

Aufzeichnungsverfahren von Musik unter kulturethologischen Aspekten

1. Einleitung

Ausgangspunkt und Haupttriebfeder der Entwicklung für Aufzeichnungsverfahren von Musik war zweifellos das Bedürfnis des Menschen, die im Rahmen kultureller bzw. kultischer und religiöser Veranstaltungen erforderliche Musik zu konservieren. Mit zunehmendem Bewußtwerden der schöpferischen Komponente dieser musikalischen Kompositionen gewann dann aber das Bestreben immer mehr an Bedeutung, musikalische Kompositionen für jedermann verfügbar zu machen, sei es zum Zwecke der präzisen unmittelbaren Wiederholung oder zur Tradierung für nachfolgende Generationen. Die Geschichte der Aufzeichnungsverfahren von Schall, insbesondere von Musik, zeigt in eindrucksvoller Weise, daß auch bei dieser kulturellen Entwicklung Gesetzmäßigkeiten festzustellen sind, wie sie in ähnlicher Weise in der biologischen Evolution der Arten eine Rolle spielten bzw. immer noch spielen.

Schon sehr frühzeitig haben sich bei den Aufzeichnungsverfahren von Musik hauptsächlich zwei Entwicklungslinien herausgebildet. Die eine Entwicklungslinie basiert auf der schriftlichen Fixierung von Musik als Grundlage für spätere Interpretation durch Musiker. Als Speichermedium diente hier zunächst Pergament, dann aber vorwiegend Papier. Die andere Linie beruht auf der Speicherung und Wiedergabe von Musik mittels technischer Vorrichtungen und Apparate. Erstere führte letztendlich zur heutigen Notenschrift, letztere gipfelt – ausgehend von der Entwicklung mechanischer Musikinstrumente – in der heute weitgehend originalgetreuen Musikwiedergabe mit Hilfe elektronischer Soundsysteme. Beide Entwicklungslinien zeigen Merkmale, die sich den für die biologische Evolution geltenden Verlaufskategorien und -kriterien zuordnen lassen, wie sie beispielsweise zusammenfassend bei Liedtke [Liedtke, M. 1994, p. 8 und p. 66] dargestellt

sind: Neben dem Prinzip der Variation ist bei der Entwicklung von Musikaufzeichnungsverfahren der Trend zur Höherentwicklung besonders stark ausgeprägt. Denn die Originaltreue der Wiedergabe ist hier neben ökonomischen Gesichtspunkten einer der wichtigsten Selektionsfaktoren. Auf Experimentierphasen, in denen neue Lösungen für neu aufgetretene Probleme gesucht werden (vgl. z. B. die Varianz der Zahl der Notenlinien bei ihrer Einführung vom 12. bis 16. Jahrhundert), folgen immer wieder Phasen geringerer Entwicklungsdynamik (Prinzip der phasenspezifisch unterschiedlichen Varianz), so z. B. die konstante Verwendung von fünf Notenlinien bis in die jüngste Gegenwart. Ausgeprägte Luxurierungserscheinungen, d. h. die Ausprägung von Merkmalen, die für die ursprünglich intendierte Funktionalität der Entwicklung unwesentlich sind, können besonders bei den reichverzierten Notenhandschriften sowie bei der äußeren Gestaltung der Gehäuse technischer Vorrichtungen und Apparate z. B. von Musikautomaten festgestellt werden. Das „Prinzip der Erfindung der einfachen Form“ sowie das „Prinzip der Kombination und Integration verschiedener Entwicklungsstränge“ ist vor allem im technischen Bereich (vgl. z. B. Abschnitt 3.4) immer wieder eindrucksvoll zu beobachten. In Analogie zur biologischen Evolution sind auch hier ganze Entwicklungslinien, die zunächst äußerst erfolgreich waren, durch leistungsfähigere Neuentwicklungen zum Aussterben verurteilt worden (vgl. Abschnitt 3.3). Allenfalls einzelne Spezies, wie z. B. die Spieluhren bei den Musikautomaten, können als Relikte früherer Zeiten ein Nischendasein fristen. Augenfällig sind auch Rudimentierungen, etwa wenn in der Liturgie noch heute die Quadratnotation verwendet wird oder wenn bei Walzenklavieren trotz überflüssig gewordener Tastatur die typische Klavierform beibehalten wird. Auch Hybridformen treten auf, so z. B. Klavier-, Harmonium- und Orgelautomaten, die sowohl von Hand als auch mechanisch bespielt werden können.

Auf zwei Unterschiede zwischen biologischer Evolution und Entwicklungen im technischen Bereich soll hier noch hingewiesen werden:

- (i) Während Mutationen in der Natur statistisch erfolgen, sind technische Entwicklungen zielgerichtet. Erfinder, Ingenieure und Konstrukteure haben ein ganz bestimmtes Ziel vor Augen. Um erfolgreich zu sein, müssen sie sehr konkrete Vorstellungen über die Eigenschaften und die Funktionalität des zu entwickelnden Gegenstandes haben. Würden sie etwa elektronische Bauelemente zweckentfremdet, ohne deren eigentliche Funktion zu berücksichtigen, in quasi statistischer Weise zusammenlöten – wie das heute zuweilen durch Künstler bei der Herstellung technischer Skulpturen geschieht –, so wären hier sicherlich auch Jahrmillionen nötig, bis endlich ein halbwegs funktionstüchtiges Gerät wie

etwa ein Mikrophon, ein Verstärker oder Lautsprecher entstünde. Im Gegensatz zur biologischen Evolution wird die technische Evolution nicht durch statistisch auftretende Mutationen sondern final gesteuert. Dies trägt ganz wesentlich zur Verkürzung der Entwicklungszyklen im technischen Bereich bei.

- (ii) Wesentliche technische Neuerungen und Erfindungen werden seit mehr als hundert Jahren patentiert. Bei „technischen Mutationen“ sind damit sowohl der Zeitpunkt als auch die Intention und die Art einer Änderung sehr genau bekannt. Dies stellt einen weiteren Unterschied zur biologischen Evolution und teilweise auch zur Evolution im soziokulturellen Bereich dar. Technische Entwicklungen erweisen sich daher als besonders gut geeignete Modelle zur Untersuchung kultureller Evolutionsprozesse, ähnlich wie die Fachwissenschaft Physik im Bereich der Erkenntnistheorie häufig als Modellwissenschaft herangezogen wird.

2. Informationsübertragung und Schallaufzeichnung

Schall ist ein physikalisches Phänomen. Es beruht auf der Tatsache, daß sich lokale Schwankungen der Dichte, des Drucks oder der Scherverformung in elastischen Medien fortpflanzen. Erfolgt die Erzeugung dieser Schwankungen periodisch, so entstehen Schallwellen. Sie können sich sowohl in gasförmigen, flüssigen als auch in festen Körpern ausbreiten. Von Schall spricht man im allgemeinen nur dann, wenn die Frequenzen dieser Wellen im Wahrnehmungsbereich des menschlichen Ohrs, d. h. im Frequenzbereich von 16 Hz–20 kHz, liegen. Je nach Art dieser Wellen unterscheidet man zwischen Geräusch, Ton, Klang und Knall. Je kürzer die Wellenlänge einer Schallwelle ist, desto höher ist ihre Frequenz und desto höher empfindet das Ohr den Schall. Je größer hingegen die Amplitude der Welle ist, desto lauter wird ein Ton empfunden. Geräusche, Klänge, Knall, insbesondere aber auch Sprache und Musik bestehen aus einer additiven Überlagerung von reinen Sinuswellen mit unterschiedlicher Frequenz und Amplitude. Der von uns empfundene Klangcharakter von Schall hängt ganz wesentlich vom Frequenzspektrum der vom Ohr aufgenommenen Schallwelle ab.

Da sich das Frequenz- und Amplitudenspektrum einer Schallwelle zeitlich leicht variieren läßt, eignet sich Schall hervorragend zur Informationsübertragung. Man benötigt hierzu einerseits einen Sender, d. h. eine Schallquelle, die es gestattet, eine Information mit Hilfe von Schallwellen zu codieren, andererseits einen Empfänger, der in der Lage ist, die der Schallwelle aufgeprägte Information wieder zu entschlüsseln. In der Evolution der Lebewe-

sen haben sich schon sehr frühzeitig sehr unterschiedliche Schallquellen zur Informationsübertragung entwickelt. Man denke hier beispielsweise an das Zirpen der Grillen, an das Quaken der Frösche, an den Vogelsang, an die Lauterzeugung bei Säugetieren und nicht zuletzt auch an die Entwicklung der Sprache beim Menschen. Auch für die Empfänger der codierten Lautsignale, d. h. die Hörorgane, kann eine entsprechende evolutionäre Entwicklung festgestellt werden.

Während bei niedrigeren Lebewesen der Code zur Informationsübertragung durch Schall im Erbgut weitgehend vorprogrammiert ist, stellt man bei höheren Lebewesen eine zunehmende Unabhängigkeit von genetisch festgelegten Tonfolgen fest, d. h. die einzelnen Individuen verfügen über die Fähigkeit, Information mit Hilfe ihrer Lauterzeugungsorgane in willkürlichen Tonfolgen zu codieren.

Der Empfänger einer solchen Lautfolge kann die durch die Tonfolge verschlüsselte Information nur dann nutzen, wenn er den Code des Senders kennt. Bereits hier zeichnet sich das Problem der Speicherung und Wiedergabe von Schall ab. Kommunikation mit Hilfe von Schall kann auf der Ebene willkürlicher Schallcodierung nur dann erfolgreich sein, wenn Schallereignisse einerseits gespeichert und verarbeitet, andererseits aber auch wieder als Schall reproduziert werden können.

Der Informationsträger, der sich im Laufe der Evolution beim Menschen zur Speicherung und Wiedergabe von Schallereignissen entwickelt hat, ist sein Gehirn. Im Gehirn können die vom Ohr aufgenommenen und analysierten Schallereignisse gespeichert werden, und durch das Gehirn können sie mit Hilfe der Sprechorgane auch wieder in Schall umgewandelt werden. Damit dieser Mechanismus der Informationsübertragung aber funktioniert, ist es erforderlich, daß die Schall- bzw. Lautcodierung von Generation zu Generation weitergegeben wird: Heranwachsende Kinder müssen nicht nur ihre Muttersprache sondern auch die ihrem Kulturkreis eigene Musik verstehenlernen.

3. Aufzeichnung von Musik

3.1 Gedächtnismäßige Tradierung von Musik

Die älteste Möglichkeit zur Konservierung und Tradierung von Musik stellt die Memorierung, d. h. die gedächtnismäßige Abspeicherung und Wiedergabe von Musik dar. So wie Texte vor der Erfindung der Schrift mündlich von Generation zu Generation weitergegeben wurden, so wurde auch das musikalische Repertoire einer Gesellschaft in Meisterschulen von Generation zu

Generation überliefert. Solche Meisterschulen existieren auch heute noch. Erinnert sei hier an die traditionellen Musikschulen z. B. in Indien [Ravi Shankar, 1982, 367] oder an die Gamelanorchester in Indonesien. Auch im heutigen Konzertbetrieb spielt die gedächtnismäßige Speicherung von Musik nach wie vor eine dominierende Rolle. Von Jazz-Ensembles, Bands etc. und nicht zuletzt auch von Solisten wird erwartet, daß sie auswendig spielen.

So wichtig die Rolle des Gehirns bei der Schaffung und Reproduktion von Musik auch ist, als Speicher zur originalgetreuen, authentischen Wiedergabe von Musik ist das Gedächtnis unbefriedigend. Denn bei der gedächtnismäßigen Reproduktion von Musik ist der unwillkürliche Einfluß individueller Eigenheiten des Interpreten unvermeidlich. Angesichts der riesigen musikalischen Datenmengen, die dem Menschen potentiell zur Verfügung stehen, ist die Speicherkapazität des Gehirns verhältnismäßig gering. Gedächtnisleistungen sind darüber hinaus unvollkommen. Sie sind ungenau und variieren von Individuum zu Individuum. Mit dem Ableben eines Individuums geht auch dessen gesamtes musikalisches Repertoire zugrunde, wenn es nicht gelungen ist, dieses durch Lehre an die nächste Generation weiterzugeben.

In der kulturellen Entwicklung wurde daher frühzeitig versucht, musikalische Ereignisse so aufzuzeichnen und zu konservieren, daß sie unabhängig von der Gedächtnisleistung des einzelnen Individuums einem breiten Interessenten- und Nutzerkreis generationenüberdauernd zugänglich sind. Dies gelang auf der einen Seite durch Entwicklung von Notenschriften, auf der anderen Seite durch Reproduktion von Musik mittels mechanischer Apparate sowie in der neueren Zeit mit Hilfe von elektro-akustischen Aufzeichnungs- und Reproduktionsverfahren. Die Entwicklung dieser Möglichkeiten zur Aufzeichnung von Musik soll im folgenden grob skizziert werden.

3.2 Aufzeichnung von Musik mit Hilfe von Noten

Zwischen den Verfahren zur Aufzeichnung von Sprache mit Hilfe von Schriftzeichen und der Aufzeichnung von Musik mit Hilfe von Noten bestehen ganz eindeutige Parallelen. In beiden Fällen ist es notwendig, ein zeitliches Nacheinander auf ein räumliches Nebeneinander abzubilden. Die für Schriftaufzeichnung geeigneten Materialien sind ebenfalls für die Aufzeichnung von Noten brauchbar.

Die Aufzeichnung von Musik durch Noten ist in einer Reihe von Kulturkreisen mit der Entwicklung von Schriftzeichen korreliert. So werden beispielsweise zur Notation von Musik in Japan und China japanische bzw. chinesi-

sche Schriftzeichen verwendet. Auch im europäischen Raum wurden zu Beginn der Entwicklung des abendländischen Notensystems Schriftzeichen herangezogen. So ist bekannt, daß im antiken Griechenland bereits im dritten Jahrhundert v. Chr. Buchstabenreihen zur Notation des Tonsystems sowohl in der vokalen als auch in der instrumentalen Musik verwendet wurden. Damit die im Chor gesungenen altgriechischen Prozessionslieder metrisch-rhythmisch und in der Tonhöhe richtig vorgetragen werden konnten, wurden über die Texte Zeichen geschrieben, die die Intervallschritte, den Rhythmus und die Vortragsart angaben. Aus diesen sogenannten prosodischen Zeichen hat sich im 5. Jahrhundert nach Chr. die ekphonetische Notation in der byzantinischen Musik für den singend-sprechenden Vortrag der liturgischen Lesungen entwickelt. Bereits im 6. Jahrhundert verwendete Boethius lateinische Buchstaben zur Tonbezeichnung. Im 11. Jahrhundert wurden dann von Guido von Arezzo die Buchstabensymbole A B C D E F G a b c d e f g etc. für die Töne der unserem Kulturkreis eigenen Tonleiter eingeführt. Sie werden bekanntlich bis zum heutigen Tage noch verwendet.

Zur Aufzeichnung einstimmiger Melodien, vor allem aber von liturgischen Gesängen, haben sich etwa ab dem 9. Jahrhundert die sogenannten Neumen entwickelt (Abb. 1). Neumen – sie gehören zu den Vorläufern der Notenschrift mit Linien – stehen zwischen der Buchstabennotation der

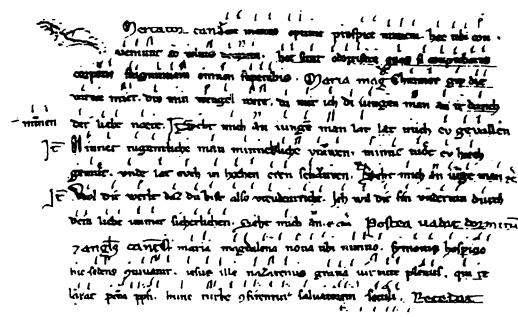


Abb. 1: Linienlose Neumen in der Carmina-Burana-Handschrift um 1230 (Münchener Staatsbibliothek)

Antike und den Quadratnoten der Choralnotation, welche sich aus den Neumen entwickelt hat. Tonhöhe und Rhythmus werden bei der Neumennotation noch nicht angegeben: Neumen bezeichnen nur den allgemeinen Verlauf der Melodie, dienen also lediglich als Gedächtnisstütze. Um eine gewisse Orientierung für die

Tonhöhe zu geben, werden dann später ein oder zwei Linien eingeführt.

Neumen waren in Europa und im Vorderen Orient bis hin zum Kaukasus weit verbreitet. Es fand eine Differenzierung in Neumenfamilien, und zwar in byzantinische, slawische, westeuropäische und mitteleuropäische Neumen statt.

Etwa ab dem 11. Jahrhundert hat sich aus den Neumen die sogenannte Choralnotation entwickelt. Sie diente vor allem zur Aufzeichnung des gregorianischen Gesangs. Mit Hilfe von Notenlinien und Tonhöhen Schlüssel wird der Melodienverlauf festgelegt und dessen genaue Textzuordnung fixiert. Die Anzahl der Notenlinien variiert vom 12.–16. Jahrhundert zunächst erheblich. Man findet Notationen mit einer Notenlinie bis hin zu über zehn Notenlinien (Abb. 2), bis sich letztendlich das heute bekannte Fünfliensystem durchgesetzt hat [Mathiesen, T. J., 1998]. Mit großer Wahrscheinlichkeit beruht letzteres darauf, daß der Mensch die Fünferliniengruppe noch mit einem Blick erfassen kann, ohne zählen zu müssen. Sind fünf Linien nicht ausreichend, so werden mehrere Fünfergruppen mit entsprechendem Abstand untereinander angeordnet.

Ende des 12. Jahrhunderts haben sich zwei Standardformen der Choralnotation herausgebildet: die römische Choralnotation und die deutsche oder

gotische Choralnotation. Die Notensymbole in der römischen Choralnotation haben eine quadratische Form, so daß man hier auch von Quadratnotation

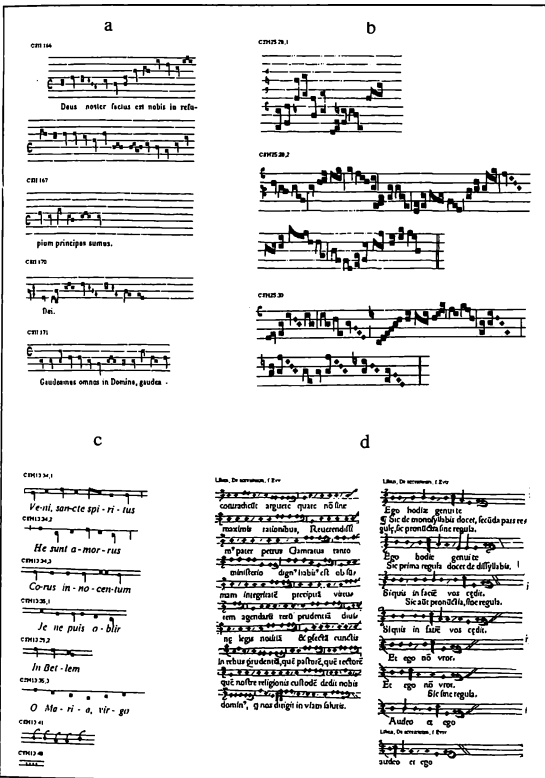


Abb. 2: Beispiele für die Variation von Notenlinien:

- a) Aus „Scriptorum de mediæ ævi nova series a Gerbertina altera“, 12. Jh. [de Coussemaker, Edmond, 1864]
- b) Aus „Ameri Practica artis musice“ [Ruini, Cesarino, 1271]
- c) Aus „De musica mensurabili“ [Anonymus, 14. Jahrhundert]
- d) Aus „De accentuum ecclesiasticorum exquisita ratione“ [Liban, Jerzy, 1539]

spricht (Abb. 3). Sie wird später Ausgangspunkt für eine Entwicklung, die zur Notierung des Rhythmus führt. Als Relikt hat sich die Quadratnotation bis heute in liturgischen Büchern erhalten. Daneben gab es noch die deut-

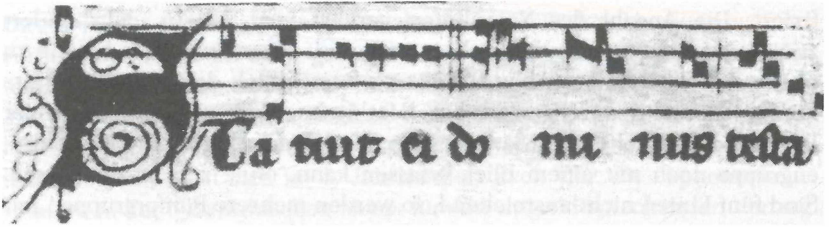


Abb. 3: a) Römische Quadratnotation aus einem Missale des 14./15. Jh.

sche oder gotische Choralnotation. Ihre Notensymbole haben in Anlehnung an die gotische Schrift rhombische Formen. In Analogie zu ihrem Erscheinungsbild wird diese Notenschrift auch als Hufnagelschrift bezeichnet (Abb. 3). Letztere findet Verwendung bis zum frühen Meistersang in Liederhandschriften des 15. Jahrhunderts.



Abb. 3: b) Gotische Notation (Hufnagelschrift) aus einem Benediktionale des 15. Jh.

Aus der römischen Choralnotation hat sich dann, vor allem um mehrstimmige Sätze aufzeichnen zu können, die sogenannte Modalnotation entwickelt. Bei ihr wird erstmals der rhythmische Verlauf eines Musikstücks angedeutet, und zwar durch Angabe von zwei-, drei- oder vier-tönigen Ligaturen. Darunter versteht man eine Zusammenfassung mehrerer Noten zu einzelnen Gruppen.

Die Modalnotation ist der Vorläufer der sogenannten Mensuralnotation, aus der sich schließlich unsere heutige Notenschrift entwickelt hat. Es werden verschieden gestaltete Notenzeichen eingeführt, welche die relative Dauer der Töne untereinander angeben. Für die Dauer der einzelnen Noten wird eine Notenwertreihe eingeführt, die sich durch wiederholte Halbierung einer sogenannten ganzen Note ergibt. Die Gestaltung der Noten durch

Notenkopf, Notenhals, Pausenzeichen, Balken, Punktierung, Bogen und Haltebogen sowie die Bezeichnung von Triolen, Sechstolen etc. durch Zahlen hält Einzug. Die Höhe der Töne ergibt sich in Verbindung mit dem Notenschlüssel aus der Stellung der Notenzeichen in einem fünflinigen Liniensystem, wobei mit Hilfe von Vorzeichen eine Erhöhung oder Erniedrigung des Tones um einen Halbton angezeigt wird. Auch das rhythmische Grundkonzept des Musikstückes wird durch Festlegung eines einheitlichen Taktes, also Viervierteltakt, Dreivierteltakt etc. indiziert und durch Taktstriche angedeutet.

Bis in die jüngste Zeit genügte diese Notenschrift weitgehend, um die Anforderungen der Komponisten zur Aufzeichnung ihrer Werke zu erfüllen. Mit der Entwicklung des Computers als Orchesterinstrument allerdings hat sich dies geändert. Zur Aufzeichnung der modernen „Elektronenmusik“ ist eine neue Art von Notation erforderlich. Die Schaffung einer solchen neuen Notenschrift ist voll im Gang. Eine einheitliche Notation hat sich bisher aber noch nicht herausgebildet [vgl. z. B. Boulez, P., Gerzso, A. 1988 und Linsmeier, K.-D. 1997, p. 54].

3.3 Aufzeichnung von Musik mit Hilfe mechanischer Musikinstrumente

Die Aufzeichnung von Musik mit Hilfe einer Notenschrift weist vor allem zwei Mängel auf. Der eine Mangel betrifft die Originaltreue eines Musikstückes, der andere die Verfügbarkeit. Noten geben nur den groben Verlauf einer musikalischen Komposition wieder, sie deuten die musikalischen Ideen des Komponisten nur in abstrakter, rudimentärer Weise an. Teil des musikalisch Gemeinten bleibt daher immer einer Interpretation vorbehalten. Ohne Kenntnis der zeitgenössische Aufführungspraxis und ohne historische Musikinstrumente ist eine originalgetreue Wiedergabe vor allem älterer Musik nicht mehr möglich. Es ist nur zu vermuten, wie Musik zurückliegender Epochen einmal geklungen haben mag.

Auch die Verfügbarkeit der durch Notenschrift niedergelegten Kompositionen ist verhältnismäßig eingeschränkt. Laien sind auf Interpreten angewiesen. Die Aufführung einer Symphonie etwa erfordert beträchtliche finanzielle Mittel sowie einen ganz erheblichen Personaleinsatz. Nur ein kleiner Bruchteil der überlieferten Kompositionen ist daher zugänglich. Man ist auf das jeweilige beschränkte Repertoire eines Orchesters bzw. eines Solisten angewiesen. Aus all diesen Gründen hat sich schon sehr frühzeitig das Bedürfnis entwickelt, Töne, Klänge, Musik unabhängig von reproduzierenden Künstlern auf mechanische Weise zu reproduzieren.

Zu Beginn dieser Entwicklung war es Ziel, Apparate zu konstruieren, mit deren Hilfe Kompositionen in Musik umgesetzt werden konnten, und zwar durch mechanische Anregung bereits existierender Musikinstrumente oder neuentwickelter tonerzeugender Vorrichtungen. Die Entwicklungsgeschichte dieser mechanischen Musikinstrumente weist einen ungeheuren Ideenreichtum, große Erfindungsgabe und hohe Perfektionierung auf. Am Ende dieser Entwicklung entstanden Apparate, die in ihrer Perfektion so ausgeklügelt waren, daß sich die mechanische Reproduktion von Musik kaum mehr von der eines wirklich spielenden Künstlers oder Orchesters unterscheiden ließ. In Hinblick auf kulturethologische Aspekte ist gerade die Entwicklungsgeschichte mechanischer Musikinstrumente sehr interessant, da sich zumindest seit dem 18. Jahrhundert Entwicklungsschübe durch die Vergabe von Patenten für neue Erfindungen zeitlich ziemlich genau festlegen lassen. Im folgenden sollen einige wenige Stationen der Entwicklung mechanischer Musikinstrumente skizziert werden.

Die ältesten Vorrichtungen zur mechanischen Erzeugung von Tönen und Klängen sind wohl die Äolsharfen und Äolsglockenspiele, deren Existenz sich bis etwa 1000 v. Chr. zurückverfolgen läßt [Brauers, J., 1984, 11] (Abb. 4). Auch im antiken Griechenland wurde bereits eine Vielzahl von Musikautomaten konstruiert, so z. B. Flötenspieler oder Vogelsangautomaten (Abb. 5), die durch raffi-

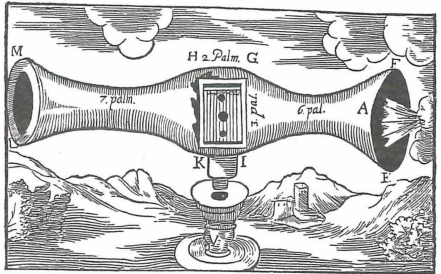


Abb. 4: Äolharfe nach Athanasius Kircher (1601–1680) [Buchner, A. 1959, p. 89]

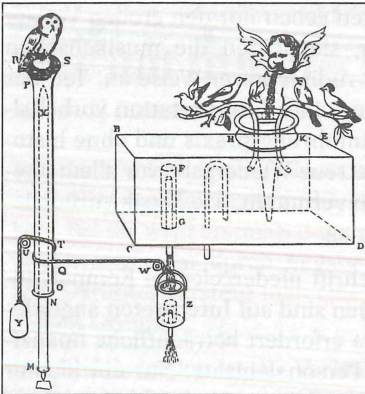


Abb. 5: Hydraulisch-pneumatischer Brunnen-Vogelsangautomat nach Heron (1. Jh. n. Chr.). Die Vögel zwitschern nur solange die Eule nicht hinschaut. [Brauers, Jan, 1984, p. 13]

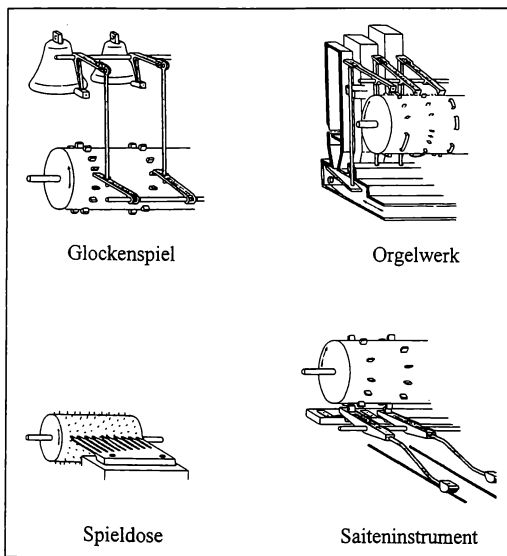
nierte pneumatische Ventilsteuerungen betrieben wurden [Brauers, J., 1984, 13]. Namen wie Ktesibios (300 v. Chr.), Apollonius (200 v. Chr.) oder Heron (1. Jh. n. Chr.) sind hier zu nennen.

Solche Apparate, die nur eintönig flötende oder trommelnde Instrumente nachahmen konnten, können höch-

stens als Vorläufer für mechanische Musikinstrumente angesehen werden. Der eigentliche Beginn für die Entwicklung mechanischer Musikinstrumente fällt ins 9. Jahrhundert nach Chr. mit der Erfindung der Stiftwalze durch die am Hofe des Kalifen von Bagdad lebenden Gebrüder Musa. Mit der Stiftwalze war das Herzstück der mechanischen Musikinstrumente erfunden [Brauers, J., 1984, 14]. Die Gebrüder Musa fertigten damit den ersten wirklich spielenden Flötenspieler an. Die Stiftwalze diente für sehr lange Zeit als das Speichermedium für Tonfolgen. Im Laufe von Jahrhunderten wurde sie durch Erfindungen und Verbesserungen immer weiter vervollkommenet.

Eine erste Verbreitung fand die Stiftwalze zunächst bei der Mechanisierung des Glockenschlages in Verbindung mit Uhrwerken. Die naheliegende Idee, nicht nur den Stundenschlag auszulösen, sondern durch verschieden gestimmte Glocken und einer entsprechenden Walzenbestiftung auch Melodien zu erzeugen, wurde mit einer verbesserten Stiftwalze, der sogenannten Nokenwalze, in die Tat umgesetzt. Um 1352 entsteht als Teil der berühmten astronomischen Uhr des Straßburger Münsters von einem unbekanntem Meister ein Glockenspiel, das als ältestes bekanntes mechanisches Musikinstrument Europas gilt.

Eine Reihe von Realisierungsmöglichkeiten solcher Walzen, wie sie als Programmträger für die Musik zur Steuerung von Glockenspielen, Orgelwerken, Spieldosen und Saiteninstrumenten dienen, zeigt Abb. 6:



Bei den Glockenspielen befindet sich auf der Walze für jede Glocke eine Nockenreihe. Die Glockenhämmer bzw. Klöppel werden beim Drehen der Walze durch die Nocken über ein Hebelgestänge angehoben. Sobald der Nocken den Hebel freigibt, fällt der Hammer aufgrund seines Eigenge-

Abb. 6: Realisierungsmöglichkeiten von Stiftwalzen zur Steuerung von Glockenspielen, Orgelwerken, Spieldosen und Saiteninstrumenten.

wichtiges herunter und schlägt die Glocke an. Glockenspielwalzen wurden in der Folge häufig mit einem Raster von Vertiefungen in der Walze versehen, damit man die einzelnen Nocken auswechseln bzw. versetzen konnte, um neue Stücke „zu setzen“. Im Schwarzwald wurden die ersten Glockenspielluhren im Jahre 1768 hergestellt. Hier vollzieht sich ein Wandel von den Schwarzwälder Uhrmachern hin zu den Schwarzwälder Musikwerkmachern. Während die nach dem Stundenschlag ertönende Melodie oder das Glockenspiel zunächst nur gefälliges Beiwerk war, nahmen Ausmaß und Umfang des Musikwerks im Laufe der Zeit immer mehr zu. Die Uhr trat immer stärker in den Hintergrund, bis sie endlich nur noch rudimentäre Alibifunktion besaß oder ganz verschwand.

Bei Orgelwerken wird die von einem Schöpfbalg zur Orgelpfeife strömende Luft durch Ventile gesteuert. Die normalerweise geschlossene Ventilklappe wird von der Stiftwalze durch ein Hebelwerk geöffnet (Abb. 6). Ein einzelner Stift öffnet das Ventil nur kurzzeitig, wodurch ein kurzer Ton entsteht. Anhaltende Töne werden durch sog. „Brüken“ oder „Klammern“ erreicht. Dieses System findet man bei Flötenuhren, bei Walzendrehorgeln und bei Walzenorchestrien. Auch bei diesen Instrumenten konnten die Nocken gegebenenfalls ausgetauscht werden, so daß damit mehr als ein Musikstück gespielt werden konnte. Das auf Hohensalzburg im Jahre 1502 angefertigte Hornwerk gilt als das älteste noch intakte mechanische Musikinstrument. Es ist mit einer Orgelmixtur von 150 Pfeifen und der eigentlichen Walzenorgel von 200 Pfeifen ausgestattet. Mit diesem Hornwerk lassen sich insgesamt zwölf Stücke spielen, die von Leopold Mozart zusammen mit Johann E. Eberlin komponiert wurden.

Bei Spieldosen werden die Zungen eines Stahlkammes durch die Stifte der Walzen angezupft (Abb. 6). Der Stahlkamm als Vorrichtung zur Tonerzeugung wurde von dem schweizer Uhrmacher Antoine Favre (1734–1820) aus Genf im Jahre 1796 erfunden. Lange Zungen ergeben tiefe Töne und kurze Zungen hohe Töne. Das Ausschwingen des Tones wird durch sogenannte Dämpferfedern, die unter den Zungen angebracht sind, reguliert. Die nach diesem Prinzip arbeitenden Schweizer Spieldosen erlangten große Berühmtheit. Als Kinderspielzeug und Geschenkartikel führen solche Spieldosen auch heute noch ein Nischendasein.

Bei Saiteninstrumenten betätigen die Stifte der Walze einen Hammerarm, der beim Herabfallen die Saiten anschlägt (Abb. 6). Dieses System fand z. B. bei Walzenklavieren Anwendung. Großer Beliebtheit erfreuten sich im 16. und 17. Jahrhundert, in dem man Saiteninstrumente liebte, vor allem auch die Harfen- oder Hackbrettluhren. Ein von einer Stiftwalze gesteuerter kleiner Klöppel schlug oder zupfte zart die Saiten an.

Zum Antrieb der Walzen wurden entweder Muskelkraft (Handkurbel), Gewichte, Spiralfedern, Wasserräder und – ab dem ausgehenden 19. Jahrhundert – auch Elektromotoren verwendet. Als Material für ihre Herstellung diente zunächst hauptsächlich Holz, später dann aber zunehmend Metall.

Vom 16. bis hin zum 19. Jahrhundert wurden die Techniken zur Herstellung mechanischer Musikinstrumente, die mit Walzen betrieben wurden, stetig so verbessert und verfeinert, daß berühmte Komponisten wie Bach, Händel, Haydn, Mozart und auch Beethoven spezielle Werke für diese Musikinstrumente schrieben.

Welch außerordentlich feinmechanische Präzision die Herstellung von Stiftwalzen im Laufe der Zeit erreicht hatte, geht etwa daraus hervor, daß es z. B. Spielautomaten mit Walzen von 80 cm Länge gab, die mit bis zu 35000 Stiften bestückt waren (Abb. 7). Die Stiftreihen für unterschiedliche Musikstücke befanden sich auf derselben Walze im Abstand von nur einem halben Millimeter. Durch seitliche Versetzung der Walze um einen halben

Millimeter konnte ein neues Musikstück eingestellt werden. Zur Arretierung der Walze waren Kerben an der Welle der Walze angebracht, in die ein Keil einrastete. Zu Beginn der Entwicklung der Walzeninstrumente war die Länge eines Musikstücks durch den Umfang der Walze begrenzt. Eine Umdrehung der Walze entsprach der Länge eines Stückes. Um längere Musikstücke reproduzieren zu können, wurden gegen Ende des 18. Jahrhunderts Walzen entwickelt, auf denen die Nockenreihen zur Steuerung des Musikstücks schraubenför-

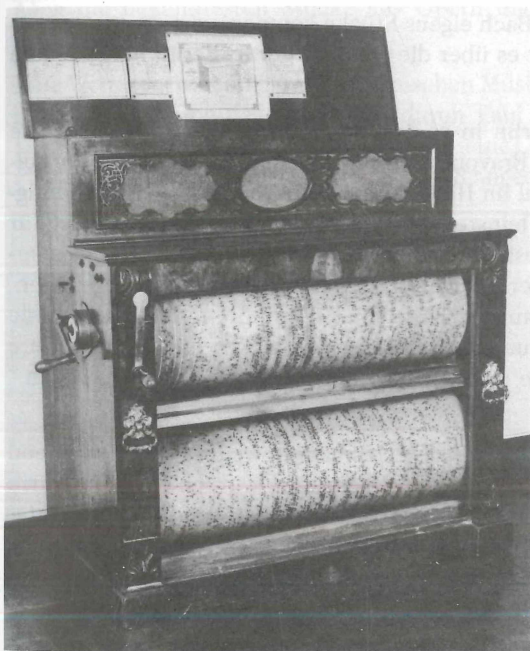


Abb. 7: Walzenklavier ohne Tastatur (3 Walzen 98 cm lang mit je 10 Stücken, 120 x 125 x 60 cm) von Imhof & Mühle, Vöhrenbach/Schwarzwald, 1890

mig angeordnet waren. Neben der Rotation der Walze mußte hier auch noch für einen äußerst präzisen Vorschub gesorgt werden, denn mechanische Ungenauigkeiten von Bruchteilen eines Millimeters resultierten bereits in einem falschen Ton. Auf den schraubenförmig bestifteten Walzen konnten nun auch Ouvertüren oder ein Sinfoniesatz untergebracht werden. Auch Apparate, bei denen die Walzen ausgetauscht werden konnten, kamen auf den Markt. Solche Entwicklungen haben sich später beim Phonograph und bei der Schallplatte in ganz analoger Weise wiederholt.

Berühmte Zentren für den Bau mechanischer Musikinstrumente waren Augsburg für kunstvolle Automaten und Musikspielwerke (von 1550 bis 1650), der Schwarzwald für Glockenspieluhren (ab 1768), die Schweiz und später Ste. Croix für Spieldosen mit Stahlkamm (Höhepunkt der Entwicklung 1860), Leipzig und Freiburg für die Herstellung von Orchestrinen (Höhepunkt der Entwicklung um 1900) und Berlin für den Bau von Flötenuhren.

Für Flötenuhren ließ Friedrich der Große von Komponisten wie Philipp Emanuel und Friedemann Bach eigens Stücke komponieren. In einem zeitgenössischen Bericht heißt es über die Qualität der in Berlin hergestellten Flötenwerke:

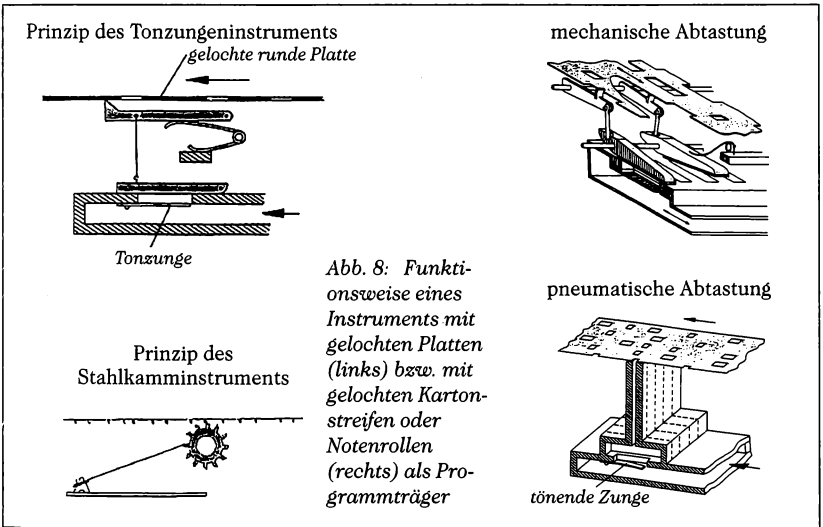
„Spieluhren werden in Berlin in so großer Vollkommenheit gemacht wie sonst nirgends. Es werden Bravourarien und ganze Flötenkonzerte auf solchen Uhren gesetzt. Sowohl im Hinblick auf den schönen Ton, die Richtigkeit der Mensur und die feinsten musikalischen Delikatessen bleibt für einen Künstler bei den besten Stücken der Flötenuhren nichts zu wünschen übrig. Schleifer, Triller, Fermatoren, alles wird so sauber vorgetragen, daß man einen Virtuosen auf der Flöte spielen zu hören glaubt. Die große Geschicklichkeit der Erbauer hat überdies den Uhren auch eine äußere Schönheit gegeben, daß sie dem Auge so angenehm sind als den Ohren.“
[Brauers, J., 1984, 29]

Das Angebot an mechanischen Musikinstrumenten weitete sich fortlaufend aus und wurde immer differenzierter. Angepriesen wurden Nachtgeschirre mit Musik, Christbaumständer, Necessaire, Schmuck- und Handschuhtaschen mit Musik, Photographiealben mit Musik, Bierkrüge, mechanische Vögel, bewegliche Bilder, Spinnräder, Schaufensterfiguren mit Musik und vieles, vieles mehr [Zeraschi, H., 1979, 24]. Eigenständige Entwicklungslinien lassen sich vor allem feststellen beim Walzenglockenspiel, dem Hornwerk, den Androiden, dem Walzenklavier, der Vogelorgel (Serinette), der Straßendrehorgel (Leierkasten), der Barrel Organ, dem Walzenorchestron und dem Walzenkarussell. Was die äußere Gestaltung der Musikautomaten

anbetrifft, so treten verständlicherweise von Anfang an bei sämtlichen Entwicklungslinien immer dann Luxurierungstendenzen verstärkt in Erscheinung, wenn ein Automat als Unikat für die reiche Oberschicht produziert wird.

Besonders interessant ist wegen ihrer sozialen Implikation die Geschichte der Drehorgeln, die auch als Leierkästen oder als Lumpeninstrumenta bezeichnet wurden [Zeraschi, H., 1979, 41]. Sie fanden weite Verbreitung in ganz Europa. Der Grund hierfür lag darin, daß die Kriege des ausgehenden 18. und des beginnenden 19. Jahrhunderts ein Heer von Kriegsinvaliden zurückgelassen hatten. Diesen wurde zur Entlastung der Staatskassen in vielen Ländern Europas anstelle einer Rente die Bewilligung erteilt, sich durch die Drehorgel ihren Unterhalt zu erspielen. Mit tragbaren Drehorgeln oder Drehorgeln auf Rädern zogen Bänkelsänger, Marktschreier, Schausteller, Artisten und Bettler als Musikanten durchs Land und ließen auf Straßen, Plätzen und Hinterhöfen bei Wind und Wetter ihre Weisen ertönen. Dabei wurden nicht nur die Lieblingsmelodien des Volkes, sondern auch die bekanntesten Stücke aus Opern und Operetten auf die Walze gebracht.

Eine Weiterentwicklung der mechanischen Musikinstrumente erfolgte 1886 mit der Erfindung der Lochplatte durch Paul Lochmann aus Gohlis bei Leipzig. Die prinzipielle Funktionsweise eines Instruments mit gelochten Platten als Programmträger wird in Abb. 8 angedeutet: Sobald beim Drehen



der Platte der Tastfinger in eine Lochung springt, wird über ein Hebelgestänge das Luftventil geöffnet. Der einfließende Luftstrom regt die Tonzunge zum Schwingen an und erzeugt dadurch einen Ton. Die anfangs durch Handkurbeln, später auch durch Federtriebwerke angetriebenen Instrumente arbeiteten zunächst mit quadratischen Papp- bzw. Blechplatten, später mit runden Platten (Abb. 9).

Mit der Lochmann-Erfindung wurde der Grundstein für eine umfangreiche industrielle Fertigung von mechanischen Musikinstrumenten gelegt. Denn mit diesen Instrumenten standen erstmals Musikwiedergabegeräte zur Verfügung, die für viele Menschen erschwinglich waren. Sie wurden dadurch zu richtigen Volksinstrumenten. Im Gegensatz zu den früheren Walzenautomaten waren die Lochplatten außerdem handlich und leicht auswechselbar. Das Repertoire dieser Lochplatten, die man als „Notenblätter“ bezeichnete, war außerordentlich vielseitig. Es umfaßte in kürzester Zeit mehrere hundert Musikstücke. Im Jahre 1896 wurde in Amerika sogar ein automatischer Plattenwechsler patentiert, der durch Münzeinwurf in Betrieb gesetzt werden konnte und zehn verschiedene Platten zu spielen gestattete. Durch Aufstellung solcher Münzautomaten an öffentlichen Orten wie Gasthäusern etc. wurde erstmals einem größeren Publikum der Genuß von Musikautomaten zugänglich gemacht.

Parallel zur Lochmannschen Lochplatte wurden Musikautomaten entwickelt, die statt Platten gelochte Kartonstreifen als Programmträger verwendeten. Die mechanische Abtastung dieser als Notenrollen bezeichneten Kartonstreifen, erfolgt ähnlich wie bei der Lochplatte (Abb. 8). Die Lochstreifensteuerung wurde bemerkenswerterweise bereits wesentlich früher, nämlich schon 1802 von dem französischen Hutmacher Josef Mari Jaquat

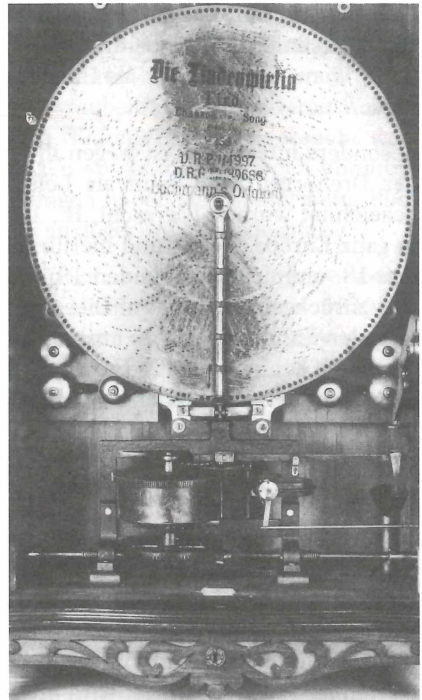


Abb. 9: Musikautomat mit Lochmannscher Blechplatte als Programmträgerum 1900 [Brauers, Jan, 1984, p. 190]

zu einem ganz anderen Zweck erfunden: Er steuerte erstmals mit Hilfe eines gelochten Kartonbandes einen Webstuhl.

Neben einer weiter fortlaufenden Differenzierung der mechanischen Musikinstrumente für unterschiedlichste Anwendungsgebiete beschäftigten sich viele Erfindungen mit ausgekügelter technischen Raffinessen, um die Musikkwiedergabe der Automaten immer weiter zu perfektionieren. Den absoluten Gipfel in dieser Entwicklung erreichte die Firma Welte aus Freiburg 1889 mit ihrem Patent für eine „pneumatische Mechanik für Musikwerke, welche vermittels durchlochter Notenblätter gespielt werden“. Mit Hilfe dieser Notenblätter und mit einer weiteren Erfindung, nämlich dem „Nuancierungsapparat“ gelang es der Firma Welte, ihre automatischen Musikspielwerke, sogenannte Konzert-Orchestrien, so zu vervollkommen, daß damit laut Patentschrift „alle Feinheiten des rhythmischen und dynamischen Vortrags mit völligem Erfassen der persönlichen Note“ wiedergegeben werden konnten. Mit dem „Welte-Mignon-Reproduktions-Klavier“ war ein kaum mehr zu überbietender Höhepunkt in der Entwicklung mechanischer Musikinstrumente erreicht [Brauers, J., 1984, 60].

Im ersten Drittel des 20. Jahrhunderts hatten sich mechanische Musikinstrumente der verschiedensten Art sowohl in Europa als auch in Amerika weite Bereiche des gesellschaftlichen Lebens erobert. Man fand sie als Tanz- und Unterhaltungsorchestrien, Wurlitzer „Jukebox“, Musikboxen (teilweise als Münzautomaten) in Tanzlokalen, Kaffees, Restaurants, Hotels und Gasthäusern; in Lichtspieltheatern als Kino-Orgel zur musikalischen Untermalung der Stummfilme und nicht zuletzt als Konzertorgel, Konzertklavier oder Konzertorchester in den Musiksalons der reichen Oberschicht. Weitgehend vergeblich waren lediglich alle Bemühungen, Musikautomaten auch für die musikalische Gestaltung des Gottesdienstes einzusetzen. Es gelang nicht, mechanische Orgeln in Kirchen heimisch zu machen.

Diesem großartigen Höhepunkt in der Entwicklung mechanischer Musikinstrumente folgte ein jäher Absturz. Denn durch die Entwicklung der Schallplatte und des Tonbandes erwuchs den mechanischen Musikinstrumenten ein Konkurrent, gegen den sie nicht bestehen konnten. Grund hierfür war einerseits eine drastische Miniaturisierung der neuen Geräte in Hinblick auf Raumbedarf, Gewicht und Kosten. Das Walzen-Orchestrien von Welte und Söhne hatte beispielsweise Außenmaße von 305 cm x 190 cm x 100 cm [Brauers, Jan, 1984, 209]! Andererseits konnten mit der neuen Technik nun endlich beliebige Geräusche und Töne, insbesondere die menschliche Stimme, mit stetig wachsender Originaltreue aufgezeichnet werden. Außerdem waren diese Geräte aufgrund von Massenproduktion auch für breite

Bevölkerungsschichten gut erschwinglich. Anfangs 1930 stellten die letzten großen Hersteller mechanischer Musikinstrumente ihre Produktion ein. Ein gewisses Nischendasein fristeten bis Mitte des 20. Jahrhunderts lediglich Karussellorgeln von Schaustellern und als Rarität bis in die Gegenwart Spieldosen.

In den Prospekten und Katalogen für Musikautomaten wurde stets nachdrücklich damit geworben, daß sich die Anschaffung eines Musikautomaten „immer als rentabel erweisen“ werde, weil sich dadurch – abgesehen vom größeren zur Verfügung stehenden Repertoire – Musiker einsparen lassen. Der Trend zur Mechanisierung im Bereich der Musik hat damals vor allem vielen Gebrauchsmusikern den Arbeitsplatz gekostet. Es galt also auch hier die Erfahrung, daß Mechanisierung in der Regel Arbeitsplätze freisetzt und damit zu einer Umstrukturierung in der Gesellschaft zwingt.

3.4 Aufzeichnung von Musik mit Hilfe von Schallplatte und Tonband

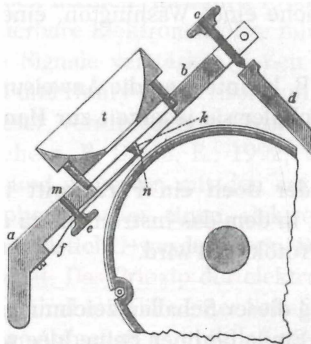
Die Entwicklung der Schallplatte beginnt im Jahre 1877 mit der Erfindung des Phonographs durch Thomas A. Edison. Während bei Musikautomaten entweder die Musikinstrumente selbst oder eigens dafür entwickelter Klangkörper mit Hilfe ausgeklügelter Mechanik oder Pneumatik angeregt wurden, beruht Edisons Idee darauf, die Schallwellen direkt aufzuzeichnen und dann wieder zu reproduzieren. Physikalische Grundlage dieser Idee ist die bereits im Jahre 1843 von G. S. Ohm entwickelte mathematische Theorie der Tonbildung [Ohm, G. S., 1843, 33], die in der Folge von H. von Helmholtz durch umfangreiche Untersuchungen zur physikalischen Theorie der Musik ausgebaut wurde [v. Helmholtz, H., 1863]. Danach stellt Schall eine Überlagerung sinusförmiger Druckschwankungen unterschiedlicher Frequenz und zeitlich veränderlicher Amplitude dar. Im Innenohr werden diese Druckschwankungen in ihre entsprechenden Sinusschwingungen zerlegt und der Wahrnehmung zugeführt.

Zur Zeit der Edisonschen Erfindung gab es in der Akustik ebenfalls einschlägige Arbeiten auf experimentellem Gebiet. Bereits um die Mitte des 19. Jahrhunderts waren von einer ganzen Reihe von Physikern verschiedene Vorkehrungen ersonnen worden, die es gestatteten, Luftschwingungen auf elastische, schwingungsfähige Körper zu übertragen, um sie für physikalische Analysen optisch wahrnehmbar zu machen [Günther, S., 1901, 552]. Ein Vorläufer der Edisonschen Erfindung war der von E. L. Scott 1859 entwickelte und von R. König verbesserte Phonograph [Reis, P., 1878, 238]. Aufbau und Funktionsweise dieses Gerätes stimmen mit dem des Edisonschen Phonographen weitgehend überein. Der wesentliche

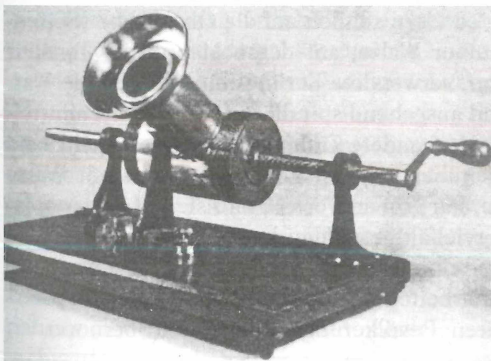
Unterschied liegt darin, daß beim Scottschen Phonographen die durch Schall erzeugten Schwingungen mit einem leichten Stahlfederchen auf berußtes Papier aufgeschrieben wurden, während sie beim Edisonschen Phonographen mit Hilfe eines Metallstiftes in eine Stanniolfolie eingraviert und dadurch reproduzierbar wurden.

Wie Edison die mechanische Aufzeichnung der Druckschwankungen mit seinem 1877 erfundenen Phonograph erreichte, ist in Abb. 10 schematisch dargestellt: Am Boden eines zum Hineinsprechen dienenden Schalltrichters befindet sich eine Metallmembran, in deren Mitte ein Metallstift senkrecht aufgesetzt ist. Die Spitze des Metallstiftes berührt ein dünnes Stanniolblatt, das fest um eine Zylinderwalze gelegt ist, die außer einer rotierenden auch noch eine fortschreitende Bewegung parallel zu ihrer Drehachse ausführt. Wird in den Trichter hineingesprochen, so gerät die Membran inklusive Metallstift in erzwungene Schwingungen, und der Metallstift gräbt eine Spur seiner Bewegungen in das Stanniolblatt ein. Sind die Klänge aufgezeichnet, so wird der Schalltrichter abgehoben, die Walze in ihre Ausgangslage zurückgedreht und der Metallstift wieder auf die Stelle gesetzt, an welcher er sich zu Beginn der Aufzeichnung befunden hatte. Zur Wiedergabe wird die Trommel wieder vorwärtsgedreht. Der Stift gleitet entlang der von ihm bei der Aufzeichnung eingegrabenen Rille und überträgt damit alle Schwingungen, die er bei der Schallaufnahme ausgeführt hatte, wieder auf die Membran. Diese regt die Luft zu Schallwellen an, welche mit den ursprünglichen Klängen weitgehend identisch sind. Edison nennt seinen Apparat Phonograph. Er beschreibt dessen Verwendungsmöglichkeiten erstaunlich weitsichtig:

Abb. 10:
Oben: Funktionsprinzip des Edisonschen Phonographen



Unten:
Phonograph mit Stanniolwalze und Handbetrieb (1878)



gangslage zurückgedreht und der Metallstift wieder auf die Stelle gesetzt, an welcher er sich zu Beginn der Aufzeichnung befunden hatte. Zur Wiedergabe wird die Trommel wieder vorwärtsgedreht. Der Stift gleitet entlang der von ihm bei der Aufzeichnung eingegrabenen Rille und überträgt damit alle Schwingungen, die er bei der Schallaufnahme ausgeführt hatte, wieder auf die Membran. Diese regt die Luft zu Schallwellen an, welche mit den ursprünglichen Klängen weitgehend identisch sind. Edison nennt seinen Apparat Phonograph. Er beschreibt dessen Verwendungsmöglichkeiten erstaunlich weitsichtig:

- „1. Korrespondenz und jede Art von Diktat ohne Zuhilfenahme eines Stenographen.
2. Phonographische Bücher für Blinde, die von ihnen keinerlei Anstrengungen erfordern.
3. Unterricht in der Redekunst.
4. Musik. Ohne Zweifel wird der Phonograph weitgehend musikalischen Zwecken dienen.
5. Die Familienplatte: Sie hält die Aussprüche, die Stimmen und die letzten Worte von Familienmitgliedern wie die berühmter Männer fest.
6. Musikapparate, Spielzeuge etc. Eine Puppe, die sprechen, singen, weinen oder lachen kann, die man den Kindern für das bevorstehende Weihnachtsfest versprechen kann.
7. Uhren, die mit Worten die Stunde des Tages ansagen, dich zum Mittagessen rufen, deinen Schatz um 10 Uhr nach Hause schicken etc.
8. Die Möglichkeit, die Sprache eines Washington, eines Lincoln, eines Gladston zu konservieren.
9. Erzieherische Zwecke: z. B. könnte man die Anweisungen des Lehrers aufnehmen, so daß der Schüler sie jederzeit zur Hand hat, etwa zum Buchstabieren lernen.
10. Die Vervollkommnung oder doch ein Fortschritt im Telefonwesen durch den Phonographen, in dem das Instrument zu einem Hilfsmittel bei der Übertragung von Protokollen wird.“

Eine wesentliche Verbesserung dieser Schallaufzeichnungsmethode erfolgte bereits im Jahr 1887 durch Emile Berliner. Seine Idee war es, die Amplituden der Schallschwingungen nicht wie bei dem Edisonsystem senkrecht zur Oberfläche (Tiefenschrift), sondern seitlich auf die Oberfläche (Seitenschrift) aufzuzeichnen. Statt einer Walze, auf deren Mantel die Tonspur schraubenförmig eingepreßt war, verwendete Berliner eine rotierende Platte, in der die Tonspur vom Rand ausgehend spiralförmig zum Plattenmittelpunkt hin verlief. Die zunächst verwendete Zinkplatte ersetzte er sehr bald durch Schellackmaterial. Gegenüber der von Edison verwendeten Walze hatte Berliners Schellackplatte den großen Vorteil, daß sie auf galvanoplastischem Wege kopiert und vervielfältigt werden konnte. Damit waren die Voraussetzungen zur Massenproduktion von Schallplatten gegeben. Die nach der Methode von Berliner arbeitenden Grammophone waren so preiswert, daß sie von einer breiten Bevölkerungsschicht erworben werden konnten.

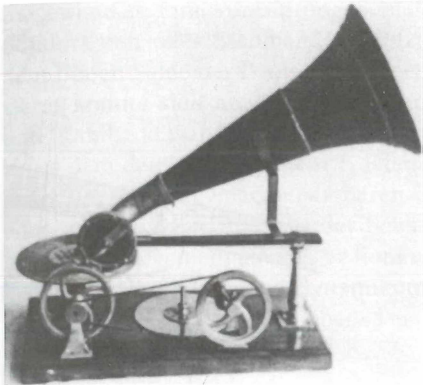


Abb. 11: Grammophon nach E. Berliner, 1890
[Brauers, Jan, 1984, p. 262]

Noch arbeiteten die Trichtergrammophone rein mechanisch (Abb. 11). Doch es lag auf der Hand, die vielen Errungenschaften der sich rasant entwickelnden Elektrotechnik durch Integration und Kombination auch für die Weiterentwicklung des Grammophons nutzbar zu machen. Mit der Erfindung des Telefons zeigte Bell im Jahre 1876, wie Schallschwingungen von einer Membran aufgenommen, in elektrische Stromschwankungen umgesetzt und

von einer anderen Membran in einem Kopfhörer wieder als Schallwellen abgestrahlt werden können. Im Jahre 1906 erfand De Forest das Audion, das ist eine steuerbare Elektronenröhre mit 3 Elektroden, mit deren Hilfe sich elektrische Signale verstärken ließen. Im Jahre 1925 kombinierten Josef P. Maxfield und Henry C. Harrison von der Western Electric Company die Vorteile dieser verschiedenen Entwicklungsstränge zu einer neuen Technologie [siehe z. B. David, E., 1992, 150]. Sie koppelten Mikrofon und Verstärker und steuerten mit den auf diese Weise elektronisch verstärkten Mikrophonsignalen einen elektromagnetischen Schneidstichel. Mit diesem Schneidstichel wurden dann Schallplatten nach der Berliner Methode hergestellt. Das Prinzip der elektromagnetischen Aufnahme bzw. Wiedergabe von Schall mit Hilfe einer Schallplatte ist in Abb. 12 dargestellt. Der Vorteil dieser Aufnahmetechnik lag gegenüber mechanischen Aufnahmen vor allem in einer drastischen Verbesserung des Frequenzgangs. Als sich das elektromagnetische Aufzeichnungsverfahren etabliert hatte, lag es nahe, auch die Wiedergabegeräte mit einem elektromechanischen Abtaster sowie einem Verstärker und Lautsprecher auszustatten.

Während bei der rein mechanischen Schallplattentechnik die Lautstärke sowie Tonverzerrungen ein großes Problem darstellten, waren bei der elektromagnetischen Anordnung Leistung und genügend Lautstärke kein Problem mehr. Die Ingenieure konnten sich nun der Aufgabe widmen, eine möglichst getreue Klangwiedergabe zu erreichen. Mit der Markteinführung des elektrischen Plattenspielers erging es den mechanischen Trichtergrammophonen genau so wie den mechanischen Musikautomaten. Sie verschwanden ziemlich abrupt vom Markt.

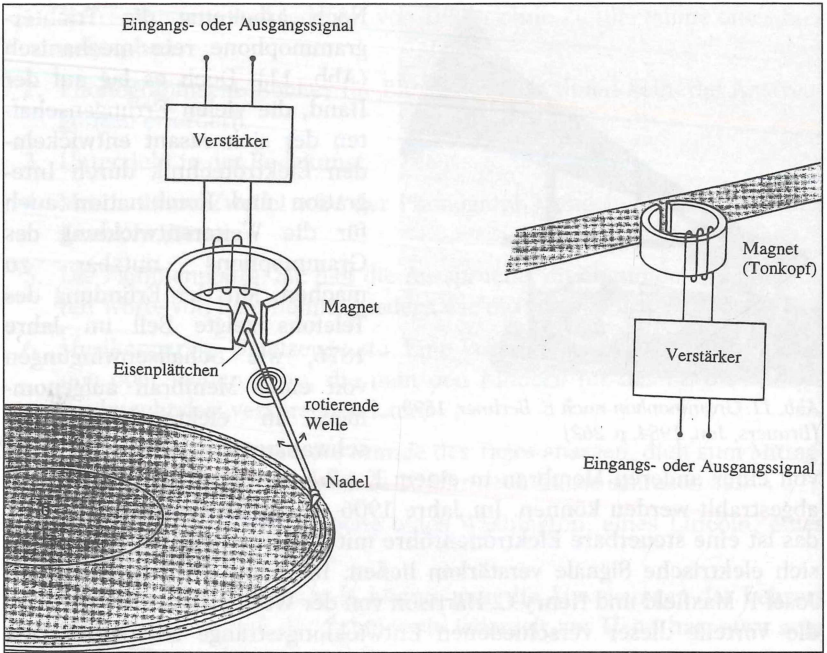


Abb. 12: Links: Schematische Darstellung eines Aufnahme- und Abspielgeräts für Schallplatten. Beide Geräte funktionieren nach demselben Prinzip. Das Eingangssignal bestimmt den Hub der Nadel, die die Tonrinne schneidet. Das Wiedergabesignal (Ausgangssignal des Verstärkers) hängt von der Größe des Nadelausschlags ab. [nach David, E., 1992, 157]

Rechts: Schematische Darstellung des Auf- und Wiedergabeverfahrens beim Tonbandgerät. Schreib- und Lesekopf des Tonbandgerätes sind im Prinzip identisch. [nach David, E., 1992, 157]

Neben Schallplatte und Plattenspieler wurden zu Beginn des 20. Jahrhunderts noch zwei weitere Schallaufzeichnungsverfahren entwickelt, welche auf der Ausnutzung magnetischer bzw. optischer physikalischer Effekte beruhen. Das eine ist die magnetische Aufzeichnung mit Hilfe eines Tonbandgeräts. Auch hier werden die Schallwellen zunächst mit Hilfe eines Mikrophons in elektrische Stromschwankungen umgewandelt, um dann auf einem mit magnetischem Material beschichteten Kunststoffband durch entsprechende Magnetisierung gespeichert zu werden (Abb. 12). Bei der Wiedergabe läuft das Magnetband an einer Induktionsspule vorbei. Aufgrund der unterschiedlichen Magnetisierung des Bandes werden in der Induktionsspule entsprechende elektrische Spannungs- und damit Stromschwankungen induziert und nach Verstärkung von einem Lautsprecher in Schall

umgewandelt. Eine Vorrichtung, Schallereignisse durch Magnetisierung von Stahlröhren oder Stahlbändern aufzuzeichnen, wurde bereits 1898 von dem Dänen Valdemar Poulsen erfunden. Sein als Telegraphon bezeichnetes Gerät konnte sich aber am Markt nicht durchsetzen. Denn Magnetdraht und Stahlband waren teuer und technisch nur schwer zu handhaben. Erst als es dem deutsche Ingenieur F. Pfeumer 1930 gelang, ein Kunststoffband mit einer dünnen, magnetisierbaren Schicht aus feinsten Eisenoxid-Teilchen zu entwickeln, erwuchs der Schallplatte in der magnetische Speicherung von Klängen ein mächtiger Konkurrent. Denn sowohl in der Wiedergabequalität (Frequenz- und Dynamikumfang sowie Rauschpegel) als auch in der Länge der Spiel- und Lebensdauer sind Tonbänder den Schallplatten weit überlegen.

Das andere Aufzeichnungsverfahren ist ein Licht-Tonverfahren, das hauptsächlich in der Tonfilmtechnik angewandt wird. Hier werden zunächst Schallwellen in Lichtintensitätsschwankungen umgesetzt und dann auf der Tonspur des Filmes photographisch festgehalten. Zur Wiedergabe wird die Tonspur mit einem Lichtstrahl abgetastet. Aufgrund der unterschiedlich geschwärzten Tonspur entstehen Helligkeitsschwankungen. Diese werden heute mit Hilfe einer Fotozellen wieder in Stromschwankungen umgewandelt und durch einen Lautsprecher hörbar gemacht. Der erste wirkliche Tonfilm wurde im Jahre 1927 in den USA öffentlich vorgeführt.

Bei den bisher besprochenen Schallaufzeichnungsverfahren ist eine der wesentlichsten Schwachstellen die analoge Aufzeichnung auf den Speichermedien Schallplatte, Magnetband bzw. Film. Denn durch die analoge Aufzeichnung von Schall ist einerseits die Dynamik stark begrenzt, andererseits werden Unebenheiten, Beschädigungen und Fehler des Speichermediums sowie jedes Staubkorn vor allem bei der Wiedergabe von Schallplattenaufnahmen durch Rauschen, Knistern oder Knacken hörbar. Dieses Problem wurde durch Einführung der digitalen Tonaufzeichnung und -wiedergabe weitgehend gelöst. Es zeigt sich hier erneut, daß die Kombination und Integration zunächst völlig getrennter Entwicklungslinien zu einer sprunghaften, nicht für möglich gehaltenen Qualitätssteigerung führen kann.

Das Verfahren zur Digitalisierung von Schallwellen wurde bereits in den zwanziger Jahren in den Bell-Laboratorien entwickelt, um damit die Mängel des Analogverfahrens zu überwinden. Seine Anwendung zur Aufzeichnung und Konservierung von Musik scheiterte damals aber an der Kapazität der elektronischen Datenspeicher. Erst die Fortschritte in der Halbleiterphysik und die damit verbundenen technischen Errungenschaften der allerjüngsten Zeit, wie schnelle Elektronik, Microchips und integrierte Schaltkreise,

leistungsfähige Computer und vor allem Speicher hoher Datendichte, haben es ermöglicht, dieses Verfahren auch zur Speicherung von Musik anzuwenden.

Beim Digitalverfahren wandelt man die Schallwelle zunächst wieder mittels eines Mikrophons in eine zeitlich veränderliche elektrische Spannung um. Diese dem Tonsignal analoge Spannung wird dann in regelmäßigen Zeitabständen von beispielsweise $2 \cdot 10^{-5}$ s abgetastet. Mit Hilfe eines Analog-Digital-Wandlers werden die jeweiligen Spannungswerte in Digitalzahlen im binären Code umgewandelt und abgespeichert (Abb. 13). Die nun als Ziffernfolge vorliegenden Tonsignale können dann noch weiter mit einem Computer nach mathematischen Vorschriften musikalisch oder klanglich aufbereitet werden. Für den späteren Gebrauch werden die Ziffernfolgen letztendlich im Binär-Code auf der Oberfläche einer Kunststoffplatte

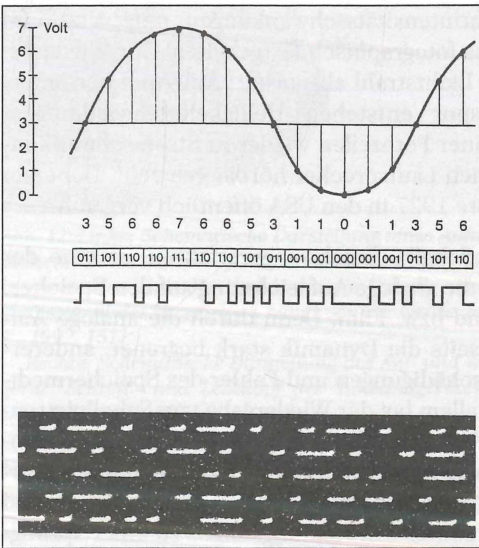


Abb. 13: Oben: Analog-Digital-Wandlung: Der jeweils nach einem festgelegten Zeitintervall abgetastete analoge Spannungswert des Wellenzugs wird in eine Digitalzahl umgewandelt. Die Digitalzahlen werden dann in der dargestellten Weise als Folge von Nullen bzw. Einsen abgespeichert.

Unten: Vergrößerter Ausschnitt einer CD-Oberfläche

Spuren: 0.16 mm tief und 0.6 mm breit; Speicherkapazität 640 Megabyte; Spieldauer 72 min.

von ca. 12 cm Durchmesser und einer Dicke von 1.2 mm, der sogenannten Compact-Disk (CD), gespeichert. Dies geschieht in Form von mikroskopisch winzigen Vertiefungen, den sogenannten Pits, die die Zahlen 0 bzw. 1 darstellen. Ihre Tiefe beträgt 0.16 mm, ihre Breite 0.6 mm. Ihre Länge ist abhängig von der jeweiligen Ziffernfolge. Nach Aufprägung der Pits wird die CD zur Erhöhung der Reflexivität mit einer Aluminiumschicht bedampft und gegen Beschädigung mit einem farblosen Schutzlack überzogen. Zur Zeit beträgt die Speicherkapazität bis zu 640 Megabyte, was einer Spieldauer von ca. 72 Minuten entspricht (Abb. 13).

Bei der Wiedergabe eines Musikstücks übernimmt ein Laserstrahl die Aufgabe des

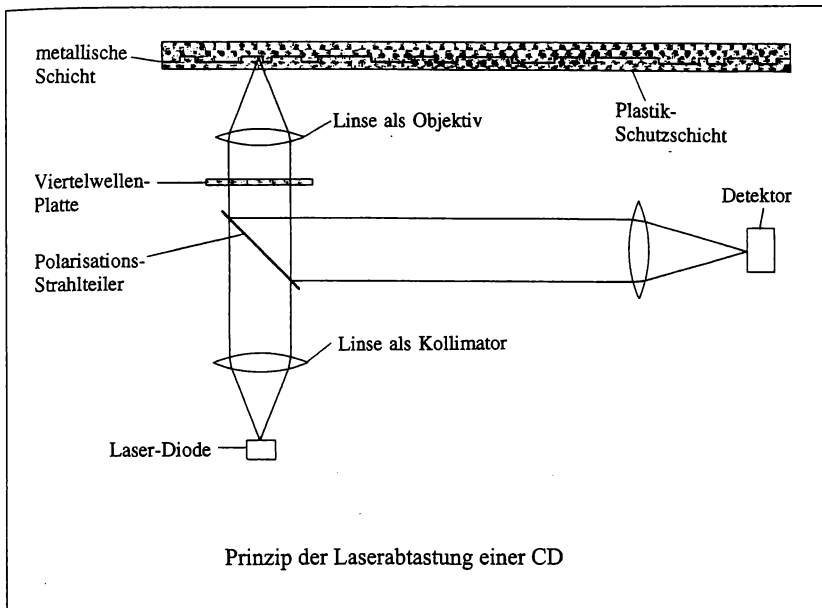


Abb. 14: Schematische Darstellung der Abtastung einer CD durch einen Laserstrahl: Immer wenn der als „Tonabnehmer“ dienende Laserstrahl auf eine Vertiefung (pit) in der CD trifft, wird das Laserlicht so gestreut, daß es nicht mehr zum Detektor gelangen kann. Dadurch entstehen am Detektor Intensitätsschwankungen des Laserlichtes. Diese werden von einer Rechereinheit zunächst in Digitalzahlen übersetzt und dann von einem Digital-Analog-Wandler in entsprechende Analogsignale umgewandelt. Nach entsprechender Verstärkung wird damit ein Lautsprecher betrieben. [nach Monforte, J., 1992, 164]

Tonabnehmers eines herkömmlichen Plattenspielers (Abb. 14). Das von einer Laserdiode erzeugte Lichtbündel wird auf die Compact-Disk fokussiert. Dort wird es an der Aluminiumschicht der CD reflektiert, auf einen Fotodetektor umgeleitet und dort als Spannungssignal nachgewiesen. Fällt der Laserlichtstrahl auf eine Vertiefung, dann streut diese das Licht so, daß es den Detektor nicht mehr erreicht. Der Detektor registriert den jeweiligen Abfall bzw. Wiederanstieg der Lichtintensität als Spannungsabfall bzw. Spannungsanstieg. Jede am Anfang oder am Ende einer Vertiefung durch den auftretenden Intensitätssprung des Laserstrahls hervorgerufenen Spannungsänderung schaltet eine elektronische Zählvorrichtung von 1 auf 0 bzw. von 0 auf 1. Solange sich die Intensität des Laserstrahls am Detektor nicht verändert, d. h. die Spannung konstant bleibt, werden im Rhythmus der ursprünglichen Abtastrate Nullen bzw. Einsen geschrieben. Auf diese

Weise interpretiert das System die Intensitätsschwankungen des Laserlichts als Folge der ursprünglichen binärer Zahlen.

Zur Rekonstruktion eines Tonsignals gibt man die Digitalzahlen auf einen Digital-Analog-Wandler. Dieser erzeugt aus dem jeweiligen Datenwert wieder eine dem ursprünglichen Tonsignal analoge Spannung, mit der nach Verstärkung ein Lautsprecher betrieben wird. Das so rekonstruierte Signal ist bis auf mögliche Abtastfehler, die allerdings durch geeignete Algorithmen weitgehend ausgeschaltet werden können, identisch mit dem ursprünglichen Tonsignal [Monforte, J., 1992, p. 162]. Mit dieser Digitaltechnik wird eine Wiedergabetreue von Musik erreicht, die dem originalen Konzertklang kaum mehr nachsteht. Schwächstes Glied einer originalgetreuen Musikwiedergabe ist heute hauptsächlich der Lautsprecher. Denn aus physikalischen Gründen ist es äußerst schwierig, mit vertretbarem technischen Aufwand elektro-akustische Wandler herzustellen, die im Bereich des Tonumfangs des menschlichen Gehörs einen halbwegs gleichmäßigen Frequenzgang aufweisen.

4. Schlußbemerkung

Die umfangreiche und außerordentlich faszinierende Geschichte der Aufzeichnungsverfahren für Musik konnte hier nur in groben Zügen dargestellt werden. Doch bereits in diesem Rahmen drängen sich vielfach Analogien zwischen der biologischen Evolution und den kulturell-technischen Entwicklungen auf. Eine wesentlich stärkere ins Detail gehende Untersuchung der Entwicklung einer jeden einzelnen technischen Komponente der Aufzeichnungsverfahren würde diese Tatsache verstärken und vertiefen. In diesem Sinne stellt die Entwicklungsgeschichte der Aufzeichnungsverfahren für Musik für kulturethologische Betrachtungen ein Paradebeispiel dar, das in eindrucksvoller Weise nachzuweisen gestattet, daß sich kulturell-technischen Entwicklungen weitgehend zwanglos den Verlaufskategorien und -kriterien zuordnen lassen, die für die biologische Evolution gelten.

Literatur

- Anonymus, De musica mensurabili, ed. Cecily Sweeney, Corpus scriptorum de musica, vol. 13, American Institute of Musiology, 1971, p. 29-56.
http://www.music.indiana.edu/tml/14th/ANODEM_01GF.gif
Boulez, Pierre, Gerzso, Andrew : Computer als Orchesterinstrument, Spektrum der Wissenschaft, Heft 6, 1988.
Brauwers, Jan: Von der Äolsharfe zum Digitalspieler, Klinkhardt & Biermann, München, 1984.

- Buchner, Alexander: Vom Glockenspiel zum Pianola, Artia, Prag, 1959, p. 89.
- Coussemaker de, Edmond: Scriptorum de medii aevi nova series a Gerbertina altera, 4 vols, ed. Edmond de Coussemaker (Paris: Durand, 1864 - 76; reprint ed., Hildesheim: Olms, 1963).
- http://www.music.indiana.edu/tml/14th/ABGURM_06GF.gif
- David, Edward jr.: Aufzeichnung und Wiedergabe von Klängen, in: Die Physik der Musikinstrumente, Spektrum Akad. Verlag, Heidelberg, 1992, p. 150.
- Günther, Siegmund: Geschichte der anorganischen Naturwissenschaften im Neunzehnten Jahrhundert, Berlin 1901, p. 152.
- v. Helmholtz, Hermann: Die Lehre von den Tonempfindungen, Braunschweig, 1863.
- Liban, Jerzy, De accentuum ecclesiasticorum exquisita ratione, Cracow, Scharffenberg 1539, reprint ed., Cracow: Polskie Wydawnictwo Muzyczne, 1975.
- http://www.music.indiana.edu/tml/16th/LIBDEA_15GF.gif
- Liedtke, Max: Entstehung und Funktion einer neuen wissenschaftlichen Disziplin, in: Kulturethologie, Liedtke Max (Hrg.), Realis, München, 1994.
- Linsmeier, Klaus Dieter: Elektronenmusik, Spektrum der Wissenschaft, Heft 12, 1997, p. 54.
- Mathiesen, Thomas J., 1998, Thesaurum Musicarum Latinarum, School of Music, Indiana University, Bloomington, IN 47405, <http://www.indiana.edu/tml/start.html>
- Monforte, John: Digitale Tonwiedergabe, in: Die Physik der Musikinstrumente, Spektrum Akad. Verlag, Heidelberg, 1992, p. 162.
- Ohm, Georg Simon: Über die Definition des Tones, nebst daran geknüpfter Theorie der Sirene und ähnlicher tonbildender Vorrichtungen; in: Annalen der Physik und Chemie, Band LIX, No. 8, 1843.
- Ravi Shankar: Die klassische Musik Nordindiens, in: Knauers Musiklexikon, Moritz, Reiner E. (Hrg.), Droemer Knaur, München 1982, p. 367.
- Reis, Paul: Lehrbuch der Physik, Leipzig 1878, p. 238.
- Ruini, Cesarino: Ameri Practica artis musicae, 1271; ed. Cesarino Ruini, Corpus scriptorum de musica, vol. 25, n. p.: American Institute of Musiology, 1977, p. 19 -112.
- http://www.music.indiana.edu/tml/13th/AMEPRA_04GF.gif
- Zeraschi, Helmut: Drehorgeln, Hallwag Verlag, Stuttgart, 1979.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Matreier Gespräche - Schriftenreihe der Forschungsgemeinschaft Wilheminenberg](#)

Jahr/Year: 1999

Band/Volume: [1999](#)

Autor(en)/Author(s): Klinger Walter

Artikel/Article: [Aufzeichnungsverfahren von Musik unter kulturethologischen Aspekten 43-69](#)