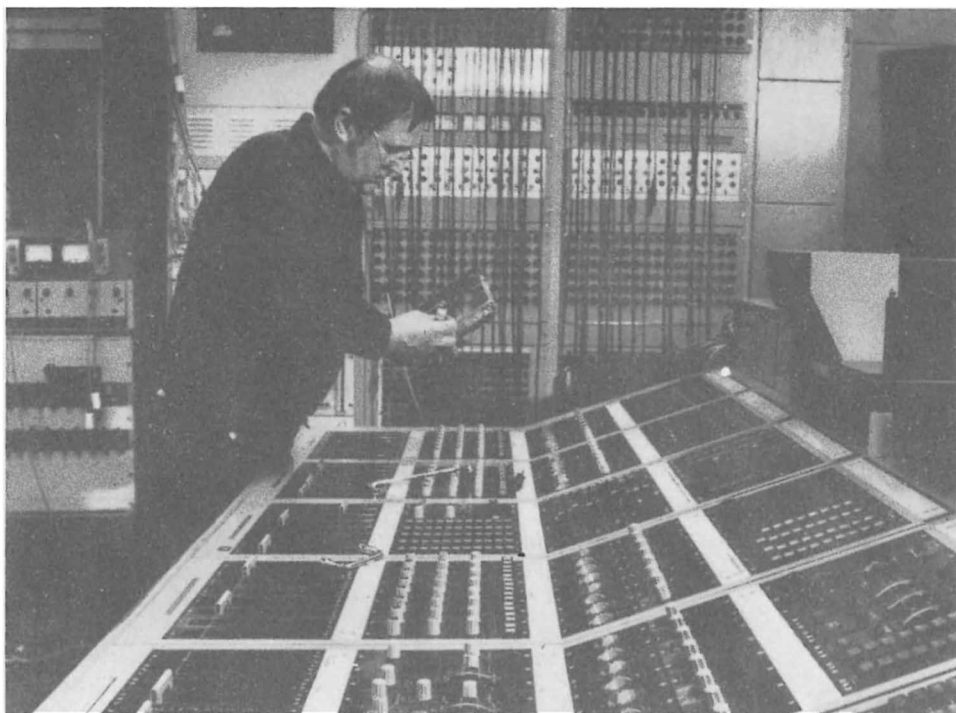
von den einzelnen Mikrofonen kommenden Tonsignale stärker oder schwächer hervorheben und somit großen Einfluß darauf nehmen, wie die einzelnen Instrumente und Gesangsstimmen im Gesamtklangbild erscheinen.

Darin liegt ein sehr wesentlicher Unterschied gegenüber einer direkten Musikdarbietung im Konzertsaal. Die Schallplattenaufnahme ist also nicht bloß eine einfache technische Reproduktion der Konzertsaal-Aufführung, sondern eine eigenständige Form der Musikdarbietung. Das gilt sinngemäß auch für Musik„produktionen“ der Rundfunkstudios. Im Konzertsaal beherrscht allein der Dirigent das Geschehen. Im Studio ist der Tonregisseur sein gewichtiger Partner, und nur durch gute Zusammenarbeit beider werden die künstlerischen Ausdrucksmöglichkeiten der Musik voll ausgeschöpft.

Ein Unterschied ist uns bei einem Vergleich zwischen einem Konzertbesuch und einer Schallplatten-Wiedergabe vielleicht schon deutlich aufgefallen: Wird zum Beispiel ein Konzert für Klavier und Orchester gespielt, so hebt sich in der Schallplatten-Wiedergabe der Klang des Klaviers viel stärker von dem des begleitenden Orchesters ab, als wir das im Konzertsaal empfinden.

Bei Studioaufnahmen wird meist nicht das ganze Musikwerk in der richtigen Reihenfolge wie im Konzert gespielt. Studioaufnahmen ähneln den Dreharbeiten für einen Film. Dessen Szenen werden ebenfalls nicht in chronologischer Reihenfolge gedreht. Vielmehr richtet sich die Abfolge der Dreharbeiten nach ganz anderen Gesichtspunkten. Spielen beispielsweise Szenen am Anfang und Ende des Films am selben Ort, so werden sie nacheinander gedreht, obwohl sie in der Filmhandlung zeitlich weit auseinander liegen. Im Musikstudio muß man beispielsweise mit der Schwierigkeit fertig werden, daß oft gar nicht alle an der Aufführung mitwirkenden Künstler gleichzeitig erscheinen können, weil sie durch lang vorgeplante Termine an anderen Orten auftreten müssen. So erfolgen viele Aufnahmen „stückweise“.

Die Magnettontechnik ermöglicht sogar, daß nicht nur zeitlich aufeinanderfolgende Teile eines Musikwerkes getrennt voneinander aufgenommen werden können, in eine bereits aufgespielte Begleitmusik kann zum Beispiel der Gesang des Solisten nachträglich eingefügt werden. Diese Technik nennt man Play-back. Dabei wird dem Solisten die schon aufgezeichnete Begleitmusik über Kopfhörer vorgespielt. Er singt mit zeitlich richtigen Einsätzen den Text dazu. Die Aufzeichnung erfolgt auf demselben Tonband, aber in einer anderen Spur. Auf den im Studio verwendeten Magnetbändern, die noch hochwertiger als die für den Hausgebrauch verwendeten sind, können bis zu 16 Spuren nebeneinandergelegt und so-



Blick in ein Tonstudio

wohl einzeln als auch zusammen wiedergegeben und auch auf ein anderes Tonband überspielt werden. Obwohl die einzelnen Instrumente beziehungsweise Stimmen zu ganz verschiedenen Zeiten aufgezeichnet wurden, erklingen sie auf dem Band, das fertig zum Übertragen auf die Platte ist, dann so, als hätten alle gleichzeitig musiziert.

Ein bedeutender weiterer Vorteil der Zwischenspeicherung auf Magnettonband besteht darin, daß die einzelnen Teile des Werkes beliebig oft wiederholt werden können, bis die beste und ausdrucksvollste Interpretation gelungen ist. Wird im Konzertsaal eine bestimmte Stelle „verpatzt“, so ist daran nichts mehr zu ändern. Im Studio klopft der Dirigent ab und läßt die Stelle noch einmal spielen. Schallplattenmusik hat deshalb stets ein besonders hohes künstlerisches Niveau. Sie ist nicht nur fehlerfrei, das heißt ohne falsche Noten gespielt, sondern auch mit dem Ausdruck, der Interpretation, die dem betreffenden Künstler als die beste und der Komposition angemessenste erscheint. So wie man ein Gedicht entweder „leiern“ oder aber ausdrucksvoll rezitieren kann, verhält es sich auch mit der Musik. Es ist nicht damit getan, nur die richtigen Noten zu spielen.

Bei der Schallplattenaufnahme kommt nun hinzu, daß auch der Tonregisseur den bestmöglichen Zusammenklang der Instrumente und Stim-

men erreichen muß. Dirigent beziehungsweise Solist und Tontechniker hören sich deshalb erst jedes einzelne Teilstück des Werkes an, diskutieren darüber, was ihnen noch nicht gefällt, nehmen es eventuell noch einmal anders auf. Zum Schluß bleibt dann die manchmal schwierige Wahl, welches der vielen inzwischen aufgenommenen Bänder derselben Stelle des Musikwerkes in die endgültige Fassung eingefügt werden soll. So ziehen sich Aufnahmearbeiten für ein Musikstück, das wir später von der Schallplatte innerhalb einer knappen Stunde oder allenfalls in wenigen Stunden hören, oft über Tage oder gar Wochen hin.

Endergebnis aller dieser angestregten Bemühungen ist schließlich eine Sammlung von Tonbandstücken, die nun der Schnittmeisterin übergeben werden, die daraus wie bei einem Puzzlespiel die fertige Aufnahme zusammenzukleben, zu cuttern hat. Auch dies ist keine leichte Arbeit. Es darf von den einzelnen Teilen kein Stückchen zuviel oder zuwenig weggeschnitten werden. Die Einsätze müssen auf den Bruchteil einer Sekunde richtig erfolgen. Außerdem darf man keine Übergänge an den Klebestellen hören. Alles muß jetzt so wirken, als wäre es wie bei einer Konzertaufführung auf einmal hintereinander gespielt worden.

Ist dieses Urband fertig zusammengestellt, so kann nach einer nochmaligen gründlichen Kontrolle durch den Tonregisseur der eigentliche Herstellungsprozeß der Schallplatte beginnen. Am Ausgang des Magnetongerätes erhält man wieder elektrische Schwingungen als Signale für die verschiedenen Tonfrequenzen und -amplituden. Diese Schwingungen werden verstärkt und einer Plattenschneidmaschine zugeführt. Sie hat wie der Plattenspieler ein Laufwerk, das aber mit besonders hoher Präzision arbeitet. Auf dem schweren Plattenteller befindet sich eine Metallplatte, die mit einer dünnen Lackfolie beschichtet ist. Als Gegenstück zum Abtastsystem des Plattenspielers hat die Schneidmaschine einen Schneidkopf mit einem Stichel. Der Schneidkopf verwandelt die elektrischen Schwingungen wieder in mechanische Schwingungen, also in Auslenkungen des Stichels. Dadurch graviert dieser in die rotierende Lackfolie die Rille ein. Entstehende Schneidspäne werden laufend abgesaugt. Der Schneidkopf wird nicht von einem gekröpften Tonarm geführt wie das Abtastsystem des Plattenspielers, sondern durch eine Vorrichtung, die sich langsam genau in Richtung des Plattenradius bewegt.

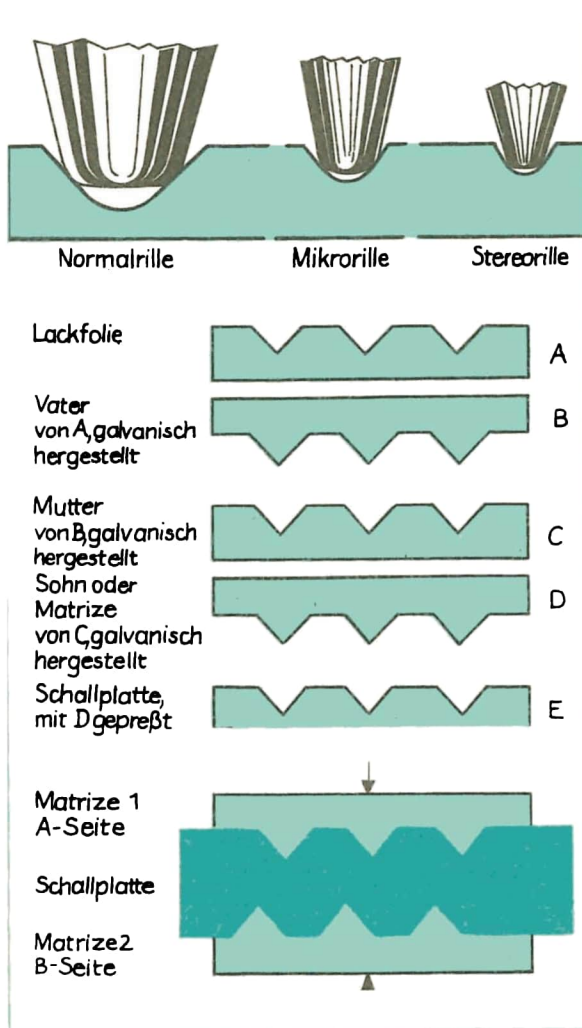
Wie viele Windungen der Spirale auf einer Plattenseite Platz finden und welche Spieldauer sie somit erreicht, hängt auch von der Lautstärke der Musik ab. Denn bei lauter Musik sind die Auslenkungen größer. Folglich beanspruchen die Rillen breiteren Raum auf der Platte. Würde man den Abstand von Windung zu Windung immer gleich halten und so bemessen, daß auch die weiten Auslenkungen lauter Musikstellen stets



Schallplatten-Schneidemaschine

Platz haben, dann bliebe an leisen Stellen mit schmalen Auslenkungen Raum ungenutzt. Darum tastet ein gesonderter Magnetkopf schon vorher die Lautstärke der nächsten zur Aufzeichnung kommenden Stelle ab und steuert danach die gegenseitigen Abstände der einzelnen Rillenwindungen, in der Fachsprache Rillensteigung genannt. Bei leiser Musik kann die Rillensteigung kleiner gewählt werden als bei lauter. Dieses Verfahren bezeichnet man als Füllschrift, weil es die dichtestmögliche Füllung der Plattenseite mit Rillen ergibt.

Die Lackfolie, in die der Stichel die Rille eingeschnitten hat, könnte man bereits abspielen, indem man eine Abtastnadel in die Rille einsetzt. Aber das ginge nur einmal. Dann wäre die ziemlich weiche Rille von der Nadel zerstört. Von der Lackfolie wird deshalb zunächst eine Art Kopie angefertigt, die mechanisch wesentlich widerstandsfähiger und haltbarer ist. Die Kopie nennt man den „Vater“. Um ihn herzustellen, wird auf die



Oben: Größenverhältnisse von Schallrillen und Abtastspitzen.
Darunter: Schema des Herstellungsverweges von der geschnittenen Lackfolie bis zur fertigen Schallplatte

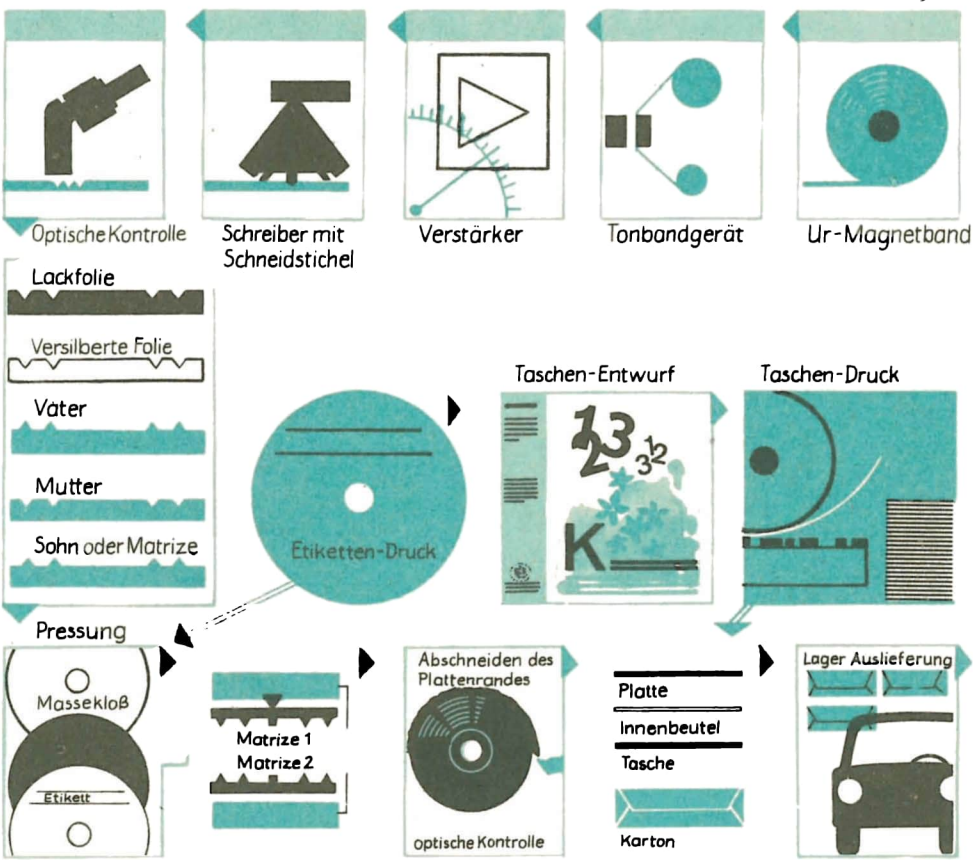
Lackfolie eine ganz dünne Schicht Silber aufgetragen, die aus fast nur einer einzigen Lage von Atomen besteht. Diese hauchfeine Silberschicht hat lediglich den Zweck, die Folie elektrisch leitfähig zu machen: Jetzt kann man durch Galvanisieren auf der dünnen Silberschicht allmählich eine sehr viel dickere Schicht aus Metall, meist Nickel, abscheiden. Das Galvanisieren ist ein Verfahren, bei dem aus einer elektrisch leitfähigen Flüssigkeit, dem Elektrolyten, ein darin gelöstes Metall durch Einwirkung elektrischen Stromes auf einem anderen leitfähigen Material, in diesem Falle auf der Silberschicht, abgeschieden wird.

Man galvanisiert so lange, bis eine etwa 1 mm dicke Nickelschicht entsteht. Sie ergibt den mechanisch bereits ziemlich widerstandsfähigen Vater. Er hat überall dort, wo sich auf der Lackfolie Rillen, also Vertiefun-

gen befinden, Erhöhungen, Dämme genannt. Sie passen genau in die Rillen der Lackfolie, stellen also ein umgekehrtes, erhabenes Abbild des Rillenmusters dar. Die am Vater noch haftende Lackfolie wird jetzt nicht mehr benötigt und kann abgetrennt werden. Mit dem Vater könnte man in hinreichend weiches Material das gleiche Rillenmuster einprägen, das die ursprüngliche Lackfolie enthielt, und dies nicht nur einmal, sondern viele Male, also viele Platten mit dem gleichen Rillenmuster pressen.

Dabei würde sich der Vater allerdings bald abnutzen. Deshalb verwendet man den Vater nur dafür, um – ebenfalls auf galvanischem Wege – mehrere „Mütter“ anzufertigen. Sie haben an allen Stellen, an denen der Vater Dämme aufweist, Vertiefungen, also das gleiche Rillenmuster wie die ursprünglich geschnittene Lackfolie. Mit Hilfe der Mütter können nach dem gleichen Prinzip, nach dem der Vater angefertigt wurde, mehrere „Söhne“, Matrizen genannt, hergestellt werden, also Platten, die wieder Dämme haben. Erst diese Matrizen werden dazu benutzt, um in die

Herstellungsweg der Schallplatten, von der Aufnahme des Magnetbands bis zur Auslieferung der fertig verpackten Platten



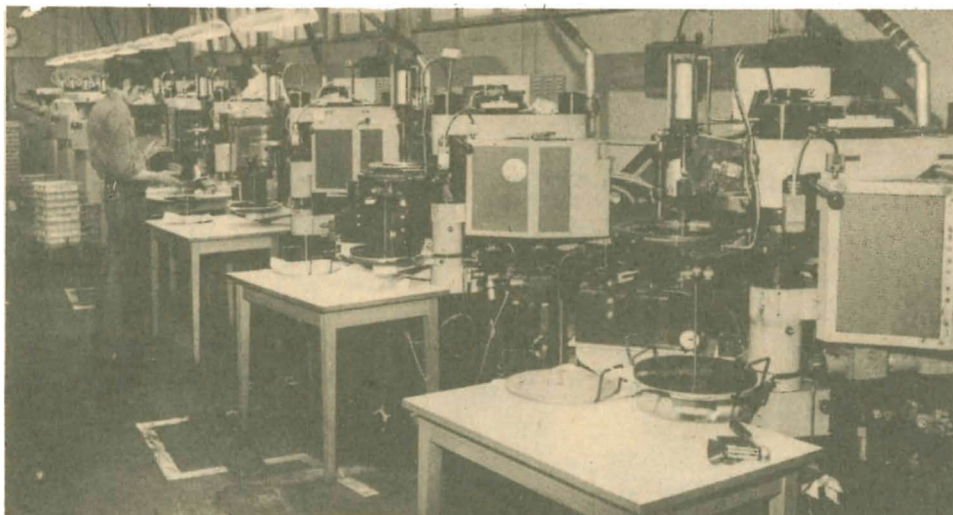
vielen tausend Schallplatten, die zum Verkauf gelangen sollen, das Rillenmuster einzuprägen.

Bevor jedoch die Matrizen angefertigt werden können, tritt der „Mütterabhörer“ in Aktion. Er darf sich für die musikalische Qualität der Schallplattenaufzeichnung überhaupt nicht interessieren, ja am besten gar nicht hinhören, was für Musik gespielt wird. Denn er muß mit höchster Konzentration auf feinste Störgeräusche achten. Jedes Knacken oder Knistern, das die Mutter von sich gibt, würde auch auf den -zigtausend Platten zu hören sein, die man mit ihren Söhnen preßte. Das Abspielgerät ist außerdem so mit einem Mikroskop kombiniert, daß der Mutterabhörer fehlerhafte Stellen der Rille sehr stark vergrößert betrachten kann. Haben die Mütter endlich ihre Söhne „geboren“, so wandern sie ins Archiv.

Nun kann nach weiteren Vorbearbeitungen der Matrizen die Herstellung der Platte beginnen, die in die Hände der Musikfreunde gelangen. Die Schallplattenpresse könnte man grob mit einem elektrisch beheizten Waffeleisen vergleichen. Doch anstelle des Waffelmusters wird in den oberen und unteren Preßteller je eine Matrize mit den Rillen für die Seiten 1 und 2 der Platte eingelegt, außerdem die Etiketten für die Plattenseiten. Dann kommt ein Klacks der teigig weichen, schwarzen Masse hinein. Wenn sich die beiden Teller der Presse automatisch schließen, breitet sich der „Teig“ über die ganze Fläche aus, und unter Druck und Hitze prägen die Dämme der beiden Matrizen die Rillen ein. Sobald sich die beiden Preßteller wieder öffnen, ist die Platte fertig. Nur der Rand muß noch nachgearbeitet und genau rund geschnitten werden.

Auf modernen Pressen können etwa 120 Schallplatten je Stunde herge-

Fertigungsraum mit Schallplattenpressen



stellt werden. Nur etwa 20 Sekunden dauert es, bis aus einem Klacks schwarzer Plastmasse eine Platte entsteht. Die Pressen arbeiten in drei Schichten rund um die Uhr. Durch eine Hülle aus Spezialpapier oder Plastfolie gegen Staub geschützt und in einer schönen Tasche verpackt, treten die Platten die Reise zu den Musikfreunden an. Zuvor werden jedoch von jeder Pressung stichprobenweise zahlreiche Platten nochmals genau auf Fehler abgehört und auch einer strengen Sichtkontrolle unterzogen.

Der tönende Stahldraht

Im gleichen Jahr, 1898, als Emil Berliner mit seinen Schallplatten den ersten großen Durchbruch erzielte, wurde dem dänischen Physiker Valdemar Poulsen bereits ein weiteres Verfahren der Schallspeicherung patentiert. Er hatte merkwürdige Experimente durchgeführt. Poulsen spannte einen Stahldraht auf ein Brett. Ferner verband er ein Mikrofon, wie es als Telefonsprechkapsel damals schon gebräuchlich war, über zwei Drähte mit einem Elektromagneten. Dann sprach er in das Mikrofon und führte dabei den Elektromagneten an dem Stahldraht entlang. Ersetzte er die Sprechkapsel durch einen Telefonhörer und bewegte er den Elektromagneten erneut in gleicher Richtung dicht am Stahldraht vorüber, so ertönten aus dem Hörer ganz leise die gleichen Worte, die zuvor in das Mikrofon gesprochen worden waren.

Ein Elektromagnet ist mit vielen Windungen isolierten elektrischen Drahtes umwickelt. Einen einfachen Elektromagneten können wir aus einer größeren Eisenkramme und isoliertem Draht herstellen. Wir umwickeln die beiden Schenkel der Kramme mit vielen Windungen und schließen die beiden blankgeschabten Enden des Drahtes an eine Flachbatterie von 4,5 V an. Dadurch wird die Kramme magnetisch. Sie zieht kleine Eisenteile an, beispielsweise Stecknadeln. Bringen wir einen Kompaß zwischen die Schenkel der Kramme, so dreht sich die Nadel in eine bestimmte Richtung.

Jeder Magnet hat einen Nord- und einen Südpol. Ungleichnamige Magnetpole ziehen sich an, gleichnamige stoßen einander ab. Zwischen den Polen des Magneten herrscht ein magnetisches Kraftfeld, das man sich durch sogenannte Kraftlinien veranschaulicht. Polen wir die Anschlüsse an der Batterie um, so wechselt auch die Polarität des Elektromagneten. Der Schenkel, der zuerst Nordpol war, wird zum Südpol und der ursprüngliche Südpol zum Nordpol. Die Kompaßnadel dreht sich in die entgegengesetzte Richtung.

In Poulsens Versuch wurden die vom Mikrofon abgegebenen elektrischen Spannungsschwankungen den Wicklungen des Elektromagneten zugeführt. In schnell wechselndem Rhythmus entsprechend der Tonfrequenz kehrte sich deshalb die Polarität des Elektromagneten ständig um. Nun kann man mit einem Magneten auch einen anderen Gegenstand, der zuvor nicht magnetisch war, magnetisch machen. Allerdings sind nicht alle Stoffe zu magnetisieren, sondern nur bestimmte. Dazu gehören unter anderen Eisen und Stahl. Als Poulsen den Elektromagneten an dem Stahldraht entlangführte, wurden daher die einzelnen Stellen des Drahtes in bestimmter Weise entsprechend den wechselnden Spannungsschwankungen magnetisiert.

Erinnern wir uns nun daran, daß Magnetismus auch elektrische Spannungen erzeugen kann! Als der Elektromagnet erneut an dem jetzt magnetisierten Stahldraht entlangbewegt wurde, entstanden daher in den Drahtwicklungen schwache elektrische Spannungsschwankungen. Sie wurden dem Telefonhörer, also einem einfachen kleinen Lautsprecher, zugeführt, der sie in Schallschwingungen zurückverwandelte. Dies ist das Grundprinzip der Magnettontechnik.

Poulsens Erfindung fand große Bewunderung, und auf der Pariser Weltausstellung von 1900 erhielt er einen Grand Prix (Großen Preis) dafür. In seiner „Telegraphon“ genannten Apparatur wurde ein langer Stahldraht von einer Trommel abgewickelt und an einem feststehenden Elektromagneten vorbeibewegt. Auf einer anderen Trommel wickelte sich der magnetische Draht wieder auf. Wenn man ihn zurückspulte und erneut am Elektromagneten vorbeilaufen ließ, wurden die aufgesprochenen Worte hörbar. Wie einst Edison mit seiner Schallwalze, versuchte auch Poulsen die Erfindung für Diktiergeräte praktisch anzuwenden. Einzelne solcher Drahtton-Geräte kamen in Gebrauch. Doch hatten die Stenotypistinnen damit häufig ziemlichen Ärger. Denn allzuleicht verhedderte sich der Draht.

Für die Aufzeichnung und Wiedergabe von Musik gewann die Erfindung lange Zeit keine Bedeutung. Auch hier fehlte zunächst die Möglichkeit der elektronischen Verstärkung der schwachen elektrischen Spannungsschwankungen. Die Wiedergabe blieb daher zu leise. Außerdem war die Schallplatte viel einfacher herzustellen und zu handhaben. Als elektronische Verstärker zur Verfügung standen, wurde auch an der Verbesserung des Magnetton-Verfahrens angestrengt weitergearbeitet. 1928 schlug der Dresdner Erfinder F. Pfeleumer vor, den Stahldraht beziehungsweise das Stahlband durch einen schmalen Papierstreifen zu ersetzen, der mit einer magnetisierbaren Eisenverbindung bestrichen war. Doch das Papier riß zu leicht. 1935 wurde es deshalb durch Material er-

setzt, wie es ähnlich auch als Träger der lichtempfindlichen Schicht von Filmen verwendet wird. Die Klangqualität bei der Aufzeichnung und Wiedergabe von Musik war inzwischen etwa der von damaligen Schallplatten vergleichbar. Doch haftete dem „Magnetophon“ noch der Nachteil an, daß der aufgezeichnete Ton von einem störend starken Rauschen begleitet war. Verzweifelt versuchte man, dieses Bandrauschen zu beseitigen – ohne Erfolg.

Da passierte eines Tages eine Panne. Ein Verstärker wurde defekt und erzeugte plötzlich sehr hochfrequente Schwingungen. Als man das vermeintlich verdorbene Band abhörte, gab es eine große Überraschung: Das starke Bandrauschen war verschwunden. So wurde durch Zufall die sogenannte Hochfrequenz-Vormagnetisierung erfunden, die seitdem stets angewendet wird. Damit war der Weg frei zur breiten Anwendung der Magnettontechnik in den Rundfunkstudios. Heute wird fast das gesamte Rundfunkprogramm von 6,3 mm breiten Magnetbändern gesendet.

Das hat entscheidende Vorteile. Alle Sendungen lassen sich vorproduzieren. Soll zum Beispiel ein wissenschaftlicher Vortrag ausgestrahlt werden, so braucht der Experte nicht zu der Zeit im Studio zu erscheinen, zu der die Sendung läuft. Auch Konzerte müssen nicht zur gleichen Zeit übertragen werden, zu der sie tatsächlich stattfinden. Große Teile des Rundfunkprogramms können auf Tage und Wochen im voraus zusammengestellt werden. Außerdem lassen sich bei Wortsendungen alle Versprecher herauschneiden. Auch die Arbeit des Reporters wird durch transportable Tonbandgeräte wesentlich erleichtert. Er kann das Band direkt am Schauplatz des Geschehens besprechen und dabei noch akustische Eindrücke von dort einfangen.

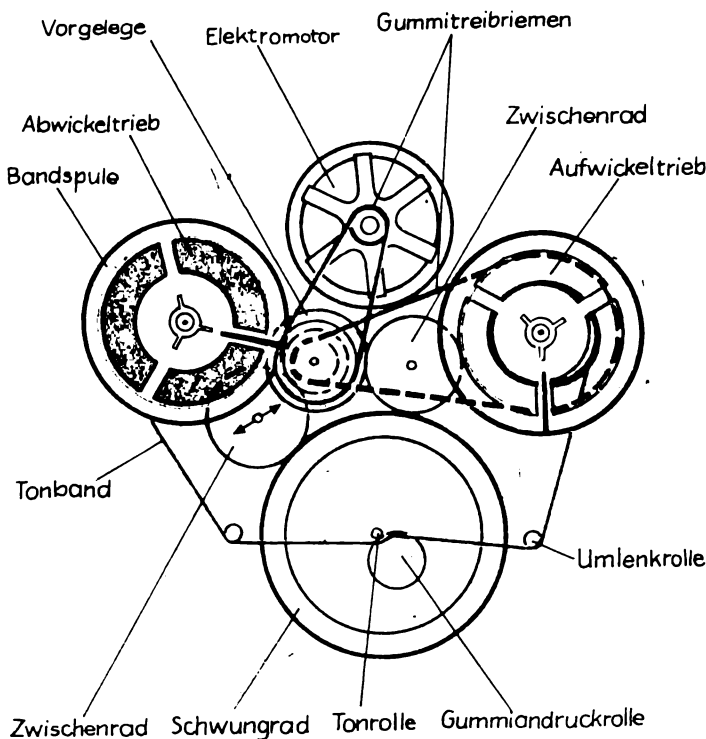
Etwa seit Anfang der 50er Jahre fanden Tonbandgeräte auch für den Hausgebrauch zunehmende Verbreitung. Das Tonband hat gegenüber der Schallplatte in rein technischer Hinsicht einige Vorteile: Man kann jede beliebige Rundfunksendung aufnehmen und wiederhören. Die Aufzeichnung läßt sich löschen und das Band neu bespielen. Über ein Mikrofon können wir Tonbänder selbst bespielen und so zum Beispiel auch Erinnerungen an familiäre Ereignisse akustisch festhalten. Doch wird die Magnettontechnik die Schallplatte niemals vollständig ersetzen und verdrängen. Denn auch die Schallplatte hat ihre Vorteile. So erspart man sich durch sie die Mühe und den Zeitaufwand, die Musik aus dem Rundfunkprogramm selbst aufzunehmen. Leidenschaftliche Musikfreunde benutzen deshalb meist beides nebeneinander.

Beschäftigen wir uns nun etwas ausführlicher mit der Technik der Magnettongeräte.

Wie funktioniert ein Tonbandgerät?

Auch das Magnetongerät hat wie der Plattenspieler ein Laufwerk. Es muß aber mehr und kompliziertere Funktionen erfüllen als bei diesem. Die Antriebskraft liefert ebenfalls ein Elektromotor. Über einen Gummiriemen treibt er ein mit einer rauen Gummischicht belegtes Rad an, das man Vorgelege nennt. Dieses treibt wiederum zwei Zwischenräder und über einen weiteren Gummiriemen den Aufwickeltrieb an, zu dem auch der Bandteller gehört, auf dem die Aufwickelspule liegt. Bei allen modernen Geräten läuft das Band von der linken Spule ab, wird dann an den Magnetköpfen vorbeigeführt und auf der rechten Spule wieder aufgewickelt.

Eines der beiden Zwischenräder versetzt ein Schwungrad in Drehung. Das obere Ende der Schwungradachse ist die Tonrolle, auch Tonwelle genannt. Sie ist nicht zu verwechseln mit der Gummiandruckrolle. Die Tonwelle hat einen viel kleineren Durchmesser und ist nicht mit Gummi belegt. Andruckrolle und Tonwelle bewirken aber zusammen den Bandtransport. Denn bei den Schaltstellungen „Aufnahme“ und „Wiedergabe“ drückt die Gummirolle gegen die Tonwelle. Zwischen beiden



Bauteile des
Laufwerks eines
Heim-Tonbandgeräts

befindet sich das Magnettonband. Folglich wird es durch den Gummibelag der Andruckrolle so fest gegen die Tonwelle gedrückt, daß es durch deren Umdrehung mitgenommen und so fortbewegt wird. Die Andruckrolle selbst dreht sich nur passiv mit, wird also nicht durch einen Riemen oder ein Zwischenrad angetrieben.

Der Aufwickeltrieb wird – wie erwähnt – vom Vorgelege über einen Gummiriemen in Umdrehung versetzt. Doch bewirkt der Aufwickeltrieb nicht eigentlich den Bandtransport, sondern nur das Aufwickeln des hinter der Tonwelle ablaufenden Bandes. Zum Bandtransport eignet sich der Aufwickeltrieb nicht, weil der Durchmesser des Bandwickels laufend größer wird. Bliebe die Drehzahl des Aufwickeltriebs gleich, so würde daher die Geschwindigkeit, mit der das Band an den Magnetköpfen vorbeiläuft, trotzdem zunehmen. Sie muß aber genau gleich bleiben, weil sonst – wie bei abweichender Drehzahl des Schallplattentellers – die Tonhöhen verfälscht würden.

Beim Aufwickeln des Bandes ist ein Problem zu lösen: Der untere Teil des Aufwickeltriebs dreht sich zwar mit dauernd gleichbleibender Geschwindigkeit, weil Elektromotor und Vorgelege stets dieselbe Drehzahl einhalten müssen. Der obere Teil des Aufwickeltriebs, also der Bandteller, der die Spule trägt, muß aber mit gleitend veränderbarer Geschwindigkeit rotieren, je nachdem, wie groß gerade der Durchmesser des Bandwickels ist. Anfangs, wenn erst wenig Band aufgewickelt ist, hat der Bandwickel einen nur kleinen Durchmesser. Folglich wickelt der Trieb je Zeiteinheit wenig Band auf. Um das auszugleichen, muß der Teller jetzt schneller rotieren. Andernfalls würde er gar nicht so viel Band aufwickeln, wie von der Tonwelle abläuft. Das Band bildete dann Schlaufen, verhedderte sich, und es entstünde der gefürchtete „Bandsalat“. Später, wenn der Bandwickel größer geworden ist, kann sich dagegen der Teller langsamer drehen, weil er je Zeiteinheit mehr Band aufwickelt.

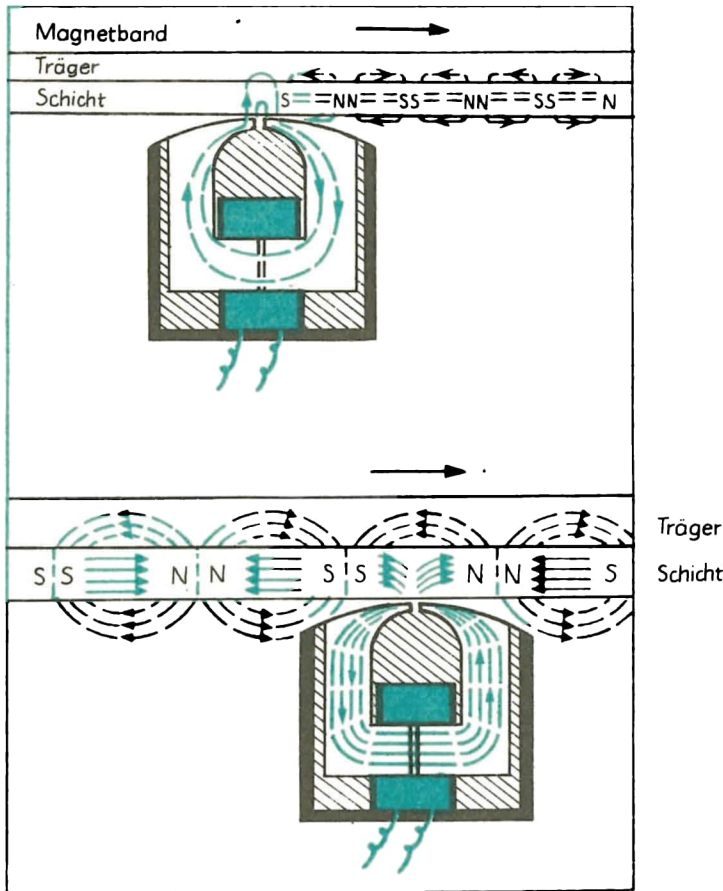
Zwischen dem Bandteller und dem unteren Teil des Aufwickeltriebs darf deshalb keine starre Verbindung bestehen, sondern nur eine sogenannte Rutschkupplung. Als Kupplungsscheiben dienen Filzringe. Bandteller und Spule drücken durch ihr Gewicht auf den Filz. Auf Grund von Reibung haften der Bandteller und der untere Aufwickeltrieb aneinander, und der Teller wird bei der Umdrehung des unteren Teils gewissermaßen mitgeschleift. Nach längerer Zeit kann sich der Filz so weit glätten, daß die Reibung zu gering wird, der Bandteller daher nicht mehr kräftig genug mitgenommen wird und zu langsam rotiert. Dann entsteht Bandsalat. Der Filz muß neu aufgeraut oder ganz erneuert werden. Er läßt sich aufrauen, indem man beispielsweise mit der Schneide eines Taschenmessers mehrmals über den Filz fährt.

Beim Abwickeltrieb liegen die Verhältnisse genau umgekehrt. Er muß sich anfangs langsam und später zunehmend schneller drehen. Für den Abwickeltrieb ist die technische Lösung aber wesentlich einfacher. Er wird bei Aufnahme und Wiedergabe überhaupt nicht angetrieben, sondern nur passiv durch das von der Spule abgezogene Band in Drehung versetzt. Dabei ist es sogar nötig, ihn schwach abzubremsen, damit er sich nicht zu leicht dreht und – einmal in Schwung geraten – mehr Band abwickelt als nötig. Auch dies würde zur Schlaufenbildung vor den Magnetköpfen und damit zum Bandsalat führen.

Wird das Vorgelege als Stufenrad, also als Welle mit mehreren Stufen unterschiedlichen Durchmessers ausgeführt, so kann man verschiedene Bandgeschwindigkeiten einstellen. Gebräuchlich sind für Heim-Magnetongeräte 19,05 cm/s, 9,53 cm/s und 4,76 cm/s. Alle Kassettenrecorder laufen mit 4,76 cm/s. 19,05 cm/s sind nur an besonders hochwertigen Amateur-Bandgeräten vorgesehen. Studio-Tonbandmaschinen arbeiten mit 38,1 cm/s (früher 76,2 cm/s). Drücken Bandteller und Spule bloß mit ihrem Gewicht auf den Filzring, so kann das Gerät nur in waagerechter Stellung betrieben werden. Erfolgt der Andruck durch Federkraft, so ist der Betrieb auch in senkrechter und schräger Lage möglich.

Beim Umspulen des Bandes durch schnellen Vor- oder Rücklauf treibt das Vorgelege den Aufwickel- beziehungsweise den Abwickeltrieb über ein Zwischenrad direkt an. Er dreht sich dann mit größerer Geschwindigkeit, so daß das Umspulen ziemlich schnell geht. Besonders hochwertige Heim-Tonbandgeräte sowie alle Studiomaschinen haben ein Drei-Motoren-Laufwerk, also je einen gesonderten Elektromotor für den Antrieb des Schwungrades mit seiner Tonwelle, für den Abwickel- und den Aufwickeltrieb. Bei Einmotoren-Laufwerken ist wegen der komplizierten Mechanik die Umdrehungsgeschwindigkeit des Schwungrades und damit die Bandgeschwindigkeit schwer mit so engen Toleranzen (Abweichungen) einzuhalten wie bei Verwendung getrennter Motoren. Bei jedem Stopp des Bandlaufs werden die Spulen durch mechanische Bremsen sofort blockiert, damit sie nicht noch ein Stück nachlaufen (Massenträgheit).

Beim Kassetten-Tonbandgerät gleichen die Grundfunktionen des Bandtransports denen von Spulengeräten. Doch enthält die Kassette keine eigentlichen Bandspulen, sondern nur auf beiden Seiten je einen Kern, an dem das jeweilige Bandende befestigt ist. Der Kern wird vom Aufwickeltrieb des Bandgeräts in Umdrehung versetzt. Das Band wickelt sich um den Kern auf. Der links gelegene Abwickeltrieb treibt den Kern des linken Kassetten-Bandwickels nur beim schnellen Rückspulen an. Bei Aufnahme und Wiedergabe sowie beim schnellen Vorlauf dreht sich der Kern des linken Bandwickels lediglich passiv mit. Die magnetisier-



Wirkungsweise von Tonkopf und Magnetband. Oben: Bei der Aufnahme wird das Tonband im Rhythmus der elektrischen Schwingungen magnetisiert. Unten: Bei der Wiedergabe durchdringen die magnetischen Feldlinien des Tonbandes den Kern des Tonkopfes und rufen in der Spule wieder elektrische Schwingungen hervor

bare Schicht liegt beim Kassettenband stets nach außen, beim Spulentonband ist sie meist nach innen gewickelt.

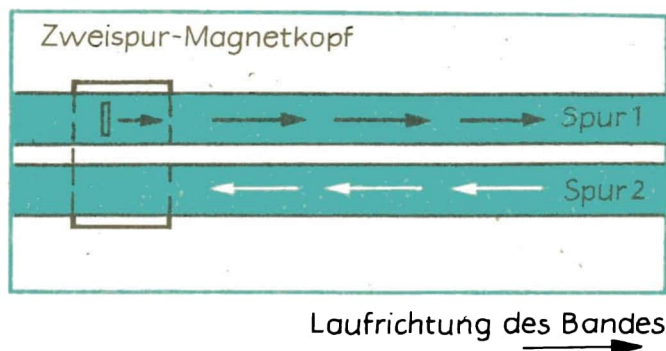
Der Magnetkopf des Tonbandgeräts, auch Tonkopf genannt, ist ein Elektromagnet. Er besteht aus einer Spule mit vielen Windungen sehr feinen Drahtes und einem Kern aus hochwertigem magnetisierbarem Material. Zwischen den beiden Polen des Magneten verbleibt ein Spalt von 3 bis 6 µm Breite. Damit sich kein Schmutz darin absetzt, ist er mit Plastmasse oder einer Metallfolie ausgefüllt. Die Flächen beiderseits des Spalts sind sehr glatt geschliffen, damit sich das Band eng an den Magnetkopf anlegt und die Schicht durch Reibung möglichst wenig abgeschliffen wird.

Die verstärkten elektrischen Spannungsschwankungen, in die der Schall umgewandelt ist, werden bei der Aufnahme der Spule des Tonkopfes zugeleitet. Sie erzeugen ein magnetisches Kraftfeld, dessen Polarität im Rhythmus der Schwingungen wechselt. Die magnetischen Kraftlinien treten aus dem Spalt aus und durchdringen das Magnetband. Seine Schicht kann man sich aus ungezählten winzigen Stabmagneten zusammengesetzt denken, die jetzt – wie in unserem Experiment die Kompaßnadel – in eine bestimmte Richtung gedreht werden. Dadurch entstehen in der Schicht des Bandes magnetisierte Stellen.

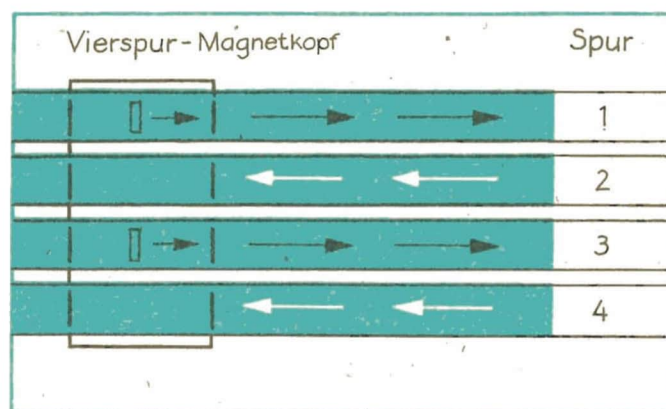
Erfolgen beispielsweise in einer Sekunde 1 000 Umpolungen des Magnetfeldes entsprechend einer Schwingung von 1 000 Hz, so wechselt an den verschiedenen hintereinanderliegenden Bandstellen, die in dieser Sekunde am Spalt vorbeiliefen, 1 000mal die Polarität des Magnetismus. Die Frequenz des Polaritätswechsels ist also der Tonfrequenz und die jeweilige Stärke des Magnetismus der Amplitude analog. Dadurch ist der Ton magnetisch aufgezeichnet. Bei der Wiedergabe erzeugen die am Tonkopf vorbeilaufenden magnetisierten Stellen in der Spule wieder elektrische Spannungen, also elektrische Schwingungen gleicher Frequenz und analoger Amplitude. Sie werden verstärkt und auf dem uns nun schon bekannten Wege in Schallschwingungen zurückverwandelt.

Studiogeräte haben einen gesonderten Sprechkopf für die Aufnahme und einen Hörkopf für die Wiedergabe. In Heim-Tonbandgeräten wird für beides derselbe Magnetkopf verwendet. Man nennt ihn Kombikopf, weil er die Funktionen von Sprech- und Hörkopf kombiniert. Beim Wechsel von Aufnahme zu Wiedergabe werden lediglich Anschlüsse umgeschaltet.

Bevor das Band am Sprech- oder Kombikopf vorbeiläuft, passiert es den Löschkopf. Er ist nur bei Aufnahme eingeschaltet und löscht eine eventuell auf dem Band bereits vorhandene Aufzeichnung. Dabei wird das Band entmagnetisiert. Das geschieht dadurch, daß ein noch schneller, nämlich mit einer Frequenz von 50 000 bis 100 000 Hz umgepoltes magnetisches Kraftfeld auf das Band einwirkt und es ummagnetisiert. Die elektrischen Schwingungen dieser Frequenz erzeugt eine geeignete elektronische Schaltung und führt sie der Spule des Löschkopfes zu. Zur Entmagnetisierung muß außerdem das magnetische Wechselfeld während seiner Einwirkung auf das Band langsam schwächer werden. Das erreicht man durch eine besondere Formgebung des Löschkopf-Spalts und durch den Vorbeilauf des Bandes am Spalt. Derselbe Generator, der die Hochfrequenz für den Löschkopf erzeugt, gibt einen schwachen Hochfrequenzstrom auch an den Kombikopf ab. Diese Hochfrequenz wird dem Tonsignal überlagert. Das bewirkt die bereits erwähnte Hoch-



Spurlagen bei
Zweispur-Betrieb



Spurlagen bei
Vierspur-Betrieb

frequenz-Vormagnetisierung, die eine wesentliche Verbesserung der Aufzeichnungsqualität ergibt.

Um die „Betriebskosten“ zu senken, werden mit Amateur-Tonbandgeräten auf demselben Band zwei oder vier Spuren aufgezeichnet. Sie sind durch schmale Zwischenräume getrennt. Spulen-Tonband ist 6,3 mm breit. Die Spurbreite beträgt bei zwei Spuren je etwa 2,0 mm mit einem Zwischenraum von 0,75 bis 2,3 mm, bei Vierspur-Geräten nur je 1 mm mit Sicherheitsabständen von ungefähr 0,7 mm. Stereo-Bandgeräte für den Hausgebrauch arbeiten stets mit vier Spuren.

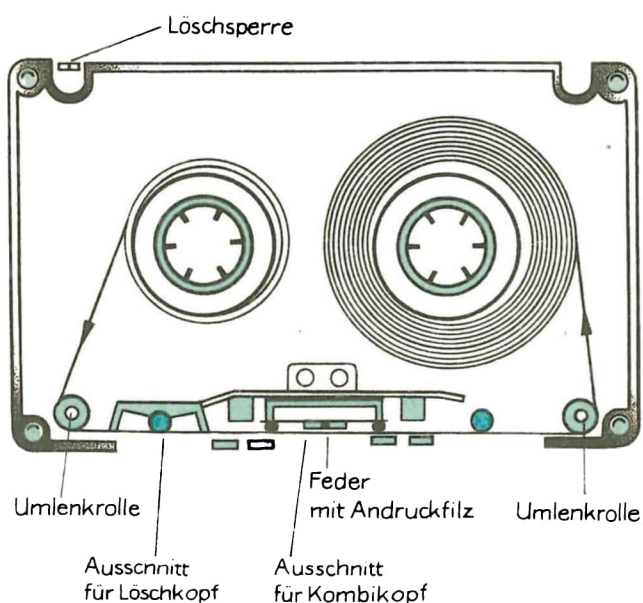
Der Breite der Magnetspuren entspricht die Länge des Kopfspalts. Bei Stereo-Geräten befinden sich zwei Kombiköpfe unmittelbar übereinander. Dazwischen liegt eine Abschirmung, um gegenseitiges Beeinflussen zu verhindern. Beide Köpfe sind zu einem Block vereinigt, so daß sie praktisch wie ein Magnetkopf zu behandeln sind. Man kann sie zum Beispiel nur zusammen nachkaufen und einbauen. Insbesondere der Kombikopf muß von Zeit zu Zeit erneuert werden, da sich mit zunehmendem Verschleiß die Aufzeichnungs- und Wiedergabequalität verschlechtert. Bei normaler Benutzung ist das meist erst nach einigen Jahren der Fall.

Das Auswechseln muß eine Fachwerkstatt vornehmen, da für das Einjustieren der Kopfstellung Meßbänder und Meßgeräte nötig sind.

Die Lage des Spalts oder der Spalte bei Magnetköpfen sowie der einzelnen Spuren bei monofoner und stereofoner Aufzeichnung zeigen die Bilder auf Seite 91. Die Spur 2 liegt bei Mono-Geräten während des Bespielens der Spur 1 unterhalb des Kopfspalts. Ist die auf dem Aufwickeltrieb liegende volle Spule auf den Abwickeltrieb umgelegt worden, so befindet sich die vordem unten gelegene Bandhälfte nunmehr oben und kann jetzt am Kopfspalt vorbeilaufen. Dabei wird die Spur 2 bespielt. Für Stereo-Aufzeichnungen gilt Entsprechendes. Nur muß man sich die obere und untere Bandhälfte dann nochmals in je zwei Hälften unterteilt denken. Bei der ersten Bespielung werden die Spuren 1 und 3, bei der zweiten die Spuren 2 und 4 benutzt. Der obere Magnetkopf zeichnet jeweils den linken Stereo-Kanal in den Spuren 1 und 4 auf, der untere die rechten Kanäle in den Spuren 2 und 3. Damit die Spuren nicht zu verwechseln sind, ist jedes Ende des Spulen-Tonbandes mit einem grünen beziehungsweise roten nicht magnetisierbaren Vorspannband gekennzeichnet. Im praktischen Gebrauch spricht man deshalb kaum von Spur 1 und 2 und so weiter, sondern von der grünen oder roten Spur, obwohl die Spuren selbst freilich weder grün noch rot sind.

Für Kassettenrecorder gilt hinsichtlich der Spurlagen sinngemäß das gleiche. Doch haben die beiden Enden des Bandes keine verschiedenfarbigen Vorspann-Kennbänder.

Mit einem Stereo-Spulen-Tonbandgerät sind auch monofone Auf-



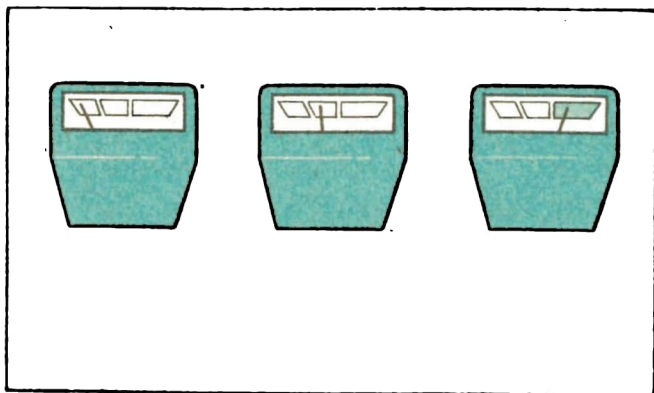
Tonbandkassette, geöffnet

zeichnungen möglich. Werden alle vier Spuren monofon bespielt, dann verdoppelt sich die maximale Spieldauer. Auf einem 540 m langen Band können bei der Geschwindigkeit von 9,53 cm/s so 4mal 90 min, also 6 Stunden Musik, Hörspiele, eine ganze Vortragsfolge oder anderes gespeichert werden. Mit einem Stereo-Kassetten-Tonbandgerät lassen sich ebenfalls monofone Programme aufnehmen. Dabei erfolgt jedoch auch die Mono-Aufzeichnung auf zwei Spuren.

Am häufigsten werden Tonbandgeräte für Aufnahmen von Rundfunktendungen benutzt. Der Anschluß des Bandgeräts erfolgt über ein Diodenkabel. Je ein Stecker wird in die Tonbandbuchse des Rundfunkempfängers und in die für den Rundfunkempfänger bestimmte Buchse des Bandgeräts gesteckt. Die Einstellung von Lautstärke und Klangfarbe am Rundfunkgerät hat keinen Einfluß auf die Tonbandaufzeichnung. Man kann den Lautstärkeregler also völlig zurückdrehen und „stumm“ aufspielen. Die Bandaufzeichnung wird ausschließlich am Bandgerät selbst geregelt. An ältere Rundfunkgeräte, die noch keinen Diodenausgang haben, ist der Anschluß eines modernen Tonbandgeräts in dieser Weise nicht möglich. Da Rundfunkgerät und Bandgerät direkt zusammengeschaltet sind, werden Geräusche aus dem Raum und der Umgebung nicht mit aufgezeichnet, wohl aber alle eventuellen elektrischen Störgeräusche, die auch im Rundfunk-Lautsprecher zu hören wären. Deshalb sollten wir während einer Bandaufnahme möglichst keine elektrischen Schalter und Geräte betätigen, von denen wir wissen, daß sie beim Empfang einer Rundfunksendung ein Knacken verursachen. Die Symbole für die Kennzeichnung der verschiedenen Anschlußbuchsen des Bandgeräts sind im Bild zusammengefaßt.

Die Verstärkung der Tonsignale, die dem Kombikopf zugeführt werden, ist innerhalb bestimmter Grenzen regelbar. Man nennt das Aussteuern. Dazu dienen bei Stereo-Geräten zwei Regler und zwei Kontrollinstrumente. Ihre Zeiger dürfen auch bei den lautesten Stellen möglichst nicht oder nur für einen ganz kurzen Moment in das rote Feld ausschlagen. Gehen sie weit in dieses Feld, so ist die Aufnahme übersteuert und klingt verzerrt. Dem Tonkopf werden dann so hohe Spannungen zugeführt, daß ein zu starkes Magnetfeld entsteht. Das Magnetband ist aber nicht beliebig stark magnetisierbar.

Andererseits darf sich der Zeiger bei Musik normaler Lautstärke aber auch nicht ständig nur am Anfang der Skale bewegen. Dann erfolgt die Aufzeichnung zu schwach. Bei der Wiedergabe muß in diesem Fall zum Ausgleich der Lautstärkeregler so weit geöffnet werden, daß ein störendes Rauschen entsteht. Dies sind nur sehr grobe Hinweise für die Aussteuerung. Sie bedürfen der Verfeinerung durch Erfahrung. So muß man auch



Richtige und falsche Aussteuerung des Tonbandgeräts. Häufig ist die Skala dreigeteilt. Das rechte Feld zeigt Übersteuerungen an. Nur an den lautstärksten Stellen darf der Zeiger bis kurz in den Anfang dieses Feldes ausschlagen

den allgemeinen Charakter der Musik berücksichtigen. Beispielsweise dürfen von einem Kinderchor relativ leise gesungene Lieder nicht so hoch ausgesteuert werden, daß der Zeiger bis an den Anfang des roten Feldes ausschlägt, sondern nur bis etwa zur Mitte der Skale.

Manche Kassettenrecorder erlauben nur eine automatische Aussteuerung. Die Aussteuerungsautomatik (kurz ALC = automatic level control genannt) hat jedoch nicht nur den Vorteil der Bequemlichkeit, sondern auch einen Nachteil. Die Lautstärke-Unterschiede innerhalb des Musikwerks werden etwas vermindert, sehr leise Musik (*pianissimo*) also etwas lauter und sehr laute (*fortissimo*) etwas leiser aufgezeichnet. Bei Tanz- und Schlagermusik spielt das kaum eine Rolle, da sie im allgemeinen sowieso keine sehr großen Lautstärke-Unterschiede aufweist. Bei künstlerischer Musik ist es jedoch von Nachteil.

Den Spielraum zwischen den leisesten und lautesten Stellen eines Musikstücks nennt man in der Fachsprache Dynamik oder Dynamikumfang. Er ist – auch unabhängig von der Aussteuerungsautomatik – bei allen Schallplatten-Aufnahmen und Rundfunksendungen gegenüber dem Original grundsätzlich vermindert, komprimiert. Ohne Dynamikkompression kommt man in der Elektroakustik noch nicht aus, weil es nicht möglich ist, die Lautstärke-Unterschiede des Originals bei dem Weg über die Elektroakustik in vollem Umfang aufrechtzuerhalten.

Die automatische Aussteuerung erfolgt durch eine elektronische Kontroll- und Regelschaltung. Sobald die Spannung ein zu hohes Maß erreicht, verringert sich die Verstärkung. Wird die Spannung bei kleiner Lautstärke gering, dann setzt selbsttätig wieder erhöhte Verstärkung ein. Auf diese Weise ließen sich sämtliche Lautstärke-Unterschiede vollstän-

dig ausgleichen. Dabei würde die Musik für den Kenner allerdings ungenießbar, und selbst Sprechaufnahmen klingen zu monoton. Deshalb hat die Schaltung eine sogenannte Zeitkonstante. Diese dämpft zu hohe Spannungen sofort auf das zulässige Maß. Bei schwacher Spannung, also geringer Lautstärke, wird die Verstärkung aber nicht sofort erhöht, sondern erst allmählich innerhalb einer Zeit von maximal 10 s. So bleiben die Lautstärke-Unterschiede noch in einem bestimmten Maße erhalten.

Kassettenrecorder und sogenannte Radio-Recorder, also Kombinationen von Rundfunkempfänger und Kassetten-Tonbandgerät, können meist wahlweise mit Netzstrom oder Batterien betrieben werden, Spulen-Tonbandgeräte in der Regel nur mit Netzstrom, sind also unterwegs nicht unabhängig von einer Steckdose. Kassetten-Tonband ist schmäler als Spulen-Tonband, nämlich nur 3,81 mm breit. Dementsprechend schmaler sind auch die Magnetspuren. Da außerdem die Bandgeschwindigkeit nur halb so groß ist, ergeben Kassetten-Tonbandgeräte einfacherer Aus-

Radiorecorder R 4100 –
eine Kombination von Rundfunkempfänger und
Kassetten-Tonbandgerät

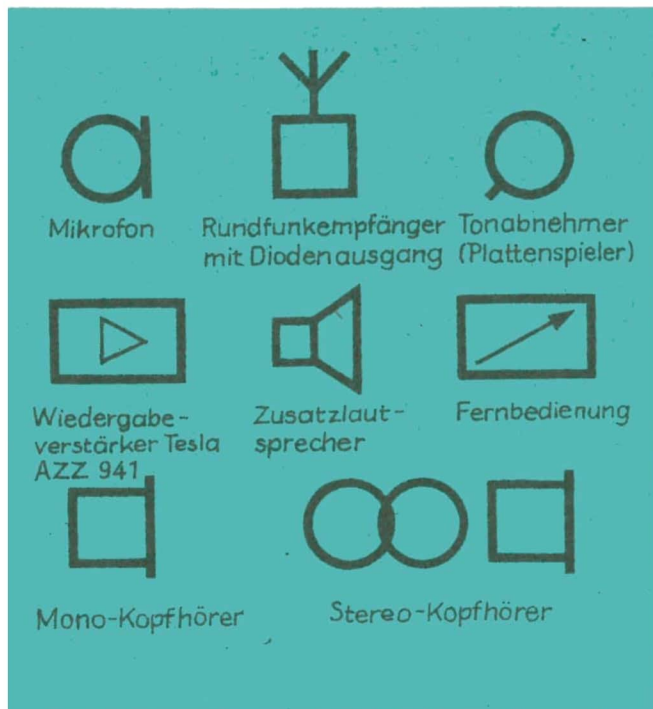


führung keine so hohe Klangqualität wie gute Spulen-Tonbandgeräte. Ferner neigen Kassetten-Geräte sowie auch die Kassetten selbst leichter zu Bandsalat. Dennoch wird für viele Zwecke der Kassettenrecorder vorgezogen.

Spulenband kann man kleben und so Programme nach eigener Wahl zu einem Band zusammenschneiden; cuttern. Kassettenband ist dafür nicht geeignet. Selbst wenn es reißen sollte, ist es problematisch, die beiden Enden durch Hinterklebeband wieder zu verbinden. Denn an der Klebestelle entsteht besonders leicht Bandsalat, wobei häufig die ganze Kassette unbrauchbar wird. Allerdings hat dieser Unterschied zwischen Kassetten- und Spulenband bei der heutigen Vierspurtechnik viel an Bedeutung verloren. Denn alle anderen eventuell schon aufgezeichneten Spuren werden durch das Cuttern unterbrochen oder ganz unbrauchbar.

Mikrofon-Aufnahmen und wozu man den Recorder sonst noch verwenden kann

Sofern der Recorder nicht schon ein eingebautes Mikrofon hat, müssen wir uns bei dessen Kauf stets vergewissern, daß es für das betreffende Gerät geeignet ist. Für Aufnahmen klangtechnisch guter Qualität kann ein



Symbole zur Kennzeichnung der Anschlüsse eines Heim-Tonbandgeräts

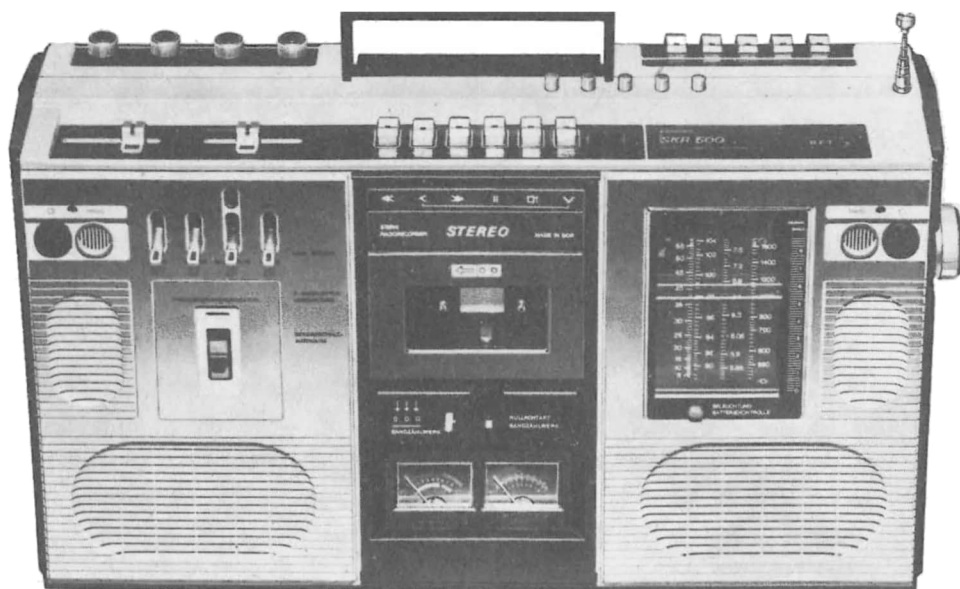
getrenntes Mikrofon vorteilhafter sein als das eingebaute. Denn häufig nimmt es Laufgeräusche des Recorders mit auf. Jedes Mikrofon ist ein Präzisionsinstrument, daß man vor Stoß und Fall, gegen Wasser (Regen!), grobe Verschmutzung (zum Beispiel Flugsand an der See), auch gegen langandauernde Einwirkung sehr feuchter Luft und zu starker Hitze in praller Sommersonne schützen muß.

Eine Rundfunkaufnahme darf man über den Lautsprecher des Bandgeräts während der Aufnahme mithören, eine Mikrofonaufnahme nicht. Der vom Lautsprecher ausgestrahlte Schall wirkt dann nämlich ebenfalls mit auf das Mikrofon ein, und es entsteht eine sogenannte akustische Rückkopplung, die sich durch lautes Pfeifen äußert. Dagegen ist es möglich, die Mikrofonaufnahme über einen Ohr- oder Kopfhörer zu überwachen. Allerdings ist dies kaum nötig.

Mikrofone nehmen nicht nur den Luft-, sondern auch den Körperschall auf. Deshalb verursacht beispielsweise jede Bewegung des Kabels in der Nähe seiner Anschlußstelle am Mikrofon ein störendes Geräusch. Um es zu vermeiden, lassen wir das Kabel nicht einfach vom Mikrofon herabhängen, sondern schlingen es einmal um unsere Hand. Dabei darf keine Zugkraft ausgeübt werden. Montieren wir das Mikrofon auf ein Stativ, so soll dieses auf einer möglichst weichen Unterlage stehen, gleichfalls zur Dämpfung des Körperschalls. Alle Geräusche im Raum werden vom Mikrofon viel stärker registriert, als es unserem Gehörempfinden entspricht. Deshalb sollte Herumlaufen im Zimmer, Stühlerücken, Türenöffnen und dergleichen vermieden werden.

Man braucht das Mikrofon nicht unmittelbar vor den Mund zu halten. Günstig ist ein Abstand von 0,5 bis 1 m. Es ist auch nicht nötig, jedem Sprecher das Mikrofon extra hinzureichen. Denn die für Heim-Tonbandgeräte gebräuchlichen Mikrofone nehmen den Schall nicht nur von vorn, sondern mindestens auch von den Seiten deutlich auf. Einen kürzeren Abstand wählen wir nur, wenn laute Nebengeräusche vorhanden sind. Dann bewirkt kurzer Abstand vom Mund, daß sich die Sprache deutlicher von den Nebengeräuschen abhebt. Allerdings ist es besser, dabei etwas seitlich am Mikrofon vorbeizusprechen, damit die Atemluft nicht direkt in die Mikrofonöffnung gelangt. Bei Aufnahmen im Freien erzeugt Wind störende Geräusche. Wir können sie vermindern, indem wir ein Leinentuch um das Mikrofon wickeln.

Was auf Tonband gesprochen werden soll, müssen wir uns vorher überlegen und nicht erst während der Aufnahme. Legen wir kurze Denkpausen ein, betätigen wir die Pausentaste, lassen also keine längeren stummen Stellen auf dem Band entstehen. Sprechen wir vom Manuskript, so sollte das Blatt auf dem Tisch liegen. Denn halten wir es in der Hand, erzeugt es



Stereo-Radiorecorder SKR 500

ebenfalls Störgeräusche. Sind es mehrere Manuskriptblätter, legen wir sie nicht um, sondern schieben das gelesene Textblatt möglichst geräuschlos zur Seite.

Bei Mikrofonaufnahmen ist die Aussteuerungsautomatik meist von Vorteil. Müssen wir manuell aussteuern, ist zu berücksichtigen, daß die menschliche Stimme kein Orchester ist. Wir dürfen also nicht so aussteuern wie bei einem Fortissimo. Vielmehr sollte der Zeiger des Kontrollinstruments höchstens bis in die Mitte der Skale ausschlagen.

Mit dem Recorder können wir viele lebendige Eindrücke festhalten, nicht nur die Stimmung bei Geburtstagsfeiern, sondern beispielsweise auch die Eindrücke vom ersten Schultag unserer kleinen Geschwister, interessante Reiseerlebnisse, die Stimmen lieber Gäste, die uns von weit her besuchen . . .

Die Magnettontechnik ist äußerst vielfältig anwendbar, wird aber meist zuwenig und zu einseitig nur zur Musik „berieselung“ benutzt. Deshalb hier noch einige Anregungen: Das Tonbandgerät kann uns das Erlernen von Fremdsprachen erleichtern. Wir überprüfen mit ihm die richtige Aussprache der Wörter und steigern allmählich unsere Geläufigkeit darin. Bandaufnahmen von Rundfunksendungen in einer Fremdsprache, die wir uns öfter nacheinander anhören, trainieren unsere Fertigkeit im Verstehen.

Das Tonbandgerät kann uns auch helfen, unsere Muttersprache besser zu beherrschen. Wir üben und kontrollieren mit ihm unsere Gewandtheit

im freien Sprechen. Haben wir ein Referat zu halten, so sprechen wir es zu Hause erst einmal auf Band, auch dann, wenn wir schriftliche Aufzeichnungen benutzen. Denn vom Blatt gelesen, wirkt ein Vortrag häufig viel zu monoton, als daß die Zuhörer aufmerksam bei der Sache bleiben könnten. Vergewissern wir uns also durch Abhören des gesprochenen Referats erst einmal, wie es wirkt.

Laufen eine interessante Rundfunk- und eine Fernsehsendung zur selben Zeit, so nehmen wir die erstere während des Fernsehens stumm auf. Wir können sie uns dann später anhören. Bandaufnahmen des Fernsehens sind nur bei manchen moderneren Fernsehempfängern möglich, die eine Tonbandanschluß-Buchse haben. Behelfsmäßig kann man den Ton einer Fernsehsendung über das Mikrofon aufnehmen. Es darf dabei nicht zu dicht am Fernseher stehen, weil sonst häufig ein störendes Brummen mit aufgezeichnet wird.

Eine besprochene Tonband-Kassette läßt sich anstelle eines Briefes versenden. Wir bitten den Empfänger, uns diese oder eine andere Kassette als „Tonbandbrief“ wieder zurückzuschicken. Dabei ist jedoch zu beachten, daß der Versand von Tonbändern und Tonband-Kassetten nur innerhalb der DDR zulässig ist. Lassen wir es mit diesen wenigen Beispielen bewenden. Wer Phantasie und Einfallsreichtum besitzt, wird sicher noch weitere sinnvolle Anwendungsmöglichkeiten seines Tonbandgeräts finden.

Wie behandelt man Schallplatten und Tonbänder?

Fast immer haften Stäubchen auf der schwarzen Scheibe. Eine Platte in diesem Zustand abzuspielen schadet der Rille und dem Abtaster. Wir wischen daher erst den Staub ab. Ein gewöhnliches Staubtuch kann die Platte jedoch elektrisch aufladen, wodurch sie noch mehr Staubteilchen anziehen würde. Wir benutzen deshalb ein spezielles, in Schallplatten-Verkaufsstellen erhältliches Tuch, das mit einer Substanz präpariert ist, welche die elektrostatische Aufladung verhindert oder, falls schon vorhanden, beseitigt. Deshalb heißt es Antistatiktuch. Die wirksame Substanz verflüchtigt sich mit der Zeit, besonders schnell, wenn das Tuch offen an der Luft liegt. Wir falten es also stets wieder zusammen und verpacken es in dem dazugehörigen Foliebeutel. Durch Waschen verliert es ebenfalls seine antistatische Wirkung.

Nach dem Abspielen legen wir die Platte sofort in die Schutzhülle und -tasche zurück. Dabei soll die Öffnung der Schutzhülle nicht in die glei-

che Richtung zeigen wie die der Schutztasche, sondern nach oben oder in die entgegengesetzte Richtung der Schutztaschen-Öffnung. Andernfalls könnte die Platte aus der Hülle und der Tasche fallen. Wir fassen die Platte immer nur am Rand an, keinesfalls auf der mit Rillen versehenen Fläche. Denn Schweiß und andere Ausscheidungen der Haut, die mit dem Fingerabdruck auf die Platte gelangen, können nach längerer Einwirkung die feinen Rillen angreifen.

Schallplatten sind entweder in waagerechter oder senkrechter, niemals in schräger Lage aufzubewahren, weil sie sich dabei allmählich verbiegen würden. Stellen wir sie wie Bücher ins Regal oder Schrankfach, müssen wir das Fach durch Bücher oder andere Gegenstände so vollständig füllen, daß die Platten gestützt werden und genau senkrecht stehen. Sie können aber auch in Stapeln bis zu etwa 15 Stück waagerecht übereinanderliegen. Doch dürfen dann keine größeren über kleinere Platten gelegt werden, sondern zuunterst müssen alle großen, darüber alle kleineren liegen.

Auch Tonbänder sind sorgfältig gegen Staub zu schützen, gleichgültig ob Spulen oder Kassetten. Wir legen sie ebenfalls sofort wieder in den Karton oder Plastbehälter zurück und lassen sie auch in dieser Verpackung nicht herumliegen, sondern bewahren sie in einem Regal oder Schrankfach, Schubkasten oder dergleichen auf. Bei Tonbändern kommt hinzu, daß sie nicht in die unmittelbare Nähe von Gegenständen gebracht oder dort aufbewahrt werden dürfen, von denen ein Magnetfeld ausgeht. Dazu zählen Elektromotoren und Haushaltgeräte, die solche Motoren enthalten, Vorschaltgeräte (auch Drosselspulen genannt) für Leuchtstofflampen, Fernsehempfänger, Spannungsregler (Regeltransformatoren) sowie Netztrafos von Rundfunkgeräten. Ferner sollten wir Tonbänder nicht in der untersten Etage eines Schrankes oder Regals aufbewahren. Beim Hausputz könnte ihnen der Motor des Bodenreinigungsgeräts zu nahe kommen. Erinnern wir uns daran, daß Magnetfelder die auf dem Band vorhandene Magnetspur ummagnetisieren und so die Aufzeichnung schwächen oder mit einem störenden Rauschen unterlegen können!

Schädlich für Schallplatten und Tonbänder sind auch hohe Temperaturen über etwa 35 °C. Ein Schrank, auf den längere Zeit die Sonne scheint, ist deshalb kein günstiger Aufbewahrungsort. Aus dem gleichen Grunde dürfen unsere Schallkonserven nicht in unmittelbarer Nähe von Ofen oder Zentralheizung liegen. Hohe sowie auch extrem niedrige Luftfeuchtigkeit ist ebenfalls zu meiden. Tonbänder gehören daher weder in den Keller noch auf den Dachboden.

Die Abtastnadel des Plattenspielers greift an der Platte haftende Fusselchen auf wie eine Harke. Deshalb sollte auch die Nadel nach jedem Abspiel mit einem sehr weichen Pinselchen, zum Beispiel einem Tusch-

pinsel, gereinigt werden. Seltener nötig, aber mühsamer ist die Reinigung der Magnetköpfe. Wenn sich durch den Abrieb von Teilchen der magnetisierbaren Schicht eine Verunreinigung von nur einem Tausendstelmillimeter Dicke bildet, wird die Lautstärke einer Aufzeichnung von 10 000 Hz bereits auf ein Drittel herabgesetzt, weil die Schicht dem Kopfspalt nicht mehr dicht genug anliegt. Deshalb sollte nach jeweils 40 bis 50, spätestens aber nach 100 Betriebsstunden die glatte Fläche der Magnetköpfe, der sogenannte Kopfspiegel, besonders des Kombikopfes gereinigt werden. In dieser Zeit sind immerhin 17 km Band durch den Kassettenrecorder gelaufen.

Wir benutzen zur Reinigung des Kopfspiegels ein Lappchen aus nicht fusselem Stoff, der mit etwas Brennspritus befeuchtet ist. Stärkere Verschmutzungen lassen sich besser mit einem befeuchteten Ohrtupfer lösen. Lappen oder Tupfer dürfen nicht naß, sondern nur feucht sein. Abschließend ist – eventuell mit der Lupe – zu überprüfen, daß keine Fussel am Kopfspiegel hängengeblieben sind. Auf die gleiche Weise reinigen wir auch andere Teile des Geräts, die mit dem Tonband in Berührung kommen, von den anhaftenden bräunlichen Ablagerungen. Um bei Kassetten-Geräten besser an die Köpfe heranzukommen, entnehmen wir die Batterien beziehungsweise ziehen den Netzstecker heraus und drücken dann die Wiedergabetaste. Dabei rücken die Köpfe vor, so daß sie besser zugänglich sind.

Einen Schraubendreher oder andere metallische Gegenstände dürfen wir nicht anstelle des Ohrtupfers benutzen. Sie könnten feine Schrammen erzeugen und außerdem den Kopf magnetisieren.

Verbrauchte Batterien sind rechtzeitig aus dem Gerät zu entfernen, weil aus ihnen besonders leicht Elektrolyt ausläuft. Werden einfache Batterien mit Pappumhüllung benutzt, dann empfiehlt sich eine häufige Kontrolle. Auslaufenden Elektrolyt erkennt man am Fleckigwerden der Pappe. Erschöpfung der Batterien macht sich durch mehr oder weniger verzerrten Klang bemerkbar. Auch Batterien mit Metallumhüllung („Leak proof“) sind nicht absolut auslaufsicher. Wird das Gerät überwiegend mit Netzstrom betrieben, dann bleibt es häufig unbemerkt, daß die Batterien verbraucht sind und auslaufen. Besser ist es deshalb, sie nur bei Bedarf in den Recorder einzusetzen. Im übrigen ist Batteriestrom größenordnungsmäßig tausendmal teurer als die gleiche Menge Elektroenergie aus dem Netz!

Bei Bandsalat sind Ruhe und Geduld oberstes Gebot! Nicht gewaltsam versuchen, die Bandschlingen aus dem Gerät zu ziehen! Die betreffende Kassette ist in der Regel unbrauchbar geworden. Denn mit großer Wahrscheinlichkeit wird sie an den zerknitterten Stellen des Bandes immer wie-

der zu Bandsalat führen. Wenn überhaupt, dann sollten solche Kassetten nur noch unter ständiger Hörkontrolle abgespielt und das Band sofort gestoppt werden, sobald der Ton zu jaulen beginnt. Mußte das Band zerschnitten werden, um es aus dem Gerät zu entfernen, dann ist ein Wiederausammenkleben auch der unzerknitterten Bandteile stets problematisch. Solche Kassetten sind ebenfalls nicht mehr betriebssicher. Zum Zusammenkleben von Magnetband dürfen nicht irgendwelche Klebebänder benutzt werden, sondern nur das speziell dafür vorgesehene Hinterklebeband. Es ist ausschließlich für Spulenband bestimmt. Will man es dennoch für Kassettenband verwenden, so muß es schmaler geschnitten werden.

Wie die Filme sprechen lernten

Der Vollständigkeit halber müssen wir abschließend noch ein drittes Verfahren der Schallsignalspeicherung wenigstens in groben Umrissen kennenlernen: den Lichtton. Er findet in der Kinotechnik Anwendung. Dabei werden die Schallschwingungen zunächst ebenfalls in elektrische Schwingungen umgewandelt. Dann erfolgt eine weitere Verwandlung dieser Schwingungen in Lichtsignale. Sie werden auf einem schnell durchlaufenden Film hintereinander fotografiert, gefilmt. Doch bevor es zu dieser Technik kam, versuchte man zunächst, die seit 1895 über die Leinwände flimmernden Stummfilme durch Abspielen von Schallwalzen und Schallplatten musikalisch zu untermalen.

Der Berliner Kinotechniker Oskar Meßter ging noch einen Schritt weiter. Er spielte nicht einfach Musikplatten ab, sondern ließ Schallplatten mit Dialogen der Filmhandlung anfertigen. Am 29. August 1903 führte er in einem Berliner Lichtspieltheater erstmals seine damals sensationelle Technik des „Biophons“ vor. Allerdings gab es dabei Probleme. Da die Lautstärke der Trichter-Plattenspieler für die Beschallung eines größeren Raums nicht ausreichte, mußten auf fünf Apparaten mit Riesentrichtern fünf Platten gleichzeitig abgespielt werden. Damit alle Plattenteller genau synchron rotierten, verwendete Meßter elektrische Laufwerke, deren Gleichlauf zu regeln war.

Der Ton zum Bild konnte nicht gleichzeitig mit dem Drehen der Filmhandlung aufgenommen werden, da die Schauspieler und Sänger bei der damaligen Schallplatten-Studioteknik noch in große Trichter sprechen oder singen mußten. Diese wären auf dem Bild zu sehen gewesen. Daher mußte man erst den Stummfilm drehen und nachträglich den Ton dazu aufnehmen. Besonders beliebt wurden Verfilmungen von Opernszenen,

von denen es bereits Schallplatten gab. Dabei kehrte Meßter das Verfahren um. Zu den vorhandenen Platten ließ er die Schauspieler in passenden Kostümen nachträglich die Bewegungen mimen. Während der Filmoperateur an seinem Kurbelkasten drehte, hatten sie also so zu tun, als würden sie singen.

Lange konnte sich diese Technik jedoch nicht behaupten. Denn für ein Problem, das sich mit zunehmender Anzahl der Vorführungen einstellte, gab es schwerlich eine Lösung. Der Film riß nämlich gelegentlich und mußte wieder zusammengeklebt werden. Dabei ging jedesmal ein kleines Stück verloren. So wurde der Film allmählich kürzer, während die dazugehörige Tonaufzeichnung die gleiche Länge behielt. Das Bild begann, dem Ton davonzulaufen. Das belustigte die Leute und vereitelte die künstlerische Wirkung. Nach zehn Jahren überlebte sich diese Art von „Tonfilmen“ – zur Freude der zahlreichen Kinomusiker, die sich mit Klavier und Geige ihr kärgliches Brot verdienten, indem sie die Stummfilme mit passenden Melodien untermalten. Anfänglich gab es im Kino auch einen „Erklärer“, der mit Zeigestock und geschwollenen Worten den Zuschauern die Handlung erläuterte.

Während Meßters Biophone recht und schlecht liefen, war schon ein anderes Prinzip erfunden, das einen entscheidenden Vorteil hatte: Bild und Ton ließen sich auf demselben Filmstreifen aufzeichnen. Nun konnte es keinen „Wettlauf“ zwischen beiden mehr geben. Der deutsche Physiker Ernst Ruhmer bekam 1904 ein Patent auf das Verfahren, in die Schicht des Films einen Metallstreifen mit einzubetten und darauf nach Volde-mar Poulsens Erfindung den Ton magnetisch aufzuzeichnen. Die praktische Anwendung scheiterte allerdings daran, daß es noch keinen Verstärker gab und der Ton deshalb viel zu leise war.

Ruhmer fand noch einen ganz anderen Weg der Schallspeicherung. 1898 entdeckte der Erlanger Professor H. Th. Simon, daß man einer elektrischen Bogenlampe das „Sprechen“ beibringen kann. Werden nämlich dem Gleichstrom, der den Lichtbogen erzeugt, die elektrischen Schwingungen eines Telefon-Mikrofons überlagert, die ja Wechselströme darstellen, so sendet die Lampe Schallwellen aus. Außerdem „flackert“ ihr Licht, es wird also in schnellem Wechsel etwas heller und dunkler. Ruhmer zeichnete diese Lichtschwankungen mit einer optischen Vorrichtung auf einen vorüberlaufenden Film auf und erhielt nach der Entwicklung des Films geschwärzte Querstreifen, deren Beschaffenheit im Rhythmus der Lichtschwankungen wechselten.

In Ruhmers „Photographon“ lief der entwickelte Filmstreifen an einer Bogenlampe vorbei, die gleichbleibend helles Licht aussandte. Die geschwärzten Querstreifen schwächten das durchtretende Licht. Danach

wirkte es auf eine Selenzelle ein. Der elektrische Widerstand von Selen verringerte sich um so mehr, je heller das einwirkende Licht war. Schaltete man die Selenzelle in einen Stromkreis, so wurde der Stromfluß im Rhythmus der Lichtschwankungen verändert. Damit waren Schallschwingungen in Lichtschwankungen verwandelt. Diese wurden auf Film aufgezeichnet. Lief der Film vor einer Lampe vorüber, so erzeugte er erneut Schwankungen des hindurchgelassenen Lichts. Diese Lichtschwankungen ließen sich nun wieder in elektrische Schwingungen zurückverwandeln. Wurden diese über einen Telefonhörer in Schallschwingungen umgewandelt, so war der Kreis geschlossen. Abgesehen davon, daß die erzielte Klangqualität noch keineswegs gut war, scheiterte die praktische Anwendung auch dieses Verfahrens am Fehlen einer Verstärkungsmöglichkeit.

Als drei deutsche Ingenieure – Hans Vogt, Joseph Masolle und Joseph Engl – 1918 das Problem aufgriffen, war inzwischen die Verstärkerröhre erfunden worden. Nach vier Jahren Arbeit veranstalteten sie am 17. September 1922 in den Berliner Alhambra-Lichtspielen die erste öffentliche Tonfilm-Matinee. Anstelle der Bogenlampe benutzten sie eine Glühlampe. Diese wandelte die vom Mikrofon abgegebenen und verstärkten elektrischen Schwingungen „trägheitsloser“ in Lichtschwankungen um, reagierte also schneller auf die in winzigen Bruchteilen einer Sekunde folgenden Änderungen der Spannung. Und die Selenzelle hatten die drei Erfinder durch die ebenfalls trägheitsloser arbeitende Fotozelle ersetzt, welche die Lichtschwankungen wieder in elektrische Schwingungen zurückverwandelte.

Das neue Verfahren fand jedoch bei den damaligen deutschen Filmgesellschaften vorerst kein Interesse. Die Patente wurden schließlich für wenig Geld über die Schweiz in die USA verkauft. Dort erlebte Meßters Prinzip inzwischen eine Wiederkehr, nun verbessert durch die Möglichkeiten der Elektroakustik.

Die Klangqualität dieses „Nadeltons“, wie man ihn nannte, übertraf den anfangs technisch noch nicht ausgereiften Lichtton. Das spornte an, den Lichtton weiter zu verbessern, bis er schließlich den Nadelton völlig verdrängte.

Heute wird beim Drehen eines Films der Ton zwar zunächst auf Magnetband, genauer: auf einen breiten Magnetfilm, aufgenommen. Die Filmkopien, die in den Kinos durch den Projektor laufen, enthalten aber zumeist wieder eine Lichttonspur. Sie wird nach der Magnettonaufzeichnung erzeugt und läßt sich einfacher auf die zahlreichen Vorführstreifen kopieren. In geringerem Umfang gibt es allerdings auch Vorführkopien mit einer Magnetton„piste“. Beide Verfahren werden also nebeneinander

angewendet. Manche Filme haben zwei Lichttonspuren, also einen Zweikanal-Stereoton.

Von der Lichttonspur wird sogar eine größere Dauerhaftigkeit erwartet als von der magnetischen Aufzeichnung. Tondokumente von besonderem historischem Wert werden deshalb als Lichttonspur aufgezeichnet und in Archiven sorgfältig aufbewahrt.

Inhaltsverzeichnis

Als Stühle Musik machten	5
Was ist Schall?	16
Warum niemand seine eigene Stimme kennt	22
Allzu laut ist ungesund	27
Musik – physikalisch betrachtet	35
Wie der Walzer auf die Walze kam	40
Wettlauf zwischen Walze und Platte	49
Vom Trichter-Grammophon zum HiFi-Plattenspieler	53
Stereofonie – Quadrofonie – Kunstkopf-Stereofonie	63
Musik aus „Morsezeichen“	70
Wie wird Musik auf Platten gepreßt?	74
Der tönende Stahldraht	83
Wie funktioniert ein Tonbandgerät?	86
Mikrofon-Aufnahmen und wozu man den Recorder sonst noch verwenden kann	96
Wie behandelt man Schallplatten und Tonbänder?	99
Wie die Filme sprechen lernten	102



1. Auflage 1983

© DER KINDERBUCHVERLAG BERLIN – DDR 1983

Lizenz-Nr. 304-270/112/83-(30)

Lichtsatz: INTERDRUCK Graphischer Großbetrieb Leipzig – III/18/97

Druck und buchbinderische Verarbeitung: LVZ-Druckerei „Hermann Duncker“, Leipzig

LSV 7820

Für Leser von 12 Jahren an

Bestell-Nr. 631 347 5

DDR ' M







Wie Plattenspieler und Tonbandgeräte funktionieren und wie es möglich ist, Musik auf hauchdünne Bänder und schwarze Scheiben zu bannen, schildert dieses Buch. Es gibt Tips für vielseitige Anwendungen und für die Pflege des Kassettenrecorders, behandelt die Wissenschaft vom Schall, erläutert, was Stereophonie und Kunstkopf-Stereophonie ist, erzählt die Geschichte der Musikautomaten vom Glockenspiel bis zum elektrischen Klavier und berichtet, wie zum bewegten Kinobild der Ton kam.

