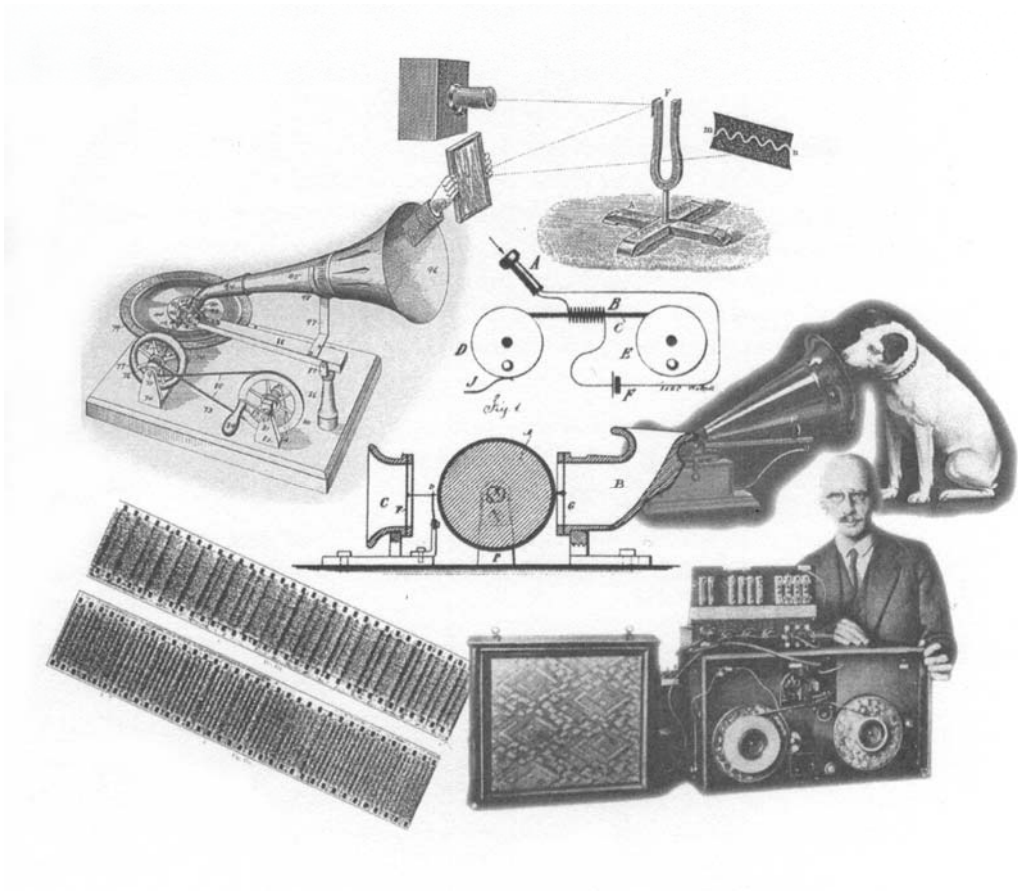


# DRA

## Historie der Schallaufzeichnung



**Hans Schubert**

**Frankfurt am Main**

**1983 / 2002**

**© Deutsches Rundfunkarchiv**

## Inhalt

<b>Wie alles begann.....</b>	<b>3</b>
<b>Nadelton .....</b>	<b>5</b>
Mit Nadel und Membran.....	5
Edisons Walzenstory .....	6
Unschlagbare Konkurrenz: Die Schallplatte .....	9
Die elektrische Revolution .....	11
Zwei Ohren hören mehr .....	15
<b>Magnetton.....</b>	<b>17</b>
Elektrisierende Grundlagen .....	17
Ein Däne auf Draht .....	18
Am laufenden Band .....	20
<b>Lichtton.....</b>	<b>24</b>
Klangbild auf Zelluloid.....	24
Von Sprossen und Zacken.....	26
<b>Digitalaufzeichnung.....</b>	<b>28</b>
Geschichten aus „Null“ und „Einer“ Nacht .....	28
<b>Grenzbereich: Mechanische Musikinstrumente .....</b>	<b>32</b>
Faszination des Unsichtbaren.....	32
<b>Literatur .....</b>	<b>34</b>

Alle großen Erfindungen, alle großen Werke  
sind das Resultat einer Befreiung von den  
Routinen des Denkens und Tuns.  
(Arthur Koestler)

Phantasie ist wichtiger als Wissen.  
(Albert Einstein)

## Wie alles begann

Das gesprochene Wort, der Gesang, Klänge, Geräusche – Schall, ein Medium, das nur im Augenblick des Entstehens erlebbar wird, mit den angeborenen Fähigkeiten der Menschen nicht mehr rückholbar, dem Schall, so scheint es, wohnen mystische Eigenschaften bei. Nur über den Weg der Erinnerung an Schallereignisse sind wir in der Lage, Gesagtes in die Form eines gedanklichen Echos zu bringen. Weiterreichen läßt sich dieser Zustand allerdings nicht. Kein Wunder also, daß Menschen schon vor langer Zeit dem Phänomen Schall und dessen Konservierung nachgingen. Das Problem tauchte in den geschichtlichen Fernen der Vergangenheit immer wieder auf.

Ein Hinweis aus den Jahren um 1000 v. Chr. spricht von einem chinesischen Tausendmeilensprecher, einer sonderbar gebauten Dose, die eine geheime Nachricht an den Kaiser enthielt. Manche Quellen nennen statt der Dose eine kupferne Rolle.

Da behauptete der griechische Philosoph **Anaxagoras** von Klazomenae (500 – 428 c. Chr.) von den ägyptischen **Memnonsäulen** (490 v. Chr.): „Die eine singt mit künstlicher Stimme, während die andere zuhört.“

1000 n. Chr. soll **Papst Sylvester II.** (gest. 1003) einer Überlieferung zufolge, sogar eine sprechende Figur gebaut haben.

Die Berichte sind vielfältig. So treten z.B. sprechende Köpfe, Zwerge, tönernen Schwämme oder Bleiröhren auf, die der naturkundige Italiener **Giambattista della Porta** (1535 – 1615) in seinem Werk „Magia Naturalis“ (1589) beschrieb. In diesen Röhren konnten gesprochene Worte eingefangen und beliebig lag aufbewahrt werden, bis, nach Öffnen des Deckels, sie wieder erschallen.

Phantastische Geschichten ranken sich um dieses Thema. **Francois Rabelais** (1494 – 1553) erwähnte wohl als erster gefrorene Töne, die in der Wärme wieder auftauen und hörbar werden. Ähnliches findet sich auch in den von **Gottfried August Bürger** (1747 – 1794) herausgegebenen Lügengeschichten von den „Wunderbaren Reisen des Freiherrn von Münchhausen“ (1786), wo gefrorener Schall in einem Posthorn erst hinter dem warmen Ofen wieder schmilzt und ertönt.

In diesem Zusammenhang muß auch **Savinien de Cyrano de Bergerac** (1619 – 1655) erwähnt werden, der in phantastischer Weise dem Nadeltonverfahren vorgriff. Cyrano erzählt von zwei Büchern, die komplizierte Uhrwerke enthielten. Eine Nadel (!), auf eines der Kapitel gesetzt, ließ den Inhalt, wie von Menschenstimme gesprochen, erklingen.

Jedenfalls, man grübelte lange und ausführlich darüber nach, gesprochene Worte aufzuheben, zu konservieren. Eine Maschine war zu erfinden, die die Flüchtigkeit des Gesprochenen festhielt. Festhalten hieß auch, Schwingungen greifbar, begreifbar zu machen, fühlbar also für einen besonderen Empfänger, eine Wiedergabeapparatur. Was früher teils in mystischer Umgebung an Ideen gedieh, auf Jahrmärkten des Mittelalters waren „sprechende Maschinen“ wohl immer eine Sensation, wurde allmählich auf eine wissenschaftliche Grundlage gestellt. Zahlreiche Erfinder und Naturwissenschaftler

bahnten einer Entwicklung den Weg, dessen Ergebnisse heute nicht mehr weg zu denken sind.

Es soll versucht werden, die Geschichte der Schallspeicherung in groben Zügen nachzuzeichnen. Der Begriff „Schallspeicherung“ wird in den folgenden Kapiteln zu klären sein, wenngleich es Übergänge zu Grenzbereichen gibt.

## Nadelton

### Mit Nadel und Membran

Der „Sprechmaschine“ war man schon mit vielfältigen Konstruktionen zu Leibe gerückt. Im Grunde hatte man versucht, die menschliche Stimme durch orgelähnliche Pfeifen oder andere Geräuschinstrumente zu imitieren, ja man bevorzugte für das Design der Maschine gerne Nachbildungen der menschlichen Gestalt, insbesondere den Kopf als „Lautsprecher“. Veränderbare Resonanzräume jener Instrumente sorgten schließlich für die nötige naturnahe Modulation der erzeugten Laute.

Heute übernehmen sogenannte Vocoder diese Aufgaben. Es sind komplizierte elektronische Geräte, mit deren Hilfe die verschiedensten Phoneme erzeugt werden können. Die hohltönenden „Wunderwerke“ vergangener Epochen erleben hierin ihre Renaissance.

Doch diese Entwicklungslinie ließ sich damals nicht weiter fortsetzen. Den ersten Schritt in eine andere Richtung tat **Thomas Young** (1773 – 1829), ein englischer Physiker und Arzt, in seiner 1807 erschienenen Schrift „A course of lectures on natural philosophy and mechanical arts“. Darin verwies er auf einen selbstgebauten Apparat, der die Schwingungen einer Stimmgabel mittels Schreibstift auf Papier aufzeichnete. 1809 konnte er dann seinen **Kymograph** (Wellenschreiber) präsentieren.

Ähnliche Vorrichtungen benutzten der Göttinger Physikprofessor **Wilhelm Eduard Weber** (1804 – 1891) und der Franzose **Jean Marie Constant Duhamel** (1792 – 1872). Webers Stimmgabelschreiber ritzte feinste Wellenlinien in eine berußte Glasplatte, die sich unter der Schreibnadel bewegte. Duhamels 1846 vorgestellter **Vibrograph** übertrug die Schwingungen der Stimmgabel mit einem Schreibstift auf berußtes Papier, das um einen Zylinder gelegt war.

Den Höhepunkt dieser lediglich aufzeichnenden Maschinen, die akustische Wiedergabe war zu diesem Zeitpunkt noch nicht möglich, erreichte wohl der in Paris lebende Engländer **Edouard Léon Scott de Martinville** (1817 – 1879) mit seinem 1855 konstruierten **Phon-Autograph** (1857 in Frankreich zum Patent angemeldet). Die Übertragung der Schwingung eines Körpers erfolgte nun nicht mehr direkt, d.h. durch unmittelbaren mechanischen Kontakt, sondern indirekt über das Medium Luft. Aufbauend auf den Ideen Wertheims, der Schallschwingungen auf eine gerußte Pappscheibe schrieb und damit vermutlich als erster die Aufzeichnung per „Platte“ erwägte und Lissajous, der Untersuchungen an schwingenden Membranen vornahm, experimentierte Scott mit einer Membran als Schallwandler, die einen Trichter am verjüngten Ende abschloß. Zum Komfort der Anordnung gehörte eine kleines bewegliches Stäbchen, mit dem man durch Verschieben Schwingungsminima und –maxima suchen konnte und das so eingerichtet wurde, daß die an der Membran befestigte „Schreibnadel“ (in diesem Fall eine Schweinsborste!) im Minimabereich lag. Die Platzierung der Schreibnadel in den Minimabereich der Membran erbrachte die maximale Seitenschriftamplitude, hingegen konnte die Tiefenschriftkomponente durch ein Verschieben der Nadel zum Maximabereich verstärkt werden. Bettini, der später Verbesserungen an Phonographen Edisons vornahm, nutzte ebenfalls diese Tatsache und baute Membranen mit spinnenförmigen Nadelbefestigungen. Scott hatte mit seinem Phon-Autographen im Prinzip die Aufzeichnung der menschlichen Stimme gelöst (in Seitenschrift). Er erregte damit ein solches Aufsehen, daß sich Queen Victoria mit großem Interesse dieses Gerät vorführen ließ. Bedeutende Wissenschaftler wie die Physiologen **Franziskus Cornelius Donders** (1818 – 1889) und **Alexander Graham Bell** (1847 – 1922) experimentierten mit dem Phon-Autographen. War diese Konstruktion vorzüglich zu schallanalytischen Studien geeignet, so konnten doch nicht die aufgebrachten Schwingungslinien hörbar gemacht werden.

Die Rekonstruktion der Schallaufzeichnung erfand etwa 20 Jahre später der französische Schriftsteller **Charles Cros** (1842 – 1888). Seine Maschine, das **Paléophone**, existierte aber leider nur auf dem Papier. Am 30. April 1877 übergab er seine Vorschläge

der Pariser „Academie des Sciences“ in einem verschlossenen Umschlag, der leider in Vergessenheit geriet und dessen Inhalt erst im Oktober des Jahres 1877 durch einen populärwissenschaftlichen Zeitungsartikel wieder zum Vorschein kam. Am 3. Dezember 1877, nach Öffnung und Verlesung von Cros' Darstellungen, hielt man eine präzise Beschreibung eines Schallaufnahme- und Schallwiedergabeverfahrens in der Hand, das mittels schwingender Membran und Schreibnadel auf einer berußten Scheibe arbeitete. Durch photochemische Prozesse sollte die Seitenschriftinformation auf eine Metallscheibe „umkopiert“ und eingeeätzt werden. Es ist anzunehmen, daß Charles Cros bereits eine präzise Vorstellung von seinem Tonträger „Schallplatte“ hatte.

## Edisons Walzenstory

Erfinderpech war es wohl, denn Cros konnte seine Ideen nicht mehr verwirklichen, ließ doch nur drei Tage später ein gewisser **Thomas Alva Edison** (1847 – 1931) in Amerika seinen **Phonograph** die ersten Worte sprechen: „Mary had a little lamb ...“. Am 6. Dezember 1877 war das „Wunder von Menlo-Park“ in Edisons einfachem Experimentallabor in New Jersey ein Ereignis, das die stürmische Entwicklung der Audiotechnik einläutete und die, so wollen es die Fachleute wissen, noch längst nicht zuende ist. Edison hatte bis zu diesem denkwürdigen Tag schon viele vorbereitende Versuche angestellt und dafür auch Patente erhalten, so am 3. Februar 1877 auf den „telegraph recorder and repeater“, der Morsezeichen mit einer durch einen Elektromagneten erregten Nadel auf eine paraffinierte Pappscheibe schrieb. Die Wiedergabe erfolgte mit einer zweiten Nadel, die einen feinen elektrischen Kontakt öffnete oder schloß.

In seinem britischen Patent Nr. 1644, eingereicht am 24. April 1877, sind neben Walzen- auch Schallplattengeräte dargestellt. So hat Edison, weit entfernt von Charles Cros, zur gleichen Zeit an plattenförmige Tonträger gedacht und somit haben beide die „Erfindung“ der Schallplatte vorweggenommen.

Am 18. Juli 1877 trug Edison in sein Tagebuch ein: „Habe soeben ein Experiment mit einer Membran durchgeführt, ein herausstehender Punkt drückt rasch gegen vorbeigeführtes paraffinetränktes Papier. Die Sprachschwingungen sind eingraviert, kein Zweifel, daß es möglich ist, sie zu speichern und jederzeit davon die menschliche Stimme automatisch zu reproduzieren.“

Knapp einen Monat später, am 12. August 1877, enthalten seine Notizen erstmalig das Wort „Phonograph“. Als Edison am 29. November desselben Jahres seinem Mechaniker John Kruesi einen Zettel übergibt, darauf eine rasch gezeichnete Handskizze seines Phonographen, hatte selbst er kein allzu großes Vertrauen, ob die Sache auch funktionieren wird. Doch der 6. Dezember 1877 brachte den Erfolg: die **Zinnfolie**, um die Aufzeichnungstrommel gelegt, hatte die Sprachenergie über Membran und Nadel erhalten und trug nun die reproduzierbare Berg- und Talschrift (Tiefenschrift). Kurze Zeit später verwandte er für Aufnahme und Wiedergabe ein und dieselbe Membrandose, lediglich die Schalltrichter wurden ausgewechselt. Es folgte bald eine Schwungmasse, die dem Antrieb von Hand einen besseren Gleichlauf garantieren sollte.

Edison genoß den Ruhm, den man ihm entgegenbrachte. Tausende von Neugierigen pilgerten zu seiner Forschungsstätte nach Menlo-Park. Auf die Frage nach seinem Wirken soll er gelegentlich geantwortet haben: „Genie ist 1 Prozent Inspiration und 99 Prozent Transpiration.“

Schon bald wandte sich Edison der Entwicklung der Glühlampe zu, eine Aufgabe, die sich später gut bezahlt machte, brauchte er doch nötig Geld für sein Labor. Der intelligente Tüftler und Erfinder Edison sprühte von Ideen. Elektromotore, Generatoren, die erwähnte Glühlampe mit dem noch heute üblichen Einschraubgewinde (E 27 – Edisongewinde!), Fotoapparate, Filmkameras – in dieser Aufzählung nur Teile eines rastlosen Schaffens, stehen beispielhaft für Edisons Erfinderleben.

Zwischenzeitlich griffen **Alexander Graham Bell** (1847 – 1922) sowie sein Vetter **Chichester A. Bell** und **Charles Sumner Tainter** (1854 – 1940) Edisons Ideen wieder auf und entwickelten schließlich den wachsbeschichteten **Pappzylinder** anstelle Edisons Zinnfolie. Diese Papprollen mit ca. 3 mm Wandstärke und einer Wachsauflage von 1,25 – 1,5 mm Dicke trugen Rillen mit einem durchschnittlichen „Tiefgang“ von 0,03

mm und weniger als 0,1 mm Breite. Dabei wurden die Schallschwingungen nicht mehr eingedrückt, sondern mit einem scharfen Stichel eingeschnitten. Das brachte eine wesentlich exaktere und differenziertere Aufzeichnung. Ebenso wurden für Aufnahme und Wiedergabe verschiedene Geräte verwendet. Hatte die stark gespannte Aufnahmemembran den Schneidstichel zu bewegen, so trug die verhältnismäßig weiche Membran für die Wiedergabe eine abgerundete Nadel mit einer Spitzenverrundung von 0,4 mm (!) Rundungsradius. Bell und Tainter, die 1881 ihr erstes Phonograph-Graphophon vorstellten, brachten ihr Gerät schließlich bei einem Walzendurchmesser von 3 cm (Länge 12,5 cm) auf etwa 4 Minuten Spieldauer, einer für damalige Verhältnisse einmaligen Leistung.

Der Saphir mit elastischer Aufhängung als Tonabnehmer sowie Fuß- oder Motorantrieb, das waren Prämissen weiterer Entwicklungen. Und diese ließen nicht lange auf sich warten, wie der Patentschrift vom 27. Juni 1885 zu entnehmen ist. Gegenstand des Papiers war ein Plattenschreiber und –spieler, Aufnahme- und Wiedergabemedium eine 2,5 mm starke Pappscheibe, überzogen mit einer ca. 1,25 mm dicken Wachsschicht.

Besonders beachtenswert ist die Tatsache, daß mit dieser Konstruktion von innen nach außen geschnitten und abgetastet wurde, und zwar mit konstanter Geschwindigkeit in der Plattenscheibe. Hierzu war ein Mechanismus nötig, der die Umdrehungsgeschwindigkeit kontinuierlich änderte.

Inzwischen hatte Edison, angeregt durch die trickreichen Entwicklungen und die geschäftliche Konkurrenz der beiden Erfinder Bell und Tainter, erneut die Arbeit an der Verbesserung seines Phonographen aufgenommen. In der berühmt gewordenen 72-Stunden-Schicht, die am 17. Juni 1888 morgens um 5 Uhr endete, entstand Edisons „**Improved Phonograph**“, ein Modell, das die Grundvorlage für seine weiteren Walzengeräte bis zum Ende der 20er Jahre des folgenden Jahrhunderts blieb. Ein Abrücken von der Zinnfolie war unumgänglich geworden, wollte er nicht hinter der Konkurrenz zurückstehen. Ab sofort wurden die Tonrillen in Wachswalzen geschnitten (Länge der Walze: 10 cm; Durchmesser: 5 cm; Rillendichte: 40 Rillen / cm), die aufgrund ihrer Wandstärke mehrmals abgedreht und neu verwendet werden konnten. Die Membranen für Aufnahme und Wiedergabe erhielten, angelehnt an die Bell – Tainterschen Aufhängungen, bewegliche Montierungen. Ein eigens konstruierter Elektromotor mit Zentrifugalregulator brachte die Walze auf etwa 120 Umdrehungen in der Minute.

Der „Improved Phonograph“, eine Meisterleistung an mechanischer Präzision, war bald als der neue Star auf Ausstellungen zu bewundern und berühmte Persönlichkeiten kamen zu Edison, um ihre Stimme aufnehmen zu lassen. Auf der Weltausstellung 1889 in Paris wurde der Phonograph und sein inzwischen populär gewordener Erfinder enthusiastisch gefeiert. Der Startschuß für eine weltweit anlaufende Phonographenindustrie war gegeben. Der ursprünglich als Diktiermaschine konzipierte Phonograph schloß bald eine äußerst gewinnbringende Marktlücke – das Abspielen von Walzen mit konservierter Musik, wo und wann immer man es wollte.

Edison selbst entwickelte daraufhin mehrere Versionen seiner Walzenmaschine. Das vollkommenste Hörerlebnis allerdings bot nur der Phonograph mit der **Konzertwalze**. Diese Walze, im Durchmesser doppelt so groß wie die Normalausführung, ergab bei gleicher Umdrehungszahl die doppelte Rillengeschwindigkeit und dies führte zu einer präziseren und durchsichtigeren Aufnahme sowie auch Wiedergabe.

Die Antriebsart seiner Maschinen reichte von der Handkurbel über den Wasser- und Federwerksmotor – wer sich Elektrizität nicht leisten konnte – bis zum geregelten Elektromotor. Den Modellen für den Hörgenuß zu Hause folgten bald regelrechte Musikautomaten, die „**Coin in the Slot**“-Phonographen. Und damit begann das große Geschäft in den Kneipen und extra dafür eingerichteten „Saloons“. Dort konnte man über Hörschläuche seinen Walzenliebhaber nach Lust und Laune bewundern und jeder von uns, der schon einmal das Vergnügen hatte, in einem Großraumflugzeug zu reisen, wird sich des Schlauchtonhörergusses erinnern.

Im Land der unbegrenzten Möglichkeiten zog bald die sprechende Puppe in die Kinderstuben ein. Edisons „**Talking Doll**“ enthielt einen bis auf wenige Teile reduzierten Phonographen, in seiner Einfachheit für Kinderhand gebaut.

Der Phonograph, in der „Neuen Welt“ wie auch in großen Teilen der „Alten Welt“ begeistert aufgenommen und verbreitet, hatte anfänglich auch schwere Stunden zu

überstehen, so während der ersten öffentlichen Vorführung in Rußland. Ein hoher Offizier erstattete entrüstet Anzeige und der Vorführer mußte sein „mechanisch sprechendes Tier“ auf der Stelle vernichten bevor er zu einer empfindlichen Geldbuße und drei Monate Gefängnis verurteilt wurde.

Die immer stärker werdende Phonographenbranche, bedingt durch einen schwunghaften Handel mit „Hardware“, verlangte aber auch Massenproduktion von bespielten, besungenen oder besprochenen Walzen, von „Software“ und damit stellte sich das Problem der Vervielfältigung. Edison befaßte sich schon früh mit diversen Techniken. Bereits 1890 waren die ersten Duplikate nach der **akustisch-mechanischen Methode** angefertigt worden, bei der die Wiedergabemembran der Mastermaschine durch Schläuche mit mehreren Aufnahmemembranen der angeschlossenen Phonographen verbunden war. Die Aufnahmegeräte wurden mit den sog. „blanks“ bestückt, Wachszyylinder ohne Rillengravur.

Auch das nächste Verfahren, die **Panthograph-Methode**, das die Berg- und Talschrift des Masterzylinders über ein feines Hebelsystem auf die Leerwalze übertrug, zeigte seine Schwäche in der begrenzten Anzahl der Überspielvorgänge. Nach circa 100 bis 150 Kopien, mit abnehmender Qualität, war der Master durch die ständige Abnutzung nicht mehr zu gebrauchen. Die weitaus höheren Auflagen konnten nur durch Herstellung von einigen hundert Masterzylindern realisiert werden. So hatte z.B. ein Orchester, das von 10 bis 20 Phonographen gleichzeitig aufgenommen wurde, ein und dasselbe Musikstück den ganzen Tag über zu spielen, um auf eine stattliche Menge von Walzen der „Nullserie“ zu kommen.

Doch dieses Problem mußte eleganter zu lösen sein. 1889 konnte das Team **Dr. F. Schulze – Berge** und **C. Wurth** unter Edisons Leitung eine Walzenkopie in Form eines Abgusses herstellen, dessen Grundlage Edison bereits am 21. Oktober 1887 in einer Voranmeldung zu einem amerikanischen Patent umrissen hatte. Das Verfahren bestand darin, die **Wachswalze** mit einem dünnen metallischen Überzug zu versehen. Sie wurde dazu in eine Vakuumkammer gebracht und rotierend mit Hilfe eines elektrischen Lichtbogens und Goldelektroden mit feinsten Goldpartikelchen bedampft. Die hohe elektrische Spannung erzeugte ein Rühmkorff-Induktor. Anschließend konnte die so behandelte Walze elektrolytisch mit einem mehrere Millimeter dicken Kupfermantel umgeben werden. In eine kompakte Messinghülse gefaßt, enthielt dieser sog. Galvano auf seiner Innenfläche die exakte Negativform des ursprünglichen Wachstonträgers. Die so gewonnene Gußvorlage wurde nun mit heißem flüssigen Wachs gefüllt und unter Ausnutzung der unterschiedlichen Ausdehnungskoeffizienten ließen sich nach dem Erkalten Hülse und Duplikatabguß wieder trennen. Doch das war der schwierigste Teil des Verfahrens und erforderte zweifellos beträchtliche Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen. So ist es nicht verwunderlich, daß die geeignete Wachmischung erst ab 1902 in Serie ging und best gehütetes Geheimnis des Herstellers war.

Das Ergebnis der Bemühungen waren die neuen „**gould moulded**“ Walzen der Firmen Edison und Columbia, die aus Hartwachs bestanden. Dieses Material zeichnete sich durch eine erheblich größere Haltbarkeit und geringe Abnutzung aus.

In diese Zeit fällt auch die Normierung der Umdrehungsgeschwindigkeit für Industriewalzen auf 160 Umdrehungen pro Minute. Zuvor lag dieser Wert zwischen 90 und 120 Umdrehungen.

Doch bis dahin behielt man die panthographische Vervielfältigungsmethode bei und es gelang auch da noch einen Schritt weiter zu kommen. Die Aufzeichnung der Originalaufnahme erfolgte nun auf einem großen Wachszyylinder von 12,5 cm Durchmesser bei einer Rillengeschwindigkeit von 100 cm pro Sekunde. Anschließend konnte dann auf das normale Walzenformat panthographiert werden.

Allerdings arbeitete Edison nicht allein auf diesem Gebiet. Andere Erfinder, darunter auch ein Amateur, verliehen der Phonographie entscheidende Impulse. Dieser Amateur war **Gianni Bettini** (1860 – 1938) ein künstlerisch begabter italienischer Kavallerieleutnant, der in New York lebte und mit vielen Künstlern der Metropolitan Opera befreundet war. Mit einem 1888 gekauften Edison-Phonographen nahm er seine berühmten Künstlerfreunde auf und experimentierte, unzufrieden mit der für ihn mangelhaften Wiedergabequalität, mit Edisons Walzengerät. Angeregt durch Ernst



Florens Friedrich Chladni's Schwingungsfiguren von Membranen, konzentrierten sich seine Anstrengungen zunächst auf die Konstruktion von Membranen für die Aufnahme und Wiedergabe. Durch empirische Forschungen gelang ihm eine Nadel-Membran-Anordnung, die einerseits einen ausgewogeneren Frequenzgang lieferte und andererseits die Bewegungsenergie der Nadel verstärkte und weiterleitete. In der 1890 veröffentlichten Beschreibung stellte er seine spinnenförmigen Nadelaufhängungen dar, entweder als Ein-Membran-System mit fünf Abgreifpunkten oder als Mehr-Membran-System, ausgestattet mit vier bzw. fünf Membranen unterschiedlichster Eigenresonanz. Später entwarf Bettini Diaphragmen (Membranen) mit spinnenartigen Saphirnadelaufhängungen mit bis zu zwölf „Beinen“. Außerdem entwickelte er Schallhörner aus Aluminium oder gedrehtem Instrumentenholz mit hervorragenden akustischen Eigenschaften, ja sogar mehrere vollständige Maschinenmodelle, die sog. **Mikrophonographen**.

Ein weiterer Erfinder, **Thomas B. Lambert** in Chicago, erhielt am 14. August 1899 ein Patent auf die Herstellung von Walzen aus Zelluloid. Nun kamen Zylinder auf den Markt mit erheblich höherer Lebensdauer und natürlich unzerbrechlich. Die Wiedergabequalität ließ allerdings noch zu wünschen übrig, den neuen Werkstoff konnte man noch nicht blasenfrei verarbeiten.

Inzwischen hatte die neu anlaufende Schallplattenindustrie die ersten 30 cm – Schallplatten mit vier Minuten Spieldauer veröffentlicht und dieses Ereignis war wohl für Edison der Ansatz, ebenfalls eine 4-Minuten-Walze zu entwickeln. Als „**Amberol-Walze**“ kam schließlich die Neuentwicklung im Oktober 1908 auf den Markt, die aus einer härteren und somit auch widerstandsfähigeren Wachsmischung bestand. Doch Krönung und Endpunkt in der Walzenentwicklung war letztlich die 1912 herausgebrachte „**Blue Amberol**“, eine strahlend blaue Zelluloidwalze mit hervorragender Klangwiedergabe. Bei 200 Rillen je Zoll (7,88 Rillen pro Millimeter), entsprechende einem Rillenabstand von 0,127 mm, erreichte diese Walze bei 160 Umdrehungen pro Minute ebenfalls eine Spieldauer von 4 Minuten. Es war das mit Abstand beste Produkt der damals verfügbaren Tonträger.

## Unschlagbare Konkurrenz: Die Schallplatte

Dem zweifellos großen Erfolg der Edison'schen Walzenphilosophie, die weltweite Verbreitung seines Systems bewies dies nur zu gut, erwuchs doch allmählich eine immer stärker werdende Konkurrenz. Die Entwicklung einer neuen Linie wurde konkret – die Tonspeicherung mittels Schallplatte. Und fragt man nach dem Erfinder, gerät man in eine ähnliche Situation, wie in der weiter oben beschriebenen Walzenstory. War es um 1840 der Franzose Wertheim, der erste Hinweise gab, Leon Scott, mit seiner 1857 entwickelten Seitenschriftaufzeichnung oder gar Charles Cros, der 1877 seine „Schallplatte“ samt fotogalvanoplastischer Reproduktionsmethode leider nur als schriftlich niedergelegte Idee vorstellte, war es schließlich doch wieder Edison, der in seiner Patentschrift Nr. 1644 vom April 1878 Schallplatten und Plattenspieler beschrieb oder waren es Bell und Tainter, die erstmals 1884 ihre wachsüberzogene Pappschallplatte schneiden und abspielen konnten?

In dieser Aufzählung ist noch ein Mann zu nennen, der dem späteren „Schallplattenfiber“ den wohl entscheidenden Impuls gab: **Emile Berliner** (1851 – 1929). Der in Hannover geborene Erfinder war unter anderem in einer Druckerei tätig gewesen, was möglicherweise Einfluß auf seine späteren Erfindungen bezüglich der Schallplattenvervielfältigung hatte. In Abendkursen eignete er sich Grundkenntnisse in Elektronik an und stürzte sich mit Eifer in Experimente. Sein am 14. April 1877 in Washington angemeldetes Patent für ein Fernsprechmikrofon brachte ihm Ansehen und nötige Geldmittel ein. Angeregt durch die Veröffentlichungen der Bell – Tainter'schen Walzen und Schallplatten, startete Berliner eigene Versuchsreihen und am 26. September 1887 konnte er seine Apparatur zum Patent anmelden. Was im ersten Teil der Patentschrift noch sehr an Scott's Phon-Autograph erinnert, allerdings hier als funktionstüchtige Aufnahme- und Wiedergabemaschine, wird im zweiten Teil der Schrift durch Berliner'sche Gedanken modifiziert – der Schallträger als plane Scheibe, die Aufzeichnung selbst in **Seitenschrift**.

In diesem Zusammenhang sei erwähnt, daß Berliner patentrechtlichen Schutz lediglich auf Geräte erhielt, die Seitenschrift aufzeichnen konnten, nicht aber auf die Seitenschrift als solche. Die Bezeichnung „Berliner Schrift“ ist diesbezüglich also nicht abgesichert. In die berußte, runde Glasscheibe kratzte eine Schreibnadel spiralförmige, modulierte Linien, die sich besonders einfach für den galvanoplastischen Prozeß fotografieren ließen, Berliner schlug sogar die Kontaktkopie vor. Die nach diesem Verfahren hergestellten Metallschallplatten standen zum Abhören bereit und versetzten die Teilnehmer des am 16. Mai 1888 stattfindenden Experimentalvortrags im Franklin-Institut in Philadelphia ins Staunen. Damit konnte eine demonstrierbare Plattenaufzeichnungsmethode einschließlich Vervielfältigung vorgewiesen werden. Berliner taufte sein Wiedergabegerät auf den Namen **Grammophon**. Schalldose und Trichter wurden nun erstmals von der Rille selbst geführt, die aufwendigen Rillenvorschubeinrichtungen der zu dieser Zeit gefertigten Phonographen oder auch der Bell-Tainter'schen Plattenmaschine entfielen. Allerdings galt die Nadelführung durch die Rille nur für die Schallplattenwiedergabe, beim Plattenschnitt mußte die exakte Führung des Schneidstichels gewährleistet sein. Um 1897 gab es zwar auch spindellose, ohne Zwangsvorschub arbeitende Walzenspieler, so der Lioretograph und diverse Modelle der verschiedensten Hersteller, es waren durchweg Billigausführungen, doch besaß die Tiefenschrifttrille der Walzen keine ausreichenden Nadelnachführeigenschaften.

Die fotogalvanoplastisch hergestellten Metallschallplatten waren schon nach kurzer Zeit veraltet, Berliner hatte ein neues Aufnahmeverfahren entwickelt, ein Verfahren, das der Herstellung einer Radierung ähnelte. Eine polierte **Zinkblechscheibe** wurde vor der Aufnahme in eine dünnflüssige Wachs-Benzol-Lösung getaucht und das rasch verdunstende Lösungsmittel hinterließ eine feine Wachsschicht. In diese Wachsschicht ritzte die Schreibnadel (versehen mit einer Platin-Iridium-Spitze) die Schallinformation und legte dabei an diesen Stellen die Zinkoberfläche frei. Um Wachsklumpchen zu vermeiden, lief der Schneidevorgang unter Wasser ab (Wasser-Alkohol-Gemisch). Die so präparierte Platte wurde etwa 10 Minuten einer 3%igen Chromsäure ausgesetzt und die Schallfurchen bis auf eine Tiefe von 0,1 mm eingätzt. Mit einer dicken, an der Spitze verrundeten Nadel konnte die Schallplatte danach abgetastet werden. Doch dieser Vorgang hinterließ unweigerlich Veränderungen der Tonrille, die langsam aufgeraut wurde und immer stärker werdendes Rauschen lieferte. Berliner kannte die Schwächen seiner Unikatplatten und tüftelte intensiv an einem Prozeß, der die rasche Vervielfältigung mit geeignetem Material ermöglichen sollte. Bereits in seinem ersten Patent wies er auf die Möglichkeit hin, von der Masterplatte galvanisch ein Kupfernegativ herzustellen, um davon Abdrücke in Siegellack zu machen. Tatsächlich entstanden zunächst erste Kopien in Zelluloid in Zusammenarbeit mit **John W. Hyatt**. Dieses Material war leider nicht sehr widerstandsfähig und wurde bald verworfen. **Hartgummi** bot sich an, eine Masse, die sich in erwärmtem Zustand durch die Kupfermatrize plastisch verformen ließ und nach dem Erkalten die eingepreßte Information behielt. Ab 1895 wurden Hartgummiplatten vertrieben und das bewies, abgesehen vom nicht gerade Erfolg versprechenden Gummimaterial, doch die Richtigkeit der Dupliziermethode, die im Prinzip der bis heute angewendeten Vervielfältigung von „black disc's“ glich.

Hier noch einige Daten der Hartgummiplatten:

Durchmesser:	17,5 cm (7“) und 25,5 cm (10“)
Spieldauer:	bis zu 3 Minuten
Rillenanfang:	außen
Umdrehungszahl:	ca. 70 Umdrehungen pro Minute

Schließlich kam Berliner auf die Idee, ein preßfähiges Material zu benutzen, das die Duranoid Button Company in Newark (New Jersey) zur Herstellung von Knöpfen heranzog. **Schellack**, das Bindemittel für weitere Bestandteile der Preßmasse (fein gemahlener Baryt sowie Schiefermehl geschwärzt mit Ruß), galt wie ein Zauberwort für den neuesten „Star“ am Schallplattenhimmel, die Schellackplatte war geboren und man schrieb das Jahr 1897. Jene ersten Platten hatten etwa 12,5 cm (5“) Durchmesser, waren einseitig bespielt und liefen mit ca. 70 Umdrehungen pro Minute.

Bestanden die Diaphragmen für Hartgummiplatten noch größtenteils aus Glas, so wurden jetzt dünne Glimmerplättchen, Stahl-, Silber- oder Aluminiumbleche oder mit Fettsäuren getränkte Papiere verwandt. Die mit Drehpunkt gelagerte Abtastnadel übertrug die Seitenschriftinformation zum Mittelpunkt der Membran.

Berliners Schallplattenspieler war allerdings noch von Hand zu betreiben, ein Nachteil, der keine hohen Verkaufszahlen erwarten ließ. Mit **Eldridge R. Johnson**, Besitzer einer kleinen Werkstatt in Camden, war ein erfahrener, aber auch geschäftstüchtiger Konstrukteur gefunden, der das Grammophon 1896 mit einem Federwerksmotor ausstattete.

Bald reichte Johnson neue, eigene Entwicklungen ein, so das Schneiden der Transversalschrift (Seitenschrift) in Wachs und Herstellen der Matrize ähnlich dem Goldgußverfahren Edisons. Der Unterschied bestand lediglich darin, daß Johnson aufgrund der Patentlage nicht Gold, sondern feinstes Graphitpulver als galvanische „Grundierung“ verwendete, eine Methode, die man in der Schallplattenindustrie viele Jahre beibehielt.

Ab 1902 wurden Neuaufnahmen als „Wachsmaster“ geschnitten und entsprechend vervielfältigt.

Der Durchbruch der Schallplatte in Amerika war allein auf Johnsons Initiative zurückzuführen. Aber auch auf dem europäischen Kontinent entstanden Firmen, so beispielsweise 1897 in London die „Gramophone Company“ (später EMI), 1898 in Hannover die „Deutsche Grammophon Gesellschaft“ und 1896 in Paris die „Société Pathé Frères“.

Die in Hannover bei der Deutschen Grammophon gepreßten, einseitigen Schallplatten hatten vorerst 17,5 cm (7“) Durchmesser mit einer Spielzeit von 1'50“, dann 25 cm (10“) mit 2'30“ und schließlich 30 cm (12“) mit 3'50“ Spieldauer.

In den folgenden Jahren geriet Berliner ständig in patentrechtliche Schwierigkeiten und es kam schließlich soweit, daß er nicht einmal den Namen seiner Erfindung – „Grammophone“ – verwenden durfte. So entstand notgedrungen sein neues Wahrzeichen „His Master's Voice“, ein Hund, der der Stimme seines verstorbenen Herrchens lauscht.

War bei der Plattengröße noch keine Normung zu erkennen und notwendig, so mußte doch für die Umdrehungsgeschwindigkeit ein Wert gefunden werden, der den internationalen Plattenvertrieb ermöglichte. Im Gegensatz zu den ersten Plattenspielern mit Handbetrieb, die ohnehin keine konstante Rotation zuließen, oder den Spielern mit Federwerksmotor, die lediglich eine Geschwindigkeit im Bereich um 70 Touren pro Minute hielten, bezog man sich dann, als die öffentliche Stromversorgung in Amerika mit 60 Hz Netzfrequenz arbeitete, auf die Umdrehungszahl, die ein Zweipol-Synchronmotor mit 3600 UPM in Verbindung mit einem 46 : 1 – Getriebe lieferte: 78,26 Umdrehungen in der Minute. In Europa kam man aufgrund der 50 Hz Netzfrequenz bei einem Synchronmotor mit 3000 UPM und 38,5 : 1 – Getriebe auf 77,92 Umdrehungen pro Minute. Dieser Wert, im Mittel also 78 Umdrehungen pro Minute, genügte offensichtlich dem internationalen Plattengeschäft zwischen der Alten– und Neuen Welt.

1904 wurde die Schallplattenbranche mit einer Sensation bereichert. In aller Stille entwickelte die kleine Firma „Odeon“ in Berlin die **doppelseitig** bespielte Schallplatte, die erstmalig auf der Frühjahrsmesse in Leipzig in jenem Jahr vorgestellt wurde.

## Die elektrische Revolution

Global gesehen hatte die Schallplattenindustrie unerhörten Zuwachs zu verzeichnen, bis in Europa der erste Weltkrieg die stürmische Entwicklung bremste. Aber trotz der schwierigen Lage übernahm allmählich die Elektroindustrie einzelne Plattenfirmen. Damit bahnte sich auch eine Umorientierung der Schallaufzeichnung an. Es war die elektromechanische Schneide- und Wiedergabetechnik, die Anfang der 20er Jahre des 20. Jahrhunderts entwickelt wurde.

Im Prinzip war elektromagnetisches Schneiden und Abtasten zu dieser Zeit keineswegs ein Novum. 1892 ersann der junge Genfer Wissenschaftler **Françoise Dussand** (1870 – 1953), angeregt durch Bell's Telefon, das elektromagnetische Schneiden von Wachswalzen einschließlich der Wiedergabe. Der „Pick-up“ war somit schon erfunden. Dussands Neuerung sorgt zwar für großes Aufsehen, doch eine ausreichende Verstärkung konnte damals noch nicht realisiert werden und damit geriet auch dieses Verfahren vorerst in Vergessenheit.

Die neue Technik war der Schlüssel, um bisher ungeahnte Dimensionen der Schallaufzeichnung und deren Wiedergabe zu erreichen. Dabei half entscheidend die auf mathematische Grundlage gestellte Elektrophysik. In einer richtungsweisenden Veröffentlichung haben **J. P. Maxfield** und **H. C. Harrison** von den Bell-Laboratorien (Western Electric) 1926 die mathematische Analyse eines **elektromagnetischen Schreibstichels** anhand des elektrischen Ersatzbildes dargestellt. Im Ergebnis ist damit diese neue Technik in allen Facetten bestimmbar geworden. Als Pendant zum Plattenschnitt entwickelten die beiden Forscher eine wesentlich verbesserte Wiedergabeapparatur. Auch hierbei wurde das traditionelle Trichtergrammophon als elektrisches Ersatzbild dargestellt und in seinen Komponenten berechenbar. Die auf diese Weise erhaltene Optimierung ergab zunächst eine Neukonstruktion der Schalldose mit Berücksichtigung spezifischer Nadeleigenschaften. Es folgten verbesserte Trichter, angepaßt an das Diaphragma.

Wenngleich die Schallwiedergabe noch Membran-Trichter-Systeme besaßen, so war doch die **elektrische Aufnahme** mittels Mikrofon die neue Methode, die alles Bisherige in den Schatten stellte. Sehr werbewirksam verwies man auf dem Etikett der Schallplatte mit „elektrisch aufgenommen“ oder im Namen der Plattenmarke wie „Electrola“ oder „Elektrovox“ auf die bahnbrechende Technik.

Mit dem Aufkommen der Röhrentechnologie bereitete es bald keine Schwierigkeiten mehr, die Lautstärke regelbar zu machen. Bisher hatte man mit pneumatischen Schallverstärkern, zurückgehend auf das Edison-Patent vom 4. März 1878, regelbaren Trichteröffnungen (Blendentechnik) oder auch durch in Material, Form und Dicke unterschiedlichen Abtastnadeln Einfluß auf die Lautstärke genommen. In diesem Zusammenhang wurde auch mit Nadelmaterialien wie Glas, Rosendorn, Bambus, Elfenbein, Zelluloid, Horn, Knochen, Fischgräten, Hartgummi, ja sogar mit gebranntem Ton experimentiert. Doch die billigen Stahlnadeln der verschiedensten Ausführungen und die kostbaren Saphir- und Diamantnadeln beherrschten schließlich den Markt.

Mit der Erfindung des elektrodynamischen Konuslautsprechers durch **Edward Kellogg** und **Chester Rice** (General Electric Co.) im Jahre 1925 sowie deren Erfindung des **elektromagnetischen Tonabnehmers** 1927, war man einen enormen Schritt in Richtung „High Fidelity“ vorangekommen. Übrigens hatte Ch. Rice schon mit piezoelektrischen Wandlern experimentiert. Kellogg's Tonabnehmer enthielt allerdings das damals gut zu realisierende elektromagnetische System in Vierpolausführung. Ein Weicheisenanker änderte darin den magnetischen Fluß einer Spule und induzierte dort eine Spannung, die verstärkt und hörbar gemacht werden konnte.

Die rapide fortschreitende Verstärkertechnik bot inzwischen Möglichkeiten, die mit bisheriger rein mechanischer Schneidetechnik und Abtastung nicht zu lösen waren. Nun konnten verfahrensspezifische Entzerrungen eingefügt werden, die den Plattenschnitt einschließlich der Wiedergabe wesentlich verbesserten. Man ging dabei von der Überlegung aus, daß die Plattenrinne, die über den gesamten Frequenzbereich mit gleicher Auslenkgeschwindigkeit des Schneidstichels (Schnellekonstanz) geschnitten wurde, bei den Tiefen eine zu große, bei den Höhen eine zu geringe Auslenkung (Amplitude) erfuhr. Große Amplituden setzen aber einen beträchtlichen Rillenabstand voraus, das geht auf Kosten der Spieldauer, kleinste Amplituden erreichen dagegen schon die Größenordnung der Körnigkeit des Plattenmaterials und das führt zu einer schlechten Höhenwiedergabe. Der Kompromiß bestand vorerst im Beschneiden der Amplitudenwerte des Tiefenbereichs. 1943 führte diese Maßnahme in Deutschland zu einer ersten Normung (DIN 6151) für 78er Platten: bei 800 Hz wurde die maximal aufgezeichnete Schnelle zu 30 cm pro Sekunde gewählt; unterhalb 300 Hz erfolgt die

Aufzeichnung mit konstanter Amplitude. Die während des Schallplattenschnitts angewandte Schneidkennlinienentzerrung mußte natürlich beim Abtasten im Wiedergabeverstärker durch die nahezu spiegelbildliche Entzerrungskennlinie korrigiert werden, um einen geradelinigen Frequenzgang zu erhalten.

Vorweggenommen seien hier die unterschiedlichen Schneidkurvenwerte:

NAB, RIAA:	3180 / 318 / 50 $\mu$ s
BBC:	3180 / 318 / 25 $\mu$ s
FLAT:	3180 / 318 / 0 $\mu$ s

(die Werte geben die Übergangsfrequenzen der Schneidkennlinie in  $\mu$ s an)

Im deutschen Sprachraum steckte, nach dem Beginn des Rundfunks in den 20er Jahren, das „schnelle“ Tonspeichergerät Magnetofon oder die Stahlbandmaschine noch tief in den Kinderschuhen. Obwohl Schellackplatten zur Verfügung standen, forschte man nach einem Tonträger, der eine Aufzeichnung sofort zur Wiedergabe bereitstellte. Diesen Träger fand man 1929 in der längst bekannten **Wachsplatte**, allerdings hier in modifizierter Form. Wachsmischung, Schneideeinrichtung, Wachsreiber und Abtastvorrichtung mußten durch intensive Forschungen weiter entwickelt werden. Endprodukt war eine Wachsplatte, oder besser ein Wackskuchen, von 2 cm Dicke, 32 cm Durchmesser, 4 Kilogramm Gewicht und maximal 4 ½ Minuten Spieldauer, die zweimaliges Abtasten ohne großen Qualitätsverlust überstand. Geschnitten wurde die auf etwa 30° C erwärmte Wachsplatte mit einem Stahlstichel.

Schneidedaten:

Schnittwinkel des Rillenprofils: 85°

Rillenbreite: 0,13 mm

Stegbreite zwischen den Rillen: 0,13 mm (entspricht 3 ½ Rillenzüge pro Millimeter)

Frequenzgang: 30 Hz – 6,6 kHz

Grundgeräuschabstand bei Vollaussteuerung: ca. 50 dB

Aufzeichnungsbeginn: innen

Für den beweglichen Einsatz im Übertagungswagen konnte jedoch die Wachsplatte aufgrund komplizierter Justagearbeiten und exakten Betriebsbedingungen der Schneideapparatur keine Verwendung finden. In der zweiten Hälfte des Jahres 1932 wurde deshalb die Schallfolie eingeführt, auch bekannt unter dem Namen „**Decelith**“. Ihr Vorteil lag in der Widerstandsfähigkeit, war unzerbrechlich und erlaubte eine große Anzahl von Abspielvorgängen. Den dürftigen Frequenzgang von 50 – 3000 Hz nahm man dafür in Kauf. Alle Decelith-Kunststoffplatten wurden mit einem Wolframstichel geschnitten und, wie die Wachplatten, von innen nach außen gespielt.

Die Technik, Schallplatten von innen nach außen zu schneiden und abzuspielen, hatte ihren Grund in den unzulänglichen Materialien der Plattenmasse (Schellack) und dem Abtaststift (Stahlstift). Beide Komponenten sind während des Abspielbetriebes hohen Belastungen ausgesetzt. Die Deformation der Abtastnadel vollzog sich hauptsächlich in den äußeren Bereichen der Schallplatte durch die hohe Winkelgeschwindigkeit; es entsteht eine Art Schleifsteineffekt. Das Abspielen von innen nach außen garantierte dagegen weitgehend eine Schonung der Nadel und damit auch der Rillenflanken.

Der Wunsch, längere Programme auf dem Medium Schallplatte zu speichern, reichte weit zurück. Dabei gab es drei Möglichkeiten, eine verlängerte Spieldauer zu realisieren:

- enger nebeneinander liegende Schallrillen
- Vergrößerung des Plattendurchmessers
- Herabsetzung der Umdrehungszahl

Schon um das Jahr 1905 stellten Neophone in England und Pathé in Frankreich erste 50cm-Platten her, die sich durch äußerste Zerbrechlichkeit und Unhandlichkeit auszeichneten und bald wieder verschwanden. Einzig die 40cm-Platte behauptete in der Zeit der Patentonfilme ab Ende 1926 ihre Stellung und erzielte mit 33 1/3 Umdrehungen pro Minute die beachtliche Laufzeit von 11 Minuten je Seite.

Die erste gebrauchsfähige Langspielplatte stammte aber von Edison, der ab 1910 auf Drängen seiner Gesellschafter zuerst widerwillig in das Plattengeschäft einstieg. Natürlich trugen seine Schallplatten Tiefenschrift, war es doch seine „Religion“. Dazu der

Abtaster, eine Dauernadel als Diamant, schiffchenförmig geschliffen und poliert, das Beste vom Besten also für diese Aufgabe. Edison – auch Chemiker – entwickelte neue Preßmaterialien, darunter einen Kunststoff, er nannte ihn „Condensite“, der identisch war mit dem 1915 von dem Amerikaner **Leo H. Bakeland** (1863 – 1944) erfundenen härtbaren Kunstharz „Bakelite“. Dieses noch teure Material umhüllte zunächst die 25cm-Platten (Diamond Disc) mit 80 Umdrehungen pro Minute, später die 30cm-Platten mit einer erhöhten Rillendichte von 400 (!) Rillen pro Zoll (16 Rillen je Millimeter). Um bei dieser feinen Rillenarchitektur noch genügend Lautstärke erzeugen zu können, mußte der Abtastdiamant mit ca. 300 Gramm Auflagedruck gefahren werden. Die „**Edison Record 40 Minute**“, bei 20 Minuten Spieldauer je Seite und 80 Umdrehungen pro Minute, stellte zweifellos die Krönung in Edison´s Schaffen dar. Mit dieser Langspielplatte hatte er ein bis dahin außergewöhnlich hohes Qualitätsniveau erreicht. 1929 gab schließlich der greise Erfinder die Herstellung von Schallplatten und Plattenspielern auf.

Was bei Edison´s Langspielplatten durch den Schnitt eng aneinanderliegender Rillenzüge die Spieldauer verlängerte, wurde beim Tonfilm durch die Plattengröße von 40 cm Durchmesser und die 33 1/3 Umdrehungen pro Minute erreicht. Wie kam man auf diese exotischen 33 1/3 Umdrehungen? Bekanntlich unterliegen Bild und Ton des Tonfilms einer strikten Synchronität. Für die Kopplung von Filmkamera bzw. Projektor und Tonapparatur bot sich daher die Frequenz der Wechselstromnetzes als gemeinsame Basis an. Ausgehend von der amerikanischen 60Hz-Norm des Stromnetzes, ergab ein Synchronmotor mit 1800 Umdrehungen pro Minute, in Verbindung mit einer 54 : 1 – Untersetzung, eine Drehzahl von 33,33333... Umdrehungen.

Der Mann, der schließlich aus der bisherigen Langspielplatte die „**Long Playing Record**“ oder kurz „LP“ machte, war **Dr. Peter Carl Goldmark** (1906 – 1977) ab 1945 Leiter einer kleinen Forschungsgruppe der CBS in England. Sein Ziel war es, eine Schallplatte mit 45 Minuten Spieldauer (22 ½ Minuten je Seite) zu entwerfen, die Rilleninformatio n in Seitenschrift dargestellt und das bei einem Plattendurchmesser von nur 30 cm. Da aber die Seitenschrift im Verhältnis zur Tiefenschrift weit mehr Platz beanspruchte, mußte die aufgezeichnete Amplitude wesentlich verkleinert werden. Der Stand der Wiedergabetechnik erlaubte ohne weiteres diese Verkleinerung, war doch ausschließlich die elektromagnetische Abtastung und elektronische Verstärkung der Tonsignale vorgesehen. Die neuen Aufzeichnungsgeometrien verlangten allerdings ein Plattenmaterial, das in seiner Feinstruktur eine äußerst geringe Körnigkeit und hohe Oberflächen glätte an der Rillenflanke aufwies, um den Signal-Rauschabstand in einem für verwöhnte Ohren angemessenen Bereich zu halten. Als geeignet sahen Goldmark und seine Mitarbeiter den Kunststoff „Vinylite“ an, ein härtpbarer Thermoplast, auch bekannt als **PVC** (Polyvinylchlorid). Das Plattenmaterial wurde bei einem Rillenvorschub von nur 0,1 mm je Umdrehung mit einer 0,07 mm breiten Rille versehen. Goldmark führte diese feine Schrift mit der noch heute gültigen Bezeichnung „**Microgroove**“ ein.

Rein geschäftliche Interessen der RCA standen bei der Entwicklung der 7-Zoll-Platte (17,78 cm Durchmesser) Pate. Man hatte festgestellt, daß sich die meisten der bei RCA-Victor gewonnenen Aufnahmen in 5-Minuten-Parts unterteilen ließen. So entstand eine PVC-Platte mit maximal 5 1/3 Minuten Laufzeit pro Seite, beschrieben mit Goldmark´s Microgroove-Schrift bei einer Umdrehungszahl von 45 Touren pro Minute und später bestens bekannt unter dem Namen „**Single**“.

(Wiederum wurde diese Geschwindigkeit aus dem 60Hz-Netz abgeleitet: Synchronmotor mit 1800 UPM und 40 : 1 – Getriebe)

Das sehr große Zentrierloch (1,504 Zoll = 3,82 cm) war lediglich für den eigens entwickelten automatischen Plattenwechsler gedacht, um Stabilität zu gewährleisten. Ab 1948 begann der Vertrieb.

Inzwischen hatte die Nadeltonaufzeichnung einen beachtlich hohen Stand erreicht. Die Aufnahme-Wachsplatte wurde durch die homogenere Aufnahme-Lackfolie aus Nitrozellulose ersetzt, ein Schritt, der den Geräuschabstand in die Nähe um 60 dB verschob.

**Eduard Rhein** (1900 – 1993) Journalist und Erfinder, realisierte einen weiteren Schritt in Richtung Spielzeitverlängerung. Er propagierte sein „**Füllschriftverfahren**“, mit dem die Spieldauer der Schallplatte fast bis zur doppelten Größe ausgedehnt werden konnte.

Doch mußte er feststellen, daß bereits ein Patent der Columbia Graphophon Company in London existierte, das im Prinzip dem Rhein'schen Verfahren entsprach. Dieses Patent wurde am 2. März 1933 erteilt. Die Apparatur berechnete und steuerte den Vorschub des Schneidkopfes in Abhängigkeit der bereits aufgezeichneten Signalamplitude. Dazu benötigte das System, Millisekunden vorher, eine Information über die Rillenauslenkung der Nachbarrille. Das Columbia-Patent schlug hier eine Zwischenaufzeichnung vor mit zwei den Zeitversatz bewirkenden Tonabnehmern. Dagegen stellten die Patente von E. Rhein das einfach zu handhabende Magnetband als Zwischenspeicher dar. Und Rhein war es auch, der die Füllschriftplatte schließlich durchsetzte und am 14. Juli 1950 dem Fachpublikum vorführte. Ende 1952 kamen dann die ersten LP's in Füllschrift auf den Markt.

## Zwei Ohren hören mehr

Die Tatsache, daß wir Menschen mit zwei Ohren akustische Ereignisse wahrnehmen und, verbunden mit Hörerfahrung, Richtung, Entfernung und Raumeindruck recht genau ermitteln und aufnehmen können, regte schon früh Experimente mit und über das **Richtungshören** an. Sie sind so alt wie die Tonaufzeichnung selbst. Bereits um 1880 wurden von **Lord John Rayleigh** (1842 – 1919) Versuche zur Lokalisation durch Richtungshören angestellt. Dabei fand er heraus, daß die Richtungsbestimmung auf der an beiden Ohren unterschiedlichen Intensität des wahrgenommenen Schalls beruht.

1881 beschreibt der Pariser Ingenieur **Clement Ader** (1841 – 1925) in seinem Patent „Neuerungen an Telefonanlagen für Theater“ die stereofon Übertragung durch Mikrofon und Ohrhörer.

1925 stellte **Heinrich I. Küchenmeister** sein **Ultraphon** vor, ein Grammophon mit zwei getrennten Tonabnehmern (Schalldosen), das eine Art Raumklang erzeugte.

Doch die erste stereofone Aufzeichnung wurde in dem Patent vom 14. Dezember 1931 von **Alan Dower Blumlein** (1903 – 1942) niedergelegt. Ausgangspunkt ist die 45°/45°-Zweikomponentenaufzeichnung, realisiert durch den Zweikomponentenschreiber. Mit diesem Prinzip ließen sich auch Seitenschrift, Tiefenschrift und 45°-Flankenschrift aufzeichnen und wiedergeben. 1932 schnitt Blumlein die **erste Stereoplatte** der Welt – eine 78er.

Noch vor der öffentlichen Einführung der heute üblichen Stereoschallplatte 1958 in den USA, hatte man 1955 unter der Leitung von **A. C. Haddy** bei Decca in England ein anderes Aufzeichnungsverfahren entwickelt. Dem niederfrequent geschnittenen linken Kanal wurde der rechte Kanal mit 14 kHz Trägerfrequenz überlagert. Beide Tonkanäle lagen dann wiedergabeseits getrennt in linker und rechter Toninformation vor. Die später in Japan entwickelte CD – 4 – Quadrophonie – Aufzeichnung auf Schallplatte bediente sich des gleichen Prinzips.

1960 wurde der Begriff „**High Fidelity**“ (Hi-Fi) eingeführt, eine Norm, die den Qualitätsstandard eindeutig nach unten abgrenzte und damit die Schallplattenindustrie und die Gerätehersteller zu hoher Wiedergabetreue drängte. Die Bestrebungen, der Hi-Fi-Norm und dem großartigen Hörgenuß immer näher zu kommen, waren überall sehr deutlich zu spüren und schlugen sich in zahlreichen Patenten und neuen Geräteserien nieder. So konnte die Plattenindustrie durch den Trick der halbierten Geschwindigkeit der LP ein Frequenzgang bis hinauf zu 30 kHz aufgedrückt werden. Die unter normalen Schreibbedingungen unmögliche Frequenzgangerweiterung wurde durch das **Half-Speed-Verfahren** realisiert, wobei Bandmaster und Schneidemaschine nur halb so schnell liefen. Zwar sind 30 kHz nicht zu hören, doch die Durchsichtigkeit der Höhenwiedergabe nahm deutlich zu. Einen Genuß ganz besonderer Art erlebte man mit der **Direkt-Schnitt-Platte**. Die Umgehung der Tonaufnahme auf Band brachte kaum Klirrfaktorprobleme bei höchstmöglicher Dynamik (etwa 70 dB). Das von der CBS angewandte **CX-Verfahren** erlaubte sogar eine Dynamik bis 80 dB, vorausgesetzt Preßmaterial und Matrize sind einwandfrei und die Aufnahme selbst liegt

als Digitalaufzeichnung vor. Wie bei der Magnettontechnik üblich, werden hier während des Plattenschnitts und Abtastvorgangs Kompandersysteme eingeschaltet.

Letztlich wird die Güte des Nadeltonverfahrens durch technisch hochwertige Produkte der Aufnahme- wie auch der Wiedergabeseite bestimmt. Eine gelungene Tonaufnahme vorausgesetzt, entscheiden alle nachgelagerten Prozesse des Plattenschnitts, der Galvanik, der Plattenpressung, des Pressmaterials, der Verpackung, der Lagerung und der Behandlung durch den Schallplattenhörer einschließlich dessen Reproduktionseinrichtung über die Qualität der Nadeltondarbietung und stellen jene schwarze Scheibe in das ihr gebührende Rampenlicht. Eine große Entwicklungslinie findet nach über 100 Jahren ihren Schluß. Ob es ein vorläufiger ist, wird die Zukunft zeigen.

Ein amerikanisches Sprichwort aus den 50er Jahren behauptet jedenfalls schlichtweg:

Die Schallplatte ist das tollste,  
auf das sich je eine Nadel gesenkt hat,  
seit Marilyn Monroe gegen Pocken geimpft wurde.



## Magnetton

### Elektrisierende Grundlagen

Parallel zur Entwicklung des Nadeltonverfahrens wurde mit dem Bekanntwerden des Elektromagnetismus ein anderer Weg beschritten, die magnetische Schallspeicherung.

So stieß der Däne **Hans Christian Ørsted** (1777 – 1851) während einer Vorlesung im April 1820 durch Zufall auf einen Effekt, ausgelöst durch elektromagnetische Einwirkung. Unter einem stromdurchflossenen Platindraht hatte sich eine Magnethadel (Kompaßnadel) aus ihrer Nord-Süd-Richtung gedreht.

**J. S. Schweigger** (1797 – 1876) gelang dann erstmals eine Verstärkung des von Ørsted gefundenen Nadelausschlages, indem er den stromführenden Draht in mehreren Windungen um die Magnethadel legte.

Bald ergaben Forschungen des Engländers **Sir Humphry Davy** (1778 – 1829), daß sich Stahl durch eine Magnetfeld dauerhaft magnetisieren ließ – eine grundsätzliche Erkenntnis auf dem Weg zur magnetischen Schallspeicherung.

Am 29. August 1831 konnte **Michael Faraday** (1791 – 1867) mit der Entdeckung der **magnetischen Induktion** aufwarten. In seinem darauffolgenden Vortrag „Experimental Researches on Electricity“ in der Royal Society in London führte er vor, wie in einer Spule Spannung induziert wird, wenn ein Magnet sich in ihr bewegt. Damit war der Grundstein zum Auslesen einer magnetischen Information gelegt.

Eine weitere wichtige Voraussetzung, die Umsetzung von Schallenergie in elektrische Energie, gelang **Alexander Graham Bell** (1847 – 1922) mit dem Bau des ersten Telefons. Hier induzierte eine schwingende Eisenmembran die Sprechwechselspannung in einer stromdurchflossenen Spule.

**Charles Sumner Tainter** (1854 – 1940) experimentierte in dem 1880 von Bell gegründeten Laboratorium für Sprachaufzeichnungen mit einer magnetischen Tonschrift in Form einer Eisenprofilspur. Jahre später meldete er, am 29. August 1885, sein Patent „Recording and Reproducing Sounds“ an. Informationsträger war hierbei eine Eisenscheibe, ähnlich der Schallplatte, jedoch mit spiralförmigen Stegen in modulierter Tiefschrift. Tainter's Entwicklung blieb unbedeutend, beachtenswert und hervorzuheben ist allerdings das im Patent erwähnte Abtastsystem, das nach dem Prinzip der von Faraday gefundenen magnetischen Induktion arbeitete. Die Grundzüge einer bis heute üblichen Abtastung erhielten nun Kontur.

Im Jahre 1887 veröffentlichte **Paul André Marie Janet** eine Arbeit über die „Transversale Magnetisierbarkeit eines Leiters“. Darin deutete er die Möglichkeit einer magnetischen Tonaufzeichnung auf Stahldraht an. Mit seiner Einwindungsspule, in Form eines geschlitzten Metallröhrchens, hatte er hervorragende Feldlinienbilder erzeugt, aufgezeichnet mit auf Papierband gestreutem Eisenpulver. Seine Anordnung stellte somit die erste elektromagnetisch wirkende Spaltkombination einer uns heute geläufigen Aufsprechspule dar.

Dem Holländer **Wilhelm Hedick** wurde am 6. März 1888 in Deutschland das Patent Nr. 42471 erteilt. Darin heißt es: „...betrifft eine Vorrichtung zum Aufzeichnen akustischer und elektrischer Wellen mittels Gas- oder Staubstrahlen, welche ... durch telefonartige Vorrichtung longitudinal vibrierend gegen ein Band geschleudert werden, um dadurch Schrift zu erzeugen, sowie auf Reproduktion ... mit Hilfe der erzeugten Schrift“. Tainters Notizbuch beschrieb schon Jahre zuvor, doch unveröffentlicht, einen ähnlichen Gedanken, indem Tinte mit aufgeschlämmtem Eisenpulver mittels einer Füllfeder auf das Papier gebracht wird.

Später verfeinerte der Berliner **Ernst Ruhmer** (1878 – 1913) 1909 Hedick's „**Sprühmodulation**“ in der Art, daß er einen mit Chrom sensibilisierten Filmstreifen, der die Eigenart besaß, je nach Belichtung verschieden stark aufzuquellen und zu kleben, durch eine Eisenstaubwolke zog. Die anhaftenden Eisenteilchen stellten ein induktiv reproduzierbares Wellenmuster dar.

Am 8. September 1888 tritt in der amerikanischen Zeitschrift „The Electrical World“ mit dem Aufsatz „Some Possible Forms of Phonograph“ ein Mann namens **Oberlin Smith** (1840 – 1926) an die Öffentlichkeit. Es war ein erstaunlicher Vorgriff auf die spätere Tonbandentwicklung, enthielt er doch Vorstellungen über die elektromagnetische Aufzeichnung mittels einer im Sprechwechselstrom durchflossenen Spule, einer Art Gleichstromvormagnetisierung, die Verwendung des „Tonträgers“ Schnur aus Seide oder Baumwolle mit eingearbeitetem Stahlstaub als magnetisierbarer Informationsträger und die im Prinzip auch heute noch gegebene Anordnung von Ab- und Aufwickelspule nebst Bremsenrichtung, um die Schnur gespannt zu halten. Auch finden sich in diesem Artikel Gedanken zu Stahldraht als Trägermedium und theoretische Überlegungen zum Magnetismus im Hinblick auf die Magnetisierbarkeit kleiner Stahlpartikel. Smith's grandiose, ja richtungsweisende Veröffentlichung in „The Electrical World“ hätte einen Sturm der Begeisterung hervorrufen müssen, doch trotz internationaler Verbreitung fand sein Aufsatz in der Fachwelt kaum Beachtung. Als Ingenieur und Chef der eigenen Firma hat Smith seine theoretischen Darstellungen, die funktionabel und detailgenau von ihm beschrieben wurden, mit Sicherheit in die Praxis umgesetzt und erprobt. Die Grundzüge einer kompletten „Tonbandmaschine“ lagen nach seiner Veröffentlichung vor. Im gleichen Artikel der „The Electrical World“ stellte Smith in Abwandlung zu Edison's Tonmaschine seinen **Wachsband-Phonograph** vor, mit akustomechanischer Aufnahme und Wiedergabe, ein „Zwitter“, der Vorteile beider Entwicklungsrichtungen hätte vereinigen können.

## Ein Däne auf Draht

Bis zum Jahre 1889 waren alle wichtigen Voraussetzungen für eine magnetische Schallspeicherung gegeben. Man kannte den dauerhaft magnetisierbaren Stoff (Stahl), den modulierbaren Magnetfelderzeuger (Spule) und war sich auch, dank Faraday, über das Induktionsprinzip als Möglichkeit zur Reproduktion im klaren. Dennoch vergingen 10 Jahre, bis der Däne **Valdemar Poulsen** (1869 – 1942) am 10. Dezember 1898 in Deutschland sein erstes Patent anmeldete. Es hieß „Verfahren zum Empfangen und zeitweisen Aufspeichern von Nachrichten, Signalen oder dergleichen“ und läßt auf ein von Poulsen gewolltes breites Anwendungsspektrum schließen, insbesondere auf einen löschraren Speicher für telefonische und telegrafische Nachrichten. In der Patentschrift beschreibt er sein **Telegraphon** in zwei Ausführungen: als Walzen- und Spulenmaschine.

Die Walzenmaschine bestand aus einem Messingzylinder (12 cm Durchmesser, 40 cm Länge), der mit **Stahldraht** von 1 mm Dicke in 380 Windungen spiralförmig umwickelt war. Von den Polschuhen der elektromagnetischen Spule wurde der Draht beidseitig umfaßt und magnetisiert. Die Wiedergabe erfolgte mit der selben Anordnung. Jene ersten Versuche wurden mit einer Relativgeschwindigkeit des Drahtes von 20 m/sec gefahren, entsprechend einer Spielzeit von 7 Sekunden. Bei der Spulenmaschine wurde dagegen aufgerolltes **Stahlband** an einer elektromagnetischen Vorrichtung (Aufsprechkopf) gleichmäßig vorbeigeführt und magnetisiert.

Beide Geräte standen Poulsen im Jahre 1900 zur Verfügung und arbeiteten mit Transversalmagnetisierung. Als im gleichen Jahr der Erfinder im Elektrizitätspalast der Pariser Weltausstellung sein Telegraphon einer breiten Öffentlichkeit vorstellte, erhielt sein Gerät, die bereits verbesserte Walzenmaschine, den Grand Prix. Ein sensationeller Auftakt, der nun endgültig die Entwicklung der elektromagnetischen Schallspeicherung einleitete.

Schon damals begann der Kampf um die Verringerung der **Aufzeichnungsgeschwindigkeit**. Wie schon erwähnt, experimentierte Poulsen anfangs mit 20 m/sec, erreichte allerdings bis zur Weltausstellung durch verbesserte Formgebung des Magnetkopfes eine Relativgeschwindigkeit von 3 und dann 2 m/sec.

Das im Jahre 1900 gefertigte Bandgerät enthielt ein Stahlband von 3 mm Breite, 0,05 mm Stärke und wurde ebenfalls mit 2 m/sec gefahren. Das ergab bei einer Gesamtlänge des Wickels von 1800 m eine Viertelstunde Aufzeichnung.

Zwei Jahre später reichte Poulsen am 16. Juli 1902 ein Patent ein, das die magnetische Aufzeichnung auf einer **Stahlplatte** beschrieb. Er hatte herausgefunden, daß sich auf einer Fläche mehrere magnetische Spuren unterbringen ließen und so arbeitete sein Gerät mit auswechselbaren Platten ohne Rillenstruktur. Magnetplattendiktiergeräte sowie komplexe Plattenspeicher in heutigen EDV-Anlagen zeugen für Poulsen's geniale Erkenntnisse.

Poulsen versuchte seine Geräte immer weiter zu verbessern, was ihm insbesondere durch die **Gleichstromvormagnetisierung** gelang, 1907 im US-Patent Nr. 873.083 niedergelegt. Zwar blieb die Trägergeschwindigkeit bei 2 m/sec, der Stahldraht aber wurde aus Laufzeitgründen auf 0,1 mm Dicke verringert. Die erzielbare Dynamik der Drahtaufnahmen lag im Bereich von 15 bis 18 dB.  
(zum Vergleich: Schellackplatte ca. 42 dB)

Diverse Firmen haben die von Poulsen erfundenen Geräte modifiziert und ausgebaut. Während des internationalen Technikkongresses 1908 in Kopenhagen konnten sämtliche Reden auf Draht genommen werden (14 Stunden Sprechzeit auf ca. 2500 km (!) Draht).

Dennoch, dem enormen Vorteil der bequemen Löscharbeit der Aufnahme standen leider noch unüberhörbare Nachteile gegenüber. Hohe Verzerrungen und starkes Nebengeräusch, verursacht durch die Gleichstromvormagnetisierung und viel zu geringe Aufzeichnungs- und Wiedergabeströme, schmälerten eine rasche und erfolgreiche Weiterentwicklung, ganz abgesehen von den häufigen Drahtbrüchen, die nur per Knoten „geklebt“ werden konnten. Diese Umstände, verbunden mit den Erfolgen der Nadeltonseite, führten wohl zu einer mehrjährigen Pause, in der recht wenig geschah.

Zwar hatte ein Zeitungsartikel vom 15. September 1912 im „Springfield Republican“ den Vorschlag gemacht, Briefe auf Stahlscheiben zu sprechen und berichtete die Zeitschrift „Machinery“ vom Januar 1917 von einem Magnettonverfahren zur Herstellung tönender Filme, realisiert durch Aufbringen einer Randspur aus Eisenfeilspänen auf das Filmmaterial, doch verhalfen die gemachten Vorschläge dem Magnettonverfahren noch nicht zum Durchbruch.

Erst der Physiker **Dr. Curt Stille** (1873 – 1957) hob wieder den „Taktstock“. Er experimentierte, wie Poulsen, mit Stahldraht und erstellte daraufhin sein Drahtdiktiergerät **Dailygraph** mit Auf- und Abwickelpule auf einer Achse, bestückt mit ungewöhnlich dünnem Draht von nur 1 kg Gewicht bei 4400 m Länge und zwei Stunden Diktierzeit. Die entsprechenden Patente stammten aus den Jahren 1918/19. Stille dachte auch daran, die unabhängige Aufzeichnung zweier Signale auf einem Tonträger, wie von Poulsen angedeutet, zur Vor- und Rücklaufaufzeichnung heranzuziehen.

Zum Ende der 20er Jahre erlebte der Tonfilm eine rasante Entwicklung und das brachte Stille auf die Idee, den lippensynchronen Ton zum Film auf einer eigens dafür konstruierten **Stahlbandmaschine** zu speichern. In England fand er einen begeisterten Fürsprecher dieser Idee, **Lois Blattner**, Inhaber der „Blattner Colour and Sound Studios“ in Elstree bei London. 1929 wurde die von Stille gebaute und für Synchronon hergerichtete Stahlbandmaschine, das **Blattnerphone**, in Blattner's Studio der Fachpresse vorgeführt. Die Maschine arbeitete mit 6 mm breitem Stahlband und besaß bereits in getrennten Ausführungen Lösch-, Aufnahme- und Wiedergabekopf. Aufgrund der Architektur des Magnetkopfes, die versetzten Polschuhe definieren in dieser Anordnung die Spaltbreite, erreichte man eine Longitudinalmagnetisierung des Stahlbandes.

Als erste kommerziell verwertbare Aufzeichnung wurde am 12. November 1930 auf einem von der „British Broadcasting Corporation“ (BBC) geliehenen Blattnerphone die Ansprache von König Georg V. mitgeschnitten und am selben Tag zu verschiedenen Zeiten gesendet.

Das vorgesehene Stahlband für das Blattnerphone reduzierte man, ausgehend von den Maßen 6 mm Breite, 0,08 mm Stärke und einer Spulenlänge von 3000 m, entsprechend einer Spielzeit von 20 Minuten, später auf 3 mm Breite bei einer Laufgeschwindigkeit von 1,5 m/sec und 32 Minuten Spieldauer. Dieses Format wurde auch beim Bau der für die BBC entworfene **Marconi-Stille-Maschine** herangezogen, einer Gemeinschaftsentwicklung von Blattner, **Marconi** und Stille. Erst 1954 rangierte die BBC die letzte dieser Maschinen aus.

Mit dem Aufkommen elektrischer Verstärker, ab etwa 1920 gab es Elektronenröhren, wurden natürlich enorme Fortschritte gemacht. Verzerrungen, Frequenzgang und Dynamik ließen sich zu besseren Werten trimmen, aber das Trägermaterial Stahl setzte bald auch hier die Grenzen mit ca. 4000 Hz als der höchsten übertragbaren Schwingung bei einer Dynamik von nur 25 – 30 dB.

Oberlin Smith hatte ehemals vorgeschlagen, Eisenpulver in eine flexible Unterlage einzuarbeiten. Ähnliche Gedanken finden sich 1921 bei dem Russen **Nasarischwily**, der vernickelte Papierstreifen als Trägermaterial andeutete. Von ihm stammte übrigens die eigenwillige Angabe, Eisenbahnschienen als Tonträger zu verwenden, um dem Zugführer während der Fahrt Signale und Texte zu übermitteln. Sogar erfolgreiche Versuche mit der Kaukasusbahn sollen 1920 abgeschlossen worden sein.

## Am laufenden Band

Den Joker zog ein Außenseiter des Metiers, aus der Buntpapierbranche kommend und damit beschäftigt, Goldmundstücke für Zigarretten herzustellen: **Fritz Pfeumer** (1897 – 1945) in Dresden. Seine persönliche Neigung zur Elektronik in Verbindung mit seiner Profession mögen ihn vom goldfarbenen Bronzepulver seiner Papiermundstücke zu Eisenpulver auf Papierstreifen gebracht haben. Am 31. Januar 1928 meldete er sein Patent an. Der Fachwelt führte er nicht nur seinen Bandtonträger vor, sondern auch das von ihm gebaute Tonbandgerät. Pfeumers neuartiges **Schallband**, es bestand aus mit Stahlpulver beschichteten Pergamypapier in einer Stärke von 1/40 mm, ließ sich schneiden und wieder zusammenkleben, praktisch ohne Verlust der aufgesprochenen Information.

Am 17. November 1930 meldete Pfeumer ein erwähnenswertes Zusatzpatent an, das auch andere magnetisierbare Stoffe an die Stelle von Stahl setzte, er dachte an diverse magnetische Oxyde. Kein Wunder, denn sein Stahlpulverband zeigte ein hohes Grundrauschen, hervorgerufen durch die noch zu groben Stahlpartikel. Für die Weiterentwicklung seiner Erfindung schloß Pfeumer mit der AEG in Berlin einen Vertrag. Als man die Nachteile des Papierbandes erkannte, beauftragte man schließlich die BASF in Ludwigshafen mit der Entwicklung eines Magnetfilms auf Kunststoffbasis. Die ersten Versuche zur Herstellung von **Acetylzellulose-Bändern** mit Carbonyleisenbeschichtung startete man 1932.

Auf frühere Arbeiten von **Eduard Schüller** (1904 – 1976) am Heinrich-Hertz-Institut aufmerksam geworden, versuchte die AEG 1932 den erfolgversprechenden Wissenschaftler für die Geräteentwicklung zu gewinnen. Im Rahmen dieser Arbeiten erfand Schüller den **Ringkopf**, eines der elementarsten Bauteile des Magnetofons, patentiert am 24. Dezember 1933. Dabei ging er von der Überlegung aus, daß die bis dahin üblichen Tonköpfe das magnetisierende Feld zu sehr streuten und dies womöglich eine Ummagnetisierung der Information zur Folge hatte, Magnetfelder aber in ringförmig geschlossenen Systemen gehalten werden können. Lediglich an einem Punkt sollte das magnetische Feld austreten und diese Stelle realisierte man mit einem winzigen Luftspalt. Schüller's ringförmiger Tonkopf mit Spalt und tangential anlaufendem Band hatte einen Luftspalt von 0,1 mm Breite. Später wurden Spalte von einigen tausendstel Millimeter verwirklicht, wodurch die Bandgeschwindigkeit erheblich reduziert werden konnte. Alle heute verwendeten Magnetköpfe gehen in ihrer prinzipiellen Struktur auf den Schüller'schen Ringkopf zurück.

Die inzwischen entwickelten Versuchsgeräte der AEG wurden mit Einmotor-Reibradantrieb versehen. Es stellte sich aber bald heraus, daß, nach einem Vorschlag

von Th. Volk, das **Dreimotorenlaufwerk** wesentlich günstigere Eigenschaften wie Gleichlauf, Bandzugeinstellung und störungsfreier Umspulvorgang aufwies, stellte doch das empfindliche 50 µm dicke Acetylzelluloseband höchste Ansprüche an die Laufwerksmechanik. Drei Motoren sind bis heute professioneller Standard bzw. Gütezeichen im Amateurbereich.

Für die Funkausstellung in Berlin 1935 konnte ein Gerät mit Namen **Magnetophon** gefertigt werden. Das Modell „K 1“ besaß Dreimotorenantrieb, einen schnellen Rücklauf und Drucktastensteuerung sowie ein 6,5 mm breites Tonband, das mit 1 m/sec gefahren wurde und Frequenzen bis 6000 Hz aufzeichnete. Eine 30cm-Spule ergab jetzt eine Spieldauer von 20 Minuten.

Das Nachfolgemodell „K 2“ aus dem Jahre 1936 lief hingegen schon mit der verringerten Bandgeschwindigkeit von 77 cm/sec.

In neuen Entwicklungen der BASF wurde die Eisen- bzw. Magnetitbeschichtung der Tonbänder verlassen und durch das von **Fr. Mathias** gefundene magnetisierbare  $\gamma$ -Eisenoxyd ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) ersetzt. Dieses Oxyd ist aufgrund mikrokristalliner Strukturen für die Aufzeichnung kurzer Wellenlängen besonders geeignet und gab später erneut Anregung, die Bandgeschwindigkeit ohne merklichen Höhenverlust herabzusetzen.

Am 19. November 1936 wurde dann erstmals ein öffentliches Konzert mit dem Londoner Philharmonischen Orchester unter der Leitung von Sir Thomas Beecham im Feierabendhaus in Ludwigshafen mitgeschnitten und zur Überraschung aller anschließend nochmal über Tonband vorgetragen.

In Amerika begann 1938 **Dr. S. J. Begun** als Ingenieur bei der Brush Development Company, bei der er die Entwicklung eines serienreifen Recorders aufnahm. Begun's „**Soundmirror**“ war ein für damalige Verhältnisse qualitativ hochwertiger Stahlbandrecorder mit endlosem Band.

Die Magnettontechnik hatte bisher schon beachtliche Erfolge feiern können, die einfache Handhabung des Bandmaterials, Schneiden und Kleben, das „Montieren“ einer Aufnahme aus verschiedenen Teilen, kam einer rationellen Aufnahmetechnik sehr entgegen. Allein die qualitativen Voraussetzungen reichten nicht wesentlich über die der bestens eingeführten Schallplatte hinaus und so sah man auf breiter Basis noch keine nennenswerte Verbreitung. Der Rundfunk in Deutschland benutzte aber testweise ab 1935 dieses Verfahren und versuchte zudem eine Weiterentwicklung durch **Dr. Hans Joachim von Braunmühl** (1900 – 1980) und **Dr. Walter Weber** (1907 – 1944). Beide arbeiteten 1940 an dem Problem, durch Gegenkopplung des Aufsprechkopfes, Störspannungen zu unterdrücken. Durch Umkehrung der Gegenkopplung in eine Mitkopplung, die ein unhörbares Oszillieren der Schaltung zur Folge hatte, blieb das relativ hohe Grundgeräusch plötzlich aus. Man hatte durch Hochfrequenz, das Verfahren nannte man **Hochfrequenzvormagnetisierung**, den Arbeitspunkt auf der Magnetisierungskurve in den linearen Teil verschoben und dadurch den Rauschpegel um bis zu 30 dB gesenkt. Die erzielbare Dynamik erreichte nun Werte um 60 – 65 dB. Gerne wird die Entdeckung von Braunmühl und Weber dem Zufall zugeschrieben, doch der eingetretene Effekt entstand wohl eher als Vorgriff im Entwicklungsgang der wohlüberlegten Untersuchungen.

Die Entdecker reichten ihr Patent (DRP 743 411) am 29. Juli 1940 ein, das ihnen auch am 4. November 1943 erteilt wurde. Weber schlug damals vor, 100 kHz als Hf-Frequenz zu verwenden und den im Sprechkopf auftretenden Wirbelströmen versuchte man durch die Wahl von Permalloy und feiner Lamellierung zu begegnen.

Doch die Geschichte der Hf-Vormagnetisierung wäre gewiß unvollständig, würden nicht Forscherpersönlichkeiten Erwähnung finden, die Voraussetzungen für Braunmühl und Weber's Schaffen bereitstellten bzw. diese Erfindung im Prinzip sogar vorwegnahmen.

So gab **Reginald Aubrey Fessenden** (1866 – 1932) in einem am 10. Oktober 1907 eingereichten US-Patent für sein Stahldrahtgerät die Hochfrequenzlöschung an, in Verbindung mit dem Magnetfelddetektor für Telegrafie-Signale.

Am 26. August 1918 meldete **L. F. Fuller** ein Patent an, das die Hochfrequenzlöschung für ein Sprachaufzeichnungsgerät beschrieb.

Auch die Zusammenführung von Nieder- und Hochfrequenz zur magnetischen Aufzeichnung auf Stahldraht war in dem US-Patent Nr. 1640881, eingereicht am 26. März 1921, von den Amerikanern **W. L. Carlson** und **G. W. Carpenter** niedergelegt. Sie hatten herausgefunden, daß sich schwächere Signale durch Überlagerung einer 10 kHz-Schwingung noch eindeutig aufzeichnen ließen. Leider haben beide Wissenschaftler die Bedeutung dieses Effektes nicht erkannt, wurden aber nach dem Bekanntwerden der deutschen Geräte als Erfinder der Hochfrequenzvormagnetisierung geehrt. Dennoch wurde das deutsche Patent nicht angegriffen, es setzte die Aufzeichnung mit pulverisierten Magnetogrammträgern voraus.

Das japanische Patent Nr. 136997, angemeldet am 14. März 1938, beschrieb dagegen exakt die deutsche Entdeckung um Jahre zuvor. Es ist anzunehmen, daß die Tatsache der gegenseitigen Nichtlesbarkeit der Patentschriften verantwortlich war, die Duplizität der Beschreibungen durch die Erfinder und Patentämter unentdeckt zu lassen.

Wie bei der Schallplatte, die zuerst mit ungenormter, hoher Umdrehungszahl betrieben wurde, später aber hinsichtlich des internationalen Plattenaustausches mit genormter Tourenzahl lief, war es auch mit der Transportgeschwindigkeit des Drahtes, des Stahl- oder Tonbandes. Die anfangs 20 m/sec des Poulsen-Telegraphons wurden bald vermindert bis auf 1 m/sec, später 77 und 72 cm/sec, bis 1948 mit der Normung in den USA die Geschwindigkeiten auf das Zollsystem umgestellt wurden. Der exakte Wert lag nun bei 76,2 cm/sec (30 Zoll/sec). Etwa 1956 erfolgte der Übergang zur neuen deutschen Rundfunknorm 38,1 cm/sec (15 Zoll/sec). Die Bandgeschwindigkeiten für den Amateurbereich leitete man jeweils aus einer weiteren Halbierung ab, 19,05 cm/sec, 9,52 cm/sec, 4,76 cm/sec und schließlich die nur für Diktierzwecke verwendete Geschwindigkeit von 2,38 cm/sec.

Der weltweiten Einführung der Philips-Kassette, die 1963 begann, war schon 1943 ein Kassettengerät der AEG mit einer Kassettenbreite von 45 cm (!) vorangegangen, gefolgt 1948 von einem Kassettengerät der Firma Loewe Opta, das mit 19,05 cm/sec lief, dennoch aber nicht viel kleiner ausfiel. Beide Geräte waren mit sog. „Zweilochkassetten“ ausgerüstet, die Spulen nebeneinanderliegend. Die Amerikaner brachten später „Einlochkassetten“ heraus mit übereinanderliegenden Spulen oder nur einer Abwickelspule. Heute ist der Bereich Kassettentechnik mit einer Vielzahl von Konstruktionen belegt, die vornehmlich in speziellen Anwendungen Platz finden. Die populärste Spielart aber bleibt vorerst die Philips-Entwicklung **Compact – Kassette**, auch „Musicassette“ genannt, ausgerüstet mit 3,8 mm breitem Band, das mit 4,76 cm/sec läuft.

Die allgemeine Normierung des Jahres 1948 brachte auch der Breite des Tonbandes, mit anfänglich 6,5 mm, eine Korrektur auf zunächst 6,35 mm (1/4 Zoll), dann aber auf 6,25 mm. Später bestanden noch weitere Größen mit 12,7 mm (1/2 Zoll), 19,05 mm (3/4 Zoll), 25,4 mm (1 Zoll) und 50,8 mm (2 Zoll) Breite, die, abgesehen vom Video-Bereich, hauptsächlich der Mehrspuraufzeichnung dienen. In diesem Zusammenhang sei auch erwähnt, daß die Vollspuraufzeichnung ab 1950 durch die Halbspur- und ab 1959 die Viertelspurtechnik verdrängt wurde. Im Rundfunkbereich blieb man jedoch für die Monoaufzeichnung bei der Vollspur, für die Stereoaufnahme bei zwei Spuren mit je 2,75 mm Breite, getrennt durch einen Leerbereich von 0,75 mm.

Wie schon angedeutet, begann die kommerzielle Herstellung von Tonbändern in Deutschland bei der BASF in Ludwigshafen ab 1932 mit dem **Acetatband** (Acetylzellulose), hergestellt durch einen Gießprozeß. Leider war dieses Band sehr feuchtigkeitsempfindlich und die Kanten neigten überdies zum Einreißen. Ab 1942 begannen Versuche Polyvinylchlorid (PVC) als Trägermaterial und Bindemittel einzusetzen. Das  $\gamma$ -Eisenoxyd ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) war zudem im gesamten Bandkörper gleichmäßig verteilt und das Band erhielt deswegen den Namen **Masseband** – Typ L mit einer durchschnittlichen Dicke von 40  $\mu\text{m}$ . Gefertigt wurde es ausschließlich für den Betrieb mit 76,2 cm/sec.

Die Verringerung der Bandgeschwindigkeit auf 38,1 cm/sec und die Forderung nach besseren magnetischen und mechanischen Eigenschaften ließen den Typ – C entstehen, ein **Schichtband**, dessen aktive Schicht unter 20  $\mu\text{m}$  lag.

Die Vorteile des Schichtbandes:

- a) Trennung der Funktionen: Trägermaterial und magnetisch aktiver Bereich
- b) Möglichkeit der Variation in der Dicke der magnetischen Schicht und dadurch Veränderung der magnetischen Werte und der Speicherdichte
- c) stabilere mechanische Eigenschaften wie Schmiegsamkeit, Zugfestigkeit, Feuchtebeständigkeit

Die gelisteten Vorzüge führten bis heute zur Beibehaltung dieser Herstellungsart. Als günstigste, aber auch teuerste Trägerfolie hat sich der Kunststoff **Polyester** erwiesen, bis etwa 220°C temperaturbeständig und unempfindlich gegen Pilze, Bakterien, Fette, Öle und organische Lösungsmittel.

Die Forderung nach hoch aussteuerbaren und rauscharmen Magnetschichtauflagen führte zum **Chromdioxydband**, das aufgrund seiner Mikrostruktur eine höhere Packungsdichte des magnetisch wirksamen Materials bewirkte. Doch verlangen diese Bänder geänderte elektrische Entzerrungswerte.

Ein weiterer Hit in dieser Entwicklung ist das **Metallband**. Dabei geht man, wie in den Anfängen, von einer rein metallischen Schicht aus, die allerdings heute, um äußerst dünne Auflagen zu erzielen, aufgedampft wird. Die Speicherkapazität übertrifft die des Chromdioxydbandes bereits um das Zehnfache.

Jenes Gerät, das Oberlin Smith vorstellte, Poulsen und weitere Erfinder und Forscher realisierten und verbesserten, hat neben der Schallplatte seinen Platz gefunden. Weitere Entwicklungsmöglichkeiten des magnetischen Informationsträgers sind bis heute nicht versiegt. So hatte schon damals Kaiser Franz Joseph von Österreich auf der Weltausstellung in Paris im Jahre 1900 die majestätische Ermunterung gegeben, als er Poulsen's Telegraphon mit den Worten besprach:

„Diese Erfindung hat mich sehr interessiert und ich danke für die Vorführung derselben.“

## Lichtton

### Klangbild auf Zelluloid

Als der französische Maler **Louis Jacques Mande Daguerre** (1787 – 1851) im Jahre 1837 ein Verfahren erfand das Bilder auf einer Glasplatte festhalten konnte, die sog. Daguerreotypen, regte sich schon bald danach der Wunsch, auch Töne mit diesem neuartigen Verfahren darzustellen und zu speichern.

Im „Gewerbeblatt für Sachsen“ wurde 1841 der **Phonotyp** vorgestellt, ein Gerät, das eine Daguerreplatte mit Hilfe eines an der Aufnahmemembran befestigten Spiegels belichtete.

Verwertbare Lichttonaufzeichnungen sind dann aber erst nach der Erfindung des Phonographen vorgeschlagen worden. So beschrieb **St. George** in seinem Patent (DRP 27231) vom 4. September 1883 eine Klappe, die durch die Schwingungen einer Membran einen Lichtstrahl steuerte und dabei eine Art **Sprossenschrift** auf mit einer lichtempfindlichen Schicht bedeckten Scheibe erzeugte.

Dagegen hatte **Jakob Schwarz** in seinem Patent (DRP 112200) vom 3. Februar 1899 eine **Zackenschrift** vorgestellt, die, wiederum membrangesteuert, durch variable Abdeckung eines lichtdurchfluteten Spaltes auf der fotografischen Schicht entstand.

Von diesen akzeptablen, aber doch in weiten Bereichen verbesserungswürdigen Vorschlägen abgesehen, gebührt **Ernst Ruhmer** (1878 – 1913) das Verdienst, eine erste praktikable Lichttonaufzeichnung und –wiedergabe im Jahre 1901 der Öffentlichkeit präsentiert zu haben. Im Gegensatz zu den bisherigen Modellen verwendete er die „**sprechende Lichtbogenlampe**“, mit der weitgehend eine trägheitslose Lichtsteuerung gelang und die bereits 1894 von dem englischen Ingenieur **William du Bois Duddell** (1872 – 1917), sowie 1898 von **H. Th. Simon** erfunden und benutzt worden war. Den Lichtbogengleichstrom überlagerte dabei der vom Mikrofon erzeugte Sprechwechselstrom und ließ so die Lichtbogenlampe definierte Intensitätsänderungen ausführen. Die „tönende Lichtquelle“ wurde anschließend mit Hilfe einer Zylinderlinse auf einen schmalen Lichtstrich zusammengezogen und belichtete normalen Kinofilm in Form der Sprossenschrift. Während Ruhmer bei seinen ersten Versuchen noch Filmgeschwindigkeiten von 2 – 3 m/sec verwendete, konnte er später, durch Einbau einer besonderen Lampe und anderweitigen Verbesserungen, bis auf 20 cm/sec heruntergehen. Anstelle des Lichtbogens trat bei der Wiedergabe eine Projektionslampe, deren Licht durch den Film auf eine empfindliche Selenzelle fiel und dort in elektrische Wechselströme umgewandelt wurde. Mit dem Telefonhörer konnten die Stromschwankungen abgehört werden. Die von Ruhmer gebaute Aufnahme- und Wiedergabeapparatur erhielt den Namen **Photographophon**. Im Prinzip ist diese Anordnung auch in heutigen Lichttonanlagen enthalten.

1903 experimentierte **Arthur Korn** (1870 – 1945) mit der Sprossenschrift, diesmal allerdings mit dem Licht einer Glimmlampe gewonnen. 1905 erhielt er durch Versuche mit dem Spiegelgalvanometer eine Zackenschrift als Folge verschieden langer Streifen gleicher Schwärzung.

Mit zu den ältesten Tonfilm pionieren gehörte auch der Franzose **Eugen Lauste**. Er hatte sich für die Weiterentwicklung der Ruhmer'schen Apparate eingesetzt, baute verschiedene Lichtsteuergeräte und ist besonders durch seine **Bildtonkamera** bekannt geworden, in der Bild und Ton gleichzeitig auf einem einzigen Film aufgenommen wurden (zum Patent angemeldet am 11. August 1906).

Wohl ebenfalls angeregt durch Ruhmer's Versuche fertigte der Schwede **Sven Ason Berglund** 1906 **Lichttonplatten** nach einem schon von dem Prager **Emanuel Červenka** beschriebenen Verfahren. Die Aufzeichnung erfolgte in Seitenschrift, indem das an der Sprechmembran angebrachte kleine Spiegelchen mit einem Lichtstrahl wellenförmige Linien in einer Spirale auf die fotografische Schicht schrieb. Während



eines speziellen photochemischen Prozesses entstand ein Quellrelief, aus dem nach dem Wachsabdruck eine Matrize hergestellt werden konnte.

Mit einer ähnlichen Versuchsanordnung hatte Berglund, unter Zuhilfenahme eines Graukeils, Aufzeichnungen in Sprossenschrift erhalten. Später beschrieb er in seinem Patent vom 28. August 1912 die Zackschrift. Zur Lichtsteuerung benutzte er dreieckige Blenden, die sich vor einem Spalt im Rhythmus der Sprache bewegten und schließlich war er es auch, der erstmals durch Aneinanderreihung jener Blenden Tonaufzeichnungen in **Vielzackschrift** ermöglichte.

Im ganzen wirkten Ruhmer's Entdeckungen sehr befruchtend. Zahlreiche Erfinder bemühten sich in mannigfaltigen Patenten, dem noch jungen Medium Film Sprache zu verleihen. Doch selbst so raffinierte Vorschläge wie die Aufnahme von Zackschrift unter Verwendung des Glimmlampenoszillographen, 1902 von Duddell unterbreitet, konnten dem Lichtton noch keine breite Basis in der Öffentlichkeit schaffen. Der Durchbruch gelang erst, als die Elektronenröhre für eine ausreichende Verstärkung der minimalen Wechselströme sorgte und angemessene Lautstärke ermöglichte. Der Rahmen für einen größeren Zuschauerkreis war damit gegeben.

In den kommenden Jahren gaben schließlich drei Männer dem Kinofilm wesentliche Anregungen. Das Trio **Hans Vogt** (1890 – 1979), **Joseph Massolle** (1889 – 1957) und **Joseph Benedict Engl** (1893 – 1942) schufen das nach ihnen benannte **Triergon-Verfahren**. Ihre Arbeiten begannen sie 1918 an der Technischen Hochschule in Berlin. anstelle des Kohlekörnermikrofons entwickelten sie ein als **Kathodophon** bezeichnetes Kondensatormikrofon. Ferner schuf die Arbeitsgemeinschaft aufgrund der inzwischen eingeführten Elektronenröhre eine Verstärkeranordnung für den Aufnahme- und Wiedergabebereich sowie eine trägeheitslos arbeitende Glimmlampe. Die bisher für die Tonwiedergabe verwendete Selenzelle wurde durch die besser ansprechende Photozelle ersetzt. Ähnlich erging es dem Trichterlautsprecher, der dem elektrostatisch erregten Lautsprechersystem weichen mußte. Übrigens geht das **Reintonverfahren** als Verschiebepverfahren auf ein Patent von Engl vom 5. Februar 1929 zurück. Die erste öffentliche Vorführung der neuen Technik fand am 17. September 1922 in den Berliner Alhambra-Lichtspielen statt, die von der Filmkritik mit nicht gerade lobenden Worten bedacht worden war. 1927 gingen dann die Patente der Triergon-Gemeinschaft an den Amerikaner **William Fox** über, der gemeinsam mit **Case** ein ähnliches Lichttonverfahren, das **Movietone**, entwickelte.

Nicht zuletzt war der Mißerfolg der Triergon-Gruppe auf die noch unzureichenden Lichtsteuergeräte zurückzuführen. Erst 1924 gelang es dem Physiker **August Karolus** (1893 – 1972) den schon 1875 beobachteten **Kerr-Effekt**, entdeckt von dem britischen Physiker **John Kerr** (1824 – 1907), technisch nutzbar und einsatzfähig zu machen. Dieser Effekt, der isotrope Stoffe durch Ausrichtung ihrer polaren Moleküle im elektrischen Feld doppelbrechend werden läßt, wurde von Carolus dahingehend verbessert, indem er eine zusätzliche Gleichspannung (Vorspannung) anlegte, um dadurch einen linearen Zusammenhang zwischen Elektrodenspannung und Lichtfluß herzustellen. Die Kerr-Zelle als Lichtventil, für Frequenzen bis  $10^9$  Hz verwendbar, stellte viele Jahre das beste Verfahren der Steuerung dar.

Mit zunehmender mechanischer Präzisionsleistung kündigten sich bald elektromechnische Lichtsteuerungen an, die allerdings neben der Betriebssicherheit Anforderungen wie Frequenzgang von 30 – 10 000 Hz, Temperaturunabhängigkeit, geringer Leistungsbedarf und möglichst kleine Abmessungen erfüllen mußten.

**C. Müller** gelang 1932 die Realisierung eines elektrostatischen Systems.

1934 konstruierte die Klangfilm GmbH Berlin den **Lichthahn** als elektrodynamische bzw. elektromagnetische Variante, die wegen ihrer idealen Kennlinie und der hohen Betriebssicherheit die Kerr-Zelle verdrängte.

In dieser Entwicklungslinie liegen auch das **Galvanometer** der RCA (elektromagnetischer Typ), die **Lichtschleuse** der Western Electric Company (Steuerung

durch Blendenvariation) sowie der **Saitenoszillograph** der Selenophongesellschaft in Wien, ebenfalls nach der Blendentechnik arbeitend.

Ein völlig neuartiges Verfahren, um eine Lichttonaufzeichnung ohne zeitraubende Entwicklungs- und Kopierarbeiten zu erhalten, wurde von dem amerikanischen Ingenieur **J. A. Miller** vorgeschlagen und Mitte der 30er Jahre von den Versuchslaboratorien der N. V. Philips Gloeilampenfabrieken, Eindhoven, technisch realisiert. Das Ergebnis war das mechanographische **Philips-Miller-Verfahren**, das sich allein auf bandförmige Aufzeichnungsträger beschränkte. In den sog. „Philimil“-Streifen, eine transparente, einseitig mit einem undurchsichtigen Lack versehene Folie, gravierte ein Saphir-Schneidstichel (Schulterwinkel  $174^\circ$ ) in Tiefschrift die Information als **Doppelzackenschrift** in die Lackfläche und legt dabei Teile der transparenten Folie frei. Die erhaltene Aufzeichnung konnte sofort mit der für Tonfilm festgelegten Transportgeschwindigkeit von 456 mm/sec wiedergegeben werden.

Als Pendant zum Philips-Miller-Verfahren muß noch das mit Seitenschrift versehene Zelluloid-Band für das Bandgrammophon **Tefiphon** genannt werden, das auf dem Format des üblichen Kinofilms (35 mm Breite) pro Seite 100 „Rillenwindungen“ trug und maximal 24 Stunden Programm speichern konnte. Später wurde das Filmformat auf 16 mm Breite gesenkt und der Wickel, einseitig bespielt, in einer Endloskassette untergebracht.

Selbst heute ist der traditionelle Lichtton von der besseren Magnettonetechnik nicht völlig verdrängt worden. Als letzte und revolutionäre Veränderung des Schreibens und Lesens mit Licht hat sich der digitale Einsatz des Laserstrahls etabliert.

## Von Sprossen und Zacken

Im Laufe der Zeit haben sich, angefangen von den Schriftarten Sprossenschrift und Einzackenschrift, die es im Prinzip schon seit Mitte des 19. Jahrhunderts gab, eine Reihe von Lichttonschriften entwickelt. Die Vielzahl rührt von den immer weiter gesteckten Zielen einer vollkommenen Wiedergabe her.

- a) Die **Sprossenschrift** bewirkt eine Änderung der mittleren Filmdurchlässigkeit (Transparenz). Die Wellenberge der Aufzeichnung folgen aufeinander wie die Sprossen einer Leiter und füllen jeweils die gesamte Breite der Lichttonspur.
- b) Bei der **Einzackenschrift** ändert sich die Längenausdehnung des Lichtgebirges
- c) Bei symmetrischer Verdopplung der Einzackenschrift entsteht die **Doppelzackenschrift**. Der Aufnahmeklirrfaktor tritt hier weit weniger unangenehm in Erscheinung als bei der Einzackenschrift.
- d) **Vielzackenschriften** in Ein- oder Doppelzackenreihen besitzen ihre Vorteile in störungsfreier Wiedergabe (ein beschädigter Kurvenzug wird kaum hörbar) und lassen Justierfehler in entsprechend geringem Maße bemerkbar werden.
- e) **Gegentakt-A-Schrift** und **Gegentakt-B-Schrift**: Während bei der A-Schrift jede Teilspur die volle Amplitude erhält, nur um  $180^\circ$  verschoben, werden bei der B-Schrift in den Teilspuren jeweils nur die positive bzw. negative Halbwelle aufgezeichnet. Beide Schriften müssen mit zwei im Gegenteil arbeitenden Photozellen abgetastet werden.

- f) Beim **Reintonverfahren** wird das durch die Körnigkeit der Filmemulsion ausgelöste Rauschen weitgehend unterdrückt. Mit abnehmender Aussteuerung verkleinert sich die mittlere Transparenz.

## Digitalaufzeichnung

### Geschichten aus „Null“ und „Einer“ Nacht

Manch kostbare Stimme fand, auf Schallplatte „verewigt“, den frühen Rillentod. Nadeln schabten das letzte Quäntchen Timbre aus der Furche, Knistern und Knacken nahmen überhand, beängstigend hohe Verzerrungen gaben den Rest. Zeigte die Magnetbandmethode nicht diese Schwächen, so waren es hier andere Defekte wie Klirrfaktor oder eingeschränkte Dynamik, die verwöhnte Ohre bemängelten. Dennoch hat die Schallplattentechnik wie auch die Magnetbandaufnahme technische Höchststände erreicht, ja trotz der heute bestens eingeführten digitalen Audiotechnik sind gegenläufige Bestrebungen in Richtung Analogaufzeichnung zu bemerken. Tatsächlich geht es den Kritikern gar nicht so sehr um die Analog- oder Digitalmethode, vielmehr doch um das subjektiv empfundene Hörereignis, das, durchweg digital aufgenommen, Schärfe und Härte zeigt und als Analogaufnahme weichere und „menschlichere“ Züge trägt. Ausweichend sind deswegen auch Versuche unternommen worden, die analogen Eigenheiten mit den Vorteilen der Digitaltechnik zu kombinieren.

Vergleicht man analoge und digitale Audiotechnik, so werden die Unterschiede besonders deutlich.

	Vorteile	Nachteile
<b>analog</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• relativ einfacher Geräteaufbau</li> <li>• relativ einfaches und schnelles Handling</li> <li>• im Prinzip einfache Rekonstruktion der Aufnahmen</li> <li>• bei Tonbändern simple Schnittmöglichkeit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bearbeitungen, z.B. Erstellung von Kopien, in Echtzeit</li> <li>• mit jeder Kopiengeneration wachsen die Störungen</li> <li>• wegen des Echtzeitproblems müssen die Trägersysteme auf Langlebigkeit optimiert werden</li> <li>• erheblicher Lagerplatz</li> <li>• Schnitt bei Magnetbändern in der Regel destruktiv oder mit hohem Aufwand über Kopierfunktion</li> </ul>
<b>digital</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anfertigung von Kopien praktisch ohne Kopierverluste</li> <li>• Bearbeitungen in Echtzeit oder erheblich kürzer</li> <li>• im Sinne der Erhaltung der Information ist die Lebensdauer der Träger und Gerätesysteme irrelevant</li> <li>• hohe Datensicherheit durch automatische Fehlerkontrolle</li> <li>• Automatikfunktionen (z.B. Anlegen von Kopien)</li> <li>• Vernetzungsfähigkeit</li> <li>• Indizierung im System enthalten</li> <li>• durch hohe Speicherdichte geringster Platzbedarf</li> <li>• keine destruktiven Bearbeitungen (z.B. Schnitt) möglich</li> <li>• Systeme multimedial verwendbar</li> <li>• insgesamt besseres Preis-Leistungs-Verhältnis gegenüber Analogspeicherung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• komplizierteste Technik im Zusammenspiel von Hard- und Software</li> <li>• Rekonstruktion der Information auf einfache Art nicht möglich</li> </ul>

Die Tabelle deutet auch die Grundzüge einer unterschiedlichen Speicherphilosophie an. Würde bei der analogen Speicherung aufgrund des Zeitfaktors das „ewige Datenträgersystem“ angestrebt, sind auf der digitalen Seite allein der „ewige Datensatz“ relevant. Auch in dieser Hinsicht hat uns das digitale System überrascht und förderte neue Sichtweisen.

Man möchte meinen, die Methode mit „0“ oder „1“ Nachrichten zu vermitteln, sei der modernste „Schrei“ der Technik. Doch die Geschichte zeigt, daß schon lange vor der Entdeckung der Elektrizität digitale Signale bekannt waren wie beispielsweise die **Feuerzeichen** amerikanischer Indianer oder das **Trommeltelefon** des afrikanischen Urwalds. Es mußte mit dem fernen Partner ein bestimmter Code verabredet werden, damit die Bedeutung der Zeichen verstehbar wurden.

Einen für den Audibereich sinnvollen Einsatz der Digitaltechnik fand man natürlich erst nach den theoretischen und praktischen Erkenntnissen der **Puls-Code-Modulation** (PCM).

So erkannte **Harry Nyquist** (1889 – 1976) 1924 die Grundlagen der Informationstheorie für den ungestörten bandbegrenzten Kanal, angewandt für verschiedene Telegrafencodes.

Die Erweiterung dieser Theorie auf die allgemeine Form eines quantisierten Signals gebührte 1927 **Richard Hartley**. Noch in demselben Jahr heißt es in einer Veröffentlichung der „Elektrotechnischen Zeitschrift“: „Wir wissen heute, daß die genaue Übertragung ... nur erzielt werden kann, wenn ... Ströme den Schallwellen ... genau entsprechen.“

Dementgegen hatte 1936 **Edwin Howard Armstrong** (1890 – 1954) den Nachweis erbracht, daß sich die Veränderung des Audiosignals durch Frequenzmodulation geräuschkindernd auswirkte.

Das in dieser Beziehung wirksamste Verfahren ist die 1938 von **A. H. Reeves** erfundene Puls-Code-Modulation (PCM). Laut seiner Patentschrift sind die dem Sprachsignal entnommenen Abtastproben mit Hilfe eines Codes übertragbar und zwar mit einer Folgefrequenz, die größer ist, als die im Signal vorkommenden höchsten Frequenzen.

1939 wurde von **H. Raabe** dann erstmals die Gültigkeit des Abtasttheorems bewiesen. **Claude Elwood Shannon** (1916 – 2001), Mathematiker und Begründer einer umfassenden **Informationstheorie**, fand schließlich 1948, daß zur Wiederherstellung eines ursprünglich analogen Signals das digitale Signal mit der doppelten Samplingfrequenz bezogen auf die höchste im Signal vorkommende Frequenz abgetastet werden muß. Die besondere Bedeutung des sog. Shannon-Theorems liegt in der mathematischen Beweisführung, daß unter der Bedingung der doppelten Abtastfrequenz kein Informationsverlust stattfindet.

In den Jahren nach dem 2. Weltkrieg entwickelte man Versuchssysteme in Röhrentechnologie, zunächst mit acht, später mit zwölf Kanälen. Erst nach der Erfindung des Transistors, 1948 durch **John Bardeen** (1908 – 1991) und **Walter H. Brattain** (1902 – 1987) gewann die PCM gegenüber anderen Modulationsverfahren an Bedeutung. Dazu erblickte 1970 der erste Mikroprozessor das Licht der Welt. Nun konnte man mit schnellen integrierten Schaltungen (IC) in Verbindung mit Mikroprozessoren die rechnergestützte Verarbeitung in Angriff nehmen.

Damit waren alle „Bauteile“ für ein digitales Audioträgersystem gegeben. Populärster Höhepunkt der intensiven Bemühungen ist die von Philips, Eindhoven, vorgestellte digitale „Schallplatte“ **Compact-Disc** (CD), die erstmals am 7. März 1979 vor Fachjournalisten demonstriert wurde. Zur Herstellung der nur 12 cm Durchmesser großen, in allen Regenbogenfarben schillernden Platte mußte das Analogsignal in Umsetzschaltungen, den Analog-Digital-Wandlern, in eine digitale Zeichenfolge überführt werden. Die Häufigkeit der berechnenden Zugriffe auf das Analogsignal (Samplingrate) lag für die CD bei 44,1 kHz und die Genauigkeit der Sampling-Werte wurde mit einer 16-

Bit-Zahl aufgelöst, ein enorm präziser Wert. Der Begriff „Bit“ steht in der gesamten Digitaltechnik für die kleinste Informationseinheit, d.h. „0“ oder „1“.

Als feinste Vertiefungen unterschiedlicher Länge – bei der CD heißen diese um 1 µm großen Informationselemente „Pits“ – werden die digitalen und für die CD codierten Abtastwerte mit einem Laserstrahl in die beschichtete Glasmasterplatte gebrannt, entwickelt und geätzt. Die entstandene Preßvorlage, eine Matize aus Glas, trägt nun das digitale Negativ-Profil und wird für die Herstellung der CD-Scheiben herangezogen. Die Preßrohlinge aus glasklarem Polycarbonat-Kunststoff müssen nun auf der Informationsebene mit einer hochreflektierenden Aluminiumauflage verspiegelt werden. Ein besonders abgestimmter Abdecklack schützt diesen empfindlichen Bereich vor Zerstörungen.

Im CD-Player interpretiert der bis auf 1 µm fokussierbare Abtastlaserstrahl die Löcher (Pits) als logische „0“, den nichtvertieften Bereich als logische „1“. Preßfehler und Verunreinigungen erzeugen durch das so geänderte Pit-Muster während des Lesevorgangs Fehlinterpretationen, die allerdings in der Regel von der internen Fehlerkorrektur gemeistert werden. Die Wiedergabeelektronik des Players setzt dann in der Digital-Analog-Wandlerstufe die digitalen Werte in eine analoge Spannungsänderung um.

Die Drehzahl der CD-Scheibe beträgt bei einem konstanten Datenfluß von 4,3218 Mbit/sec anfangs im Innenbereich ca. 500 U/sec und gegen Ende der CD im Außenbereich ca. 200 U/sec. Mit Blick auf die variable Plattenumdrehungszahl sei auf das historische Vorbild der Bell-Tainter'schen Plattenmaschine mit konstanter Rillengeschwindigkeit und Modulationsbeginn in der Innenrinne verwiesen (Patent vom 27. Juni 1885).

Weitere technische Daten der CD:

max. Spielzeit	60 Minuten
Anzahl der Tonkanäle	2
Frequenzgang	20 – 20 000 Hz
Signal-Rausch-Abstand	> 90 dB
Dynamik	> 90 dB
Kanaltrennung	> 90 dB
Klirrfaktor	max. 0,05 %
Gleichlaufschwankungen	nicht meßbar

Mit dem Erscheinen der CD, der wohlwollenden Aufnahme durch das Publikum und der Etablierung des CD-Systems war das Eis für weitere digitale Audioprodukte gebrochen. Und gerade die extrem schnelle Entwicklung der Computerwelt unterstützte diesen Trend.

In den ersten Jahren nach dem Erscheinen der CD wurde im Tonstudiobereich die Masterbandaufnahme für den CD-Produktionsprozeß auf dem **U-Matic**-Bandrecorder gefahren, ein mit PCM-Technik versehener und für das CD-Mastering umgebauter professioneller Videorecorder mit Schrägspuraufzeichnung.

Für den Consumbereich wurde ein ebenso mit Schrägspuraufzeichnung und rotierender Kopftrommel versehenes Gerät gebaut, der **DAT-Recorder** (Digital Audio Tape). Wie bei den U-Matic-Geräten arbeitete der DAT-Recorder mit linearem Audiodaten und 48 bzw. 44,1 kHz Samplingfrequenz, allerdings mit wesentlich kleineren Geräteabmessungen und Kassettengrößen. Doch hat sich das DAT-System im Consumsektor nicht so wie gewünscht durchgesetzt, dafür aber bei den Tonstudios und letztlich auch im Rundfunkbetrieb.

Ein zweiter Anlauf, den geschätzten Verbraucher mit einem digitalen Kassettengerät anzusprechen, gelang auch mit der Anfang der 90er Jahre auftauchenden **Digital-Compact-Cassette** (DCC) von Philips nicht. Als Zwittermodell sollte der DCC-Recorder die bestens eingeführten MC-Kassetten nur abspielen und die von den Gehäuseabmessungen sehr ähnlichen DCC-Kassetten im Aufnahme- und Wiedergabebetrieb bedienen können. Die DCC verwendete wegen der Längsaufzeichnung das PASC-Verfahren (Precision Adaptive Subband Coding) zur Datenreduktion.

Mehr Glück bei der Einführung hatte die **Mini-Disc** (MD) als im Format kleine, mehrfach beschreibbare CD, zum Schutz untergebracht in einem Plastik-Gehäuse. Bei einer Aufnahmezeit von 74 Minuten und 120 MB Speicherkapazität sind die Audiodaten mit dem Datenreduktionsverfahren ATRAC (Adaptive Transform Acoustic Coding) versehen. Durch die minimierte Datenträgergröße und die inzwischen ausgereifte CD-Technik konnten die Geräte tragbar und auf Taschengröße verkleinert werden.

Inzwischen wird immer mehr der **Computer** als Datendrehzscheibe für Audiodaten benutzt. Gespeichert auf der **Festplatte** lassen sich die zuvor aufgezeichneten oder kopierten Audiofiles mit Software-Playern abspielen, mit CD-Brennern auf CD-Rohlinge bannen oder auf sog. **DVD-Platten** (Digital-Versatile-Disc) ablegen. Beidseitig beschrieben speichert die DVD bis zu 17 GB Daten.

Die Entwicklung der Computer, und damit auch die Möglichkeiten der gesamten Audiotechnik, verlaufen in einer rasanten Geschwindigkeit. Weltweit verbunden über das **Internet** werden wir mit immensen Mengen an Information überflutet und es sind nicht mehr nur Buchstaben und bunte Fotos die uns erreichen, sondern auch Töne, ja sogar bewegte Tonfilmsequenzen. Die „**Schallplattenbörse**“ per Datenleitung, für eine zeitlang sogar kostenlos, gehört heute zum Alltag und damit gehen wohl inzwischen sehr viele Wünsche einer weltweiten und interessierten Hörerschaft in Erfüllung.

Jules Verne´s Wort:

„Man kann alles in der Welt zustande bringen,  
wenn man es nur praktisch genug anfängt“

birgt angesichts der technischen „Explosion“ auch etwas unheimliches in sich.

## Grenzbereich: Mechanische Musikinstrumente

### Faszination des Unsichtbaren

Alles was wir Menschen an Klängen und Geräuschen mit unseren Ohren wahrnehmen können, erhalten wir über das Medium Luft. So ging die bisherige Beschreibung der Schallaufzeichnungsentwicklung auch davon aus, daß die von Schallgebern stammenden Schallereignisse als Luftschall über Wandler wie Schalltrichter oder Mikrofon auf ein Speichermedium gebracht werden. In der Regel ist das auch heute noch der Fall, sieht man von direkt abgenommenen Schallereignissen wie beispielsweise bei elektronischen Musikinstrumenten oder bei Aufnahmen mit dem Körperschallmikrofon einmal ab. In allen Fällen der traditionellen Schallspeicherung ist als Ausgangspunkt die analoge Schallwelle anzusehen, die als Luft- bzw. als Körperschall herangezogen wird.

Im Gegensatz dazu steht die Gruppe der mechanischen Musikinstrumente, deren Speicherinhalt nicht vom Vorhandensein einer Schallwelle bestimmt wurde, sondern durch Eingeben eines festgelegten Codes, der mit den technischen Reproduktionseinrichtungen in Verbindung mit den Tonerzeugern des Instruments zusammenwirkte. Bei der Wiedergabe des spezifischen Codes erklingt das Musikinstrument „leibhaftig“ und in höchster Vollendung. Das Streben nach bester Wiedergabetreue, im Grunde ist es der Hi-Fi-Gedanke, ist bezüglich dieser Tatsache an einem nicht zu überschreitenden Endpunkt angelangt und das in einem Klangraum, der heutige Stereo-, Quatro- oder Surround-Klangaufzeichnungen ins Abseits stellt.

Mechanische Musikinstrumente als genialste Wiedergabeapparaturen für Musik? Leider nein. Zwar ist der Klang des Instruments ohne Mängel, doch die interpretatorischen Möglichkeiten des Aufnahmeverfahrens und die codierungsbedingten Feinheiten in der Umsetzung sind relativ bescheiden. Spieldosen, Orgelautomaten, Flötenspielwerke, Reproduktionsklaviere oder ähnliche Geräte, allen haftet die Genialität des erzeugten Klanges und die Mißlichkeit der Aufführung an. So wäre bezüglich der mechanischen Musikinstrumente eine „neue Hi-Fi-Norm“ zu schreiben, die nicht die klangsynthetischen als vielmehr die klanginterpretatorischen Aspekte einbindet.

Es lag am Prinzip und daher formte die Entwicklung der mechanisch reproduzierenden Musikinstrumente auch das Streben nach interpretatorischer Vollkommenheit. Blickt man zurück, so kann diese Linie gut erkennbar nachgezogen werden.

**Heron von Alexandrien** – wahrscheinlich lebte er im ersten Jahrhundert n. Chr. – beschrieb den Entwurf eines **Miliariums**, eine vermutlich mit Dampf betriebene selbstblasende Trompete.

**Albrecht von Scharfenberg**, ein Dichter des 13. Jahrhunderts, erwähnte „**süß singende Vögel**“, angetrieben durch einen Balg für den erforderlichen Wind.

In einem Bericht der „Academie Royal des Science“ in Paris findet erstmals um 1700 die **Drehorgel** „Orgue des Barbarie“ Erwähnung.

Die Erfindung des **mechanischen Klaviers** geht in seinen Anfängen auf die Mitte des 18. Jahrhunderts zurück. Gebaut wurde es allerdings erst im Jahre 1892.

Das „Musikalische Wörterbuch“ aus dem Jahre 1829 beschreibt die Drehorgel kurz und bündig: „Es gibt große und kleine Drehorgeln, häufig zur Folter für musikalische Ohren geschaffen.“ Die Feststellung der Unzulänglichkeit traf sicher auch andere Artgenossen, wengleich die ständige Verfeinerung der Darbietung zielstrebig vorangetrieben wurde.

Die ständigen Verbesserungen und Verfeinerungen in der Spieltechnik der mechanischen Klaviere führten bei der Firma Welte & Söhne in Freiburg zu einem ausgeklügelten pneumatischen System, das die Aufzeichnung und die Wiedergabe von Anschlagstärke, Temposchwankung und Pedaleinstellungen erlaubte. Der serienreife



„Nuancierungs-Apparat“ wurde laut Patentschrift vom 21. November 1904 scheinbar „... allen Feinheiten des rhythmischen und dynamischen Vortrages mit völligem Erfassen der persönlichen Note ...“ gerecht. Die Nachricht von einem solchen Wunderinstrument weckte bei vielen berühmten Komponisten und Pianisten die größten Erwartungen. Die **Welte-Mignon**-Reproduktionspianos wurden ab 1905 in Serie produziert.

Der Amerikaner **Wayne Stahnke** setzte nochmal eins drauf und stattete sein Reproduktionsklavier mit Lichtschranken aus, die jedes einzelne Saitenhämmerchen in der Anschlaggeschwindigkeit steuerten. Bislang ist es in der Präzision der gestalterischen Vorgaben unübertroffen.

Trotz der grundsätzlichen Problematik aller mechanischen Musikinstrumente umgibt besonders die reproduzierenden Klaviere ein mystisches Flair. Der russische Komponist Glasounow sagte während des Abhörens seiner eigenen Einspielung, daß er die gleiche Nervosität heraushöre, wie bei der Aufnahme zuvor. Der Dirigent Arthur Nikisch äußerte: „Man meint, den betreffenden Künstler in Person vor sich zu sehen und ihn spielen zu hören.“

Und damit leiten die prominenten Äußerungen weg von der technischen Unzulänglichkeit hin zu faszinierenden und prickelnden musikalischen Genüssen, die der große Dirigent Felix Weingartner 1903 mit den Worten beschrieb:

„Was große Klavier-Meister unserer Tage leisten,  
kann nun nicht mehr untergehen und spätere Generationen  
werden die Früchte dieser genialen Erfindung genießen.“

## Literatur

### Nadelton:

- F. Bergtold, Moderne Schallplattentechnik,  
Franzis-Verlag, München 1959
- Walter Bruch, Von der Tonwalze zur Bildplatte,  
Funkschau 1979, 1982
- Das mechanische Musikinstrument, Nr. 20 (1981) 6. Jahrg.  
Nr. 24 (1982) 7. Jahrg.
- W. Haas, Das Jahrhundert der Schallplatte,  
Bielefelder Verlagsanstalt 1977
- Handbuch der Funktechnik und ihrer Grenzgebiete,  
Francksche Verlagsanstalt, Stuttgart 1936/37
- Historische Entwicklung der Schallplattentechnik,  
Deutsche Grammophon-Gesellschaft 1971
- H. Jüttemann, Aus der Frühzeit des Grammophons,  
Das mechanische Musikinstrument, Nr. 7 (1977)
- H. Jüttemann, Phonographen und Grammophone,  
K&B-Verlag, Braunschweig 1979
- W. Kaempffert, Bahnbrechende Erfindungen in Amerika und Europa,  
R. Mosse-Buchverlag, Berlin 1927
- P. H. Kylstra, 1877 – 1977 the centenary of the phonograph
- R. Lothar, Die Sprechmaschine,  
Feuer-Verlag, Leipzig 1924
- H. R. Monse, Tonhandbuch für alle,  
Foto-Kino-Verlag, Leipzig 1977
- A. Parzer-Mühlbacher, Die modernen Sprechmaschinen,  
A. Harthlebens-Verlag, Wien, Pest, Leipzig 1902
- C. Riess, Knairs Weltgeschichte der Schallplatte,  
Droemer Knaur, Zürich 1966
- E. Rhein, Wunder der Wellen,  
Deutschen Verlag, Berlin 1954
- F. Schiecke, Die Wachsplatte als Tonträger im Deutschen Rundfunk,  
Reichsrundfunk, 1941/42, H. 18

**Magnetton:**

- E. Altrichter, u.a., Grundlagen der magnetischen Signalspeicherung,  
Akademie-Verlag, Berlin 1972
- H. J. Braunmühl, Das Magnetofon im Rundfunkbetrieb,  
Reichsrundfunk, 1941/42, . 9/10
- W. Bruch, Von der Tonwalze zur Bildplatte,  
Funkschau, 1979, 1982
- E. Christian, Magnettontechnik,  
Franzisz-Verlag, München 1969
- F. K. Engel, Oberlin Smith und die Erfindung der magnetischen Schallaufzeichnung  
BASF 1990
- F. Krones, Die magnetische Schallaufzeichnung,  
Technischer Zeitschriftenverlag b. Erb, Wien 1952
- E. Pfau, Tonbandtechnik,  
Fischer Handbücher, März 1973
- G. Schadwinkel, Schallplatte oder Magnetofonband im Rundfunkbetrieb?,  
Reichsrundfunk, 1941/42, H. 12
- E. Schüller und B. M. Schüler, Die Geschichte des Magnettons,  
Telefunken-Archivdienst, Hannover 1973
- E. v. d. Valentyn, Die Entwicklung der Schallaufzeichnung im Großdeutschen Rundfunk,  
Reichsrundfunk, 1941/42, H. 12
- W. Weber, Von der Wachsplatte zum Kleinstmagnetofon,  
Reichsrundfunk, 1944/45, H. 13/14

**Lichtton:**

- W. Bruch, Von der Tonwalze zur Bildplatte,  
Funkschau, 1979, 1982
- L. Graf Schwerin von Krosigk, Die große Zeit des Feuers,  
R. Wunderlich-Verlag, Tübingen 1979
- A. Hübl, 51 Jahre Film,  
Eberle Verlag, Wien 1947
- P. Kandorfer, Lehrbuch der Filmgestaltung,  
Deutscher Ärzte-Verlag 1978
- Kleine Enzyklopädie Film,  
VEB Bibliographisches Institut, Leipzig 1966
- H. Lichte, A. Narath, Physik und Technik des Tonfilms,  
S. Hirzel, Leipzig 1945
- F. Porges, Schatten erobern die Welt,  
W. T. I. – Verlag, Basel 1946
- F. v. Zglinicki, Der Weg des Films,  
Rembrandt-Verlag, Berlin 1956

**Digitalton:**

Compact-Disc-Player Philips CD 100,  
Hi-Fi Stereophonie 11/82

H. Feichtinger, Ein Dutzend Jahre Mikrocomputer,  
Franzis-Verlag, MC 11/1982

E. Hölzler, H. Holzwarth, Pulstechnik, Bd. 1  
Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, N.York 1975

L. R. Rabiner, R. W. Schafer, Digital Processing of Speech Signals,  
Prentice-Hall, Inc., New Jersey 1978

F. Schöler, Hi-Fi-Technik für Aufsteiger,  
Jüngling-Verlag, Karlsfeld 1979

**mechan. Musikinstrumente:**

G. Bender, Die Uhrmacher des hohen Schwarzwaldes und ihre Werke,  
Verlag Müller, Villingen 1975

Schallplattenbeilage Telefunken

H. Zeraschi, Drehorgeln,  
Koehler & Amelang, Leipzig 1976