

Gregor Steinbrecher

Bachelorarbeit

**Technischer Fortschritt und die Digitalisierung der Audiotechnik
als Ursache eines Umbruchs für die Tonträgerindustrie und den
Verbraucher**

Hochschule Mittweida
University of Applied Sciences
Fachbereich Medien

Mittweida · 2009

**Technischer Fortschritt und die Digitalisierung der Audiotechnik
als Ursache eines Umbruchs für die Tonträgerindustrie und den
Verbraucher**

Eingereicht als Bachelorarbeit

Hochschule Mittweida
University of Applied Science
Fachbereich Medien

Mittweida, 2009

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Michael Hösel
Zweitprüfer: Prof. Dr.-Ing. habil. Hans-Joachim Thomanek

Vorgelegte Arbeit wurde eingereicht am

Gregor Steinbrecher:

Technischer Fortschritt und die Digitalisierung der Audiotechnik als Ursache eines Umbruchs für die Tonträgerindustrie und den Verbraucher. 2009 - 79 S. Mittweida, Hochschule Mittweida (FH), Fachbereich Medien, Bachelorarbeit

Kurzreferat

Diese Bachelorarbeit beschreibt die technischen Entwicklungen der Audiotechnik und deren Folgen von ihrem Beginn an bis zum heutigen Stand. Ziel dieser Arbeit ist es die rasante Entwicklung der Audiotechnik mit den wirtschaftlichen und kulturellen Auswirkungen für die Industrie und die Gesellschaft in einen Zusammenhang zu bringen. Zu diesem Zweck werden Tonaufzeichnungs- und Wiedergabemedien der verschiedenen Epochen technisch beschrieben um sie in Bezug auf Klangqualität, Produktionsabwicklung und die möglichen Einsatzbereiche vergleichbar zu machen. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen werden anschließend die Auswirkungen des technischen Fortschrittes auf die Industrie und den Konsumenten betrachtet. Der Einfluss digitaler Medien bildet dabei einen besonderen Schwerpunkt.

Gliederung

1. Entwicklung der Audiotechnik	11
1.1 Analoge Tonaufzeichnung	11
1.1.1 Das akustische Aufnahmeverfahren	11
1.1.2 Das elektrische Aufnahmeverfahren	14
1.1.3 Magnetbandaufzeichnung	15
1.2 Analoge Tonwiedergabe	16
1.3 Digitale Tonaufzeichnung	19
1.3.1 Theoretische Grundlagen der Digitalisierung	20
1.3.2 Umsetzverfahren von A/D Wandlern.....	23
1.3.2.1 Parallelumsetzer (Flash Converter).....	24
1.3.2.2 A/D-Wandler nach dem Wägeverfahren.....	25
1.3.2.3 A/D-Wandler mit integrierenden Umsetzverfahren.....	27
1.3.2.4 Sigma-Delta-Wandler ($\Sigma\Delta$ -Wandler).....	33
1.4 Digitale Wiedergabeformate	40
1.4.1 Compact Disc (CD).....	41
1.4.2 MP3 (MPEG 1 Layer III).....	43
1.4.3 DVD-A und SACD	47
1.4.4 Digital Audio Tape (DAT)	48
2. Chancen und Probleme der Musikindustrie	49
2.1 Tonträgerwirtschaft.....	49
2.2 Tonträgerproduktion	55
3. Chancen und Probleme für den Konsumenten	60
3.1 Der Tonträger als Konsumgut	60
3.2 Kultur.....	64
4. Fazit und Ausblick	69
Literaturverzeichnis	71
Bücher und Schriften	71
Internetquellen	74
Studentische Abschlussarbeiten.....	78
Interviews	79

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abb. 1.1. Walze und Nadel eines Phonographen	12
Abb. 1.2. Schallmembran mit Abtastnadel für Seitenschrift	13
Abb. 1.3. Prinzip der Flankenschrift	15
Abb. 1.4. Abtastpektrum und Aliasing	21
Abb. 1.5. Quantisierungskennlinie	22
Abb. 1.6. Schematischer Aufbau eines 3-Bit Parallel-Umsetzers	24
Abb. 1.7. Prinzipschaltbild Wägeverfahren	26
Abb. 1.8. Flussdiagramm Wägeverfahren	26
Abb. 1.9. Schaltplan eines Spannungs-/Frequenz- Umsetzers	27
Abb. 1.10. Spannungsverlauf am Integrationskondensator des VFC.....	28
Abb. 1.11. Fehler beim direkten Zählverfahren	29
Abb. 1.12. Blockschaltbild des Verhältniszahlverfahrens beim VFC.....	29
Abb. 1.13. Schaltplan eines Einrampenumsetzers.....	30
Abb. 1.14. Spannungsverlauf beim Einrampen ADU	30
Abb. 1.15. Blockschaltbild eines Zweirampen ADU	31
Abb. 1.16. Zeitverlauf des Zweirampen ADU	32
Abb. 1.17. Spannungsverlauf beim Vierrampen-ADU	33
Abb. 1.18. Aufbau des Sigma-Delta ADU.....	34
Abb. 1.19. Schematischer Aufbau des Sigma-Delta-Modulators	34
Abb. 1.20. Signalverlauf im Sigma-Delta-Modulator	35
Abb. 1.21. Sigma-Delta-Modulator im z-Bereich.....	38
Abb. 1.22. Blockschaltbild eines Sigma-Delta-Modulators 2. Ordnung.....	39
Abb. 1.23. Lichtpunkt des Abtastlasers auf einem Pit	41
Abb. 1.24. NRIZ-Code	42
Abb. 1.25. Codierung der Pitkanten.....	42
Abb. 1.26. Ruhehörschwelle L_T	44
Abb. 1.27. Mithörschwellen L_T verdeckt durch frequenzgruppenbreites Schmalbandrauschen.....	45
Abb. 1.28. Durch ein Signal verdeckte Subbänder.....	46
Tabelle 1. Die Phasen der Umsetzung eines Zweirampen ADU	31
Tabelle 2. Beispielhafte Spannungswerte eines $\Sigma\Delta$ -Modulators	36
Tabelle 3. Absatzzahlen der Tonträgerindustrie im Jahr 2008	52
Tabelle 4. Abhörbedingungen und Klangeigenschaften verschiedener Wieder- gabegeräte.....	57

Verzeichnis verwendeter Formelzeichen und Abkürzungen

δ	Dirac-Stoß
τ	Zeitkonstante
A/D	Analog/Digital
f	Frequenz
f_s	Samplingfrequenz
CIC-Filter	cascaded-integrator-comb-filter
CD	Compact Disc
D/A	digital/analog
DAW	digital Audioworkstation
DMM	direct metal mastering
DRM	Digital Rights Management
DSD	direct stream digital
DVD-A	Digitale Versatile Disc - Audio
FS	Full Scale
LP	Long Playing Record
LSB	least significant bit
MSB	most significant bit
MC	Mini Disc
OSR	over sampling rate
PCM	pulse code modulation
P_e	Rauschleistung
SACD	Super Audio Compact Disc
SAR	sukzessive approximation register
$S_e(f)$	Rauschleistungsdichtefunktion
S/H	sample and hold
SNR	signal to noise ratio
T	Periode
U	Spannung
U_{LSB}	Quantisierungsspannung
UpM	Umdrehungen pro Minute
VFC	voltage to frequency converter

VPI	Verbraucherpreisindex
q	Quantisierungsstufe
q_n	Quantisierungsfehler
$x(t)$	analoges Signal
$x_a(t)$	abgetastetes Signal
$X(f)$	analoges Signalspektrum
$X_a(f)$	abgetastetes Signalspektrum
Z	Umsetzergebnis

Danksagung

Für die hilfreichen Anregungen und die freundliche Betreuung bedanke ich mich herzlich bei Prof. Dr.-Ing. Michael Hösel.

Mein Dank gilt außerdem meinem Vater Thomas Steinbrecher für die geduldige Hilfe.

Einleitung

Seit Beginn der Kulturgeschichte versucht der Mensch seine Erlebnisse und Eindrücke festzuhalten. Bereits 20.000 Jahre v. Chr. wurden die ersten uns heute bekannten Bilder mit den Sinneseindrücken der damaligen Menschen an Steinwände gezeichnet. Unter Nutzung der Sonnenstrahlen erzeugte Joseph Nicéphore Niépce 1826 das erste belichtete Abbild der Natur und legte damit den Grundstein für die Fotografie. 51 Jahre Später gelang dem Erfinder Thomas Alva Edison die Aufzeichnung und Wiedergabe, also die Konservierung von Geräuschen, was den Beginn einer langen Geschichte der Audiotechnik markiert. Durch den Enthusiasmus einiger Erfinder wurde aus den zuerst nur »schwer verständlichen«¹ Tonaufzeichnungen Edisons schnell ein ambivalentes Medium mit vielen Einsatzmöglichkeiten im alltäglichen Leben. Vor allem die Wiedergabe aufgenommener Musik führte zu einer riesigen Nachfrage in der Bevölkerung. Erstmals war es möglich, die großen Musiker fernab von Konzertsälen im eigenen Wohnzimmer zu erleben. Eine neue Industrie entwickelte sich und deren Vertreter begannen Stimmen berühmter Sänger aus vielen Teilen der Erde aufzunehmen und zu vermarkten². Bis heute hat sich sowohl die Aufnahmetechnik als auch die Wiedergabetechnik derart verändert, dass sie mit den Anfängen der Tonaufzeichnung kaum noch verwandt sind. Vor allem der Einzug der digitalen Technik, markiert einen historischen Wendepunkt, der nicht nur im Bereich der Audiotechnik, sondern auch für alle anderen Medien neue Wege bereitet. Erst seit dem 20. Jh. bauen die Menschen Maschinen, die wir heute unter dem Begriff Computer zusammenfassen. Sie verarbeiten Daten unter der ausschließlichen Verwendung von zwei Zuständen: Eins und Null. Eine Verarbeitung der bisher genutzten, analogen Signale ist mit der digitalen Technik nicht möglich, sodass die Speicherung von Musik, Fotos oder bewegten Bildern ein Verfahren erfordert, bei dem diese analogen Signale in digitale Werte umgesetzt werden - die Analog/Digital Umsetzung. In der modernen Audiotechnik schlägt sie die Brücke vom Klangereignis, z.B. einer gespielten Geige, zur dauerhaften und reproduzierbaren Aufnahme auf digitalen Speichermedien. Das Verständnis der digitalen und analogen Technik bildet die Grundvoraussetzung für eine Analyse der Nutzungsmöglichkeiten sowohl in einem funktionellen als auch ökonomischen Zusammenhang. Die folgende Arbeit beschäftigt sich daher zuerst mit diesen technischen Grundlagen der

¹ Illustrierte Zeitung (Hrsg.), Leipzig 1878 in Große 1989, 15

² Große 1989, 40 ff.

Audiotechnik und schafft damit eine Vergleichsmöglichkeit für Parameter wie Klangqualität, Funktionalität oder Einsatzmöglichkeiten. Die Abfolge richtet sich dabei soweit möglich nach der historischen Entwicklung. In dem zweiten Kapitel werden die Auswirkungen der medialen Veränderung für die betroffene Industrie anhand der Erkenntnisse des ersten Abschnittes untersucht. Das dritte Kapitel diskutiert Folgen für den Verbraucher in Bezug auf alltägliche Anwendungskriterien der verschiedenen Tonträger. An dieser Stelle wird auch der Versuch unternommen, eine Veränderung des kulturellen Einflusses auditiver Medien aufzuzeigen. Die Arbeit schließt mit einer Zusammenfassung und Auswertung der Ergebnisse.

Durch die verschiedenen technischen Epochen, der die verschiedenen untersuchten Medien zuzuordnen sind, war es nötig verschiedene Untersuchungsmethoden anzuwenden. So wurden für die Beschreibung der frühen Audiotechnik bis zur Mitte des 20. Jh. hauptsächlich Quellen mit dokumentarischem Charakter untersucht. Aktuellere, vor allem digitale Technik verlangt hingegen eine differenzierte Beschreibung, die sich auch auf mathematische und systemtheoretische Erkenntnisse stützt.

1. Entwicklung der Audiotechnik

1.1 Analoge Tonaufzeichnung

1.1.1 Das akustische Aufnahmeverfahren

Bis zum Jahre 1925 war das akustische Aufnahmeverfahren die Grundlage aller Tonaufnahmen, bis es von dem elektrischen Aufnahmeverfahren abgelöst wurde³. Die Schallwellen werden dabei durch einen oder mehrere Trichter zunächst verstärkt und bringen eine Membran zum Schwingen. So werden die feinen Änderungen des Luftdrucks in eine messbare mechanische Schwingung gewandelt. Die aufzuzeichnende Schallquelle erzeugt also die gleichen Frequenzen, mit denen nun auch die Membran schwingt. Diese Membran ist mit einem Stichel verbunden, der ihre Bewegung in einen festen Stoff, den Tonträger, aufzeichnet. Der Tonträger muss dazu an dem Stichel vorbeigeführt werden und sollte dabei eine konstante Geschwindigkeit haben, um eine originalgetreue Wiedergabe zu ermöglichen. Für die Tonträger kommen dabei verschiedene Materialien in Frage. Außerdem wurden verschiedene Schriften für die Signalaufzeichnung entwickelt. was gleich erklärt wird

Phonograph

Die Geschichte der Tonaufzeichnung beginnt mit einer Reihe von Erfindungen, welche seit Anfang des 19. Jahrhunderts die Grundlagen für die mechanische Speicherung eines Schallereignisses legen. Nachdem bereits 1859 die erste Schallaufzeichnung gemacht wurde, gelang erstmals Thomas Alva Edison im Jahre 1877 ein konserviertes Geräusch in der Art zu speichern, dass auch eine Wiedergabe möglich war⁴. Er benutzte dazu den von ihm entwickelten Phonographen. Dieses Gerät besteht aus einem mit Stanniolfolie überzogenen Metallzylinder der durch eine Kurbel angetrieben werden kann. Vor dem Zylinder ist eine Membran befestigt, in deren Zentrum Edison eine Nadel angebracht hat. Die Membran wird in Schwingung versetzt, sobald sie zum Beispiel durch die menschliche Stimme angeregt wird und treibt so die Nadel. Spricht man nun in die Membran während sich der Zylinder dreht, werden die erzeugten Membranschwingungen von der Nadel in das Zinn der Stanniolfolie

³ Große 1989, 73

⁴ Der Phon-Authograph nach Léon Scott zeichnete Schallwellen auf, konnte diese aber damals nicht wiedergeben, Große 1989, 8

eingraviert, weshalb diese Methode als Tiefenschrift bezeichnet wird. Je nach dem wie stark die Membran ausgelenkt wird, variiert die Tiefe der Schrift. Die zur Zylinderoberfläche vertikalen Vertiefungen beschreiben also die Amplitude des aufgezeichneten Signals. Um die aufgezeichneten Worte wiederzugeben, wird der Zylinder gedreht, wodurch die eingravierten Vertiefungen die Nadel in der gleichen Weise bewegen, wie dies auch beim Aufzeichnungsprozess der Fall war. Die Membran wird wieder in Schwingung versetzt und es erklingen die



Abb.: 1.1. Walze und Nadel eines Phonographen
[Fichtinger 23.06.2009, online]

zuvor gesprochenen Worte. Edison tauschte schon damals für die Wiedergabe der Aufzeichnung die Membran aus, um ein besseres Klangergebnis zu erzielen.⁵ Eine ausgesprochene Klangverbesserung brachte die Weiterentwicklung des Phonographen durch den Erfinder Alexander Graham Bell, gemeinsam mit seinem Vetter Chichester Bell und Charles Sumner Tainter. Sie benutzten anstelle der Zinnfolie eine Wachsschicht, welche auf einem Pappzylinder aufgetragen war. Die Schallwellen wurden nun von einem scharfen Stichel eingeritzt und nicht wie zuvor eingedrückt. Edison vereinte diese Verbesserung mit weiteren Ideen und baute 1888 den „Improved Phonograph“, der bereits einen Elektromotor für den Antrieb des Zylinders besaß. Edison gelang es erstmals 1889 seine wachsbeschichteten Walzen derart zu bearbeiten, dass eine Massenkopie vom Original möglich wurde. Die bespielte Wachswalze wurde dazu in einer Vakuumkammer mit Goldpartikeln bedampft und anschließend mit einem Kupfermantel umgeben⁶. Auf diese Art wurde ein Negativ des Originalzylinders hergestellt, das nun zur Vervielfältigung verwendet werden konnte. Dazu wurde der nun entstandene hohle Metallzylinder mit heißem Wachs gefüllt. Nachdem das Wachs erkaltet war, musste dies von der Negativform getrennt werden, wobei aber die gespeicherten Audiosignale beschädigt wurden. Erst nach vielen Veränderungen der Wachszusammensetzung wurde dieses Problem behoben und das Verfahren konnte 1902 in Serie gehen.

⁵ Große 1989, 12

⁶ Schubert 2002, 8

Schallplatte

Im Jahre 1887, zehn Jahre nach der Erfindung des Phonographen, beschäftigte sich Emile Berliner mit der Entwicklung eines Tonträgers, welcher beliebig oft reproduziert werden kann, was zu dieser Zeit mit dem Phonographen noch nicht gelang. Er benutzte dafür anstelle der Walzen eine ebene Zinkscheibe und überzog diese mit einer dünnen Wachsschicht. Bei der Aufzeichnung wurden ebenfalls mit einem Stichel die Schwingungen einer Membran direkt in das Wachs geschnitten. Berliner umging aber das Edison-Patent auf Geräte mit Tiefenschrift, und übertrug die Schallwellen durch eine seitliche Auslenkung des Schreibstichels auf die Platte. Bei dem Verfahren, dass er folglich Seitenschrift nannte, finden sich die Schallinformationen nicht in einer veränderlichen Tiefe der Spur. Vielmehr ist die aufgezeichnete Schallwelle bei rotierender Platte seitlich zur Laufrichtung moduliert⁷. Dafür wurde ein Schreibstichel in Analogie zum Tiefenschriftverfahren im Zentrum der Membran befestigt, war aber um 90 Grad gekrümmt und mit der Membraneinfassung, dem Korpus, verbunden⁸. Die Schreibspitze am Ende des Stiftes wurde nun bei schwingender Membran seitlich ausgelenkt. Beim Schneiden des Wachses wird an den betreffenden Stellen die

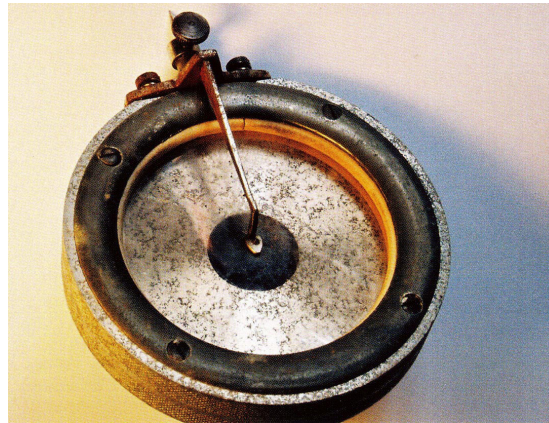


Abb.: 1.2. Schallmembran mit Abtastnadel für Seitenschrift [Fischer 2006, 122]

Zinkscheibe freigelegt, was die Reproduzierbarkeit der Aufnahme ermöglicht. Hierfür tauchte Berliner die Platte nach der Aufzeichnung ca. zehn Minuten in eine drei prozentige Chromsäure, wodurch die Spur in die Platte geätzt wurde, welche nun als Master für die Vervielfältigung verwendbar war⁹. Für eine ideale Klangqualität ermittelte Berliner empirisch die Geschwindigkeit von 70 Umdrehungen pro Minute¹⁰. Unter Verwendung verschiedener Materialien, wurde diese Methode des Einätzens freigeätzter Rillen bis zur Einführung

⁷ Bergtold 1954, 23

⁸ Fischer 2006, 121 f.

⁹ Schubert 2002, 10

¹⁰ Große 1989, 30

der elektronischen Aufnahme verwendet¹¹. Üblich waren Aluminiumplatten überzogen mit einer Wachs-, Gelatine- oder Kunstseidenschicht¹². Erst nach 1925 begannen die Plattenfirmen allmählich mit dem Schneiden auf Lackplatten.

1.1.2 Das elektrische Aufnahmeverfahren

Die Bell Telephone Company entwickelte im Jahre 1924 das elektrische Aufnahmeverfahren für Schallplatten¹³. Grundlage dafür waren die Erfindungen des Mikrophons und der Elektronenröhre, welche zur Signalverstärkung diente. Bereits im August 1925 erschien die erste elektrisch aufgenommene Schallplatte bei der Plattenfirma „Columbia“. Die Konkurrenz folgte und das akustische Verfahren verschwand aus den Aufnahmestudios. Die Entwicklung der elektrischen Aufnahme basiert auf der Wandlung von Schallwellen in elektrische Wechselspannung, was in den damaligen Aufnahmestudios zuerst mit Kohlemikrofonen und später mit Kondensatormikrofonen geschah¹⁴. Das gewonnene Signal wurde anschließend verstärkt und steuerte nun den Schneidstichel, der die Schwingungen wieder auf die Aufnahmeplatte übertrug. Für den mechanischen Antrieb des Stichels wurde das Signal elektromagnetisch gewandelt¹⁵. Die somit erreichte höhere Dynamik führte zu stärkeren Spurbreitenschwankungen, was die Aufnahmeleiter zu einer Vergrößerung des Spurbrechens zwang, wodurch sich die Spielzeit der Schallplatte verkürzte. Abhilfe für dieses Problem brachte die Erfindung der Füllschrift im Jahre 1942. Dabei variiert der Rillenabstand je nach Lautstärke wodurch ein Überschneiden zweier stark ausgelenkter Spuren verhindert wird. Zu dieser Zeit wurden alle Aufnahmen in Mono gemacht, da ein Stereo-Verfahren, welches mit den vorhandenen Abspielgeräten kompatibel war, nicht existierte. Erst Alan Dower Blumlein schaffte es mit der Erfindung der Flankenschrift 1931 die beiden Stereokanäle in einer Spur aufzuzeichnen. Möglich wurde dies durch die Kombination aus Tiefen- und Seitenschrift zur Flankenschrift. Die Rillenflanken stehen in einem Winkel von 90 Grad aufeinander und sind um 45 Grad gegenüber der Plattenoberfläche geneigt. Die innere Flanke enthält die Informationen des linken, die äußere Flanke die Information des rechten Stereokanals. Sowohl das

¹¹ Bergtold 1954, 5

¹² Fischer 2006, 96

¹³ Fischer 2006, 35

¹⁴ beyerdynamic GmbH & Co. KG (Hrsg.), [stand 15.05.09]

¹⁵ Bergtold 1954, 5

Prinzip der Füllschrift, als auch die Flankenschrift werden noch bei der heutigen Schallplattenherstellung verwendet. Die heutige Schallplattenherstellung zeichnet

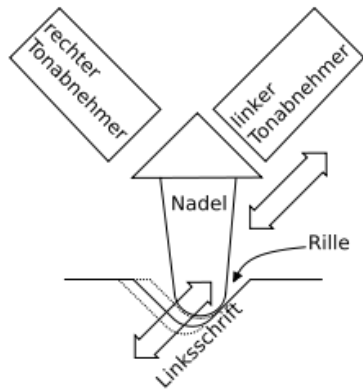


Abb.: 1.3. Prinzip der Flankenschrift

sich durch einige weitere Verbesserungen wie das DMM-Schneideverfahren (Direct Metal Mastering) aus. Bei dieser Technik werden die Schwingungen direkt in eine Kupferplatte geschnitten von der die Pressmatritze zur Vervielfältigung gewonnen werden kann. Dadurch wird der verlustbehaftete galvanische Negativabzug eingespart, was zu einer deutlichen Klangverbesserung führt. Zum Schneiden wird heute das Signal einer Magnetband- oder Festplattenaufnahme abgetastet, was aufgrund der besseren Signal- Rauschabstände zu einer weiteren Klangverbesserung gegenüber einer direkten Aufnahme auf Platte führt. Um die Platte für eine ideale Wiedergabe vorzubereiten, ist es beim Schneiden des Schallplattenmasters nötig eine, durch die Schneidkennlinie definierte Amplitudenabsenkung der tiefen Frequenzen und eine Amplitudenanhebung der hohen Frequenzen vorzunehmen. So können zu breite Rillen, bzw. eine zu schnelle Nadelauslenkung vermieden werden.

sich durch einige weitere Verbesserungen wie das DMM-Schneideverfahren (Direct Metal Mastering) aus. Bei dieser Technik werden die Schwingungen direkt in eine Kupferplatte geschnitten von der die Pressmatritze zur Vervielfältigung gewonnen werden kann. Dadurch wird der verlustbehaftete galvanische Negativabzug eingespart, was zu einer deutlichen Klangverbesserung führt. Zum Schneiden wird heute das Signal einer Magnetband- oder Festplattenaufnahme

1.1.3 Magnetbandaufzeichnung

Die magnetische Speicherung von Schall auf Eisenscheiben oder Draht wurde bereits seit Ende des 19. Jahrhunderts praktisch durchgeführt. Die Qualität der Aufnahme war dabei jedoch den damaligen Tonwalzen und Schallplatten stark unterlegen. Die stetige Weiterentwicklung des Verfahrens brachte allerdings immer bessere Ergebnisse, sodass die Magnettontechnik 1938 in den deutschen Rundfunkanstalten eingeführt werden konnte. Deutliche Klangverbesserungen erzielten vor allem die folgenden Entwicklungen:

- Die Nutzung von Kunststoffbändern als Tonträger, welche mit feinsten magnetisierbaren Partikeln beschichtet waren (von P. Pfelemer 1928)
- Die Erfindung Ringförmiger Tonköpfe (von E. Schüller 1933)
- Die Hochfrequenzvormagnetisierung (von H.-J. v. Braunmühl und W. Weber 1941)

Das Grundprinzip der magnetischen Schallspeicherung, wie sie auch heute noch zum Einsatz kommt, ist die dauerhafte Magnetisierung eines Tonträgers durch einen ringförmigen Tonkopf. Durch die Spulenwicklungen des Tonkopfes fließt ein Wechselstrom, welcher durch die elektrisch verstärkte Ausgangsspannung eines Mikrofons erzeugt wurde. Im Arbeitsspalt, einer ca. 5-10 µm breiten Öffnung im Ringkern entsteht so ein magnetisches Wechselfeld, dessen Feldlinien auch aus dem Spalt heraustreten¹⁶. Vor dem Spalt wird das Magnetband mit einer Geschwindigkeit von meist 38,1 cm/s vorbeigeführt¹⁷. Es besteht aus einem Kunststoffträger, dessen lackbeschichtete Oberfläche feine, magnetisierbare Partikel enthält (z.B. Eisenoxid). Diese erhalten durch das magnetische Wechselfeld vor dem Arbeitsspalt eine remanente Magnetisierung. Durch den gleichmäßigen Bandlauf entsteht so auf dem Tonträger ein magnetisches Abbild der Schallwellen.¹⁸

Die Aufzeichnung mit Tonbandgeräten brachte, verglichen mit dem Schallplatten-Schneideverfahren, enorme Erleichterungen des Aufnahmeprozesses mit sich. Nach der Aufnahme konnte der Originaltonträger direkt abgehört werden. Bei den Wachsplatten war dies nicht möglich, da sonst ein nicht tragbarer Qualitätsverlust entstanden wäre. Des Weiteren können die Bänder geschnitten und wieder verklebt werden. So ist es möglich einzelne Passagen einer Aufnahme zu wiederholen, ohne das gesamte Stück neu aufzeichnen zu müssen.

1.2. Analoge Tonwiedergabe

Um ein analog aufgezeichnetes Signal wieder zum klingen zu bringen, muss die Signalkette der Aufzeichnung rückwärts durchlaufen werden. Komponenten wie Abtastnadel, Schallmembran bzw. Lautsprecher oder elektromagnetische Wandler sollten dabei den Anforderungen einer Klangwiedergabe angepasst werden. Schon Thomas A. Edison experimentierte für Aufzeichnung und Abtastung mit verschiedenen Nadeln. Der Phonograph spielte die Originalaufzeichnung von der Wachswalze ab, indem eine Abtastnadel über die Tiefenschrift geführt wurde. Die Membran wurde von der Nadel in Schwingung versetzt und durch den Schalltrichter verstärkt, sodass die zuvor

¹⁶ Enders, online

¹⁷ Bevorzugte Bandgeschwindigkeit bei Tonstudio-Bandmaschinen nach DIN 15 573

¹⁸ Dickreiter 1997, 12 f.

aufgezeichneten Töne erklangen. Ein gesondertes Abspielgerät war nicht nötig. Ab dem Jahr 1902, als die Walzenhersteller begannen populäre Aufnahmen zu vervielfältigen, wurden nicht nur Originale sondern auch kodierte Walzen abgespielt.

Für das Abspielen von Schallplatten benötigt man ein Grammophon oder einen elektrischen Schallplattenspieler. Dafür muss das Original zuvor auf einen Tonträger übertragen werden, der mehrmaliges Abspielen ohne allzu große Qualitätsverluste erlaubt. Durch Galvanisieren wird zu diesem Zweck ein Negativ, der Vater, erzeugt, was eine leitende Oberfläche des Originals voraussetzt. Diese leitende Oberfläche kann z.B. durch Niederschlagen einer feinen Silberschicht erreicht werden. Von dem Vater werden nun erst die Mutter und dann der Sohn galvanisch abgenommen. Die so gewonnene Pressmatritze (Sohn) ist genau wie der Vater ein Negativ der Originalplatte. Er wird zur Erhöhung der mechanischen Widerstandsfähigkeit verchromt und für die Pressung der endgültigen Schallplatte verwendet¹⁹. Dieses Verfahren wird beim modernen DMM-Schnitt drastische vereinfacht. Das Material aus dem die Platten bestanden war eine Mischung aus Schellack, Gesteinsmehl, verschiedenen Füllstoffen und Ruß oder Kohle zum Färben²⁰. Ab 1948 wurde mit Einführung der Long Playing Record (LP) auch das Material verändert²¹. Um die längere Abspielzeit zu ermöglichen wurde der Rillenabstand verringert, wozu eine Verkleinerung der Rillenmodulation nötig war. Der Leiter der zuständigen Forschungsgruppe der CBS, Dr. Peter C. Goldmark, entwickelte diese neuen Rillen und nannte sie Microgroove (engl. Mikrorille)²². Da die kleineren Auslenkungen der Rille nun in einem höheren Maß verstärkt werden mussten, war ein Material mit einer sehr glatten Oberfläche nötig. Die Körnigkeit der Gesteinsmehle in den Schellackplatten hätte zu einem zu schlechten Signal Rausch Verhältnis geführt²³. Der Werkstoff Vinylite, auch als PVC (Polyvinylchlorid) bekannt, verfügte hingegen über optimale Voraussetzungen in Festigkeit, Formbarkeit und der besagten Glätte.

¹⁹ Bergtold 1954, 8 f.

²⁰ Fischer 2006, 96

²¹ Große 1989, 128

²² Schubert 2002, 14

²³ Große 1989, 128

Abspielen der Schallplatte

Da für das Abspielen einer Schallplatte die gleichen Wandlungsschritte wie bei ihrer Aufnahme nötig sind, werden für beide Vorgänge, wie auch beim Phonograph, im Grundlegenden die gleichen Komponenten benutzt und lediglich an die Richtung mit der die Signalkette nun durchlaufen wird angepasst. Zum Abspielen einer Schallplatte wurde bis zur Entwicklung der elektrischen Schallplattenspieler das Grammophon verwendet. Eine Abtastnadel wird durch die Rille geführt, während sich die Platte dreht. Die Modulation der Rille versetzt die Nadel in Schwingung. Analog einem Aufnahmesystem ist sie über eine Krümmung verbunden mit der Membran, welche die Auslenkungen der Seitenschrift in Schallwellen wandelt. Zur Verstärkung ist ein Schalltrichter angebracht. Grammophone wurden in verschiedenen Ausführungen gefertigt und vertrieben. In den Anfängen der Schallplatte musste die Rotation des Plattentellers durch eine Handkurbel erzeugt werden, weshalb der kommerzielle Erfolg des Grammophons gegenüber dem schon damals mit Federwerken ausgestatteten Phonographen vorerst gering blieb. Die Hersteller reagierten auf die Bedürfnisse der Verbraucher und bauten ca. ab 1889 eine Rutschkupplung ein, bei welcher der Hörer ebenfalls kurbeln musste, die ein zu schnelles Abspielen aber verhinderte und das Tempo konstant hielt²⁴. Abgelöst wurde diese Technik vom Federantrieb, der bereits 1930 in 70 Prozent aller produzierten Geräte verbaut war²⁵. Parallel wurden die ersten Geräte mit Elektromotoren auf den Markt gebracht. Durch den Ausbau des öffentlichen Stromnetzes erfreute sich auch diese Art des Antriebs immer größerer Beliebtheit. Auch die Abspielgeschwindigkeiten veränderten sich im Laufe der Zeit. Die ersten Platten von Emile Berliner wurden für eine Wiedergabegeschwindigkeit von ca. 70 Umdrehungen pro Minute (UpM) produziert. Mit der zunehmenden Verbreitung der elektrisch betriebenen Grammophone wurde die Abspielgeschwindigkeit auf 78 UpM genormt²⁶. Mit Einführung der Langspielplatte konnte die Abspielgeschwindigkeit aufgrund der kleineren Rillenauslenkung und dem damit gewonnenen Platz auf 33,3 UpM für die LP und 45 UpM für die Single verringert werden. Die Abspielzeit verlängerte sich dabei von bisher 5 Minuten pro Seite auf insgesamt 45 Minuten Spieldauer²⁷. So konnte man Recherchen des Entwicklers Goldmark zu folge die meisten klassischen Stücke in voller Länge unterbringen²⁸.

²⁴ Fischer 2006, 39

²⁵ Fischer 2006, 39

²⁶ HiFi Norm 45500

²⁷ Große 1989, 127 ff

²⁸ Urban/Rudtke 2002, 16

Compact-Cassette

Basierend auf dem Magnettonverfahren brachte die Firma Phillips 1963 die Compact-Cassette auf den Markt. Mit den Abmessungen 10 cm x 6,3 cm x 0,8 cm (H x B x T) und einem robusten Kunststoffgehäuse wurde sie als alltagstauglicher Tonträger für den Konsumentenbereich entwickelt. Auch die Bandgeschwindigkeit von 4,76 cm/s und die Bandbreite von 3,8 mm wurden speziell für diesen Einsatzzweck gewählt und liegen unter den hohen Anforderungen an Studiobandmaschinen.

Für das Auslesen der zuvor aufgezeichneten, remanenten Magnetisierung ist der Kassettenspieler mit einem Tonkopf versehen, der auch als Wiedergabekopf bezeichnet wird. Er besteht aus den gleichen Komponenten wie ein Aufnahme- oder Schreibkopf, mit dem die Signale aufgezeichnet wurden. Das Magnetband wird vor dem Spalt des Wiedergabekopfes vorbeigeführt, wobei sich die Feldlinien über den Ringkern schließen. Die in ihrer Polarität wechselnden Magnetfelder induzieren so eine Wechselspannung in den Wicklungen des Wiedergabekopfes. Sie schwankt, wie auch das Magnetfeld, in der aufgezeichneten Tonfrequenz. Diese Spannung erzeugt einen, ihr proportionalen Stromfluss, der über eine Leitung einem Verstärker zugeleitet und anschließend von einem Lautsprecher in Schallwellen umgewandelt wird.

1.3 Digitale Tonaufzeichnung

Analoge Aufzeichnungsverfahren sind heute in fast allen Bereichen von der Digitalen Technik abgelöst. In vielen Studios sind zwar analoge Tonbandanlagen zu finden, diese fließen aber in den meisten Fällen aufgrund ihres Klangbildes als gestalterisches Mittel in den kreativen Produktionsprozess ein. Ist eine kommerzielle Vermarktung der Aufnahmen geplant, so ist ein Digitalisieren für die spätere Pressung auf CD unumgänglich. Die „digitale Revolution“ begann in der Audiotechnik mit der Einführung erster digitaler Effektgeräte ab 1971. Die analogen Bandmaschinen wurden mit Markteinführung der digitalen Mehrspurrekorder ab 1978 allmählich verdrängt²⁹. Als Tonträger dienten weiterhin Magnetbänder, die Schallwellen wurden aber vor der Aufzeichnung in ein digitales PCM-Signal gewandelt. Heute kommen verschiedene magnetische Speichermedien in Frage. In Tonstudios wird aufgrund der komfortablen Systemintegration meist auf Festplatten aufgezeichnet. Anders als bei der

²⁹ Weinzierl (Hrsg.) 2006, 786

analogen Tonaufzeichnung durchläuft das Audiosignal bei dem digitalen Verfahren einige komplizierte technische Prozesse bis es auf dem Magnetband, der Festplatte oder anderen digitalen Speichermedien aufgezeichnet ist. Im folgenden Abschnitt soll erläutert werden, wie eine Analog/Digitalwandlung funktioniert und welche Verfahren dafür üblicherweise verwendet werden.

1.3.1 Theoretische Grundlagen der Digitalisierung

Ein analoges Signal $x(t)$ besteht aus einem unendlich hoch aufgelösten, kontinuierlichen Wertevorrat. Um diesen Wertevorrat digital zu erfassen, werden dem Eingangssignal bei der Analog/Digital Umsetzung in bestimmten Abständen Proben entnommen (Zeitdiskretisierung/Sampling), als diskreter Wert erfasst (Quantisierung) und anschließend in einen digitalen Code umgesetzt.

Zeitdiskretisierung

Bei der Zeitdiskretisierung (Sampling) unterscheidet man hinsichtlich der Abtastzeitpunkte in die äquidistante Abtastung, bei der die Proben in gleich bleibenden Zeitintervallen $n \cdot T$ entnommen werden, und die nicht-äquidistante Abtastung, die mit zufälligen Abtastzeitpunkten arbeitet. Da die zweite Form nur in speziellen Fällen Anwendung findet, wird in dieser Arbeit nur die, für die Audiotechnik relevante, äquidistante Abtastung betrachtet. Das Ergebnis solch einer Abtastung eines zeitkontinuierlichen Signals $x(t)$ lässt sich wie folgt darstellen:

$$\{x[n]\} \quad x[n] = x(n \cdot T) \quad \text{mit} \quad n \in \mathbb{Z}$$

Mathematisch lässt sich das Abtastungsergebnis $x_a(t)$ auch durch die Multiplikation des zeitkontinuierlichen Signals $x(t)$ mit einer Folge von Dirac-Impulsen beschreiben:

$$\begin{aligned} x_a(t) &= x(t) \cdot T \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - n \cdot T) \\ &= T \cdot \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n \cdot T) \cdot \delta(t - n \cdot T) \end{aligned}$$

Dieser Darstellung liegen die folgenden Eigenschaften des Diracstoßes zu Grunde:

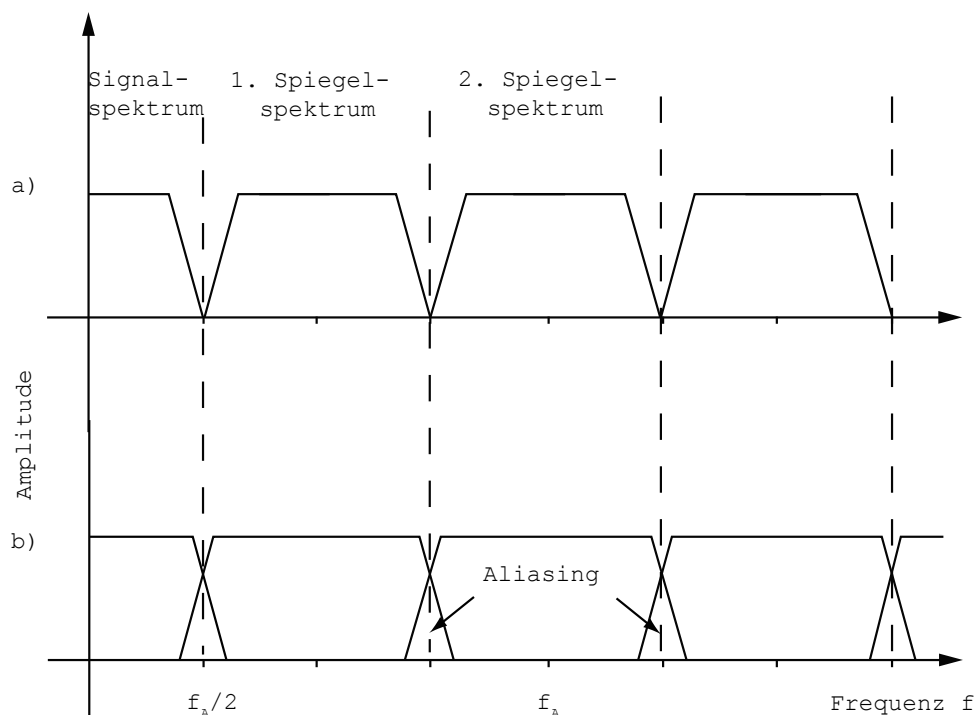
$$\delta(t) = \begin{cases} 0 & t \neq 0 \\ \infty & t = 0 \end{cases} \quad \int_{-\infty}^{\infty} \delta(t) dt = 1$$

Der Dirac-Impuls wird zu allen Zeiten n mit dem Wert des analogen Signals gewichtet. Dies wird durch eine Faltung mit der analogen Signalfunktion erreicht. An allen anderen Stellen hat der Dirac-Impuls einen Funktionswert von Null, und blendet die Eingangsfunktion somit aus, tastet also die Funktion ab.

Die Abtastung ist eine vollständig reversible Operation. Für eine ideale Abtastung müssen aber nach C. E. Shannon die folgenden Forderungen des Abtasttheorems eingehalten werden:

- Das Spektrum des kontinuierlichen Signals $x(t)$ muss begrenzt sein, darf also nur bis zur halben Abtastfrequenz f_A reichen und muss danach Null werden.
- Die Abtastfrequenz muss mindestens doppelt so hoch sein wie die höchste Frequenz f_{\max} des Eingangssignals.

Diese Vorgaben lassen sich durch eine Betrachtung der Frequenzspektren kontinuierlicher und diskreter Signale nachvollziehen.



**Abb.: 1.4. Abtastpektrum bei a) Beachtung des Abtasttheorems
b) Missachtung des Abtasttheorems [eigene Grafik]**

Nach der Abtastung eines kontinuierlichen Signals $x(t)$ ergibt sich für das entstandene diskrete Signal $x_a(t)$ im Frequenzbereich ein neues Spektrum $X_a(f)$. Dieses besteht aus einer Vervielfachung des Originalspektrums $X(f)$, wobei die Duplikate, die so genannten Images oder Spiegelspektren, gegeneinander um die Abtastfrequenz verschoben sind. Bei Missachtung des Abtasttheorems überlappen die Images, wodurch das Originalspektrum verformt wird. Dieser so genannte Aliasingfehler verhindert die vollständige Zurückgewinnung des analogen Signalspektrums aus dem zeitdiskreten Signal. Abbildung 1.4. zeigt die Überlagerung der Images des Abtastspektrums $X_a(f)$. Um die Forderungen des Abtasttheorems zu erfüllen werden in der Praxis Abtastfrequenzen gewählt, die deutlich über der zweifachen maximalen Signalfrequenz liegen. Somit kann der Einsatz von extrem steilflankigen Begrenzungsfiltern vermieden werden³⁰.

Wertdiskretisierung (Quantisierung)

Die Wertdiskretisierung ist eine Operation, bei der ein theoretisch unendlich hoch aufgelöstes analoges Eingangssignal in ein Signal mit begrenztem, diskretem Amplitudenwertevorrat umgesetzt wird. Wie präzise diese Umsetzung erfolgt ist Abhängig von der Anzahl möglicher Quantisierungsstufen, welche durch die Auflösung des A/D-Wandlers bestimmt wird. Es existieren 2^N mögliche

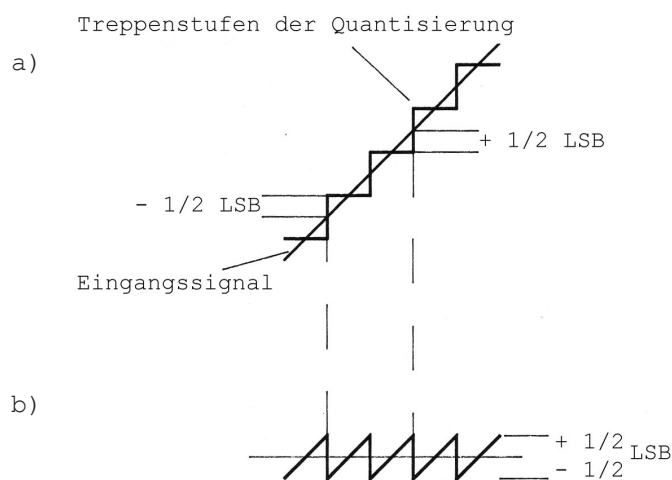


Abb.: 1.5. a) Quantisierungskennlinie
b) Quantisierungsfehler
[vgl. Eckl/Plütgens/Walter 1990, 151]

³⁰ Kammeyer/Kroschel 2006, 23

Zustände, wobei N die Anzahl der verwendeten Bits angibt. Demnach kann beispielsweise ein 8 Bit A/D Wandler das Eingangssignal auf 256 Stufen genau Quantisieren. Wie in Abbildung 1.5. zu sehen ist, ergibt sich dadurch der typische treppenförmige Verlauf des quantisierten Signals. Durch die Quantisierung entsteht somit eine irreversible Veränderung des Eingangssignals, der Quantisierungsfehler $q(n)$. Bei einer idealen Analog/Digital Wandlung ist dies der einzige nicht umkehrbare Fehlerprozess. Der Quantisierungsfehler tritt im digitalisierten Signal als annähernd gleichverteiltes Rauschen auf und wird daher auch als Quantisierungsrauschen bezeichnet. Er hat eine Beeinflussung des Signals zufolge, die üblicherweise durch den Signal-Rauschabstand (Signal to Noise Ratio) SNR angegeben wird. Ein starkes Quantisierungsrauschen führt zu einem geringen Signal-Rauschabstand, was sich in einer verminderten Dynamik der Tonaufzeichnung widerspiegelt.

Üblicherweise wird das analoge Eingangssignal in ein PCM-Signal (pulse code modulation) gewandelt. Jedem Sample wird dabei ein Zahlenwert zugeordnet, der seine Amplitude ausdrückt. Je höher die Auflösung ist, desto mehr mögliche Amplitudenzustände sind möglich, was eine genauere Werterfassung zur Folge hat. Diese Amplitudenwerte werden nun derart codiert, dass sie durch Rechteckpulse dargestellt werden können. Hierfür gibt es viele Möglichkeiten, z.B. den weit verbreiteten Binärcode.

1.3.2 Umsetzverfahren von A/D Wandlern

Für die verschiedenen Anwendungsgebiete wurden vielfältige Aufbauten von A/D Wandlern entwickelt. Über die Konzeption entscheidet die Frage, welche Anforderungen ein A/D Wandler erfüllen muss. Dabei kommt es weniger darauf an alle Leistungsmerkmale vollständig zu berücksichtigen, sondern vielmehr auf eine hohe Anpassung an das umgebende System.

Bei der Entwicklung von A/D Wandlern gibt es zwei technische Hauptanforderungen denen eine Schaltung nachkommen kann. Dies ist einerseits eine höchstmögliche Bittiefe der Quantisierung (Auflösung) und andererseits eine möglichst schnelle Umsetzung, also eine kurze Arbeitszeit pro Umsetzzyklus³¹. Um diesen Anforderungen nachzukommen wurden verschiedene Wandlerprinzipien entwickelt. Die gängigsten von ihnen sollen im folgenden Abschnitt erläutert werden. Die Ausführungen wurden zu einem großen Teil aus den Aussagen von Horst Zander in seinem Fachbuch „Datenwandler“ geschlussfolgert.

³¹ Biethan 2003, 3

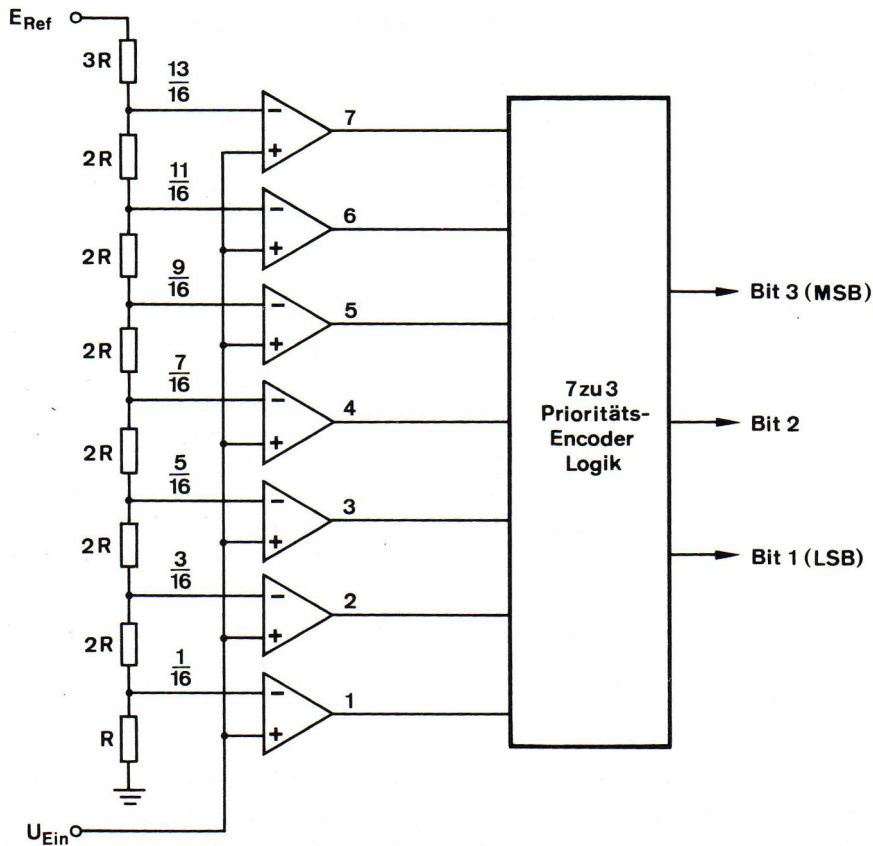


Abb.: 1.6. Schematischer Aufbau eines 3-Bit Parallel-Umsetzers [vgl. Eckl/Plütgens/Walter 1990, 29]

1.3.2.1 Parallelumsetzer (Flash Converter)

Analog / Digital-Umsetzer die nach dem Parallelverfahren arbeiten erreichen sehr kurze Umsetzzeiten. Der Grund dafür ist ein Schaltungsaufbau, der für jeden möglichen Zustand des digitalen Umsetzergergebnisses ein eigenes Entscheidungsglied vorsieht. Für einen Umsetzzyklus ist also nur ein Arbeitsschritt durchzuführen. Dies führt zu einem enormen Schaltungsaufwand und sehr hohen Kosten pro Bit.³² Abb. 1.6. zeigt schematisch den Aufbau eines solchen Wandlers.

Allen Komparatoren wird die zu digitalisierende Eingangsspannung gleichermaßen zugeführt. Die Entscheidungsschwelle der Komparatoren ist Abhängig von der Auflösung des Wandlers. Der Schwellenwert des Komparators, der über das Setzen des niederwertigsten Bits (LSB) entscheidet, beträgt $\frac{1}{2} U_{LSB}$. Die Vergleichsspannungen für die übrigen Entscheidungsglieder sind in einem

³² Eckl/Pütgens/Walter 1990, 30 f.

Abstand von U_{LSB} gestaffelt. Zur Bereitstellung der Referenzspannungen wird eine hochgenaue Spannungsquelle eingesetzt, welche über ein Widerstandsnetzwerk den Komparatoren den entsprechenden Referenzwert liefert. Liegt nun eine Eingangsspannung größer als $3/2 U_{LSB}$ und kleiner als $7/2 U_{LSB}$ an, so werden Komparator 1, 2 und 3 eine Eins und alle übrigen eine Null ausgeben. Die Komparatorausgänge sind mit einer Encoder Logik verbunden, an deren Eingang ein 2^{n-1} wertiger Binärcode entsteht. Die Logik wandelt diesen dann in einen üblichen, dem Ausgabezweck angepassten Code.

Die Quantisierungsspannung ergibt sich zu

$$U_{LSB} = \frac{U_{Einmax}}{2^n}$$

und beträgt beispielsweise bei einer Eingangsspannung von 50 V somit 6,25 V. Bis zu einem Wert von 3,125 V wird also noch eine Null digitalisiert, darüber eine 1, ab 9.375 V eine 2 usw.

1.3.2.2 A/D-Wandler nach dem Wägeverfahren

Die Bezeichnung dieses Umsetzers leitet sich von dem Prinzip einer Balkenwaage ab, bei der auf der einen Seite das zu ermittelnde Gewicht aufgelegt wird und auf der anderen Seite schrittweise Referenzgewichte nachgelegt werden. Dies wird so lange fortgeführt, bis beide Seiten gleich schwer sind und sich gegenseitig ausbalancieren, das unbekannte Gewicht also durch probieren ermittelt wurde. A/D-Wandler, die nach diesem Prinzip arbeiten, werden auch als successive approximation converter bezeichnet. Abb. 1.7. soll den prinzipiellen Aufbau eines solchen Umsetzers beschreiben. In jedem Umsetzzyklus wird die zu digitalisierende Spannung mit mehreren Referenzspannungen verglichen. Zuerst wird das MSB (most significant bit) 1 gesetzt und dem Komparator die entsprechende Vergleichsspannung von $1/2$ FS (Full Scale) zugeführt. Ist die Eingangsspannung U_e größer als die Referenz, bestätigt der Komparator am Ausgang mit logisch „1“ das gesetzte Bit. Ist U_e allerdings kleiner als die Referenzspannung, wird das MSB wieder zurück auf 0 gesetzt. Das Ergebnis für die höchstwertigste Bitstelle steht somit fest und wird in das Speicherregister eingetaktet. Im folgenden Schritt wird der gleiche Prozess für die nächste Bitstelle eine Wertigkeit darunter durchgeführt. Die Referenzspannung ist diesmal abhängig von der Entscheidung im vorhergegangenen Schritt. Wurde

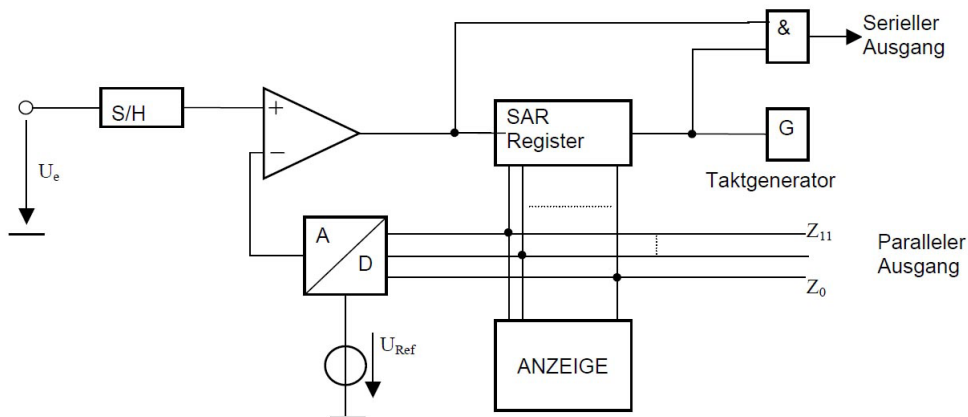


Abb.: 1.7. Prinzipschaltbild eines A/D-Wandlers mit dem Wägeverfahren [vgl. Biethan 2003, 7]

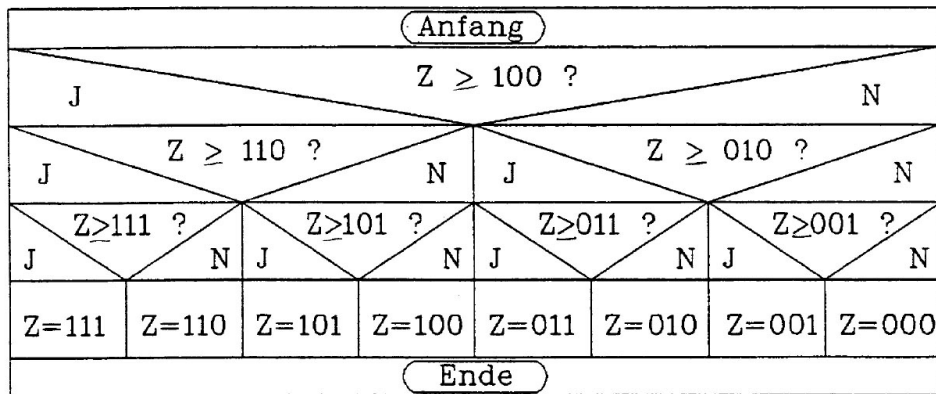


Abb.: 1.8. Flussdiagramm der Entscheidungsprozesse beim Wägeverfahren (binäre Darstellung) [Biethan 2003, 8]

das MSB mit 1 bewertet, gilt $U_e > \frac{1}{2} FS$ und die neue Referenzspannung muss darüber liegen. Es wird also $\frac{1}{4} FS$ dazuaddiert und mit $\frac{3}{4} FS$ verglichen.

Wurde das MSB mit 0 bewertet, gilt $U_e < \frac{1}{2} FS$ was zu einer Referenzspannung von $\frac{1}{4} FS$ für das zweite Bit führt. Diese Entscheidungsfolge wird n -mal durchgeführt, bis das kleinste Bit mit einer Vergleichsspannung von $\frac{1}{2} U_{LSB}$ gesetzt wurde. Die folgende Abbildung zeigt das Flussdiagramm zur Entscheidungsfindung des Umsetzergebnisses Z eines 3-Bit-Umsetzers.

Wie in Abbildung 1.7. zu erkennen ist, wird die Referenzspannung dem Entscheidungsglied über einen D/A Wandler zugeführt. Er setzt den digitalen Wert aus dem Sukzessive-Approximation-Register (SAR) in die benötigte Vergleichsspannung um. Zur Vermeidung von Aperturfehlern bei schnell veränderlichen Eingangsgrößen ist dem Komparator eine Sample and Hold Schaltung (S/H) vorgeschaltet. Sie hält die Eingangsspannung während eines Umsetzzyklus konstant auf einem Wert.

1.3.2.3 A/D-Wandler mit integrierenden Umsetzverfahren

In dieser Gruppe von Analog/Digital-Wandlern werden alle Wandlerprinzipien zusammengefasst, die mit einem integrierenden Umsetzverfahren arbeiten. Dabei wird die Analogspannung am Eingang des A/D-Wandlers über eine bestimmte Zeit integriert und in einen digitalen Code am Ausgang umgesetzt. Dazu ist es nötig, die unbekannte Spannung am Eingang vor der Quantisierung in eine Zwischengröße wie z.B. die Ladung eines Kondensators umzuwandeln - diese Wandlergruppe arbeitet also mit indirekter Umsetzung.

Aus der Integration der Analogspannung über die Zeit ergibt sich der Vorteil, dass periodisch auftretende Störsignale effektiv unterdrückt werden. Außerdem erreichen sie aufgrund des Zeitbezuges eine äußerst hohe Linearität.

Spannungs-/Frequenz-Umsetzer

A/D-Wandler mit diesem Verfahren erzeugen eine Frequenz an ihrem Ausgang, die eine direkte Proportionalität zur Eingangsspannung aufweist. Werden diese Spannungsimpulse nun von einem Zähler gemessen, kann das digitale Ergebnis direkt ausgegeben werden. Aus dem englischen Voltage to Frequency Converter ist die Kurzform VFC entstanden, welche ich im weiteren Text verwenden werde. Abbildung 1.9. zeigt einen möglichen Schaltungsaufbau für dieses Verfahren. Die Kapazität eines Integrators wird durch die positive Eingangsspannung so lange entladen, bis dessen Ausgangsspannung den Schwellwert eines nachgeschalteten Komparators unterschreitet.

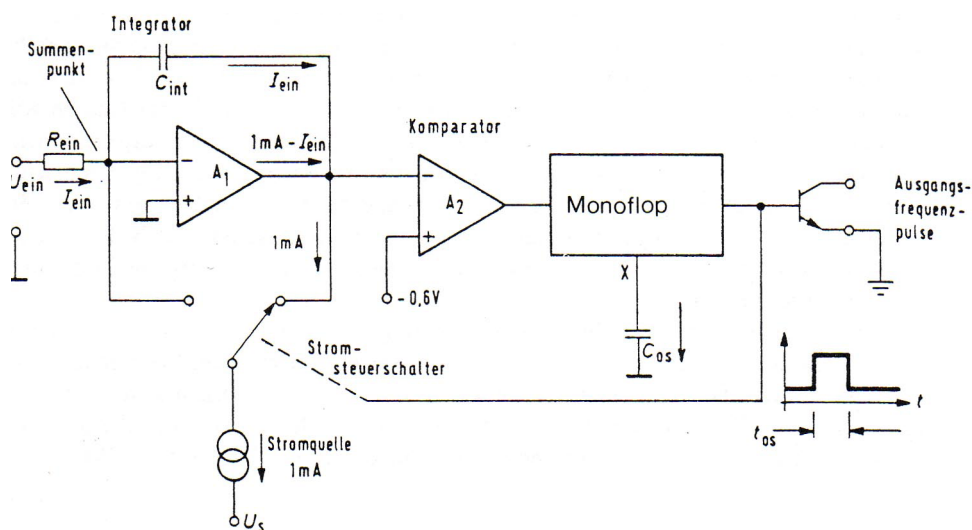


Abb. 1.9. Schaltplan eines Spannungs-/Frequenz-Umsetzers
[vgl. Eckl/Plütgens/Walter 1990, 12]

In diesem Moment schaltet er durch und triggert ein Monoflop, welches die A/D-Umsetzung steuert. Es lädt den Kondensator für eine fest eingestellte Zeit t_{0s} über eine Stromquelle wieder auf. Diese Zeit ist abhängig von der Kapazität des Kondensators C_{int} und muss so gewählt werden, dass eine vollständige Rücksetzung erfolgt. Um hohe Schaltspitzen zu vermeiden, ist ein konstanter Ausgangsstrom des Integrierers wichtig. Daher wird die Stromquelle nach Beendigung der Rücksetzphase zurück auf den Ausgang geschaltet und der Zyklus beginnt von vorn.

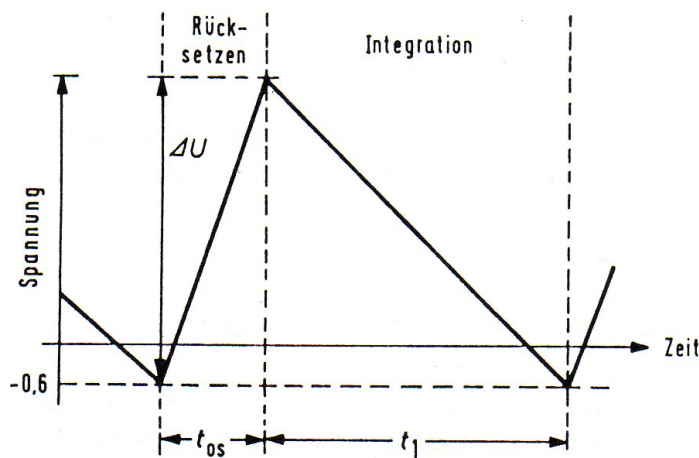


Abb. 1.10. Spannungsverlauf am Integrationskondensator des VFC [vgl. Eckl/Plütgens/Walter 1990, 12]

Der Spannungsverlauf am Kondensator kann in Abbildung 1.10. nachvollzogen werden. Eine hohe Eingangsspannung sorgt für eine schnelle Entladung des Kondensators und bei niedriger Eingangsspannung dauert dieser Vorgang entsprechend länger. Die Dauer des Umsetzprozesses respektive die Frequenz am Ausgang des VFC stehen somit in direktem Zusammenhang mit der Eingangsspannung. Für eine digitale Ausgabe dieses Wertes ist es nun nötig, die Impulse in einer bestimmten Zeit, der Torzeit, zu zählen. Zu diesem Zweck werden sie für eine feste Zeit einem Zählbaustein zugeführt. Es ist wichtig, dass bei maximaler Ausgangsfrequenz der Zähler in dieser Zeit genau bis zur höchsten Stelle zählt. Bei dieser Zählmethode, die auch direktes Zählverfahren genannt wird, kann es zu Fehlern beim Zählen kommen, wenn der letzte Impuls außerhalb der Torzeit liegt und somit nicht mehr berücksichtigt wird. Besonders kritisch wird dieser Fehler bei kleinen Eingangsspannungen mit entsprechend niedriger Ausgangsfrequenz, wie in Abbildung 1.11. zu sehen ist. Um dieses Problem zu vermeiden, wurde das Verhältniszählverfahren entwickelt. Hier wird die

Torzeitzeit mit der Ausgangsfrequenz des Umsetzers mit Hilfe eines D-Flipflops synchronisiert. Außerdem gibt es einen zusätzlichen Zähler, der die hochfrequenten Impulse eines Oszillators während der gleichen Torzeit zählt. Die gezählten Ausgangsimpulse des VFC's können nun im Verhältnis zu einem Systemtakt betrachtet werden. Abbildung 1.12. zeigt eine Prinzipschaltung dieses Verfahrens.

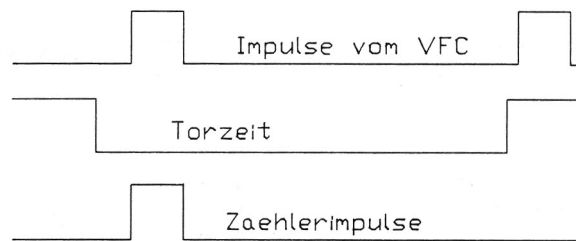


Abb. 1.11. Fehler beim direkten Zählverfahren
[vgl. Eckl/Plütgens/Walter 1990, 15]

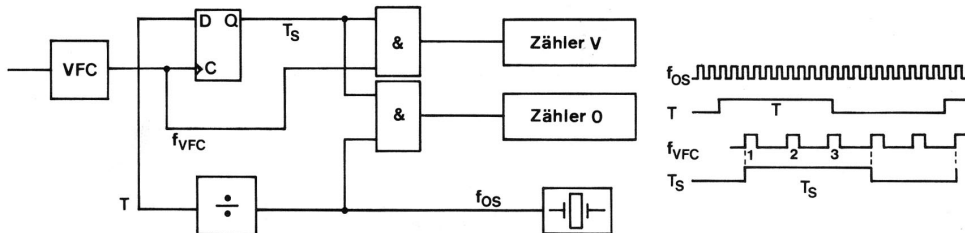


Abb. 1.12. Blockschaltbild des Verhältniszählverfahrens beim VFC
[vgl. Eckl/Plütgens/Walter 1990, 16]

Ein-Rampen-Umsetzer

Das Ein-Rampen- oder auch Single Slope –Verfahren kommt mit einem relativ einfachen Schaltungsaufbau aus. Während eine fest eingestellte Sägezahnspannung steigt, misst ein Zähler die Zeit, bis sie den Spannungswert der zu digitalisierenden Eingangsspannung erreicht hat. Realisiert wird dieses Wandlerprinzip mit Hilfe zweier Komparatoren, die den Sägezahn mit Masse und der Eingangsspannung vergleichen. Abbildung 1.13. zeigt die entsprechende Prinzipschaltung. Der zeitliche Verlauf der Signale während einer Umsetzung ist Abbildung 1.14. zu entnehmen. Solange die Sägezahnspannung unter Null liegt, gibt der Komparator K2 logisch „0“ aus. Erst beim Nulldurchgang der Sägezahnspannung zum Zeitpunkt t_1 erscheint am Ausgang von K2 logisch „1“. Da K1 das gleiche Signal liefert, gibt das Äquivalenz-Glied G1 ein Signal aus,

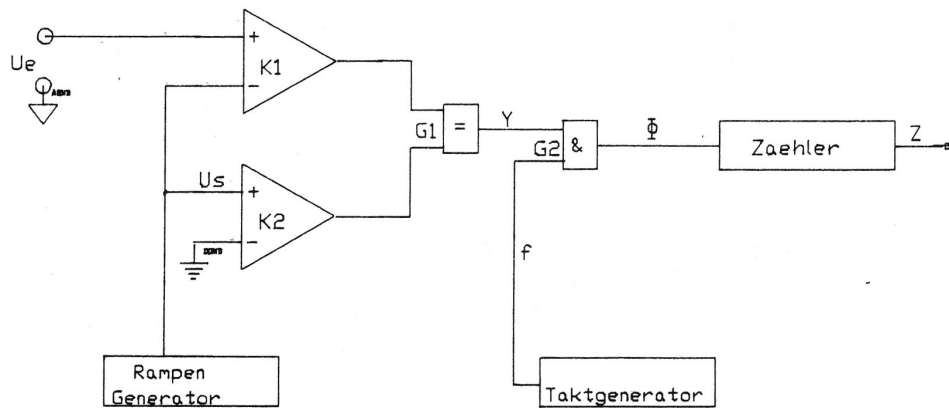


Abb. 1.13. Schaltplan eines Einrampenumsetzers [Eckl/Plütgens/Walter 1990, 19]

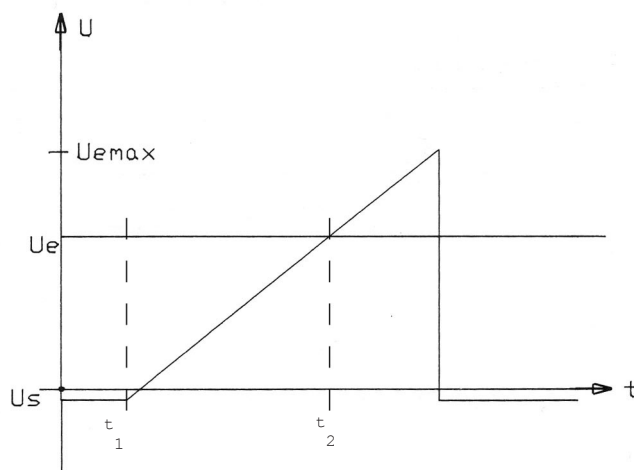


Abb. 1.14. Spannungsverlauf beim Einrampen ADU [vgl. Eckl/Plütgens/Walter 1990, 19]

das den Zählvorgang startet. Das UND-Glied G2 versorgt den Zähler nun so lange mit Zählimpulsen, bis der Sägezahn zum Zeitpunkt t_2 den Wert der Eingangsspannung U_{Ein} erreicht hat, K1 eine „0“ ausgibt und die Äquivalenz-Verknüpfung wieder sperrt. Umso höher nun die Eingangsspannung ist, desto mehr Impulse des Taktgenerators versorgen den Zähler, da der Sägezahn entsprechend länger braucht um bis auf U_{Ein} anzusteigen. Die Sägezahnspannung muss so eingestellt sein, dass sie ihr Maximum erreicht, wenn der Zähler bis auf die höchste Stelle hinauf gezählt hat. An dieser Stelle liegt auch die maximale Eingangsspannung. Wie aus der Formel für den Zählerstand hervor geht, ist bei diesem Schaltungsaufbau das Ergebnis direkt von der Taktfrequenz und der Zeitkonstante des Sägezahngenerators abhängig.

$$Z = \tau \cdot f \frac{U_{Ein}}{U_{Ref}} \quad \tau = \text{Zeitkonstante} \quad f = \text{Taktfrequenz}$$

Da ein konstanter Wert für τ aufgrund der Abhängigkeit von einem RC-Glied über einen längeren Zeitraum nur schwer gewährleistet werden kann, muss mit Messungenauigkeiten gerechnet werden. Dies führt in der Praxis zu einer begrenzten Auflösung. Um dieses Problem zu umgehen, wurde das Zwei-Rampen-Verfahren entwickelt.

Zwei-Rampen-Umsetzer

Umsetzer, die mit dem Zwei-Rampen- oder auch Dual-Slope-Verfahren arbeiten, vermeiden den Einfluss der Zeitkonstante τ auf das Messergebnis durch eine doppelte Integration, wodurch eine höhere Auflösung ermöglicht wird. Das Umsetzergebnis wird über die wechselseitige Integration der Eingangsspannung und einer Referenzspannung ermittelt. Zur Beschreibung des Umsetzvorgangs beginne ich mit einer Betrachtung der Schalterstellungen in den einzelnen Phasen:

Tabelle 1. Die Phasen der Umsetzung eines Zweirampen ADU

Phase 1	Phase 2	Phase 3
Schalter 1 offen	Schalter 1 geschlossen	Schalter 1 offen
Schalter 2 offen	Schalter 2 offen	Schalter 2 geschlossen
Schalter 3 geschlossen	Schalter 3 offen	Schalter 3 offen

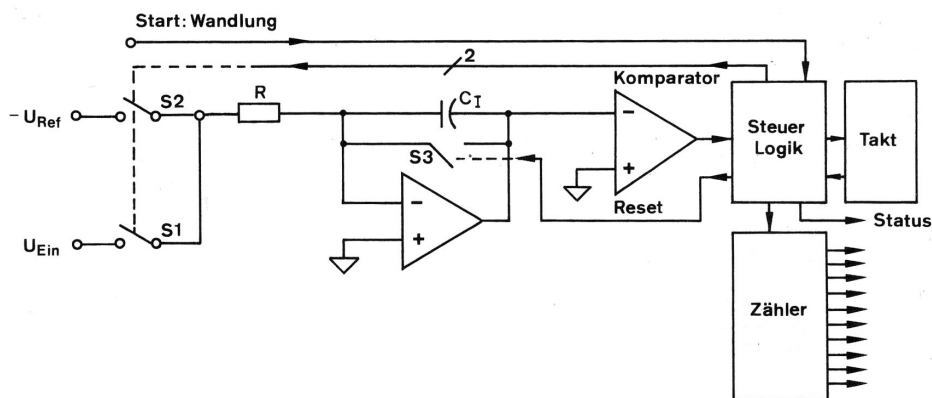


Abb. 1.15. Blocksaltbild eines Zweirampen ADU
[vgl. Eckl/Plütgens/Walter 1990, 20]

In der ersten Phase der Umsetzung findet durch das schließen von Schalter 3 zunächst ein Nullabgleich statt. In der Zweiten Phase wird nun die Eingangsspannung über eine festgelegte Zeit aufintegriert. Anschließend, in Phase 3, wird nun die Referenzspannung U_{Ref} auf den Eingang des Integrierers geschaltet. Diese Spannungsquelle hat eine der analogen Eingangsspannung entgegengesetzte Polarität, wodurch es zu einer Abintegration kommt. Die Spannung am Integrationskondensator ist am Ende von Phase zwei direkt

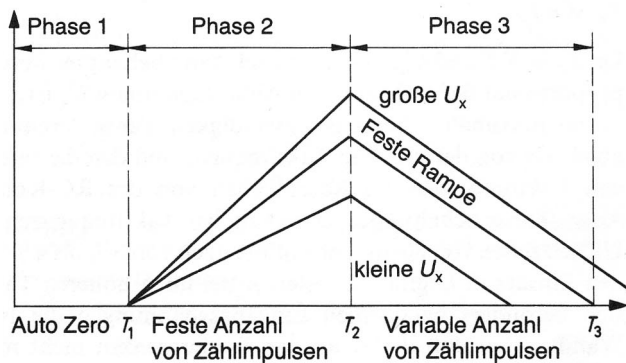


Abb.: 1.16. Zeitverlauf des Zweirampen ADU [vgl. Zander 1985, 155]

proportional zur Eingangsspannung, welche somit in eine Zwischengröße umgesetzt wurde. Die Dauer der Entladung des Kondensators durch die Referenzspannung steht also ebenfalls in direktem Zusammenhang zur analogen Eingangsspannung und wird durch einen Zähler in eine digitale Größe umgewandelt. Er zählt konstante Taktimpulse während der Integrationsphase und stoppt erst, wenn der Komparator bei einem erneuten Nulldurchgang der Integratorspannung U_I sperrt.

$$Z = (Z_{\max} + 1) \cdot \frac{U_{\text{Ein}}}{U_{\text{Ref}}} \quad Z = \text{Umsetzerggebnis}$$

Aus der Gleichung für den Zählerstand ist ersichtlich, dass weder die Zeitkonstante, noch die Taktfrequenz in das digitale Umsetztergebnis eingehen. Umsetzer mit diesem Verfahren erlauben daher einen wirtschaftlichen Aufbau durch die Verwendung analoger Bauteile mit verhältnismäßig großen Tolleranzbereichen. Um weitere Fehler, wie Offsetfehler, zu minimieren wurden erweiterte Verfahren entwickelt, die sich unter der Bezeichnung Multi-Slope-Verfahren subsumieren lassen. Als eine Art doppeltes Zwei-Rampen-Verfahren kann das Vier-Rampen-Verfahren betrachtet werden, das mit einer zusätzlichen Integrationsphase alle Fehlerspannungen erfasst. Abbildung 1.18. zeigt den Spannungsverlauf bei einer solchen Umsetzung. Anhand einer Aufintegration über die Masse des Systems (mit einer Vergleichsspannung $U_{\text{Ref}1}$ am positiven Integratoreingang) und eine anschließende Abintegration über die Referenzspannung $U_{\text{Ref}2}$ wird mit einem Zähler in den Phasen 1 und 2 der Fehler durch die Zeit der Abintegration dokumentiert. Er geht nach der tatsächlichen Integration der zu digitalisierenden Eingangsspannung in das Ergebnis korrigierend ein. Eine ausführlichere Betrachtung dieses Verfahrens und dessen schaltungstechnischer Umsetzung ist für diese Arbeit nicht erforderlich.

- T = Taktperiode
- n = Anzahl der Fehlerzählimpulse
- K₁ = Eine feste Anzahl von Zählimpulsen
- K₂ = Eine feste Anzahl von Zählimpulsen (K₂ = 4 K₁)
- K₃ = Feste Anzahl von Zählimpulsen
- N = Anzahl der Zählimpulse, die der analogen Eingangsspannung entsprechen

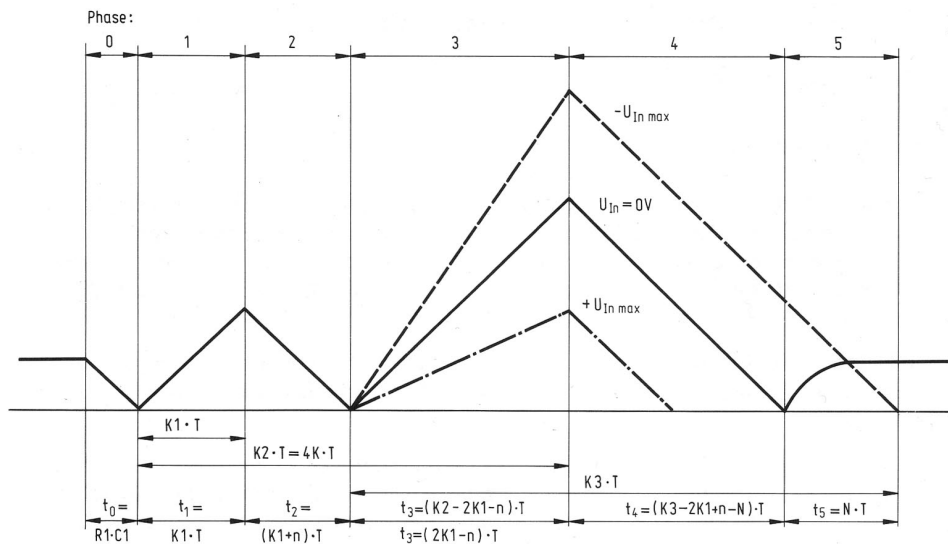


Abb.: 1.17. Spannungsverlauf an der Integrationskapazität beim Vierrampen-ADU [Eckl/Plütgens/Walter 1990, 22]

1.3.2.4 Sigma-Delta-Wandler ($\Sigma\Delta$ -Wandler)

Der $\Sigma\Delta$ -Wandler ist ein A/D-Umsetzer der heutzutage sehr häufig eingesetzt wird und vor allem in der Audiotechnik fast ausschließlich Verwendung findet. Grund dafür ist der hohe Dynamikumfang den der Wandler selbst bei verhältnismäßig geringem schaltungstechnischem Aufwand erreicht. Er macht sich dafür die Effekte des Oversamplings und der Rauschformung zu Nutze, welche die Störsignale der Umsetzung verringern und teilweise in Frequenzbereiche außerhalb des Nutzspektrums verlagern.

Der $\Sigma\Delta$ -Wandler besteht grundsätzlich aus zwei Einheiten. Dem $\Sigma\Delta$ -Modulator, welcher das Eingangssignal in einen binären Datenstrom (Bitstream) wandelt, und einem nachgeschaltetem Dezimierungsfiler, welches diesen Bitstream in n-Bit-breite Ausgangsworte wandelt und die hohe zeitliche Auflösung dezimiert. Abbildung 1.18. zeigt diesen prinzipiellen Aufbau.

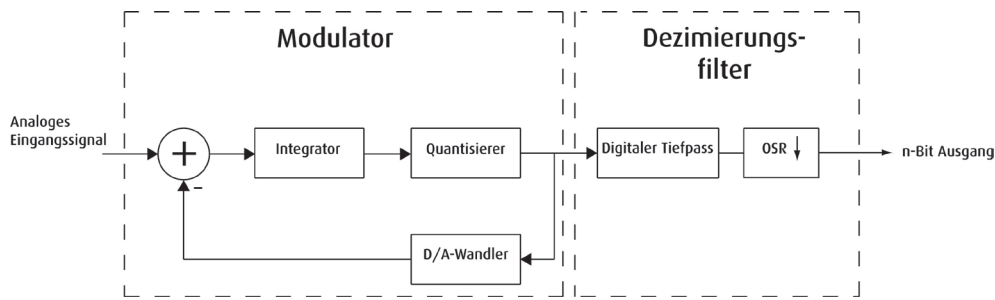


Abb.: 1.18. Aufbau des Sigma-Delta ADU [eigene Grafik]

Der Modulator

Dem $\Sigma\Delta$ -Modulator wird das amplituden- und zeitkontinuierliche Eingangssignal zugeführt. Er besteht, wie in Abbildung 1.19. dargestellt aus den Bauteilen D/A-Wandler, Differenzierer, Integrator und Quantisierer.

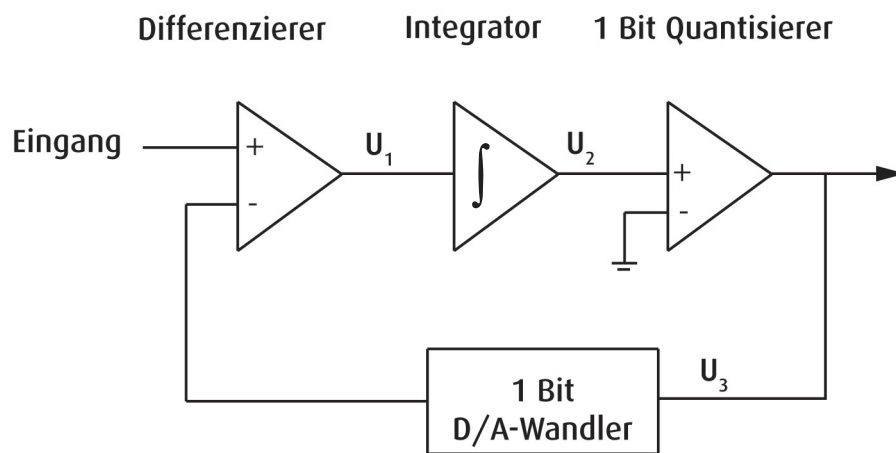


Abb.: 1.19. Schematischer Aufbau des Sigma-Delta-Modulators [eigene Grafik]

Der Quantisierer gibt einen binären Datenstrom der Frequenz f_s aus, der zum Eingang des Modulators zurückgekoppelt wird. In der Rückkopplungsschleife befindet sich der D/A-Umsetzer, der das quantisierte Binär-Signal in die maximale oder minimale analoge Eingangsspannung wandelt (U_{\max} für „1“ bzw. U_{\min} für „0“). Dieses Signal wird nun von dem Eingangssignal subtrahiert. Die Differenz wird vom Integrator aufsummiert und im Folgetakt im Quantisierer neu bewertet. Ist seine Entscheidungsschwelle (meist 0 Volt) unterschritten, liefert er logisch „0“, ist die Schwelle überschritten gibt er logisch „1“ aus. Es gibt auch Modulatoren die anstelle der Ein-Bit-Quantisierung eine weniger grobe Amplitudendiskretisierung von zwei oder vier Bit verwenden. Dabei entstehen allerdings Nichtlinearitäten, welche von Ein-Bit-Quantisierern vermieden werden. Eine Beschreibung und Analyse des Systems wird dadurch

außerordentlich erschwert und die Anwendbarkeit bestimmter vereinfachender Annahmen³³ verhindert, weshalb ich im Folgenden ausschließlich auf Modulatoren mit binärer Signalquantisierung eingehen werde³⁴.

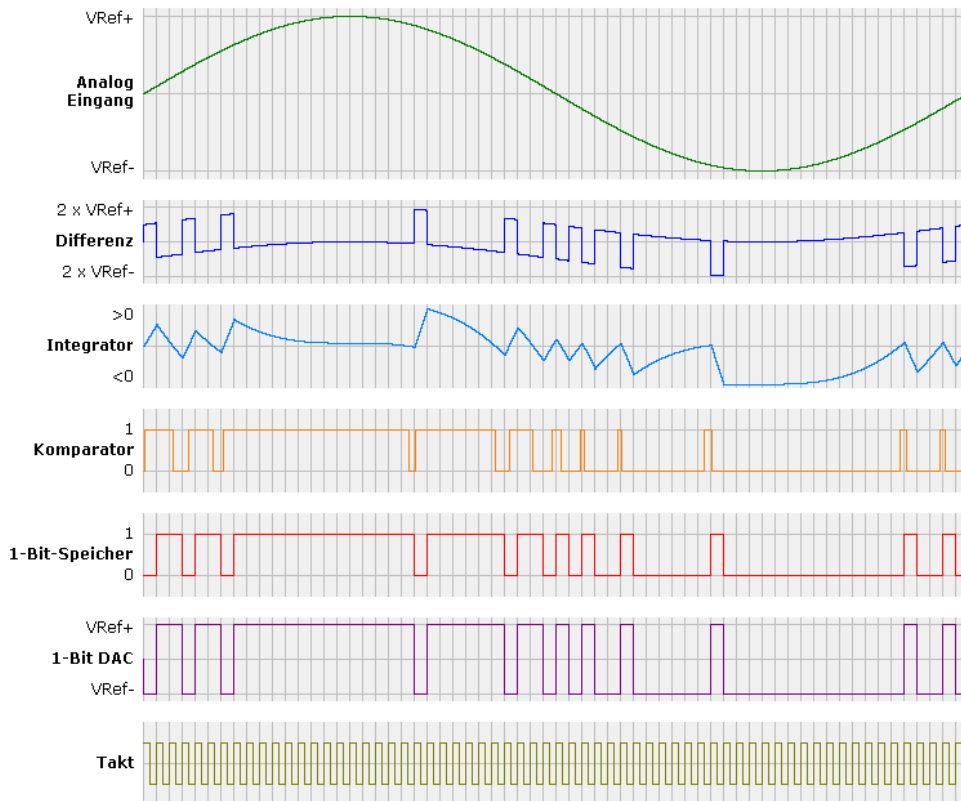


Abb.: 1.20. Signalverlauf im Sigma-Delta-Modulator [vgl. Beis 2008, online]

Betrachtet man nun die Zusammenhänge der einzelnen Signalzustände im Modulator, die in Abbildung 1.20. aufgestellt sind, wird ein Rückschluss auf die Beschaffenheit des Bitstromes möglich. Bei einer positiven Modulator-Eingangsspannung und einer Eins am Quantisiererausgang wird dem Integrierer (durch die Subtraktion am Summierer) ein Wert $U_1 \leq 0$ zugeführt und entlädt diesen. Sinkt die Integratorspannung nun unter $0V$ gibt der Quantisierer eine Null aus. Durch die daraus folgende Addition der Spannung U_{max} zum Eingangssignal (entspricht der Subtraktion von $-U_{max}$) wird der Integrator nun wieder geladen.

Bei positiver Eingangsspannung wird U_1 bei einer Null am Quantisierer betragsmäßig größer sein, als bei einer Eins am Quantisierer. Das Integral

³³ Siehe Rauschminimierung durch Oversampling

³⁴ Horbach 1991, 13f.

wird also schneller ansteigen, als es um den gleichen Betrag sinken kann. Dem Quantisierer wird die positive Spannung demnach länger zugeführt als die negative. Er quantisiert somit öfter logisch „1“ als logisch „0“. Dies führt dazu, dass auch im Bitstrom mehr Einsen als Nullen auftreten. Das Gegenteil gilt für eine negative Modulator-Eingangsspannung: Die Integrationsspannung sinkt schneller ab als sie um den gleichen Betrag wieder ansteigen kann, was sich in einer Überzahl an Nullen im Bitstrom niederschlägt. Der Bitstrom stellt somit im Mittel über einen gewissen Zeitraum eine binäre Entsprechung des analogen Eingangssignals dar.

Tabelle 2. Beispielhafte Spannungswerte an den drei Messpunkten U_1 , U_2 und U_3 eines $\Sigma\Delta$ -Modulators

Takt-Nummer	U1	U2	U3	Mittelwert
0	$\pm 0,0$	$\pm 0,0$	$\pm 0,0$	
1	+0,6	+0,6	+1,0	
2	-0,4	+0,2	+1,0	
3	-0,4	-0,2	-1,0	
4	+1,6	+1,4	+1,0	0,5 V
5	-0,4	+1,0	+1,0	
6	-0,4	+0,6	+1,0	
7	-0,4	+0,2	+1,0	
8	-0,4	-0,2	-1,0	

Rauschminimierung durch Oversampling

Oversampling bedeutet Überabtastung und ist die Abtastung eines Signals mit der um einen Faktor m erhöhten Nyquist-Frequenz. Zum Beispiel wird dabei die für ein Audiosignal übliche Abtastrate von 44100 Hz mit diesem Faktor, der meist eine Potenz der Zahl 2 ist, multipliziert. Das Signal würde dann bei einer Oversamplingrate (OSR) von 32 mit 1,4112 MHz abgetastet werden. Dadurch entsteht ein zusätzlicher Informationsgewinn, der es ermöglicht die Auflösung der Digitalisierung zu verringern. So wird es bei entsprechend starkem Oversampling möglich die Quantisierung bis auf ein Bit herabzusetzen.

Durch die Rückkopplung im $\Sigma\Delta$ -Modulator und die damit verbundene Nichtlinearität wird eine allgemeine Beschreibung des Systemverhaltens stark erschwert. Um die Effekte des Oversamplings bei der $\Sigma\Delta$ -Wandlung zu beschreiben wird daher in der Fachliteratur ein vereinfachtes Modell verwendet, bei dem der vom Komparator erzeugte Quantisierungsfehler durch ein weißes

Rauschen ersetzt wird³⁵. Das quantisierte Ausgangssignal des Modulators bildet sich bei dieser Betrachtung aus einer additiven Überlagerung des analogen Eingangssignals mit dem weißen Rauschen. Dieses ist zum Eingangssignal unkorreliert und innerhalb einer Quantisierungsstufe q gleichverteilt. Es bedarf allerdings der folgenden Voraussetzungen für eine hinreichende Beschreibung des Systems mit dieser Annahme: Der Quantisierer darf nicht übersteuert werden und sein Eingangssignal muss sich über einen großen Amplitudenbereich ändern. Mit dieser Betrachtungsweise wird das System linearisiert und kann nun eindeutig beschrieben werden. Die Rauschleistung berechnet sich demnach zu

$$P_e = \frac{1}{q} \int_{-\frac{q}{2}}^{+\frac{q}{2}} e^2 d e = \frac{q^2}{12}$$

Daraus resultiert die Rauschleistungsdichtefunktion

$$S_e(f) = \frac{P_e}{f_s} = \frac{q^2}{12 f_s}$$

Aus ihr wird ersichtlich, dass sich bei einer Erhöhung der Abtastfrequenz f_s die Rauschleistung im Basisband verringert. Erklären lässt sich dieses Phänomen dadurch, dass sich die Rauschleistung bei der Abtastung auf den Bereich $-\frac{f_s}{2} \leq f_s \leq \frac{f_s}{2}$ verteilt. Bei einer Überabtastung um den Faktor m , also einer Abtastung mit der m -fachen Abtastfrequenz, verringert sich somit nicht die Rauschleistung im Signal insgesamt, sondern verteilt sich nur auf einen größeren Frequenzbereich. Dieser liegt dann z.B. bei einem überabgetasteten diskreten Audiosignal außerhalb des für den Menschen hörbaren Bereiches und kann problemlos herausgefiltert werden.

Noiseshaping

Noiseshaping kann in Deutsch mit dem Begriff Rauschformung übersetzt werden und bezeichnet die spektrale Formung des Quantisierungsfehlers hin zu höheren Frequenzen. Um zu verdeutlichen, wie die Rauschformung bei einem Sigma-Delta-Wandler wirkt, ist eine Betrachtung des Modulators im z -Bereich hilfreich. Der Integrator kann aufgrund seiner Wirkungsweise als Akkumulator

³⁵ Gray 1990, 1221

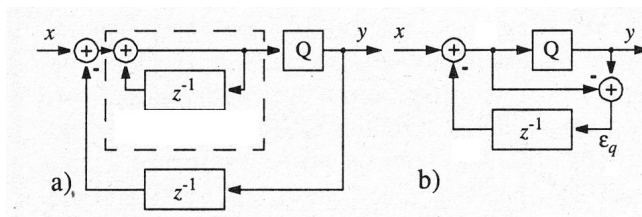


Abb.: 1.21. Sigma-Delta-Modulator im z-Bereich [vgl. Urbansky 2000, 22]

a) Rückkopplung des Ausgangssignals b) Rückkopplung des Quantisierungsfehlers

dargestellt werden und ist durch die Übertragungsfunktion $H(z) = \frac{1}{1-z^{-1}}$ beschrieben. Der Rückkopplungszweig wird mit einer einfachen Verzögerung z^{-1} dargestellt. Des Weiteren wird das Modell der additiven Überlagerung eines weißen Rauschens zum Eingangssignal, wie oben beschrieben, verwendet. Durch das Zusammenfassen der beiden Verzögerungsglieder aus Abb. 1.21. a) kommt man zu Abb. 1.21. b). Hier wird deutlich, dass lediglich der verzögerte Quantisierungsfehler vom Eingangssignal abgezogen wird. Dadurch entsteht die gewünschte spektrale Formung des Quantisierungsfehlers am Ausgang des Modulators. Das Quantisierungsrauschen wird mit der Übertragungsfunktion $\frac{Y(z)}{E(z)} = 1 - z^{-1}$ eines diskreten Differenzierers, also einem Hochpass ausgegeben.³⁶ Aus der Gleichung des $\Sigma\Delta$ -Modulators geht hervor, dass nur das Rauschen von einer solchen spektralen Formung betroffen ist. Das Nutzsignal hat keinen entsprechenden Faktor und bleibt davon unbeeinflusst:

$$Y(z) = X(z) + (1 - z^{-1}) \cdot E(z)$$

In meinen bisherigen Ausführungen habe ich mich auf Sigma-Delta-Modulatoren erster Ordnung bezogen. Es gibt aber auch Modulatoren zweiter, dritter oder höherer Ordnung. Ein Modulator zweiter Ordnung wird lediglich mit einer zusätzlichen Rückkopplungsschleife und einem zweiten Integrator aufgebaut. Der Rest der Schaltung ist identisch der eines Modulators erster Ordnung, wie auch Abbildung 1.22. zeigt. Für höhere Ordnungen ist diese Erweiterung allerdings nicht in solch trivialer Form möglich. Der Vorteil einer Erhöhung der Ordnung ist ein effektiveres Noise-Shaping. Die Übertragungsfunktion des Quantisierungsrauschens entspricht dann einem Hochpass höherer Ordnung, wodurch eine stärkere Absenkung des Rauschens im Basisband erreicht wird³⁷. Erst durch diese Optimierung wird es möglich $\Sigma\Delta$ -Wandler mit 16 Bit, 24 Bit oder noch höheren Auflösungen herzustellen.

³⁶ Urbansky 2002, 22

³⁷ Abel 2002, 8 ff.

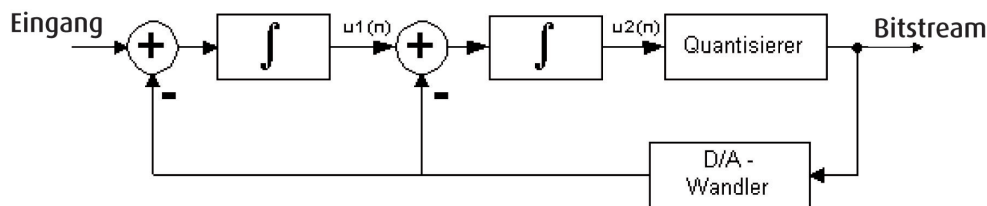


Abb.: 1.22. Blockschaltbild eines Sigma-Delta-Modulators 2. Ordnung [Abel 2002, 8]

Das Dezimierungsfiler

Das Dezimierungsfiler ist dem Modulator nachgeschaltet und hat die beiden Aufgaben der Rauschunterdrückung und des Downsamplings. Durch den Modulator wurden große Teile des Quantisierungsrauschens in einen hohen Frequenzbereich außerhalb des Nutzspektrums verschoben und müssen nun lediglich durch einen digitalen Tiefpass unterdrückt werden. Zur Weiterverarbeitung des Signals wird außerdem die Oversamplingrate auf die Nyquist-Frequenz herab gesetzt. Dazu übernimmt das digitale Filter m aufeinander folgende digitale Werte des Bitstromes und bildet darüber einen Mittelwert³⁸. Je höher die Oversamplingrate war, desto mehr Werte wird das Dezimierungsfiler zur Mittelwertbildung heranziehen, woraus sich eine größere Bittiefe ergibt. Die maximale Auflösung des Filters ist aber abhängig vom im Modulator erreichten Signal-Rausch-Abstand. Die Auflösung muss dabei immer derart gestaltet sein, dass das LSB nicht im Rauschen versinkt³⁹. In der Praxis wird zur Realisierung oft ein CIC-Filteraufbau verwendet. CIC-Filter bedeutet cascaded-integrator-comb-filter und kann durch den Begriff Kaskadiertes Integrator-Differentiator-Filter in das Deutsche übersetzt werden. Es handelt sich hierbei, wie der Name bereits verrät, um eine Kaskade von digitalen Hoch- und Tiefpässen. Diese Filterstruktur wurde von Eugene B. Hogenauer speziell für die Erhöhung einer Samplingrate (upsampling) durch Interpolation und die Verringerung einer Samplingrate (downsampling) durch Dezimierung entwickelt. Zu beachten ist, dass die Ordnung des Dezimierungsfilters immer die des Modulators überschreiten muss. Ein Modulator L -ter Ordnung benötigt also einen Filter mit der Ordnung $L+1$ für eine korrekte Unterdrückung des Quantisierungsrauschens⁴⁰.

³⁸ Seifart 2003, 571

³⁹ Abel 2002, 11

⁴⁰ Hogenauer 1981, 155-162

1.4 Digitale Wiedergabeformate

Jedes digitale Tonträgerformat setzt eine Digitalisierung des gespeicherten Audiomaterials voraus. Die Entwicklung der digitalen Audiotechnik hat verschiedene Trägermedien hervorgebracht, von denen sich aber einige am Markt nicht oder nur teilweise etablieren konnten. Im Segment der Verbrauchermedien ist als wichtigster Tonträger mit rund 80 Prozent Marktanteil die Compact Disc (CD) zu nennen⁴¹. Sie wurde gemeinsam von den Unterhaltungselektronikkonzernen Philips und Sony entwickelt und 1982 weltweit eingeführt⁴². Sie sollte mit besseren Klangeigenschaften und, wie der Name verrät, kompakteren Abmessungen der Nachfolger der LP werden.

Vor allem als nicht vorbespieltes Medium erreichte das Digital Audio Tape ab 1990 eine recht hohe Verbreitung, konnte sich aber im Endverbraucherbereich gegen die CD nicht durchsetzen⁴³. Die Mini Disc (MD) mit einem magneto-optischem Speicherverfahren ging ab 1991 einen ähnlichen Weg, konnte zusätzlich aber durch die Möglichkeit der portablen Musikwiedergabe in Verbindung mit einem MD-Player Erfolge verzeichnen⁴⁴. Die Digital Compact Cassette (DCC) schaffte dies nicht und wurde bereits kurz nach der Markteinführung wieder aufgegeben. Die Ursprünglich als Videospeicher bekannt gewordene Digital Versatile Disc (DVD) wird im Audiobereich als Trägermedium für die beiden Formate Super Audio CD (SACD) und DVD Audio (DVD-A) verwendet. Die beiden Formate erleben seit 1999 einen Formatkampf und wurden als klanglich verbesserte Nachfolger der CD entwickelt⁴⁵. Eine marktrelevante Rolle haben beide Formate bis heute nicht erlangt. Ferner ist das Datenkompressionsverfahren MP3, welches an keinen speziellen Daten- oder Tonträger gebunden ist zu nennen. Es wurde ab 1987 an der Universität Erlangen-Nürnberg in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer Institut entwickelt und ab 1989 in das Standardisierungsprogramm der Moving Picture Experts Group (MPEG) aufgenommen.

⁴¹ Bundesverband Musikindustrie (Hrsg.) 2008, 12

⁴² Lang 1996, 2

⁴³ Hochschule der Medien HDM (Hrsg.) 2002

⁴⁴ Hochschule der Medien HDM (Hrsg.) 2002

⁴⁵ Taylor 1999, 91 und Janssen/Reefman 2003, 83

1.4.1 Compact Disc (CD)

Auf der Compact Disc ist nicht wie bei der LP ein Abbild der Schallwellen gespeichert, sondern ein digital codiertes Signal das die Schallinformationen trägt. Das PCM-Signal hat 16 Bit und eine Samplingrate von 44,1 KHz. Zur Herstellung der CD wird dieses pulsecodemodulierte Signal in Form von Pits in einer spiralförmigen Spur auf die Scheibe gepresst. Die Abschnitte der Spur, zwischen diesen Vertiefungen variabler Länge werden Lands genannt. Die Pits sind $0,5 \mu\text{m}$ breit und $0,11 \mu\text{m}$ tief in die CD Oberfläche gepresst. Der Spurabstand beträgt $1,6 \mu\text{m}$ ⁴⁶. Diese mikroskopisch kleinen Ausmaße lassen eine Spielzeit von 74 Minuten zu und beruhen auf physikalischen Überlegungen zur Umsetzung der Abtasteinrichtung. Die CD wird durch ein optisches Lasersystem abgetastet, welches die Pits berührungslos ausliest, wodurch abspielbedingte Verschleißerscheinungen vermieden werden. Der Laser folgt der Pitspur auf der rotierenden CD und wird dabei von der reflektierenden Oberfläche zurückgeworfen und von einem Polarisationsstrahlenteiler auf eine Photodiode gelenkt. Sie erfasst Helligkeitsunterschiede zwischen dem Licht, das von einem Pit reflektiert und jenem Licht, welches von der übrigen Fläche zurückgeworfen wird. Die Tiefe der Pits, welche sich aus der Perspektive des Lasers als Erhebungen darstellen spielt hierbei eine tragende Rolle, da sie etwa einem Viertel der Wellenlänge λ des Laserlichtes entspricht. Bei der Reflexion von der umliegenden Fläche wird das Licht also ca. um $\lambda/2$ gegenüber der Reflexion der Pits verzögert. Wie Abbildung 1.23. zeigt, ist der Lichtpunkt des Lasers so breit, dass er auch auf die Flächen neben den Erhebungen trifft wodurch im reflektierten Strahl Interferenzen und Auslöschungen entstehen⁴⁷.

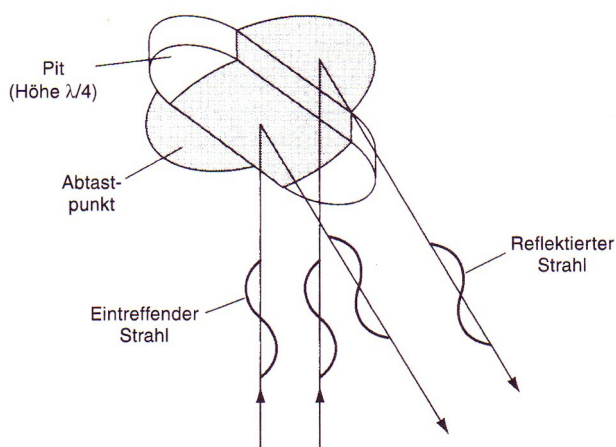


Abb.: 1.23.
Lichtpunkt des
Abtastlasers auf
einem Pit
[vgl. Pohlmann
1994, 65]

⁴⁶ Kämmer 1987, 36 f.

⁴⁷ Pohlmann 1994, 65 f.

Wandert der Laser also über ein Pit, ist das reflektierte Licht schwächer als bei den Lands dazwischen. Die Photodiode erfasst dieses Signal und leitet entsprechende elektrische Impulse weiter. Immer wenn der Laser einen Übergang von Land zu Pit oder von Pit zu Land abtastet, wird eine 1 im ausgelesenen Datenstrom codiert. Eine Umcodierung des PCM-Signals in die NRIZ-Form (Non-return-to-zero-inverted) ermöglicht diese vereinfachte Signalverarbeitung. Dabei kehrt sich der Signalpegel immer in der Mitte der Periodendauer einer logischen 1 um.

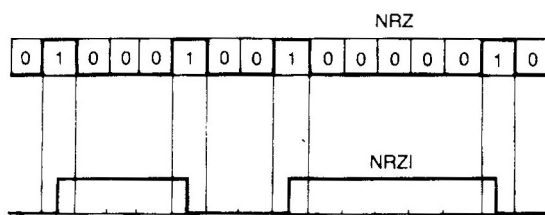


Abb.: 1.24. NRIZ-Code
[vgl. Pohlmann 1994, 91]

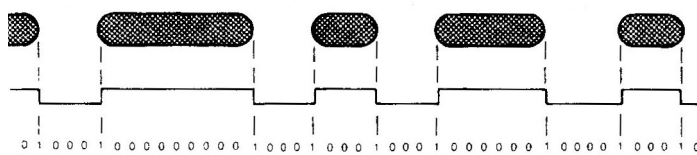


Abb.: 1.25. Codierung der Pitkanten [vgl. Pohlmann 1994, 91]

Durch die berührungslose Abtastung der Signale wird es nötig, den Laser aktiv in der Spur zu halten, da die Abtasteinrichtung nicht, wie bei der Schallplatte, von einer Rille geführt werden kann. Die Hersteller haben dazu zwei Verfahren entwickelt deren Prinzip hier nur kurz beschrieben werden soll. Bei dem Dreistrahl-Laser-System wird der Laser durch ein Beugungsgitter in drei Strahlen aufgesplittet. Die beiden Hilfsstrahlen treffen bei exakter Spurführung jeweils zu gleichen Teilen auf die Pitkante. Entfernt sich das Abtastsystem von der Ideallinie, trifft einer der beiden äußeren Strahlen stärker auf die Fläche zwischen den Spuren, wodurch weniger Interferenzen entstehen und der Strahl heller reflektiert wird als der Strahl, der auf das Pit gedriftet ist. Zwei gesonderte Photodioden werten diese Unterschiede aus und Spurfehler können korrigiert werden. Das Einstrahl-Laser-System nutzt ebenfalls das physikalische Prinzip der Interferenzen, kommt allerdings ohne Hilfsstrahlen aus. Vier Photodioden werten jeweils einen Bereich des reflektierten Strahles aus, der ebenfalls Helligkeitsdifferenzen durch Spurabweichungen in sich trägt.

Ein weiteres Problem bei der Abtastung entsteht durch die hohe Integration der Daten auf engstem Raum. Äußere Einflüsse wirken sich dadurch sehr stark auf den Lesevorgang aus. Ein Staubkorn beispielsweise erreicht leicht die 20-fache Spurbreite einer CD⁴⁸. Um Signalausfälle durch solch leichte Verschmutzungen zu verhindern, wird ein ausgeklügeltes Fehlererkennungs- und Korrekturverfahren verwendet, welches den ungestörten Hörgenuss erst ermöglicht. Es setzt sich aus mehreren Codierungsverfahren zusammen, von denen der Cross Interleaving Reed-Solomon Code (CIRC) der wichtigste ist. Er basiert auf einer mehrmaligen Verschachtelung der Daten, bei der zusammenhängende Daten physisch auf der CD verstreut werden. Technisch wird diese durch eine unterschiedliche Verzögerung der Datenblöcke im Signal erreicht. Beim Auslesen müssen für eine korrekte Wiedergabereihenfolge die Datenblöcke lediglich in komplementärer Weise wieder verzögert werden. Auf einer CD liegen dadurch aufeinander folgende Datenwörter niemals direkt nebeneinander. Durch Paritätsbits beispielsweise, welche zusätzliche Informationen über die Datenwörter tragen, können die so verkleinerten Fehlerphasen nun korrigiert werden. Nicht korrigierbare Fehler werden durch sogenannte Flags markiert und verdeckt, also stumm geschaltet. Da bei üblichen Verschmutzungen und sonstigen Abweichungen diese Verdeckungsphasen gemessen an der Trägheit des menschlichen Ohres extrem kurz sind, sind diese stillen Phasen meist überhaupt nicht wahrnehmbar. Eine genaue Beschreibung der Fehlererkennungs- und Korrekturverfahren ist in [Pohlmann 1994] zu finden.

1.4.2 MP3 (MPEG 1 Layer III)

MP3 bezeichnet keinen Tonträger im physischen Sinne, sondern lediglich ein Dateiformat, welches für die datenreduzierte Speicherung von Audiosignalen entwickelt wurde. Etwa 60% der gesamten Datenkompression werden dabei durch das Weglassen bestimmter, für den Menschen nicht wahrnehmbarer Schallinformationen erreicht⁴⁹. Das dafür verwendete psychoakustische Modell ermittelt Töne, die vom Menschen nicht wahrgenommen werden können um diese anschließend zu eliminieren.

⁴⁸ Pohlmann 1994, 70

⁴⁹ Schriber 2000, 24

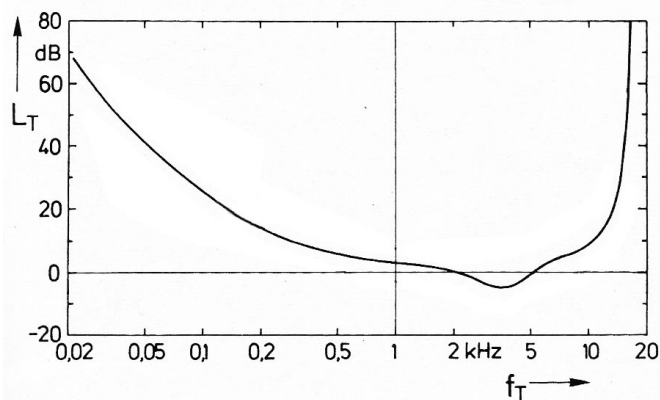


Abb.: 1.26.
Ruhehörschwelle L_T
von Versuchspersonen
unter 25 Jahren in
Abhängigkeit von der
Frequenz
[vgl. Zwicker1982, 33]

Psychoakustik

Das menschliche Gehör kann Geräusche erst ab einem gewissen Schalldruckpegel überhaupt wahrnehmen. Diese Wahrnehmung ist frequenzabhängig und im mittleren Frequenzbereich, in dem auch die menschliche Stimme hauptsächlich angesiedelt ist, am empfindlichsten. Die so genannte Ruhehörschwelle ist nicht bei jedem Menschen genau gleich kann aber aufgrund der geringen Abweichungen relativ genau gemittelt werden. Abbildung 1.26. zeigt die empirisch ermittelten Schalldruckpegel der unteren Wahrnehmbarkeitsgrenze des Menschen in Abhängigkeit von der Frequenz. Töne die unter dieser Grenze liegen können aus dem Audiosignal entfernt werden, da der Mensch sie nicht hört.

Ist das Schallereignis, wie fast in allen Alltagssituationen und auch der Musik, ein Tongemisch, erklingen also mehrere Töne gleichzeitig, kann es zu Verdeckungen bzw. Maskierungen bestimmter Töne kommen. Ein Ton mit dem Schalldruckpegel L verdeckt gleichzeitig erklingende Töne der umliegenden Frequenzen solange diese einen gewissen Pegel nicht überschreiten. Alle Töne unter dieser Grenze, die als Mithörschwelle bezeichnet wird, sind für den Menschen nicht wahrnehmbar und können daher ebenfalls aus dem Audiosignal entfernt werden. Wie breit das maskierte Spektrum eines Tones ist, hängt von seiner Frequenz ab, wie Abbildung 1.27. zeigt. Sowohl die Ruhehörschwelle, als auch die Mithörschwelle sind also Frequenzabhängig. Der für eine Wahrnehmbarkeit nötige Pegel verschiedener Frequenzen ist also sowohl bei der Maskierung, als auch an der unteren Hörschwelle unterschiedlich. Wie Eberhard Zwicker in seinen Experimenten zur Psychoakustik herausgefunden hat, lässt sich das menschliche Gehör außerdem in Frequenzbänder einteilen, in denen die Pegel mehrerer Einzeltöne unterschiedlicher Frequenz zur Bildung der Ruhe- oder

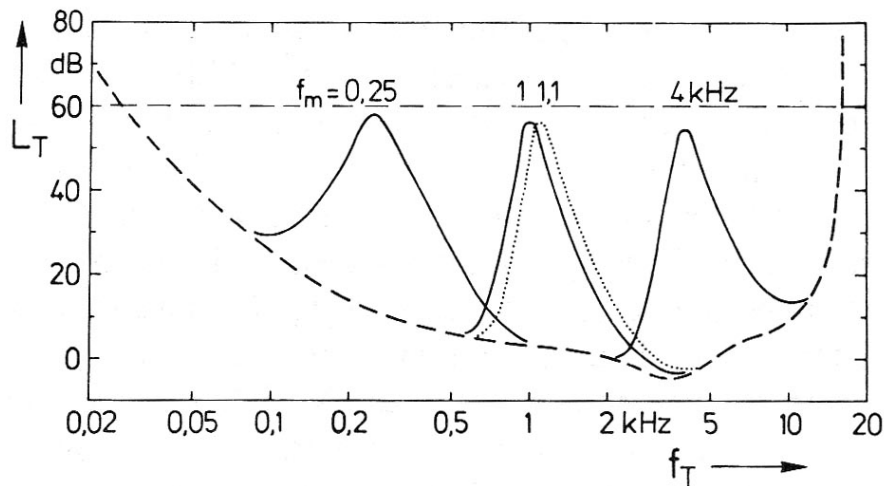


Abb.: 1.27. Mithörschwellen L_T , verdeckt durch frequenzgruppenbreites Schmalbandrauschen des Pegels $L_g=60$ dB und der Frequenzen $f=0,25$ kHz; 1 kHz; 1,1 kHz; 4 kHz [vgl. Zollner/Zwicker 1993, 286]

Mithörschwelle zusammengefasst werden. Diese Pegelzusammenfassung ist begrenzt auf Töne einer bestimmten Frequenzbandbreite, der Frequenzgruppe. 25 solcher Gruppen, deren breite proportional zur Frequenz steigt, sind im Hörbereich bis 20 kHz angesiedelt⁵⁰.

Zum Ende dieses kleinen psychoakustischen Ausfluges sei noch die zeitabhängige Maskierung erwähnt. Ein Schall des Pegels L kann sowohl zeitlich ihm folgende, als auch vorhergehende Töne verdecken. Je nach Lautstärke und Frequenzverteilung des Maskierers und des verdeckten Tones beträgt diese Nach- oder Vorverdeckung zwischen 5ms und 20ms. Auch hier können durch Auslassen entsprechender Signale enorme Einsparungen der Audiodaten erzielt werden. Wie stark simultane und zeitabhängige Verdeckungen auftreten ist abhängig von der Zusammensetzung des Audiosignals. So erzeugen beispielsweise breitbandig verteilte Rauschprozesse eine stärkere Maskierung als Sinustöne. Eine genaue Analyse dieser psychoakustischen Effekte sowie die Beschreibung der empirischen Experimente mit denen diese Eigenschaften des menschlichen Ohres ermittelt wurden findet der interessierte Leser in [Zwicker, E. 1982].

⁵⁰ Zwicker geht von 24 Frequenzgruppen aus, da er einen Hörbereich bis 16 KHz zu Grunde legt

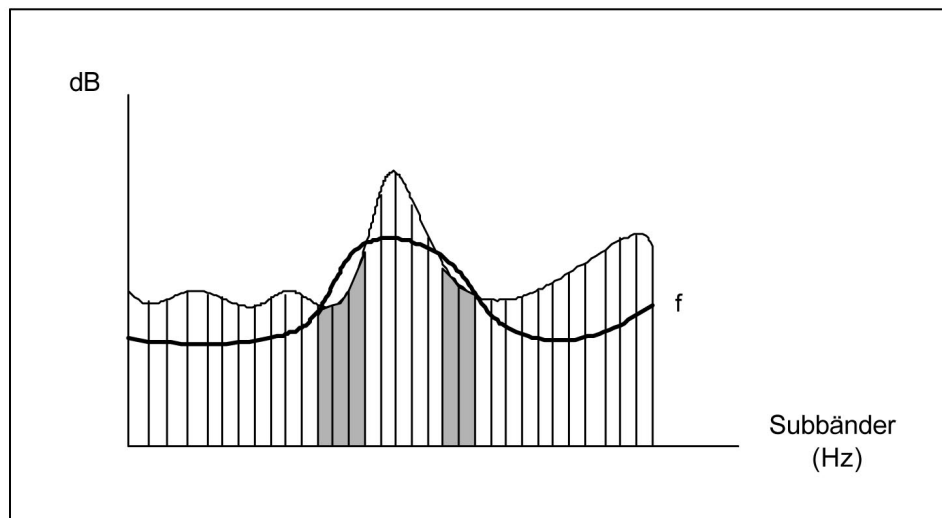


Abb.: 1.28. Durch ein Signal verdeckte Subbänder [vgl. Schriber 2000, 24]

Kompression

Das unkomprimierte PCM-Signal, z.B. von einer Compact Disk, wird zunächst durch eine modifizierte, diskrete Cosinus-Transformation (MDCT), die mit der Fast-Fourier-Transformation (FFT) verwandt ist, aus dem Zeit- in den Frequenzbereich überführt. Das Signal wird dabei auf 32 Sub-Frequenzbänder aufgeteilt, deren Breite, basierend auf der Frequenzgruppenbreite des Menschen, von der Frequenz abhängig ist. Die Frequenzachse wird aber neu skaliert, sodass alle Bänder, zur leichteren Verarbeitung, die gleiche Breite haben⁵¹. Zeitlich oder simultan maskierte Schallereignisse und solche unterhalb der Ruheshwelle werden mit Hilfe des akustischen Modells detektiert und gelöscht. Die Anzahl der Subbänder muss dabei die Frequenzgruppen des menschlichen Gehörs übersteigen, da nur vollständige Bänder entfernt werden, wodurch es bei zu geringen Bandbreiten der Subbänder schnell zu Artefakten kommen kann. Hilfreich bei deren Vermeidung ist zusätzlich die angepasste Breite der Subbänder. In Abbildung 1.28 sind zur Verdeutlichung des Prinzips diejenigen Subbänder eines Beispielsignals unterhalb der Mithörschwelle grau unterlegt. Diese Bänder werden bei der MP3-Codierung entfernt.

Die übrige Datenkompression des MP3-Verfahrens lässt sich durch eine spezielle Quantisierung und Codierung der Daten erreichen. Die Bittiefe der Quantisierung wird dabei für die verschiedenen Frequenzbänder nur so hoch gewählt, dass das entstandene Quantisierungsrauschen vom Nutzsignal gerade noch verdeckt wird, wodurch weitere 20 Prozent der Gesamtkompression

⁵¹ Schriber 2000, 21 f.

bewirkt werden. Für die übrigen 20 Prozent sorgen verschiedene verlustfreie Codierungsverfahren wie z.B. die Huffman-Codierung. Sie erkennt Wiederholungen gleich bleibender Zeichenfolgen und codiert diese Folgen durch ein neues Zeichen und die Anzahl der Wiederholungen. Hauptsächlich lange Serien von Nullen können so in eine kurze und damit datenreduzierte Form gebracht werden.

1.4.3 DVD-A und SACD

In Ausgabe 20 des IEEE Signal Processing Magazine aus dem Jahre 2003 werden beide Tonträgerformate ausgiebig vorgestellt. Die folgenden Ausführungen beziehen sich, soweit nicht anders gekennzeichnet auf diese Artikel. DVD-A (DVD-Audio) und SACD (Super Audio CD) nutzen als physischen Träger die Digital Versatile Disc (DVD), welche mit 4,38 GByte Datenvolumen die Speicherung hochgenau erfasster Audiosignale ermöglicht. Wie bei der CD werden die Daten in Form von Pits auf die DVD gepresst und bei der Wiedergabe mit einem Laser abgetastet. Die vergrößerte Speicherkapazität ergibt sich aus einer Verkleinerung der Pits, wodurch eine Wellenlänge von 650nm für das Laserlicht nötig wird. Die so hinzugewonnene Speicherkapazität wird bei ähnlicher Spielzeit zur Einbindung von Mehrkanalton und einer Verbesserung der Klangeigenschaften gegenüber der CD genutzt, was eine neue Form der Digitalisierung erfordert. Die SACD verwendet das Direct Stream Digital (DSD) Format, bei dem der 1-Bit-Datenstrom eines $\Sigma\Delta$ -Modulators direkt auf dem Tonträger gespeichert wird. So kann die Filterung nach der A/D-Wandlung und vor der D/A-Wandlung beim Auslesen der Daten (Approximation) eingespart werden. Die Samplingrate des DSD-Signals entspricht mit 2,8224 MHz einer 64-fachen Überabtastung. Bei der DVD-A wird die PCM-Technik, die auch bei der CD zum Einsatz kommt verwendet, allerdings beträgt hier die Samplingrate bis zu 192 KHz bei 24 Bit. Die beiden Tonträgerformate bieten einen Dynamikumfang von über 120 dB und können auf einem DVD-Player wiedergegeben werden. Üblicherweise werden die Super Audio CDs als Hybrid Disk angeboten, auf der zusätzlich eine Compact Disc-Schicht untergebracht ist, wodurch auch das Abspielen mit CD-Qualität in normalen CD-Playern möglich ist. Zur Vermeidung von Raubkopien nutzen DVD-A und SACD verschiedene Schutzmaßnahmen. Mit einem Kopierschutz namens Content Protection for Pre-recorded Media (CPPM) werden die Audiodaten der DVD-A

geschützt. Dies geschieht durch eine 56-Bit-Verschlüsselung der Inhalte⁵². Eine Dekodierung erfordert den lizenzierten Algorithmus dieses Kopierschutzes, da eine Datenidentische Kopie der verschlüsselten Inhalte, z.B. auf einem PC nicht wiedergegeben werden kann. Der wichtigste Schutz gegen Raubkopien der SACD ist die Inkompatibilität zu herkömmlichen Computerlaufwerken. Sie wird durch eine Verschlüsselung der Lead-In Daten erreicht. Außerdem enthält die SACD eine physische Markierung, die zum Abspielen vom Player gelesen werden muss um die verschachtelten Audiodaten korrekt zu entziffern. Gelingt es also eine Kopie anzufertigen, wird dabei diese Markierung nicht gespeichert, was das Abspielen verhindert.

1.4.4 Digital Audio Tape (DAT)

Das Digital Audio Tape soll hier nur kurz beschrieben werden, da dessen wirtschaftliche Bedeutung hauptsächlich durch den Aufnahme- und Kopierbereich zu begründen ist. Die Speicherung der Daten findet im digitalen PCM-Format auf einem Magnetband statt. Das DAT-System verwendet zur Aufzeichnung rotierende Köpfe und kann in verschiedenen Betriebsarten die Samplingfrequenzen 44,1 KHz, 32KHz und 48 KHz und Bitraten von 12 Bit oder 16 Bit erreichen. So sind auch die variablen Maximalspielzeiten zwischen zwei und sechs Stunden zu erklären. Eine direkte Kopie von Audiosignalen über eine digitale Verbindung ist mit dem DAT-System nur möglich, wenn im Datenstrom des Originaltonträgers keine Kopiersperre vermerkt ist, da diese vom Serial Copy Management System des DAT-Recorders erkannt wird. Die Kopie über eine analoge Schnittstelle ist davon allerdings nicht betroffen.⁵³

⁵² 4C Entity, LLC (Hrsg.), Online

⁵³ Pohlmann 2005, 201 ff.

2. Chancen und Probleme der Musikindustrie

Die bisher beschriebenen Formate eröffnen aufgrund ihrer Vielseitigkeit neue Wege für die Musikindustrie. Sowohl der jugendliche Charthörer mit einem MP3-Handy, als auch der audiophile Musikliebhaber sind als Kunden erschlossen und können mit hoher Zielgruppenschärfe bewirtschaftet werden. Wie die letzten Jahre gezeigt haben, drängen aber mit den neuen Formaten auch verschiedene neue oder bisher wirtschaftlich irrelevante Probleme auf die Bühne des Tonträgermarktes. Der folgende Abschnitt soll diese beiden Seiten der Entwicklung, vor allem basierend auf den bisherigen technischen Entwicklungen beleuchten. Dabei werden immer wieder auch wirtschaftliche Betrachtungen einbezogen um die verschiedenen Sachverhalte zu verdeutlichen und zu untermauern.

2.1 Tonträgerwirtschaft

Die großen Plattenfirmen erleben seit dem Jahr 2001, als es in der bis dahin wachsenden Branche erstmalig einen Umsatzeinbruch von mehr als 10 Prozent gab, einen wirtschaftlichen Wandel. Die Umsätze sinken stetig und sind seitdem um knapp 40 Prozent zurückgegangen.

Die Gründe dafür sieht die Musikindustrie vor allem bei Raukopien und illegalen Downloads. Studien des Bundesverbandes zufolge lag die Zahl der gebrannten Musik-CDs allein im Jahr 2008 bei 226 Millionen Stück⁵⁴. Dem gegenüber stehen knapp 223 Millionen verkaufte Tonträger⁵⁵. Aus dem Internet laden sich bereits 9,3 Millionen Deutsche ihre Musik und mehr als ein Drittel von ihnen nutzen dafür illegale Tauschbörsen. Der Download von MP3-Dateien wird von den Plattenfirmen aber auch wirtschaftlich genutzt. Der Anteil legaler, kostenpflichtiger Musik-Downloads wächst stetig und hat derzeit einen Anteil von 8 Prozent am Gesamtabsatz der Branche⁵⁶.

Die Situation der Musikindustrie, liegt nach eigenen Angaben nicht nur in diesen Problemen begründet. Wie jeder andere Wirtschaftszweig einer solchen Größe, ist auch sie von den Entwicklungen der Weltwirtschaft abhängig, was aufgrund

⁵⁴ GfK Panel Services Deutschland, Bundesverband Musikindustrie (Hrsg.) 2008, 23

⁵⁵ Bundesverband Musikindustrie (Hrsg.) 2009, 19

⁵⁶ GfK Panel Services Deutschland, Bundesverband Musikindustrie (Hrsg.) 2008, 38

der derzeitigen Wirtschaftskrise zu einer Begünstigung des Abwärtstrends führt. Für eine Untersuchung der brancheninternen Probleme und Chancen anhand technischer Aspekte werde ich mich in diesem Abschnitt aber auf die wirtschaftliche Nutzung neu entstandener Ressourcen beschränken.

Kopieren von Musik - CDs

Das Problem der illegalen Kopie eines gekauften Tonträgers kam erstmalig mit der Einführung der Compact Cassette auf. Plötzlich war es für jeden Besitzer eines Kassettenrecorders mit Radioempfänger möglich, die über den Rundfunk gesendete Musik mitzuschneiden. Über eine analoge Schnittstelle war auch das kopieren einer Schallplatte kein Problem mehr. Der Kopiervorgang findet in Echtzeit statt und bringt qualitative Einbußen, welche auf die Aufnahme- und Wiedergabequalität der Compact Cassette zurückzuführen sind. Wollte man die Kassette einem Bekannten überspielen, verschlechterte sich die Aufnahme abermals und wurde nach einigen weiteren Kopiervorgängen unbrauchbar. Nach Einführung der CD dauerte es nicht lange, bis Geräte auf den Markt kamen, die einen CD-Player und einen Kassettenrecorder kombinierten. Auf zwei verkaufte Alben kam damals eine Kassetten-Raubkopie⁵⁷.

Ein weiteres Mal fürchtete die Musikindustrie um ihre Absatzzahlen, als das Digital Audio Tape auf den Markt kam. Hiermit war nun eine Aufnahme in hoher Qualität möglich, da die Signale digital aufgezeichnet wurden. Auch das Überspielen führte somit nicht zu einer hörbaren Verschlechterung der Aufnahme. Die Recorder waren allerdings teuer und der von der Musikindustrie durchgesetzte Kopierschutz für CDs verhinderte das unkomplizierte Übertragen von Musik auf Band, das auch hier in Echtzeit zu bewerkstelligen war.

Heute entfallen diese Hürden mit einem modernen Computer und der nötigen (kostenlosen) Software. Eine CD lässt sich direkt in das MP3-Format digitalisieren oder auf einen CD-Rohling kopieren, wobei die Zeit je nach Leistung des Computers um ein Vielfaches der Abspieldauer verkürzt werden kann. Ein handelsüblicher Rohling ist mit der 52-fachen Abspielgeschwindigkeit bespielbar, so dass die Kopie einer 74-minütigen CD in etwa 80 Sekunden geschrieben werden kann⁵⁸. Dabei wird das auf der CD gespeicherte PCM-Signal auf dem Computer temporär zwischengespeichert und ein genaues

⁵⁷ Bundesverband Musikindustrie (Hrsg.) 2009, 28

⁵⁸ Der gesamte Kopiervorgang verlängert sich um die Dauer für das Einlesen und Zwischenspeichern der CD

Abbild auf den Rohling kopiert. Die Qualität bleibt dabei vollständig erhalten. Das Encodieren einer Audio - CD in das MP3-Format benötigt Rechenleistung für die Anwendung des psychoakustischen Modells. In Abhängigkeit von Prozessor und Laufwerk des verwendeten Computers kann eine CD derzeit mit der 5 bis 15-Fachen Abspielgeschwindigkeit umgewandelt und auf der Festplatte gespeichert werden. Hier steht sie jederzeit zum Anhören oder für weitere Vervielfältigungen bereit. Dieser Komfort bildet den entscheidenden Unterschied der CD-Raubkopie zu allen älteren Vervielfältigungsmethoden und führt damit ursächlich zu der starken Gefährdung der Industrie.

SACD und DVD-Audio als Nachfolgeformate der CD

Vor allem die Markteinführung der SACD versprach Abhilfe für das Problem der illegalen Raubkopien. Ein schwer umgehbarer Kopierschutz hatte hier bereits bei der Entwicklung in Zusammenarbeit mit der Musikindustrie eine hohe Priorität. Ein illegales Kopieren dieser Tonträger ist zwar möglich, erfordert jedoch hohen Aufwand und/oder den Einsatz illegaler Software. Als Verkaufsargument wird die hohe Audioqualität der Formate angeführt, die eine Compact Disc in vielen Punkten übertrifft. Dadurch wurde für die Zielgruppe der Audiophilen Musikliebhaber ein neues Medium etabliert, das auch höchsten Ansprüchen gerecht wird. Diese Tonträger haben vor allem im Bereich der klassischen Musik eine feste Rolle eingenommen. Zuletzt konnte sich der Absatz von 200.000 Stück im Jahr 2007 auf 400.000 Stück im Jahr 2008 verdoppeln. Eine Ablösung der CD scheint damit in weiter ferne, was durch verschiedene Faktoren begründet werden kann. Im Massenmarkt ist der Bedarf nach einer verbesserten Klangqualität offensichtlich nicht vorhanden, was auch durch den starken Nachfragezuwachs der MP3 verdeutlicht wird. Diese trifft trotz qualitätsmindernder Datenkompression bei einer breiten Nutzergruppe auf eine hohe Akzeptanz. Auch die Anschaffung einer speziellen SACD-Players zur Wiedergabe und ein beschränktes Repertoire sind Hürden beim Umstieg⁵⁹.

MP3 – Verbreitung über das Internet

Durch die rasante Verbreitung der Internetanbindungen und den ständigen Anstieg der möglichen Übertragungsraten wird die digitale Musik auf den Festplatten der Konsumenten auch über das Netz verbreitet. Dabei ist ein systemstruktureller Faktor von besonderer Bedeutung: Ohne einen

⁵⁹ Singulus Technologies AG (Hrsg.) 2002, 42

Internetanschluss muss der Konsument sich das Original oder eine Kopie physisch beschaffen. Dies kann z.B. die gekaufte CD, eine Kopie auf einem Rohling oder die Festplatte mit der gesammelten Musik eines bekannten sein. Ist der gewünschte Tonträger oder dessen Kopie im sozialen Umfeld einer Person nicht zu finden, kann keine Raubkopie gemacht werden. Mit einem Internetanschluss erweitert sich das soziale Netzwerk und damit auch der Umfang verfügbarer Musik um ein Vielfaches und ist weder örtlich noch durch soziale Strukturen begrenzt. Verschiedene Internetplattformen werden zur illegalen Verbreitung von MP3 Dateien benutzt und ermöglichen so den kostenlosen Zugriff auf den gesamten Datenbestand tausender Mitglieder. Um an dem Datenaustausch solcher Netzwerke teilzunehmen ist meist die Installation einer kostenlosen Software nötig, welche die Suche nach Dateien und den Download verwaltet. Die Verteilung der Daten basiert in den meisten Fällen auf einer Peer-to-Peer Verbindung, bei der alle Teilnehmer eine direkte Verbindung zueinander aufbauen können. Da ein zentraler Speicherort für die angebotenen Daten damit entfällt, ist es auch bis heute nur sehr schwer möglich das illegale Tauschgeschäft mit rechtlichen Mitteln zu stoppen.

Wie schnell eine MP3-Datei heruntergeladen werden kann ist stark abhängig von

in Mio. Stück	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Single	56,9	54,0	51,8	38,9	26,8	23,3	17,8	15,9	10,7	7,6
CD-Alben	209,7	206,1	184,6	178,7	146,8	145,5	147,6	149,5	148,6	145,1
MC	21,5	20,5	22,3	14,3	15,5	13,2	8,7	5,8	4,6	3,2
Vinyl-LP	0,6	0,9	1,1	1,1	1,1	0,8	0,7	0,6	0,7	0,9
DVD-Audio/SACD	0,0	0,0	0,1	0,2	0,6	0,3	0,5	0,2	0,2	0,4
Summe Longplay ¹	231,8	227,5	208,1	194,3	164,0	159,8	157,5	156,1	154,1	149,6
DVD-Musikvideo	0,0	0,6	1,5	3,8	9,0	11,5	12,9	14,2	13,6	11,7
VHS-Musikvideo	1,0	0,6	0,6	3,2	1,9	1,2	0,8	0,1	0,0	0,0
Summe physisch	289,7	282,7	262,0	240,2	201,7	195,8	189,0	186,3	178,4	168,9
Einzeltracks / Audio Single Tracks (Mobile) ²	-	-	-	-	k.A.	7,5	19,7	29,2	39,9	44,6
Bundles	-	-	-	-	k.A.	0,4	1,4	1,9	2,6	3,9
Summe Download						7,9	21,1	31,1	42,5	48,5
Klingeltöne	-	-	-	-	-	-	k.A.	11,9	8,3	4,1
Ring Back Tunes	-	-	-	-	-	-	k.A.	1,3	1,2	1,4
Summe Mobile								13,2	9,5	5,5
Summe digital						7,9	21,1	44,3	52,0	54,0
Gesamt	289,7	282,7	262,0	240,2	201,7	203,7	210,1	230,6	230,4	222,9

Tabelle 3. Absatzzahlen der Tonträgerindustrie im Jahr 2008
[vgl. Bundesverband Musikindustrie 2009, 19]

der Verbindungsgeschwindigkeit der Teilnehmer. Bei manchen Programmen ist die mögliche Bandbreite abhängig vom Nutzungsverhalten des Einzelnen. Eine Angabe über die Dauer eines illegalen Musik-Downloads wird dadurch erschwert. Pro 100 Einwohner verfügen in Deutschland 21 Bürger über einen Breitband-Internetzugang⁶⁰. Nach Angaben der Bundesnetzagentur lassen 94 Prozent dieser Anschlüsse eine Downloadgeschwindigkeit über 2 Mbit/s für den Download zu. Der maximale Upload liegt bei diesen Anschlüssen mindestens bei 256 kbit/s, oft weit darüber⁶¹. Eine MP3-Datei von 3,17 Minuten Länge lässt sich bei einer üblichen Kompression von 128 kbit/s auf etwa 3 Mega Byte komprimieren. Die Übertragung einer solchen Datei benötigt mit dem 2 Mbit/s-Anschluss gerade noch 12 Sekunden. Damit werden die Echtzeitkopien von Compact Cassette und DAT um ein Vielfaches überboten.

Die Verteilung von Breitbandanschlüssen in den vergangenen Jahren zeigt einen klaren Trend zu immer schnelleren Verbindungsgeschwindigkeiten. Der Ausbau von VDSL-Anschlüssen mit Bandbreiten von 50 Mbit/s wird derzeit von der Telekom für die Nutzung von verschiedenen Multimediainhalten betrieben, wodurch eine weitere drastische Verringerung der Zugriffszeiten auf Musik über das Internet erreicht wird.

Neue Distributionskanäle

Mit der Verbreitung des Internets und digitaler Speichermedien sowie des MP3 Codecs entstehen für die Musikindustrie nicht nur Probleme wie z.B. die Musikpiraterie. Die Plattenfirmen nutzen die neuen Möglichkeiten zunehmend zur Umstrukturierung des Vertriebs. Wie der Jahresbericht des Bundesverbandes der Musikindustrie 2008 zeigt, wächst der legale Downloadmarkt seit der Erfassung im Jahr 2004 stetig und hat sich, wie aus Tabelle 3 hervorgeht, seitdem mehr als versechsfacht. Ein Volumen von 368,4 Mio. illegalen und legalen Musikdownloads im Jahr 2008 zeigt, dass der Verbraucher den „Tonträger“ MP3 akzeptiert. Vor allem die digitale Single wird von den Konsumenten gut angenommen und übersteigt den stark rückläufigen Absatz der physischen Single bereits um ein Vielfaches. Wirtschaftlich ist der Verkauf von MP3-Dateien per Download sehr interessant, da die Produktionskosten in vielen Bereichen verringert werden können. Die Zulieferung der Tonträger an die Geschäfte entfällt genauso wie die Kosten für ein Presswerk. Aufgrund der

⁶⁰ Bundesnetzagentur 2009, 69

⁶¹ Premium Portal Ltd. (Hrsg.), online

niedrigen Abgabepreise an die Händler kann das Download-Geschäft aber den Rückgang bei den physischen Verkäufen noch nicht kompensieren⁶².

Der Verkauf von Musik für die Speicherung auf dem Handy wurde als weiterer Vertriebsweg neu erschlossen, ist aber derzeit rückläufig, da die sinkende Nachfrage nach Klingeltönen noch nicht ganz vom stark wachsenden sogenannten Full-Track-Download kompensiert wird. 5,5 Mio. Musiktitel wurden im vergangenen Jahr direkt auf die Handys der Kunden gesendet. Für die Übertragung sind je nach Ausstattung des Verbrauchers verschiedene Wege, wie beispielsweise das Versenden der Datei via Multimedia Message Service (MMS) möglich. Mit der Nutzung des UMTS-Netzes sind die Übertragungsraten auch im mobilen Bereich auf bis zu 2 Mbit/s angestiegen. Vor allem in Verbindung mit dieser Technik wird der Verkauf von Songs in voller Länge gegenüber dem klassischen Klingelton immer bedeutender.

Promotion

Infolge der verstärkten Nutzung des Internets in allen gesellschaftlichen Bereichen, vollzieht sich in der Musikindustrie ein logistischer Wandel. Dieser ist zwar nicht direkt mit dem Formatwandel der Tonträger verbunden, verdeutlicht aber wie vielseitig sich die Veränderungen durch den digitalen Fortschritt auf die Branche auswirken und werden im Folgenden daher auch kurz beschrieben. Der Airplay von Singles im Radio und die redaktionelle Besprechung von Alben in den Printmedien waren für die Plattenfirmen schon seit der Entstehung der Musikindustrie bzw. des Rundfunks zu Beginn des 20. Jahrhunderts die wichtigsten Mittel zur Verkaufsförderung⁶³. Für die Bemusterung der Medienpartner zu Promotionzwecken wird daher ein erheblicher personeller Aufwand betrieben. Bisher wurden Neuerscheinungen aller Künstler per Post zu den Radiosendern, Printmedien und später auch Onlineredaktionen gesendet. Mit der Einführung digitaler Verteilungssysteme wie MPN (Music Promotion Network) konnte der logistische Aufwand signifikant gesenkt werden. Alle Mitglieder des Bundesverbandes Musikindustrie und somit auch alle Major-Labels können Musik, Albumcover und Informationen über die Interpreten in diese Online Datenbank stellen⁶⁴. Im MPN-System angemeldete Medienpartner wie Radiostationen und Print- oder Online Redaktionen haben Zugriff auf

⁶² Bundesverband Musikindustrie (Hrsg.) 2009, 12 ff. und Wiegers 2009

⁶³ Große 1989, 72

⁶⁴ Phononet GmbH (Hrsg.), online und Wiegers 2009

diese Daten und können die Inhalte probenhören oder direkt herunterladen. Zur Zeit besteht ein Großteil der Redaktionen noch auf eine physische Bemusterung, da sie zum Teil noch nicht dem MPN-System angeschlossen sind oder das Probehören der CD bevorzugen. Der Trend zeigt aber, dass die digitale Bemusterung immer beliebter wird⁶⁵. Bei einer vollständigen Ablösung der physischen Bemusterung sparen die Plattenfirmen sowohl die Pressung für Handmuster, als auch das Porto für deren Versand⁶⁶. Die Wiedergabe der Musik im Rundfunk wurde früher durch Schallplattenspieler, Magnettonbänder und später CD-Spieler verwirklicht. Heute übernimmt diese Aufgabe oft ein Computer der das gesamte Musikrepertoire auf Festplatten speichert und so den Einsatz von physischen Tonträgern ersetzt⁶⁷.

Verschiedene Möglichkeiten der Promotion sind durch die rasante Entwicklung der Technik vollkommen neu entstanden. Seit Jahren sinken die Einschaltquoten von Musiksendern im Fernsehen dramatisch, während Musikvideos auf Videoportalen im Internet zu den beliebtesten Inhalten gehören. So wurde ein Musikvideo der amerikanischen Sängerin Avril Lavigne auf Youtube weltweit bereits über 120 Mio. mal angesehen und belegt damit Platz zwei der meistgesehenen Videos der Online-Videoplattform⁶⁸.

2.2 Tonträgerproduktion

Durch den Einsatz digitaler Technik hat sich der Ablauf einer professionellen Tonträgerproduktion vollständig gewandelt. Mit der Umrüstung auf Bandmaschinen in den Tonstudios Ende der 1930er Jahre und der anschließenden Entwicklung von Mehrspurbandmaschinen mit bis zu 32 Spuren, wurde es erstmals möglich die Aufnahmen vollständig nachzubearbeiten bevor sie auf eine Schallplatte gepresst wurden⁶⁹. Mittels Bandschnitt konnten Fehler korrigiert werden und beim Überspielen auf eine zweite Bandmaschine konnten nachträglich Effekte hinzugefügt werden. Durch den Wechsel zur digitalen Bandaufzeichnung konnten diese Möglichkeiten erweitert und die Qualität gesteigert werden. Mit der Einführung der computergestützten Aufnahme und Digital Audioworkstations (DAW), also der Aufnahmesoftware, eröffneten

⁶⁵ Wiegers 2009

⁶⁶ Brancheninterne Bezeichnung für physische Promotiontonträger

⁶⁷ Wittke 2009

⁶⁸ www.youtube.com [Stand 04.06.2009]

⁶⁹ Dickreiter 1997, 11

sich wieder neue Möglichkeiten. Einzelne Spuren können heute beliebig gegeneinander verschoben, mit Effekten versehen oder geschnitten werden. Die Klangqualität der Aufnahme bleibt dabei vollständig erhalten. Sowohl der Einsatz analoger oder digitaler Effektgeräte als auch die Verwendung von softwarebasierten Plug-ins sind zur Klanggestaltung möglich. Zum Abmischen der Aufnahme können Parameter wie Stereopanorama, Frequenzverzerrung oder Lautstärke in den einzelnen Spuren verändert und sofort abgehört werden. Zeit für Band-zu-Band Überspielungen oder Vor- und Rückspulvorgänge entfallen dabei aufgrund des sekundenschnellen Zugriffs auf Festplatten. Durch die digitale Signalverarbeitung hat sich sogar die klangliche Qualität einiger Effekte gegenüber den analogen Methoden verbessert. So lässt sich ein Nachhall heute durch die Berechnung in Digitalen Signal Prozessoren (DSP) realistischer imitieren, als dies durch analoge Verfahren möglich war⁷⁰. Obgleich analoge oder auch mechanische Technik immer noch sehr gefragt sind, da die Empfindung des erzielten Gesamtklangeindrucks subjektiv bleibt und bestimmte Klangcharakteristika einzelner, analoger Effekte sehr beliebt sind. Durch den Vertrieb von SACD und DVD-Audio gewinnt auch die Surroundabmischung an Bedeutung. Immer mehr DAW's bieten mittlerweile die Möglichkeit der Bearbeitung in den gängigen Mehrkanaltonverfahren. Die digitale Technik bietet im Produktionsprozess ebenfalls viele logistische Vorteile. Wird die Produktion vollständig digital durchgeführt und nicht erst beim Mastern das Band digitalisiert um gewisse Klangaspekte zu nutzen, kann der Transportaufwand der aufgenommenen Stücke drastisch minimiert werden. Ist z.B. für das Mischen der Spuren ein anderer Toningenieur vorgesehen als für das Anfertigen der Aufnahme, kann ein Austausch der Daten via Internet innerhalb von Sekunden stattfinden. In diesem Fall wird ein unkomprimiertes Dateiformat verwendet, wodurch ein Qualitätsverlust vermieden wird. Auch dem Masteringstudio kann der Mix auf diese Weise übermittelt werden.

Mastering

Als Mastering bezeichnet man die physische und technische Anpassung des aufgezeichneten Audiomaterials in der Art, dass es auf die zu verwendenden Übertragungskanäle optimal abgestimmt ist⁷¹. Je nach gewünschtem Verbreitungsweg kann außerdem die Übertragung auf einen Tonträger nötig

⁷⁰ Weinzierl 2008, 720

⁷¹ von Brockdorf 2006, 48

sein. Dabei sind vor allem Pegel- und Dynamikanpassungen an die technischen Mittel, welche die Aufnahme später verarbeiten oder wiedergeben, erforderlich. Da heute hauptsächlich für CD Produktionen aufgenommen und gemastert wird, entfällt aufgrund der linearen Wiedergabe eines CD-Players die Notwendigkeit der Anpassung des Frequenzganges, wie sie bei Schallplatten nötig ist. Heute ist ein wichtiger Bestandteil des Masterings die Anpassung der Dynamik an die Hörgewohnheiten und die akustischen Umstände bei der Wiedergabe. Die Möglichkeiten der Wiedergabe haben sich in hohem Maße vervielfacht, was zu starken Differenzen, sowohl in der Wiedergabequalität der verwendeten Abspieleinrichtungen, als auch der Aufmerksamkeit des Rezipienten führt. So muss bei der Anpassung an die verschiedenen Wiedergabewege oft zwischen unterschiedlichsten Qualitätsstufen ein Kompromiss gefunden werden. Tabelle 4 zeigt mögliche Wiedergabegeräte, entsprechende Klangeigenschaften und die in der Regel damit verbundenen Abhörbedingungen.

Tabelle 4. Abhörbedingungen und Klangeigenschaften verschiedener Wiedergabegeräte⁷²

Wiedergabemedium	Klangeigenschaften	Mögliche Abhörbedingungen
Hi Fi Anlage	durchschnittliche bis sehr hohe Klangqualität	volle Aufmerksamkeit gilt der Musikwiedergabe, Musik läuft als Nebenbeimedium
Radio	sehr unterschiedlich, teilweise Monowiedergabe (Küchenradio)	oft als Nebenbeimedium, oft Umgebungsgeräusche (Arbeitsplatz, Küche etc.)
Autoradio	in modernen Autos oft hohe Klangqualität	Störgeräusche (Verkehr- oder Fahrgeräusche) evtl. unkonzentrierter Rezipient

⁷² Klingler/Müller 2009, 506-511

Wiedergabemedium	Klangeigenschaften	Mögliche Abhörbedingungen
MP3 Player	sehr unterschiedlich, stark abhängig von den verwendeten Kopfhörern, oft kommen kleine In-Ear-Hörer mit minderen Klangeigenschaften zum Einsatz	oft Nebengeräusche wie Verkehr oder andere Musik in Fitnesscentern etc.
Club/Diskotheek	mittelmäßig bis hoch	oft sehr laute Wiedergabe, oft unausgewogener Frequenzgang (Überbetonung der Bässe)

Vor allem eine starke Klangverdichtung durch den Einsatz von Kompressoren hat sich in den letzten Jahren als häufig eingesetztes Gestaltungsmittel etabliert. Dadurch wird in aller Regel versucht die Aufnahme an die Hörgewohnheiten der Rezipienten anzupassen oder sogar die empfundene Lautheit bestehender Produktionen zu übertreffen, wodurch vor allem eine Steigerung der Aufmerksamkeit auch unter schwierigen Abhörbedingungen, wie z.B. beim Autofahren, erreicht wird. Eine Aufnahme soll im Wettbewerb positiv auffallen. Dieses Phänomen wird auch mit dem Begriff Loudness War bezeichnet.⁷³

Homerecording

Durch die Digitaltechnik werden die gestalterischen Möglichkeiten bei der Produktion vielfältiger, was oft auch besondere Fähigkeiten der Toningenieure erfordert. Eine praxisorientierte und sachlich fundierte Ausbildung ist daher eine der wichtigsten Vorraussetzung für den professionellen Umgang mit der Technik und den Künstlern. Dennoch hat sich das Homerecording in den letzten Jahren vor allem im semiprofessionellen- und Amateurbereich stark etabliert. Begründen lässt sich dieser Trend mit dem stark reduzierten Equipmentbedarf und den niedrigen Anschaffungskosten für die Aufnahmetechnik. Vor allem die Grundausrüstung, welche für eine einfache Mehrspuraufnahme unbedingte Voraussetzung ist, kann heute schon mit wenigen Komponenten umgesetzt werden. Für die Schallwandlung im Studiobereich werden hauptsächlich Kondensatormikrofone verwendet. Aufgrund der Preisentwicklung sind diese

⁷³ Weinzierl 2008, 780

heute auch für den Privatanwender erschwinglich. Vor allem die Realisierung der Kanalmischung stellte bis zur Einführung von DAW's eine Hürde für den Privatanwender dar. Mit dieser Technik aber werden im einfachsten Fall lediglich ein Computer und ein Mehrkanaliges Interface benötigt um Mehrspuraufnahmen durchzuführen. Mit der Beschränkung auf eine Bedienung von grafisch animierten Reglern, ausschließlich über die Steuerung mit Maus und Tastatur am Computer, kann die gesamte Studioausstattung mit Mischpult, Effektgeräten, Vorverstärkern etc. entfallen. Auch im Bereich der Digitalen Audioworkstations sowie qualifizierter Computerhardware sind die Preise für eine Grundausstattung stark zurückgegangen. Umfangreiche Software für das Mehrspurrecording wird sogar von verschiedenen Firmen als Freeware kostenlos angeboten⁷⁴.

⁷⁴ z.B. KRISTAL (www.kreatives.org/kristal), Audacity (www.audacity.de)

3. Chancen und Probleme für den Konsumenten

Für den Kunden, den Rezipienten der Musik, sind mit den stetig sich wandelnden Erscheinungsbildern des Tonträgers viele neue Nutzungsmöglichkeiten entstanden. In erster Linie sind das technische Entwicklungen, die eine vereinfachte Bedienung oder eine höhere Klangqualität nach sich ziehen. Der Zugriff auf die Tonträger hat sich beschleunigt, sowohl beim Erwerb, als auch beim Abspielen und Anhören der Stücke. Die Angebotsvielfalt ist größer denn je und stellt den Kunden vor die Wahl zwischen den unterschiedlichsten Abspielgeräten und Einsatzmöglichkeiten.

3.1 Der Tonträger als Konsumgut

Der folgende Abschnitt soll zeigen, welche Auswahlkriterien der Konsument bei der Wahl eines Tonträgers hat und wie diese zu bewerten sind. Aspekte der Klangqualität und des Bedienkomfort, sowie Beschaffungsmöglichkeiten werden beleuchtet und die Tonträger anhand dieser Eigenschaften verglichen.

Vielfalt

Die Entwicklungsgeschichte des Tonträgers ist gezeichnet von einem starken Zuwachs an immer neuen Formaten und Einsatzmöglichkeiten. Bis zur Markteinführung der Compact Cassette bzw. MusiCassette (MC) 1963 war die Schallplatte, nachdem sie die Phonographenwalzen verdrängt hatte, der einzige Massentonträger. Alleiniges Konkurrenzangebot war der Rundfunk, der mit redaktionell gestaltetem Programm jedoch schnell eine eigene Nische belegte, was die Koexistenz der beiden Medien ermöglichte. Im Laufe der Jahre hat sich durch die werbende Wirkung des Radios sogar eine komplementäre Wirkung entwickelt. Durch die Markteinführung des Kassettenspielers erschien ein Medium das einerseits durch kompaktere Abmessungen und andererseits durch neue Funktionen zusätzliche Einsatzmöglichkeiten brachte. Schon der erste Kassettenspieler verfügte über die Möglichkeit des Batteriebetriebs und konnte somit auch mobil eingesetzt werden⁷⁵. Mit dem Einbau der Kassettenspieler in Autos und dem Vertrieb des Walkman erschloss das Format den Bereich der

⁷⁵ Exner, online

mobilen Musikwiedergabe. Außerdem verfügte er über einen Mikrofoneingang, was erstmalig auch die Tonaufzeichnung massentauglich machte. Im späteren Verlauf wurde diese ursprünglich als Sprachdiktierfunktion konzipierte Aufnahmemöglichkeit vor allem zum Mitschneiden von Rundfunkprogrammen und zum Kopieren von Schallplatten genutzt, wodurch dem Nutzer ein weiteres Anwendungsgebiet eröffnet wurde. Die Einführung der CD knapp 20 Jahre später bedeutete für den Konsumenten vor allem eine Verbesserung der Klangqualität gegenüber der bis dahin dominierenden Schallplatte aber auch der MC. Vollkommen neu waren einige Funktionen, welche den Bedienkomfort vergrößerten und weiter unten beschrieben werden. Die Mobilität konnte durch die Einführung des Discman und später auch den verstärkten Einbau in Kraftfahrzeugen erhalten werden. Im Bereich der Aufnahmefunktion konnte sie die Kassette nur bedingt ablösen, da der Einsatz von Brennern und zusätzlichen Recordern (PC etc.) nötig wird um eine CD-Aufnahme anzufertigen. Seit der Einführung der MP3 ist die Anwendungs- und Bedienungsvielfalt abermals gestiegen, wie ebenfalls im folgenden Abschnitt gezeigt wird. Die Markteinführung von SACD und DVD-A bietet eine weitere Vergrößerung der Tonträgervielfalt, die vor allem dem Audioliebhaber zugute kommt.

Sowohl die Schallplatte, als auch die MC haben bis heute ihre Bedeutung als Liebhaberstücke für Musikfreunde oder DJ's bzw. zum erstellen von sogenannten Mixtapes (Kassette) behalten. Vor allem die Schallplatte bleibt mit einem großen Sortiment alter Aufnahmen und Neuerscheinungen auch im Handel vertreten. Unter dem Gesichtspunkt Vielfältigkeit lässt sich resümieren, dass seit dem Beginn der massentauglichen Tonträgernutzung die Nutzungsmöglichkeit vom reinen Musikhören um die Felder Mobilität und die unkomplizierte Aufnahme erweitert wurde, was erst durch die gleichzeitige Existenz verschiedener Formate geschah.

Eine weitere Dimension des Begriffs Vielfalt ist das verfügbare Repertoire, das seit den ersten Tonaufzeichnungen ständig wächst. Zu Zeiten, in denen das für die Plattenproduktion nötige Schellack so knapp war, dass beim Kauf einer neuen eine alte Platte zurückgegeben werden musste, verschwanden einige Tondokumente für immer⁷⁶. Abgesehen von solchen Ausnahmen in der Geschichte, wächst das Sortiment ständig, da immer neue Aufnahmen und Künstler hinzukommen und archiviert werden können. Durch das Internet ist es dem Konsumenten heute möglich, auch seltene Exemplare oder in

⁷⁶ Fischer 2006, 90

Deutschland nicht erscheinende Aufnahmen ohne viel Aufwand im Ausland zu bestellen. Die digitale Veröffentlichung von MP3's ist aufgrund der entfallenden Aufwände seitens der Plattenfirmen ohnehin grenzübergreifend. Waren das Plattengeschäft und später der (physische) Einzelhandel lange Zeit die einzigen Tonträgervertriebe, kann der Konsument heute zwischen Internetversand, MP3-Download und weiterhin dem Einzelhandel entscheiden.

Bedienkomfort

Bei Plattenspieler und Grammophon steht das reine Abspielen einer Platte im Vordergrund. Möchte man einen bestimmten Abschnitt der Aufnahme wiederholt hören, ist dies durch Versetzen der Nadel möglich. Der CD-Player bietet ein großes Spektrum an Bedienelementen, die das Abspielen der Musik in Bezug auf verschiedene Wünsche des Hörers erheblich vereinfachen. Bei der CD ist hier neben den kleineren Abmessungen in erster Linie die entfallende Notwendigkeit des Seitenwechsels trotz verlängerter Spieldauer gegenüber der Schallplatte zu erwähnen, die nun 74 Minuten (heute auch bis zu 80 Minuten) anstatt 45 Minuten beträgt. Der CD-Player verfügt über neue Bedienelemente, wie die zufällige Abspielreihenfolge, den Wiederholungsmodus oder die Skip-Funktion, deren weitere Erklärung an dieser Stelle nicht nötig scheint. Mit dem MP3-Player folgt ein weiterer Sprung bezüglich der Speicherkapazität. Bereits die ersten, am Massenmarkt vertriebenen Geräte konnten mehrere CD-Alben im MP3-Format gleichzeitig abspeichern. Der meistverkaufte MP3-Player *iPod* der Firma Apple speichert je nach Modell zwischen 1GB und 120 GB Musik und andere Daten⁷⁷. Der Zugriff auf die Musik verschiedener Interpreten ist ohne einen Wechsel des Tonträgers möglich. Die oben genannten Funktionen des CD-Spielers wurden übernommen und um die Möglichkeit der Playlistwiedergabe (bei vielen Playern ist zusätzlich das Erstellen von Playlisten möglich) erweitert. Eine einmal erworbene MP3 kann der Käufer außerdem auf mehreren Geräten gleichzeitig verwenden. Effektiv eingeschränkt wurde dieser Komfort durch das Digital Rights Management DRM, das die Übertragung einer MP3 Datei auf maximal fünf Geräte beschränkt. Legale Downloadshops verwendeten diesen Kopierschutz lange Zeit, haben ihr Angebot seit Anfang des Jahres 2009 aber sukzessive davon befreit⁷⁸.

⁷⁷ www.apple.de

⁷⁸ Bundesverband Musikindustrie 2009, 19

Qualität

Für die Messung der Qualität eines Tonträgers gibt es viele Parameter, die nicht alle einen Vergleich verschiedener Medien miteinander erlauben. Ich möchte daher versuchen, gewisse Tendenzen bei der Tonträgerentwicklung aufzuzeigen, die eine ungefähre Qualitätseinordnung ermöglichen. Prinzipiell sind alle analogen Medien einer gewissen Abnutzung unterworfen. Bei der Schallplatte geschieht dies durch die Abnutzung der Rillen während des Abtastvorganges durch die Nadel. Mit leichten Abtastsystemen und präzise geschliffenen Nadeln lässt sich dieser Verschleiß verringern jedoch niemals vollkommen eliminieren. Magnetbänder jeder Art besitzen Verschleißigenschaften, die vor allem durch eine lange Einlagerungszeit begünstigt werden. Die auf dem Band dicht aufeinander folgenden Magnetisierungen unterschiedlicher Polarität verursachen eine gegenseitige Abschwächung, die auch mit dem Begriff Selbstentmagnetisierung bezeichnet wird⁷⁹. Ein weiterer Qualitätsverlust kann durch Vor- und Nachechos entstehen, die durch einen Kopiereffekt hervorgerufen werden: Die starke Magnetisierung des Bandes an Stellen lauter Schallereignisse kann bei der Lagerung auf benachbarte Windungen einer Bandwicklung übersprechen. So können z.B. in der stillen Phase zu Beginn einer Kassettendarbietung bereits die ersten Töne als Vorecho zu hören sein. Durch die Pulsecode-modulierte Verschlüsselung der Signale sind die Inhalte digitaler Bänder vor solchen Verschleißerscheinungen relativ gut geschützt. Die Abtastung optischer Medien wie Compact Disc, DVD-A und SACD ist hingegen verschleißfrei, da kein physischer Kontakt des Abtastsystems zum Träger nötig ist. Eine unbegrenzte Haltbarkeit kann aber auch für die optischen Speichermedien nicht gewährleistet werden. Auch bei optimaler Lagerung, mit Schutz vor Staub und Licht sowie Temperaturen unter 18 Grad, können die Zersetzungsprozesse im Trägermaterial nicht aufgehalten werden. Verschiedene Studien zeigten, dass der Lack des Labelaufdruckes sich allmählich durch die CD frisst und so ihre Reflexionsfähigkeit mindert⁸⁰. Die Hersteller entwickeln daher verschiedene Materialmixe für das Trägermaterial, um entsprechende Prozesse zu verlangsamen.

Dynamikumfänge analoger und digitaler Medien möchte ich an dieser Stelle keinem direkten Vergleich unterziehen, da bei Schallplatten und Compact Cassetten starke Schwankungen je nach Herstellungsverfahren möglich sind.

⁷⁹ Dickreiter 1997, 17

⁸⁰ 3Sat - Nano 2008, online [Stand 14.06.2009]

Prinzipiell ist aber anzuführen, dass sich die Klangqualität der Schallplatte und des Plattenspielers seit deren Anfängen stark entwickelt hat und heute die »Mindestanforderungen an Schallplatten-Abspielgeräte« aus der im Jahre 1976 veröffentlichten DIN 45500 bei weitem übertrifft. Frequenzgänge bis 25 KHz und Dynamikbereiche von über 65 dB sind dabei keine Seltenheit⁸¹.

Eine fortschreitende Klangverbesserung der CD ist nicht möglich, da sie aus Gründen der Kompatibilität an die einheitliche Samplingfrequenz von 44100 Hz und eine Auflösung von 16 Bit gebunden ist. Es konnte aber bei der CD-Wiedergabe durch den Einsatz von $\Sigma\Delta$ -Digital/Analog-Wandlern in den CD-Playern im Laufe der Jahre eine Qualitätssteigerung erreicht werden. Die CD kann mit einem Frequenzgang von 0 Hz bis 20 KHz den gesamten bewusst wahrnehmbaren Hörbereich des Menschen wiedergeben und erreicht technisch eine Dynamik von 96 dB (leichte Einschränkungen entstehen durch Verluste bei der A/D- und D/A -Wandlung)⁸². Eine enorme Erweiterung von Dynamik- und Frequenzbereich können die Nachfolgeformate SACD und DVD-A bieten. Durch 24-Bit-Quantisierung bzw. direkte Speicherung eines DSD-Signals wird hier ein Dynamikbereich von über 120 dB erreicht. Durch starkes Oversampling übersteigt der Frequenzgang den Hörbereich des Menschen um ein Vielfaches.

Preis

Die Preise für Tonträger aus dem Unterhaltungsbereich sind gemessen am Verbraucherpreisindex (VPI) seit 1979 bis heute (2008) stark zurückgegangen. Stieg der VPI seitdem um 57 Punkte, sind die Preise für Tonträger nur um gut 10 Punkte gewachsen. Vor allem MP3-Downloads sind aufgrund der niedrigeren Produktionskosten günstiger für den Verbraucher als die meisten physischen Tonträger. Abspielgeräte wie Schallplattenspieler und später CD-, DVD- und Mp3-Player unterliegen mit einem 55-prozentigen Rückgang sogar einem noch stärkeren Preisverfall.⁸³

⁸¹ Kämmer 1987, 17 und Gray 1979 [Stand 17.06.2009], online

⁸² Kämmer 1987, 17

⁸³ Statistisches Bundesamt 2008, siehe Anhang

3.2 Kultur

Welche kulturelle Bedeutung dem Tonträger in der Gesellschaft beigemessen wird, zeigt der Umgang mit dem damals neuen Medium in den ersten Jahren seiner Erfindung. Eine außerordentlich starke Medienresonanz informierte schlagartig grenzüberschreitend über die Erfindung und weckte eine große Faszination für die »konservierte Stimme« bei allen Bevölkerungs- und Industriegruppen. Der Phonograph und später sein Nachfolger, das Grammophon, markieren neben der Erfindung anderer Medienformen wie Schrift, Fotografie, Filmaufzeichnung etc. einen der bedeutsamsten medienkulturellen Wendepunkte unserer Geschichte.⁸⁴ In der ständig fortschreitenden Entwicklung des Tonträgers gab es viele grundlegende Veränderungen der Technik, die auch immer einen Einfluss auf die (Medien-)Gesellschaft mit sich brachten. In einem gesellschaftlichen Gefüge, geprägt durch medientechnische und ökonomische Veränderungen von solch grundlegender Qualität wie sie für den Rezipienten von auditiven und speziell musikalischen Inhalten zur Zeit erreicht wird, ist daher auch der Einfluss auf die kulturelle Positionierung des Tonträgers von Bedeutung. In dem folgenden Abschnitt wird der Versuch unternommen, diese Position zu beschreiben und einen möglicherweise sich vollziehenden Wandel zu erkennen. Der damit verbundene Einfluss auf die Gesellschaft soll dabei nicht untersucht werden.

Die kulturelle Wahrnehmung des Tonträgers lässt sich in vier übergeordnete Epochen einteilen. Eine spezifischere oder vollkommen andere Einteilung ist sicherlich möglich, dient hier aber nicht der Beantwortung der Fragestellung, da vor allem die Entwicklung des Mediums in den letzten Jahren betrachtet wird. Die erste Epoche umfasst die Zeit von der Erfindung der Tonaufzeichnung bis zur Integration eines Marktes und einer Positionierung des Mediums im Unterhaltungssektor. In dieser Zeit lernte die Industrie auf welchen Wegen eine Vermarktung möglich und sinnvoll ist und der Konsument fing an den Tonträger mit konservierten Wort- und Musikbeiträgen der kulturellen Bedürfnisbefriedigung zuzuordnen und auch als solche zu nutzen⁸⁵. Die zweite Epoche beschreibt die Ära der Langspielplatte als Hauptumsatzträger der Musikwirtschaft bis zur Markteinführung der Compact Disc. Es vollzog sich ein Wandel vom schnellen Konsum z.B. zum Tanzen, wie er bei den vorher

⁸⁴ Große 1989, 12 f.

⁸⁵ Große 1989, 57 und 62

etablierten fünf- bis zehnminütigen Platten üblich war, hin zur ernsthaften Auseinandersetzung mit dem Tonträger⁸⁶. Die CD leitet die dritte Epoche, das digitale Zeitalter ein. Vor allem die stark propagierte Qualitätsverbesserung und ein benutzerfreundlicherer Umgang mit dem Medium prägten die auditiven Medien in dieser Phase. Die vierte Epoche ist noch stark gekennzeichnet durch die Entwicklungen des digitalen Zeitalters, lässt sich von ihr aber durch die hinzugekommene Komponente der sozialen Vernetzung der Musiknutzer und deren Tonträgern abgrenzen und kann auf die Zeit ab der Jahrtausendwende, als das Internet eine immer stärker Verbreitung fand, datiert werden.

Der Wandel des Tonträgers hin zu einem künstlerisch und kulturell ernsthaften Medium vollzog sich schleichend, besetzte aber mit der Entwicklung der Langspielplatte schlagartig ein bis dahin unerreichtes Niveau. Nachdem die meisten bekannten Künstler dem Medium zuerst sehr skeptisch gegenüberstanden, waren zu diesem Zeitpunkt die meisten von ihnen bereits davon überzeugt, auch mit einer Schallplatte künstlerische Inhalte transportieren zu können⁸⁷. Mit der Langspielplatte war es nun möglich vollständige klassische Stücke auf einem Tonträger unterzubringen, wodurch das bisher von der Unterhaltungsmusik dominierte Repertoire der Plattenfirmen durch die ernsthafte Musik erweitert wurde. Die Unterteilung klassischer Werke in einzelne Sätze lässt zwar auch eine unterbrochene Wiedergabe zu, durch den harmonischen Spannungsbogen und die Dramaturgie, die ein klassisches Werk meist von Anfang bis Ende durchziehen, bietet jedoch die vollständige Wiedergabe in einem Zug einen besonderen Hörgenuss. Gegen Ende dieser Epoche bildete sich schließlich eine gewisse Anpassung der Tonkunst an das etablierte Medium heraus. Die Band *The Beatles* musizierte ab 1966 ausschließlich für den Tonträger und wich vollständig vom Liveauftritt ab. Es war diese Epoche, die das sogenannte Konzeptalbum hervorbrachte, dass mit seiner durch den Künstler gewählten Erscheinung eine Empfehlung zur Art der Rezeption enthält. Es soll möglichst ohne Unterbrechung, zusammenhängend, mit dem nötigen Fokus auf die musikalischen Inhalte durchgehört werden. Bis zu diesem Zeitpunkt hatte sich der Tonträger bereits als eine zweite Aufführungsform der Tonkunst neben dem Bühnenauftritt etabliert⁸⁸.

Durch die Erfindung und Markteinführung der Compact Disc wandelte sich der

⁸⁶ siehe weiter oben (Abschnitt 1.2 > Schallplatte)

⁸⁷ Große 1989, 19 ff.

⁸⁸ Görne 1989, 51 ff.

Tonträger von dieser Schallplattenaufführung zu einem Musikspeicher, auf dessen Inhalt in Sekundenschnelle zugegriffen werden konnte. Mit der sogenannten Skip-Funktion bestand nun die Möglichkeit von einem Titel zum nächsten zu springen und weniger beliebte Stücke auf Knopfdruck zu übergehen. Weitere ähnliche Eigenschaften sind weiter oben im Text beschrieben. Die Übertragung solcher Eingriffe auf eine Konzertaufführung erscheint geradezu absurd, da hier allein der Künstler über den Verlauf des Programms entscheidet. Diese neuen Funktionen bieten dem Nutzer somit einen höheren Bedienkomfort, entfernen das Medium Tonträger aber gleichzeitig von seinem Ursprung, der Konzertaufführung.

Dieser Trend setzt sich in Zeiten der Vernetzung der Menschen via Internet und der massenhaften Nutzung der MP3 als digitalem Tonträger fort und wird technologisch weiter verstärkt. Mit einem MP3-Player wird die zufällige Abspielreihenfolge, die bei der CD noch auf ein Album und damit, sieht man von Compilations ab, auch auf einen Interpreten beschränkt ist, nun auf tausende Songs unterschiedlichster Künstler ausgedehnt. Auch alle anderen unter 3.1 aufgeführten Nutzungsformen der MP3 ermöglichen diese Wiedergabeform. On-Demand-Angebote gehen noch einen Schritt weiter und stellen auch Musik bereit, die der Rezipient weder ausgesucht, noch selbst beschafft haben muss.

Der in 2.1 beschriebene starke Nachfragezuwachs auf dem Gebiet der Einzeltracks, vor allem im MP3-bestimmten Download- und Mobilebereich, ist in diesem Zusammenhang ein Anzeichen für eine sich wandelnde kulturelle Bedeutung des Tonträgers. Nicht mehr das eigentliche künstlerische Produkt Musikalbum erweckt bei vielen, vor allem jungen Nutzern Interesse, sondern lediglich einzelne Songs daraus, die von den Plattenfirmen zur Bewerbung des Longplayers als Single veröffentlicht wurden. Diese Entwicklung lässt sich unter anderem durch die oben beschriebenen Nutzungsmöglichkeiten moderner MP3 Systeme begründen, da vor allem die Funktionen Playlist und Zufallswiedergabe nicht das ununterbrochene Anhören eines Albums sondern das Abspielen von Einzeltracks zum Ziel haben.

Mit welcher Aufmerksamkeit und welchem Focus auf musikalische und künstlerische Inhalte der Hörer einen Tonträger rezipiert, wurde bisher leider in keiner mir bekannten Studie erfasst. Die bekannten Möglichkeiten von MP3-Playern und die Betrachtung alltäglicher Situationen lassen aber auch hier einen Wandel, zumindest bei bestimmten Zielgruppen und in bestimmten

Nutzungsformen vermuten. So ist die musikalische Untermalung im Kaufhaus oder dem Fitnesscenter, beim Friseur und in der Gastronomie eine alltägliche Erscheinung. Dabei ist es das Ziel der Betreiber solcher Musikangebote, den Kunden unterbewusst emotional zu beeinflussen⁸⁹. Eine konzentrierte Wahrnehmung der Musik ist oft schon aufgrund der zu geringen Lautstärke und der starken Umgebungsgeräusche nicht möglich, wird aber vor allem durch den Konsumenten nicht vordergründig gewünscht, da dieser je nach Situation den Zweck des Einkaufes oder des Sporttreibens verfolgt. Ein ähnliches Bild zeigt sich bei der Nutzung des MP3-Players, der für eine mobile Nutzung mit Kopfhörern ausgelegt ist. Er eignet sich ebenfalls zur sekundären Nutzung während des Sporttreibens oder ähnlichem.

⁸⁹ Rötter/Plößner 1994, 154 ff.

4. Fazit und Ausblick

Der technische Fortschritt unterwirft die Industrie einer bisher unübertroffenen Transformation. Viele Techniken eröffnen den Firmen neue Möglichkeiten den Kunden anzusprechen. Allerdings ist deren entschlossene und wirtschaftliche Nutzung einem schwerwiegenden Faktor unterstellt.

Die Entwicklung hat ein Tempo erreicht, mit dem die Industrie kaum Schritt halten kann. Im Studiobereich wurden beträchtliche Fortschritte sowohl bei der Aufnahmequalität, als auch bei der Handhabung der Technik gemacht. Durch die Vereinfachung und Beschleunigung der Bedienung wird auch eine komplexere Bearbeitung der Aufnahmen möglich. Mit den Medien SACD und DVD-A wurde durch die Einführung von Mehrkanalton für Tonträger ein neues Klangfeld eröffnet, das noch viele Möglichkeiten zum Experimentieren bietet. Die hohe Klangqualität wird aber nur von einer kleinen Nutzergruppe nachgefragt. Bei einem Großteil aller Produktionen sind die Produzenten dem wirtschaftlichen Konkurrenzkampf unterlegen, der sich durch die Angebots- und Medienvielfalt stärker denn je auf Produktionsmethoden auswirkt.

Um einen gewissen Qualitätsanspruch zu wahren, ist es die Aufgabe von Künstlern und Produzenten solchen Trends entgegen zu treten. Professionelle Ausbildungen und viel Erfahrung werden daher in diesen Bereichen immer wichtiger.

Den wirtschaftlichen Problemen in der Musikindustrie müssen die Plattenfirmen so schnell wie möglich mit Konsequenz entgegen, um einen Verfall der Kultur zu verhindern. Dazu müssen Einsparungspotentiale, die sich durch die Digitalisierung in vielen Ebenen der Tonträgerherstellung eröffnen, genutzt werden und so eine stabile Position der Industrie wieder geschaffen werden. Große Anstrengungen sind erforderlich, um die Produkte Compact Disc und alle legalen Varianten des MP3 Angebots (wieder) attraktiv für den Konsumenten zu gestalten. Dies geht einher mit einer drastischen Reduzierung der illegalen Downloads und Raubkopien, da dieser Bereich die zurzeit einzige ernstzunehmende „Konkurrenz“ darstellt. Der wichtigste Schritt bei diesem Vorhaben ist die Schärfung eines gesellschaftlichen Bewusstseins, dass die Folgen des aktuellen Trends erfasst. Nicht nur Industrie und Wirtschaft sind von den Folgen dieser Entwicklung bedroht; auch den kulturschaffenden

Künstlern bricht neben der Bühnenaufführung ein, erst durch diese Industrie erschaffenes, Existenzstandbein weg. Um ein solches Bewusstsein zu schärfen, muss auch über den korrekten Einsatz von Sanktionen nachgedacht werden. Vor allem ist aber eine intensive Aufklärung nötig. Mit steigenden Verbindungsgeschwindigkeiten wird zunehmend auch die Filmbranche von der Internetpiraterie erfasst, wodurch auch sie zu einem Richtungswechsel gezwungen ist⁹⁰. Die Musikindustrie muss eine Zusammenarbeit anstreben um gemeinsam effektive Lösungen zu Erarbeiten.

Der Massenmarkt der Zukunft ist das Internet. Hier bieten sich dem Konsumenten die größten Vorteile für einen bequemen, kostengünstigen und angebotsreichen Musikkonsum. Der Markt hat jedoch in seinen verschiedenen Entwicklungsphasen einige Produkte erschaffen, deren Fortbestand noch für lange Zeit sehr wahrscheinlich ist. Die Zukunft von physischen Tonträgern lässt sich nicht genau vorhersagen. Gewiss ist aber, dass diese Produktgruppe bestimmte Bedürfnisse abdeckt, die mit Internet-Medien heute und auch in Zukunft nur schwer erfüllt werden können. Solange eine Nachfrage für solche Produkteigenschaften besteht, bleibt auch der Markt in die vielen verschiedenartigen Bereiche unterteilt.

Der Verbraucher hat im Ergebnis all dieser Entwicklungen augenscheinlich hauptsächlich Vorteile. Angebotsvielfalt und Komfort bestimmen den heutigen Musikgenuss. Damit wird ein ernsthafter Bezug zum Medium aber erschwert, wodurch dem Konsumenten ein stärkerer Eigenantrieb zur Erhaltung einer kritischen und reflektierten Betrachtungsweise abverlangt wird. Gelingt die Erhaltung eines derartigen Bezugs zum Medium und vor allem den künstlerischen Inhalten nicht, kann das einen Verfall der musikalischen Kultur nach sich ziehen.

⁹⁰ Dieter Gorny 2009

Literaturverzeichnis

Bücher und Schriften

Bergtold, Fritz: »Moderne Schallplattentechnik – Taschen-Lehrbuch der Schallplatten-Wiedergabe«. München 1954

Bruch, Walter: »Vom Glockenspiel zum Tonband - Die Entwicklung von Tonträgern in Berlin«. Berlin 1981

Dickreiter, Michael: »Handbuch der Tonstudioteknik«. Band 2, 6. Auflage, München 1997

Eckl, Rainer/Pütgens, Leonard/Walter, Jürgen: »A/D- und D/A- Wandler Grundsaltungen, Prinzipsaltungen und Applikationen«. München 1990

Fischer, Martin: »Faszination Schellack – Grammophone, Schellackplatten, Nadeldosen«. Regenstauf 2006

Gray, Robert M.: »Quantization Noise Spectra«. Erschienen in: IEEE Transactions on information theory, Vol. 36, No. 6, New York, USA 1990

Große, Günter: »Von der Edisonwalze zur Stereoplatte«. Berlin 1989

Hogenauer, Eugene B.: »An economical class of digital filters for decimation and interpolation«. Erschienen in: IEEE Transactions on acoustics, speech, and signal processing, Vol. 29 No. 2, Kalifornien, USA 1981

Janssen, Erwin/Reefman, Derk: »Super-Audio CD: An Introduction«. Erschienen in: IEEE Signal Processing Magazine, Vol. 20, Issue 4, New York, USA 2003

Kämmer, Heinz W.: »Die Compact Disc – Funktion und Technik der CD-Musikwiedergabe«. München 1987

Kammeyer, Karl-Dirk/Kroschel, Kristian: »Digitale Signalverarbeitung - Filterung und Spektralanalyse mit MATLAB-Übungen«. 6. Auflage, Wiesbaden 2006

Kiencke, Uwe/Eger, Ralf: »Messtechnik - Systemtheorie für Elektrotechniker«. 6. Auflage, Berlin/Heidelberg/New York 2005

Klingler, Walter/Müller, Dieter K.: »ma 2008 Radio II: Stabile Nutzungsmuster auch bei erweiterter Grundgesamtheit«. Erschienen in: Media Perspektiven, Heft 10/2008, Frankfurt/Main 2008

Kuzuki, Bike H./ Fuchigami, Norihiko/ Stuart, Robert J.: »DVD-Audio Specifications«. Erschienen in: IEEE Signal Processing Magazine, Vol. 20, Issue 4, New York 2003

Lang, Jürgen K.: »Das Compact Disc Digital Audio System - Ein Beispiel für die Entwicklung hochtechnologischer Konsumelektronik«. Dissertation (als Buch erschienen), Aachen 1996

Löhning, Michael: »Analyse und Modellierung der Effekte von Abtast-Jitter in Analog-Digital-Wandlern«. Aachen 2006

Norm DIN 45500 Teil 3. Heimstudio-Technik (HiFi); Mindestanforderungen an Schallplatten-Abspielgeräte

Pohlmann, Ken: »Compact Disc Handbuch – Grundlagen des digitalen Audio, technischer Aufbau von CD-Playern, CD-ROM, CD-I, Photo-CD«. Vaterstetten 1994

Pohlmann, Ken: »Principles of Digital Audio«. 5. Auflage, New York, USA 2005

Rötter, Günther/Plößner Catrin: »Über die Wirkung von Kaufhausmusik«. Erschienen im: Jahrbuch der Deutschen Gesellschaft für Musikpsychologie, Band 11, Kassel 1994

Seifart, Manfred: »Analoge Schaltungen«. 6. Auflage, Berlin 2003

Tyler, Jim: »DVD-Video: multimedia for the masses«. Erschienen in: IEEE Multimedia, Vol. 6, Issue 3, Arizona, USA 1999

Urbansky, Ralph: »Spektrale Formung des Quantisierungsfehlers«, Erschienen in »Messtechnische Charakterisierung der AD-/DA-Umsetzung - Vorträge des VDE/ITG-PTB-Seminars Schloss Reisenburg 2000«, Braunschweig/Berlin 2002

Weinzierl, Stefan (Hrsg.): »Handbuch der Audiotechnik«. Berlin,/Heidelberg 2008

Zander, Horst: »Datenwandler AD/DA-Wandler – Schnittstellen der digitalen Signalverarbeitung«. Würzburg 1985

Zollner, Manfred/Zwicker Eberhard: »Elektroakustik«. 3 Auflage, Berlin/Heidelberg 1993

Zwicker, Eberhard: »Psychoakustik«. Berlin/Heidelberg/New York 1982

Internetquellen

3Sat - Nano (Hrsg.): »Eineinheitlicher Standart für die Flut digitaler Daten«.

Online veröffentlicht [Stand 14.06.2009] unter:

<http://www.3sat.de/dynamic/sitegen/bin/sitegen.php?tab=2&source=/nano/bstuecke/119799/index.html>

4C Entity, LLC (Hrsg.): »How CPRM & CPPM Work - Flexible Protection for Digital Content«. online veröffentlicht in 2008 [Stand 15.06.2009] unter:

<http://www.4centity.com/docs/How%20CPRM%20Works.pdf>

Arbeitsgemeinschaft der öffentlich-rechtlichen Rundfunkanstalten der Bundesrepublik Deutschland (ARD) (Hrsg.): »ARD Jahrbuch 2008«. Online veröffentlicht in 2008 [02.05.09] unter:

<http://www.ard.de/intern/publikationen/ard-jahrbuch/-/id=8080/nid=8080/did=912240/ay9621/index.html>

Arbeitsgemeinschaft der Landesmedienanstalten in der Bundesrepublik Deutschland (ALM) (Hrsg.): »ALM Jahrbuch 2007 - Landesmedienanstalten und privater Rundfunk in Deutschland«. Online veröffentlicht in 2008 [02.05.2009] unter:

http://www.alm.de/fileadmin/Download/ALM_Jahrbuch_2007_Druckversion.pdf

Beis, Uwe: »Eine Einführung in Delta-Sigma-Wandler«. Online veröffentlicht

[Stand 26.04.2009] unter: [http://www.beis.de/Elektronik/DeltaSigma/](http://www.beis.de/Elektronik/DeltaSigma/DeltaSigma_D.html)

[DeltaSigma_D.html](http://www.beis.de/Elektronik/DeltaSigma/DeltaSigma_D.html)

beyerdynamic GmbH & Co. KG (Hrsg.): "Mikrofonarten – Kohlemikrofon" elektronisch veröffentlicht [Stand: 15.05.2009] unter:

<http://www.beyerdynamic.de/home/service/faqs/mikrofon-faqs/mikrofonarten.html>

Biethan, G.: »Analog-Digital-Umsetzer - Vorlesungsscript Digitaltechnik« Elektronisch veröffentlicht [Stand 12.05.2009] unter:

http://www.fh-friedberg.de/fachbereiche/e2/digital-labor/Unterlagen/DT_Script/DT2SCKA9.pdf

Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen: »Jahresbericht 2008«, online veröffentlicht 2009 [Stand 02.05.2009] unter:

<http://www.bundesnetzagentur.de/media/archive/15901.pdf>

Bundesverband Musikindustrie e.V. (Hrsg.): »Jahresbericht - Musikindustrie in Zahlen 2008«. Online veröffentlicht [Stand 14.06.2009] unter:

http://www.musikindustrie.de/uploads/media/ms_branchendaten_jahreswirtschaftsbericht_2008.pdf

Enders, Bernd: Lehrveranstaltung »Apparative Musikpraxis I«. Online veröffentlicht [Stand 15.05.2009] unter:

http://www.musik.uni-osnabrueck.de/lehrende/enders/lehre/App_Musik_I/Tonbandmaschine.htm

Dieter Gorny: »Radiointerview zur Branchenkrise«. In dem Podcast des RadioEins Medienmagazins vom 30.05.2009, online veröffentlicht [Stand 03.06.2009] unter:

<http://www.radioeins.de/archiv/podcast/medienmagazin.html>

Exner, Reinhard: »22. Deutsche Rundfunk- Fernseh- und Phono-Ausstellung Berlin, 25. August – 3. September 1961«. Online auf den Seiten des Deutschen Rundfunkmuseum e.V. veröffentlicht [Stand 15.06.2009] unter:

<http://www.drm-berlin.de/uebersicht/technikgeschichte/neubeginn/wanderschaft2/wanderschaft2.html>

Fichtinger: online veröffentlicht [23.06.2009] unter:

<http://www.fichtinger.org/marginpic.php?lang=de&foto=phonographwalze1&subtextid=0>

Graff, Bernd: »Der gute Ton – nun auch im alten Europa«. Online veröffentlicht [Stand: 02.06.2009] unter:

<http://www.sueddeutsche.de/kultur/502/407278/text/>

Gray, Kevin: »Producing great sounding phonograph records (or Why Records Don't Always Sound Like the Master Tape)«. Online veröffentlicht 1997 [Stand 17.06.2009] unter:

<http://www.recordtech.com/prodsounds.htm>

Hägler, Thomas/Schramm Holger: »Musikhören im MP3-Zeitalter«. Online veröffentlicht [Stand 08.06.2009] unter:

http://www.mediaculture-online.de/fileadmin/bibliothek/schramm_haegler_mp3/schramm_haegler_mp3.pdf

Hochschule der Medien HDM (Hrsg.): »Digitale Tonträge – Aufnahmemedien«.

Online veröffentlicht in der digitalen Bibliothek der HDM [Stand 27.05.2009] unter:

<http://v.hdm-stuttgart.de/musik/bibliothek/bestand/aufnahme.htm>

Meitz, Volker: »Die Historische Entwicklung von Kondensatormikrofonen unter Berücksichtigung von Schaltungstechnik und Klangverhalten«.

Online veröffentlicht [Stand: 07.06.2009] unter:

<http://www.jogis-roehrenbude.de/Roehren-Geschichtliches/Neumann-Mikro/historik.pdf>

PhonoNet GmbH: Online veröffentlicht [Stand 04.06.2009] unter:

<https://www.musik-promotion.net/imprint.php?language=de>

Premium Portal Ltd. (Hrsg.): Online veröffentlicht [Stand 07.06.2009] unter:

<http://www.dslweb.de/dsl-anschluss.htm>

Rankers: »Die Geschichte der Tonaufzeichnung«.

Online veröffentlicht [Stand 20.04.09] unter:

<http://www.tonaufzeichnung.de/>

Schubert, Hans: »Historie der Schallaufzeichnung«.

Online veröffentlicht von dem Deutschen Rundfunkarchiv [Stand 11.05.09]

unter:

http://www.dra.de/rundfunkgeschichte/radiogeschichte/pdf/historie_der_schallaufzeichnung.pdf

Sengpiel, Eberhard: »Arten der Schallumwandlung bei Mikrofonen«.

Online veröffentlicht [Stand 15.05.09] unter:

<http://www.sengpielaudio.com/ArtenDerSchallumwandlungDurchMikr.pdf>

Singulus Technologies AG (Hrsg.): »Geschäftsbericht 2002 Singulus«. Online veröffentlicht [Stand 14.06.2009] unter:
http://www.singulus.de/fileadmin/media/pdf/gb/gb2002_d/GB_2002d_kl.pdf

Urban Heinz/Rudtke Harry: »Die Geschichte der Tonaufzeichnung«. Online veröffentlicht [stand 03.05.09] unter:
<http://www.rdtev.de/pdf/tonaufzeichnung.pdf>

Zeitschrift MIX: Online veröffentlicht [Stand 24.05.2009] unter:
http://mixonline.com/TECnology-Hall-of-Fame/1978_studer_A800_multitrack/

Studentische Abschlussarbeiten

Aßel, Martin: »Entwicklung einer Demonstrationsplatine für Sigma-Delta A/D-Wandler«. Diplomarbeit, Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig (FH) 2002, online veröffentlicht [Stand 26.04.2009] unter: http://fbeit.htwk-leipzig.de/~reinhold/files/diplomarbeit_assel.pdf

Becker, Steffen: »Entwurfskonzept für Sigma-Delta-A/D-Wandler«. Diplomarbeit, Technische Universität Dresden, Fakultät Elektrotechnik 1996, online veröffentlicht [Stand 26.04.2009] unter: http://fbeit.htwk-leipzig.de/~reinhold/files/diplom_becker.ps.gz

Blech, Dominik/Yang, Min-Chi: »Untersuchung zur auditiven Differenzierbarkeit digitaler Aufzeichnungsverfahren - Hörvergleich Direct Stream Digital und High-Resolution-PCM (24bit/176,4kHz)«. Diplomarbeit, Hochschule für Musik Detmold, Erich-Thienhaus-Institut, Detmold 2004, online veröffentlicht [Stand 30.04.09] unter: <http://old.hfm-detmold.de/eti/projekte/diplomarbeiten/2004/dsdpcm/pdf/Gesamtarbeit%20neu.pdf>

von Brockdorff, Tobias: »Sound Engineering - Dynamik und Pegel - Von der Aufnahme bis zum Master«. Diplomarbeit im Studiengang Audiovisuelle Medien an der Hochschule der Medien, Stuttgart 2006, online veröffentlicht [Stand: 05.06.2009] unter: <http://www.hdm-stuttgart.de/~curdt/Brockdorff.pdf>

Meitz, Volker: »Die historische entwicklung von Kondensatormikrofonen - unter Berücksichtigung von Schaltungstechnik und Klangverhalten«. Magisterarbeit, TU Berlin 2005

Schriber, Pascal: »Das neue Audiospeicherformat MP3«. Diplomarbeit, Universität Zürich 2000, online veröffentlicht [Stand 29.05.2009] unter: <http://www.ifi.uzh.ch/mml/publications/diplomarbeiten/schriber.pdf>

Interviews

Wiegers, Charlotte (Marketing/EMI Music Germany GmbH & Co. KG):
»Digitalrelease«, e-Mail-Interview, charlotte.wiegers@emimusic.de, 02.06.2009

Wittke, Thorsten (Chefredakteur/Radio Paradiso Brandenburg GmbH & Co. KG): »Radioalltag«, Telefoninterview, 04.06.2009

Fritzsche René (Leiter Entwicklung/IMM Elektronik GmbH): »Der Einsatz von Sigma-Delta-Wandlern in der Praxis«, e-Mail-Interview, Rene.Fritzsche@imm-gruppe.de, 02.06.2009