

Jürgen K. Lang



Das Compact Disc Digital Audio System

Ein Beispiel für die Entwicklung
hochtechnologischer Konsumelektronik

LANG

Das Compact Disc Digital Audio System

Das *Compact Disc Digital Audio System* ist eines der erfolgreichsten elektronischen Konsumgüter des ausgehenden 20. Jahrhunderts. Wie es entwickelt wurde und warum es sich gegenüber konkurrierenden Systemen durchsetzen konnte, soll in verständlicher und lebhafter Form erörtert werden. Dieses Buch bietet die Gelegenheit, aus der detailreichen Analyse einer Erfolgsgeschichte wertvolle Schlüsse für die Zukunft zu ziehen.

Jürgen K. Lang
c/o Lehrstuhl für Geschichte der Technik
RWTH Aachen (AVZ) · D-52056 Aachen

ISBN 3-00-001052-1

Das Compact Disc Digital Audio System



Das Compact Disc Digital Audio System

Ein Beispiel für die Entwicklung
hochtechnologischer Konsumelektronik

Von der Fakultät für Elektrotechnik
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen
zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors
der Ingenieurwissenschaften genehmigte Dissertation

vorgelegt von Diplom-Ingenieur
Jürgen Karl Lang
aus Bensberg, jetzt Bergisch Gladbach

Jürgen Karl Lang wurde am 10. Januar 1966 in Bensberg, jetzt Bergisch Gladbach, geboren. Er studierte Elektrotechnik an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen mit dem Abschluß des Dipl.-Ing. Seit 1992 war er wissenschaftlicher Mitarbeiter (seit 1993 als wiss. Angestellter) am Lehrstuhl für Geschichte der Technik der RWTH Aachen bei Univ.Prof. Dr. Walter Kaiser.

Referent: Universitätsprofessor Dr. phil. Walter Kaiser
Korreferent: Universitätsprofessor Dr.-Ing. Hans Dieter Lüke
Tag der mündlichen Prüfung: 29. Oktober 1996

Lang, Jürgen K.:
Das Compact Disc Digital Audio System :
ein Beispiel für die Entwicklung hochtechnologischer
Konsumelektronik / Jürgen K. Lang. - Aachen:
Selbstverl. Jürgen K. Lang, 1996
Zugl.: Aachen, Techn. Hochsch., Diss., 1996
ISBN 3-00-001052-1

Dissertation an der Fakultät für Elektrotechnik der
Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen

ISBN 3-00-001052-1

© Jürgen K. Lang. Alle Rechte vorbehalten.
Druck: J. Lönnes & I. Schmitz, Aachen
Abbildung auf der Vorderseite: „Pinkeltje“-
Abspieleinheit eines CD-Prototyps, Foto: Lang

Bestelladresse: J.K. Lang
c/o Lehrstuhl für Geschichte der Technik
RWTH Aachen (AVZ) · D-52056 Aachen

Vorwort

Dieses großartige Dissertationsprojekt hat mich in die glückliche Lage versetzt, sehr viel zu lernen. Wegen der ungewöhnlich breit angelegten Thematik bot sich mir die Gelegenheit, beim Blick über den technischen Tellerrand eindrucksvolle Einblicke in Managementprozesse internationaler Industrieunternehmen zu gewinnen.

Um diese Erkenntnisse weiterzuvermitteln, habe ich mich bemüht, die Dissertation verständlich und spannend zu verfassen. Ich würde mich freuen, wenn der Leser — trotz der formalen Struktur einer wissenschaftlichen Arbeit — meine Begeisterung bei der Bearbeitung dieser Studie nachempfinden kann.

Danksagung

Diese Arbeit wäre ohne die freundliche Mitwirkung einer Reihe von Personen nicht zustande gekommen. Für ihre Zeit, ihr Engagement und ihre Bereitschaft, sich als Lektoren zur Verfügung zu stellen, danke ich herzlich Herrn Dr. I.J. Blanken, Herrn Björn Blüthgen, Herrn Peter K. Burkowitz, Herrn Dr. Hermann Franz, Herrn J.J. Mons, Herrn ir. Lou F. Ottens, Herrn Prof. J.B.H. Peek, Herrn Joop P. Sinjou, Herrn J.J.G.Ch. van Tilburg und Herrn Peter Zombik.

Außerdem danke ich allen, die ich im Rahmen der Erstellung dieser Arbeit belästigt habe, für ihre Geduld, ihre Anregungen und ihre Hilfe; insbesondere gilt dieser Dank meiner Frau Ulla Bing und meiner Schwiegermutter Christa Bing, meinen Kollegen Michael Friedewald und Andreas Drüppel und außerdem dem natürlichen Feind aller Schreibfehler, Uli Reiter.

Vorwort

Für seine wertvolle fachliche Unterstützung und sein großes Interesse an der Thematik danke ich dem Korreferenten dieser Dissertation, Herrn Prof. Dr. Hans Dieter Lücke.

Spezieller Dank gebührt dem Initiator dieser Forschungs idee, Herrn Prof. Dr. Walter Kaiser. Seiner Suche nach aufschlußreichen Wechselwirkungen zwischen Wissenschaft und Technik und seinem besonderen Interesse an der historischen Aufarbeitung moderner Hochtechnologien ist es zu verdanken, daß dieses Projekt erfolgreich durchgeführt werden konnte.



Jürgen Lang

Aachen, Dezember 1996

Inhalt

1 Einleitung

1.1 MOTIVATION	1
1.2 UNTERSUCHUNGSOBJEKT CD	2
<i>Technische Unterschiede zwischen CD und LP</i>	2
<i>Fragestellungen</i>	3
<i>Vorgehensweise</i>	5
1.3 GLIEDERUNG	6
<i>Kapitel 2: Konsumgut CD</i>	7
<i>Kapitel 3: Forschungsergebnis CD</i>	7
<i>Kapitel 4: Normierende CD</i>	8
<i>Kapitel 5: Impulsgebende CD</i>	8

2 Konsumgut CD

2.1 KONSUMIERBARE TECHNOLOGIE	9
2.2 INSPIRATION UND INKUBATION (1972-1976)	12
<i>VLP als technischer Ausgangspunkt</i>	12
<i>VLP als Extrem-Langspielplatte</i>	14
<i>Geburtsstunde der Compact Disc</i>	15
<i>Keimzelle der CD: ALP und Quadrophonie</i>	17
2.3 PHASE DER INNOVATION (1976-1978)	21
<i>Klangliche Probleme</i>	23
<i>Der Schritt zur Digitaltechnik</i>	25
<i>PCM: Quadro vs. Compact</i>	27
<i>Marktüberlegungen</i>	28
2.4 KOORDINATION UND KOOPERATION (1978-1980)	32
<i>CD-Lab und Marketing</i>	32

<i>Compact Disc und „Pinkeltje“</i>	33
<i>Hörprobe</i>	36
<i>Präsentationen</i>	39
<i>Konkurrenz und Kooperation: die Japanreise</i>	41
<i>Sony — ein erfahrener Partner</i>	46
<i>Technische Kooperation — inhaltliche Änderungen</i>	48
<i>Verlängerung der Spielzeit einer CD</i>	52
<i>Ende der DAD Standardization Conference</i>	54
2.5 ENDSPURT (1980-1982)	57
<i>Partner und Konkurrenten</i>	59
<i>Vorbereitung eines Marktes</i>	63
<i>Eminente Werbung</i>	65
2.6 MUSIKSOFTWARE: SCHLÜSSEL ZUM SCHLOSS	66
<i>Desinteresse</i>	66
<i>Der Nachweis hoher Tonqualität</i>	68
<i>Der inoffizielle Startschuß</i>	69
<i>500 Tage in Hannover</i>	72
<i>Zurückhaltung und Zugzwang</i>	74
<i>Ein Markt entsteht</i>	77
<i>CD als Motor aus der Krise</i>	78
2.7 ERFOLGREICHE MARKTEINFÜHRUNG	82
<i>Drei Szenarien</i>	82
<i>Gerätevielfalt und Understatement</i>	84
<i>OEM-Technik</i>	86
<i>Markteinführung aus Käufersicht</i>	88
<i>Verzögerte Weiterentwicklung</i>	90
2.8 FAZIT	93
<i>Vermarktbare Hochtechnologie</i>	93
<i>Entmythologisierung und Konsequenz</i>	94

3 Forschungsergebnis CD

3.1 WISSENSCHAFTLICHE FORSCHUNG BEI PHILIPS	97
<i>Das „Vermächtnis“ von Gilles Holst</i>	98
<i>High Tech = High Risk</i>	101
<i>Erfolgreiche Planlosigkeit</i>	105
<i>Grundlegende Forschung „mit kleinem G“</i>	107
3.2 MIKRO-OPTIK	109
<i>Bildplattensysteme: Optik vs. Mechanik</i>	110
<i>Optische Dichtspeicherverfahren</i>	112
<i>Das DRAW-System von Philips</i>	116
<i>Der Laser als Schlüssel zur Dichtspeichertechnik</i>	117
<i>Gaslaser vs. Halbleiterlaser</i>	119
<i>Photoelektrische Forschung bei Philips</i>	121
<i>Asphärische Linsen und Optomechanik</i>	123
<i>Nachführung der optischen Ausleseinheit</i>	125
<i>Die CD als Anwendungsergebnis optischer Forschung</i>	127
3.3 MIKRO-ELEKTRONIK	129
<i>Die Revolution der ICs</i>	130
<i>IC-Herstellung bei Philips</i>	132
<i>Digitalisierung mit ICs</i>	137
3.4 DIGITALISIERUNG	139
<i>Modulation</i>	139
<i>Pulsmodulation und VLP</i>	141
<i>Digitale Modulation</i>	142
<i>Digitaltechnik: verletzliche Robustheit</i>	144
<i>Fehlerkorrekturverfahren</i>	146
<i>Block-Codierung</i>	148
<i>Convolutional Codes für die CD</i>	151
<i>Änderungswünsche von Sony</i>	154
<i>EFM — digitale Daten als analoges Signal</i>	157

<i>Erfahrungen aus Telekommunikation und Computerentwicklung</i>	160
<i>Forschung als Ressource</i>	162
3.5 FAZIT	163
<i>Planung und Glück</i>	163
<i>Vorbildlicher Wissenschaftstransfer?</i>	165
4 Normierende CD	
4.1 ABTAstrate ALS POLITIKUM	171
<i>Zur Abtaste</i>	172
<i>Standardisierung der Abtaste</i>	174
4.2 ERSTE SAMPLINGDEBATTEN (1977-1978)	176
<i>Das Digital-Dilemma</i>	176
<i>Standardisierungsstimmung</i>	178
<i>Verhältnis zur japanischen Videotechnik</i>	180
<i>Westliche Fachwelt und Profifrequenz</i>	185
4.3 STAGNATION (1978-1981)	189
<i>Hörgrenze und Hörtests</i>	190
<i>Überlegungen zur Psychoakustik</i>	195
<i>20 kHz: Magie und Marketing</i>	198
<i>Tatsachen als Argumente</i>	200
<i>Abtaste der Compact Disc: 44,1 kHz</i>	202
4.4 KRISENSTIMMUNG (1981)	203
<i>Der Prager Kompromiß: 48 kHz</i>	203
<i>Sonys Abneigung</i>	205
<i>PolyGrams Mobilmachung</i>	207
<i>Sonys Protest</i>	209
<i>Konfrontation</i>	211
<i>Tripellösung — Einigung ohne Gewinner</i>	216
4.5 NACHSPIEL (1982-1983)	218
<i>Nachbeben</i>	219
<i>44,1 kHz als weltweiter Standard</i>	221

5 Impulsgebende CD

5.1 DER IMPULS – Theorie des „Technological Momentum“	223
5.2 DIE DIGITALISIERUNG DER AUDIOTECHNIK	224
<i>Die Phase digitaler Einzelgeräte</i>	225
<i>Vordenker der digitalen Systematisierung</i>	228
<i>Bedeutung der CD für die professionelle Systematisierung</i>	231
<i>Ausbleiben der digitalen Systematisierung der „Stereoanlage“</i>	233
<i>Akzeptanz der CD-Technik durch Musikliebhaber und Musiker</i>	234
<i>Kohärenz von Audio und Computer</i>	239
5.3 MEDIENVIELFALT	241
<i>Compact Disc als Datenträger</i>	241
<i>Das Multimedia-Dreieck – Techniken der Informationsübermittlung</i>	242
<i>Das Multimedia-„Syndrom“</i>	244
<i>CD-ROM als Datenträger</i>	246
<i>Normative Konkretisierung des CD-ROM-Standards</i>	248
<i>Das CD-I-Format</i>	250
<i>Breitenwirkung durch Diversifikation</i>	251
5.4 PROBLEMATIK DER AUTHENTIZITÄT	252
<i>Tonträgerpiraterie</i>	253
<i>Mißtrauen gegenüber der Authentizität der Tonübertragung</i>	257
5.5 REVOLUTION IM VERBORGENEN	260
AKRONYME	263
LITERATUR- UND QUELLENVERZEICHNIS	267
INDEX	287

Einleitung

1.1 MOTIVATION

Das *Compact Disc Digital Audio System* ist ein auf Tonträgern basierendes Wiedergabesystem für Musikprogramme, das in den 1980er Jahren die bis dahin gebräuchliche Schallplattentechnik abgelöst hat. Der auf den übereinstimmenden Gebrauchszweck zurückzuführende rasche und reibungsarme Übergang von der Schallplatte zur „Compact Disc“¹ täuscht darüber hinweg, daß mit der Einführung der neuen Technologie tatsächlich ein einschneidender Wandel vonstatten ging.

Geradezu exemplarisch kann am Beispiel der Compact Disc nachvollzogen werden, welche Auswirkungen mit dem Einsatz von Mikroelektronik und anderen neuen Technologien verbunden sind. Obwohl beim Compact-Disc-System — im Gegensatz zur einfachen, sogar noch sinnlich wahrnehmbaren Funktionsweise der Schallplatte — komplexe Hochtechnologie zum Einsatz kam, wurde hierdurch die äußere Bedienbarkeit für den Benutzer nicht erschwert.

Damit weist auch das Compact-Disc-System zwei Eigenschaften auf, die charakteristisch für technische Entwicklungen im Zeitalter der Mikroelektronik sind. Zum einen verdeutlicht die

¹ Angelehnt an den üblichen Sprachgebrauch wird das „*Compact Disc Digital Audio System*“ nachfolgend als „Compact-Disc-System“ oder auch kurz als „Compact Disc“ oder „CD“ bezeichnet.

Fallstudie der CD-Entwicklung das Phänomen der Entkopplung von nach außen hin in Erscheinung tretenden technischen Eigenschaften (Funktionalität) und tatsächlich zugrundeliegenden technischen Wirkungszusammenhängen (Funktion). Die eigentlichen festkörperphysikalischen und informationstheoretischen Vorgänge entfernen sich dabei so sehr von der menschlichen Nachvollziehbarkeit, daß das Einfügen einer technischen Zwischenstufe — einer „Schnittstelle“ — erforderlich wird.

Ein zweites Phänomen, für das die CD-Entwicklung als Paradebeispiel herangezogen werden kann, ist sogar typisch für die gesamte Technikentwicklung seit 1945: Hochtechnologie ist nicht länger wissenschaftlichen und gewerblichen Anwendungen vorbehalten, sondern reicht immer stärker ins individuelle *Privatleben* hinein.¹ So waren es nämlich CD-Abspielgeräte, mit denen hochentwickelte Mikroelektronik erstmals in großem Maßstab Einzug in Privathaushalte hielt.

Aufgrund der exemplarischen Bedeutung des Compact-Disc-Systems für das Zeitalter der Mikroelektronik erscheint es gerechtfertigt, die Umstände seiner Entwicklung und Verbreitung im Rahmen dieser Arbeit zu untersuchen. Ziel dieser Untersuchung ist es, die vielschichtigen Zusammenhänge und Wechselwirkungen aufzuzeigen, die zur Entstehung eines bedeutsamen technischen Systems führten.

1.2 UNTERSUCHUNGSOBJEKT CD

Technische Unterschiede zwischen CD und LP



CD-Emblem

Das *Compact Disc Digital Audio System* wurde vom niederländischen Unterhaltungselektronikkonzern PHILIPS Gloeilampen N.V. in Zusammenarbeit mit dem japanischen Unterhaltungselektronikkonzern SONY Corp. entwickelt und 1982 in Japan und 1983 weltweit in den Markt eingeführt. Das aus Abspiel-

¹ Kaiser, Walter. „Technisierung des Lebens seit 1945.“ In: Braun, Hans-Joachim und Walter Kaiser. „Energiewirtschaft, Automatisierung, Information seit 1914“. Bd.5 der Reihe *Propyläen Technikgeschichte*, hrsg. von Wolfgang König. Propyläen Verlag 1992, S.283

gerät („CD-Spieler“) und Tonträger („CD“) bestehende System war als hochtechnische Alternative zur etablierten Schallplattentechnik konzipiert worden und konnte dieser gegenüber mit drei eingängigen Vorteilen aufwarten: Die *digitale Tonspeicherung* brachte eine Verbesserung der Tonqualität mit sich, die *berührungslose optische Laserabtastung* verminderte den Verschleiß der Tonträger und *kompakte Abmessungen* erleichterten ihre Handhabung und schufen neue Einsatzmöglichkeiten.

Zur Erzeugung dieser leicht nachvollziehbaren äußeren Vorteile war auf technischer Seite ein erheblicher Aufwand getrieben worden. Im Gegensatz zur Schallplattentechnik, bei der Tonsignale als „analoge“ Abbilder in einer wellenförmigen Rille gespeichert wurden, die beim Abspielen von einer dabei zum Oszillieren angeregten Nadel durchlaufen wurde, mußten bei der Digitalisierung die zu speichernden Schallsignale abgetastet und als Zahlenwerte quantisiert werden. Da bei hoher Tonqualität große Mengen solcher Zahlenwerte anfielen (mehr als achtzigtausend pro Sekunde!), mußten digitale Audiosysteme — also auch CD-Spieler — über entsprechend hohe Datenverarbeitungskapazitäten verfügen, die nur mit erheblichem mikroelektronischen Schaltungsaufwand zu erzeugen waren.

Auch die berührungslose optische Abtastung mit Hilfe eines Halbleiterlasers erforderte im Vergleich zur simplen mechanischen Abtastung der Schallplatte die Anwendung einer Reihe neuartiger Hochtechnologien. Daß das Compact-Disc-System durch die Implementation gerade erst zur Marktreife gelangter Halbleiterlaser, die Entwicklung neuartiger asphärischer Kunststofflinsen und nicht zuletzt durch die optischen Tonträger den aktuellen Stand der Technik verkörperte, verdeutlicht den großen technologischen Unterschied zwischen Schallplatte und CD — auch wenn es sich bei beiden um preisgünstige Konsumgüter handelte.

Fragestellungen

Die Tatsache, daß beide Systeme dem gleichen Gebrauchszweck dienen, weist auf den entscheidenden Ausgangspunkt der Entwicklung des Compact-Disc-Systems hin. Denn werden völlig neuartige Technologien so angewandt, daß nach außen hin ein

¹ vgl. Kap.4

bestehendes technisches System nachgeahmt und verbessert wird, so steht offensichtlich die Verbesserung des *Produkts* und nicht die intern eingesetzte Technologie im Vordergrund. Andererseits ist es die aufwendigere Technik, auf der die Produktinnovation beruht. Aufzuzeigen ist daher, unter welchen Umständen neuartige Technologien zur Entwicklung eines gewünschten Produktniveaus herangezogen wurden.

Der gleiche Aspekt gibt auch Anlaß zu einer weiteren Fragestellung. Wenn auch die relative Kontinuität des Gebrauchszwecks von Schallplatte und CD als wesentliches Merkmal erkennbar ist, so liefert dies keine Erklärung für die Unterschiedlichkeit der technologischen Niveaus. Fraglich ist also, warum es nicht bereits zuvor zu einer evolutionären Weiterentwicklung der Schallplattentechnik gekommen war und warum sich gerade die CD gegenüber konkurrierenden, jedoch weniger hochtechnischen Konzepten durchsetzen konnte.

Auch zur Technik selbst ergeben sich zwei Fragestellungen. Zum einen ist die Tatsache bemerkenswert, daß verschiedene Hochtechnologien hinsichtlich ihres Entwicklungsstandes zeitlich so günstig aufeinandertrafen, daß eine Zusammenfügung zu einem technischen System überhaupt möglich war. Außerdem stellt sich die Frage, wie es einem einzigen Unternehmen (Philips) gelingen konnte, über ein so umfangreiches Wissen zu verfügen, um beinahe im Alleingang ein völlig neuartiges und technologisch äußerst anspruchsvolles Produkt zu entwickeln.

Weiterhin reicht die reine Entwicklung des technischen Produkts Compact Disc nicht aus, um einerseits die rasche Verdrängung der etablierten Schallplattentechnik und andererseits eine normative Wirkung auf die digitale Audiotechnik hervorzurufen. Es ist daher zweckmäßig, das Verhältnis zwischen der konkreten Entwicklung des Compact-Disc-Systems und öffentlichen Fachdiskussionen in der Umbruchsituation zur Digitalisierung der Audiotechnik zu erörtern.

Angesichts der großen Verbreitung der Compact-Disc-Technik stellt sich schließlich die Frage, welche weitergehenden Auswirkungen die Ubiquität der CD mit sich brachte. Schon die nachfolgende Etablierung zweckentfremdeter Audio-CDs als Speichermedien für Computerdaten (sog. „CD-ROM“) deutet darauf hin, daß die ursprüngliche Fixierung auf den Gebrauchszweck (als Ton-

wiedergabesystem) überwunden wurde und auch andere Anwendungsbereiche von der Technologie der Compact Disc erfaßt wurden.

Vorgehensweise

Grundsätzlich ist eine sinnvolle Aufarbeitung von Technikgeschichte nur auf der Basis authentischer Quellen möglich. Wird die Entwicklung der zu untersuchenden Technik nicht öffentlich diskutiert, sondern — wie im Falle der CD — hauptsächlich von einem oder wenigen kooperierenden Unternehmen getragen, so besteht die Gefahr, daß innerbetriebliche Entwicklungsprozesse, insbesondere in der Frühphase, nicht in ausreichendem Maß schriftlich fixiert wurden und nicht in veröffentlichter Form vorliegen. Ist außerdem, wie im vorliegenden Fall, die Möglichkeit des Zugriffs auf entsprechende Unterlagen im Firmenarchiv nicht gegeben¹, so sind es Erinnerungen beteiligter Akteure, durch die das Bild der Entwicklungsgeschichte vervollständigt werden kann.

Tatsächlich erklärte sich eine Reihe von maßgeblich an der Entstehung des Compact-Disc-Systems beteiligten Personen bereit, in protokollierten Interviews über die Umstände seiner Entwicklung Auskunft zu geben. Um Verzerrungen bei der mündlichen Überlieferung der zugleich authentischen und doch bereits verarbeiteten Informationen zu vermeiden, wurde allen Personen die Möglichkeit eingeräumt, relevante Teile der vorläufigen Endfassung dieser Untersuchung zu rezensieren. Dieses besonders für Kernaspekte der CD-Entwicklungsgeschichte wichtige Quellenmaterial verließ zudem der Untersuchung einen narrativen Charakter, der die Zugänglichkeit der Thematik vereinfacht.

Neben mündlich überlieferten Informationen erwiesen sich interne Forschungsberichte und persönliche, nicht veröffentlichte Briefe und Aufzeichnungen als aufschlußreich, die — unter Wahrung von Firmengeheimnissen — ebenfalls zur Dokumentation

¹ Quellenmaterial im Firmenarchiv von Philips in Eindhoven, mit dem die Entwicklungsgeschichte des Compact-Disc-Systems dokumentiert werden könnte, ist weder öffentlich noch inhaltlich zugänglich, da eine Katalogisierung im Bearbeitungszeitraum dieser Untersuchung noch nicht erfolgt ist. (Dr. I.J. Blanken / Philips International b.v. / Company Archives, Historiography / Building EN / P.O.Box 218 / NL-5600 MD Eindhoven / Niederlande)

der Entwicklungsgeschichte der Compact Disc herangezogen werden durften. Schließlich konnte, insbesondere mit Blick auf technische Sachverhalte und Aspekte von allgemeinem Interesse, auf eine breite Basis von veröffentlichten Quellen zurückgegriffen werden.

Da diese Untersuchung auf Zusammenhänge und Wechselwirkungen abzielt, die es erlauben, die exemplarische Compact Disc in einen technischen und gesellschaftlichen Kontext einzuordnen, ginge eine vollständige, systematische Darstellung der *technischen Grundlagen* des CD-Systems über den Rahmen dieser Arbeit ebenso hinaus wie akribische Auflistungen von Verkaufsstatistiken und Modellpaletten von CD-Spielern. Entsprechende Zusammenstellungen können der Fachliteratur entnommen werden.¹ Angesichts der vielschichtigen Thematik erwies es sich außerdem als günstig, auf eine chronologische Darstellung der gesamten Entwicklungsgeschichte der CD zu verzichten, um statt dessen auf verschiedene Aspekte getrennt einzugehen. Letztlich spiegelt sich damit die für den Bereich der Mikroelektronik charakteristische Eigenschaft der Entkopplung von zugrundeliegender Technik und äußerem Zugang auch in der Struktur dieser Arbeit.

1.3 GLIEDERUNG

Zur Untergliederung der vielschichtigen Aspekte der Geschichte des *Compact Disc Digital Audio Systems* ist eine inhaltliche Vierterteilung vorgenommen worden. Darin spiegelt sich die Tatsache, daß Geschehnisse, die für die Entwicklungsgeschichte der Compact Disc von Relevanz sind, zeitlich parallel auf *vier verschiedenen Ebenen* stattfanden. Zum einen wurde die konkrete Entwicklung des technischen Systems hauptsächlich von einem Industrieunternehmen getragen. Bezüglich der wissenschaftlich-technischen Grundlagen des CD-Systems war die Ebene des internationalen wissenschaftlichen Austauschs von Bedeutung. Die weltweite

¹ Eine vollständige Darstellung der Technik der Compact Disc wird u.a. geleistet durch: Pohlmann, Ken C. *The Compact Disc Handbook*. Oxford University Press 1992.

Durchsetzung des CD-Systems erfolgte auf der Ebene wirtschaftlich-technischer Übereinkünfte. Auswirkungen der CD-Technik sind schließlich auf globaler Ebene zu finden.

Diese Reihenfolge wurde gewählt, um eine schrittweise Vergrößerung des Betrachtungsmaßstabs — vom Detail zur Totalen — zu ermöglichen. Der Beginn bei den eigentlichen Entwicklungsarbeiten erlaubt es nämlich, zunächst den Untersuchungsgegenstand selbst kennenzulernen, bevor dieser in größere Zusammenhänge eingeordnet wird. Aufgrund der Abgeschlossenheit der einzelnen Kapitel ist für den Leser die Einhaltung dieser Reihenfolge jedoch nicht erforderlich.

Kapitel 2: Konsumgut CD

Ziel dieses Kapitels ist es, die Stationen nachzuzeichnen, die auf dem Weg von der ursprünglichen Produktidee bis zum marktfähigen Produkt durchlaufen wurden. Die Produktidee des als potentielle Nachfolgetechnik zur Schallplatte konzipierten Compact-Disc-Systems bestand darin, einem vorhandenen Bedürfnis mit neuartigen Technologien zu begegnen. Zur Umsetzung dieser Idee war die Überwindung verschiedener Hürden erforderlich. Während auf technischer Seite die Funktion der hochtechnischen Komponenten sichergestellt werden mußte, war auf wirtschaftlicher Seite der Forderung nach einem preisgünstigen Konsumgut zu entsprechen. Sowohl zur unternehmensinternen Durchführung der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten als auch zur Behauptung gegenüber konkurrierenden Konzepten war außerdem die Schaffung von Akzeptanz für das CD-Projekt notwendig. Die Darstellung der Entwicklungsgeschichte des Konsumguts CD in diesem Kapitel stützt sich auf persönliche Erinnerungen maßgeblich beteiligter Mitarbeiter des Philips-Konzerns.

Kapitel 3: Forschungsergebnis CD

In diesem Kapitel werden die wissenschaftlichen Grundlagen aufgezeigt, auf denen das Compact-Disc-System beruht. Da es sich um mehrere verschiedene Hochtechnologien handelt, die im Rahmen der CD-Entwicklung zusammengeführt wurden und die charakteristischen Eigenschaften dieses Systems begründen, ergeben sich Fragen nach der Verfügbarkeit dieses Wissens. Einer-

seits ist nachzuvollziehen, woher die einzelnen Forschungslinien stammten, deren Umsetzungen die Neuartigkeit der CD-Technologie ausmachten. Andererseits ist von Interesse, wie es hauptsächlich einem einzelnen Unternehmen gelingen konnte, inhaltlich über genau die wissenschaftlichen Erfahrungen zu verfügen, die zum Systementwurf und zur Durchführung der Entwicklungsarbeiten benötigt wurden.

Kapitel 4: Normierende CD

Ziel dieses Kapitels ist es, den normierenden Einfluß zu beschreiben, der im Spannungsverhältnis internationaler Interessen vom Compact-Disc-System ausging. Zur Sicherstellung der Austauschbarkeit von CD-Tonträgern war es erforderlich, daß Philips und Sony für das CD-System ein Format für digitale Audiodaten festlegten. Die gleichzeitig betriebenen Bemühungen, in der allgemeinen Umbruchsituation zur digitalen Tontechnik auch auf professioneller Ebene — also „oberhalb“ der als Konsumgut geplanten CD — einen Datenstandard international zu vereinbaren, wurden dadurch erheblich beeinflusst. Es soll dargestellt werden, warum das CD-System als von nur zwei Industrieunternehmen lanciertes Konsumgut auch gegen den Widerstand internationaler Interessen eine normierende Wirkung auf die gesamte Audio-technik ausüben konnte.

Kapitel 5: Impulsgebende CD

Im Schlußkapitel werden die Auswirkungen der Compact Disc auf verschiedene technische und gesellschaftliche Bereiche beschrieben. Ihre große Verbreitung als Konsumgut leitete eine Phase der Systematisierung der gesamten digitalen Audiotechnik ein. Auch auf den „Multimedia“-Trend übte die CD-Technik eine verstärkende Wirkung aus, indem sie zur Speicherung symbolischer, auditiver und visueller Informationen herangezogen wurde. Als Konglomerat aus Hochtechnologie, einfacher Benutzbarkeit und weiter Verbreitung verkörpert das Compact-Disc-System einen historischen Meilenstein des Informationszeitalters.

Konsumgut CD

*„Everything we knew
from the beginning
was
that it was a product
with a market.“*
(Lou F. Ottens)¹

2.1 KONSUMIERBARE TECHNOLOGIE

Das von Sony und Philips entwickelte Compact Disc Digital Audio System basiert auf einer Reihe hochtechnischer Komponenten. Im Gegensatz zur intuitiv wahrnehmbaren Funktionsweise der Schallplatte wartet das zum gleichen Gebrauchszweck entwickelte Tonwiedergabesystem mit technischen Besonderheiten wie berührungsloser Laserabtastung, Digitalcodierung und Fehlerkorrekturverfahren auf. Da sich die neuartige Compact Disc nach ihrer Markteinführung 1982/83 innerhalb weniger Jahre durchsetzte und damit kurzfristig die fast hundertjährige Tradition der Schallplatte beendete, liegt die Schlußfolgerung nahe, der Einsatz forschungsintensiver Hochtechnologie sei ein Garant für Markterfolg.

Tatsächlich kann diese vermeintliche Kausalität bei genauerer Betrachtung nicht aufrechterhalten werden. Bei der Erörterung der Entwicklung des Compact-Disc-Systems wird deutlich, daß wissenschaftliche Forschung und hochtechnologische Entwicklungen allenfalls einen mittelbaren Einfluß auf das Ausmaß wirtschaftlichen Erfolgs haben können. Ebenso wichtig wie der Einsatz hochentwickelter Technik ist ihre Ausgestaltung zu einem verkaufsfähigen Produkt. Gerade im Bereich der Mikroelektronik

¹ Ottens, L.F. Interview 12. Okt. 1993, 3B 259

kommt dieser Schwerpunktsetzung besondere Bedeutung zu. Da elektronische Wirkungszusammenhänge vom späteren Benutzer in der Regel nicht nachvollzogen werden können, das fertige Artefakt also als black box wahrgenommen wird, kann pure Hochtechnologie, sei sie innertechnisch noch so reizvoll, nur in beschränktem Umfang als Kaufanreiz dienen.

Das Compact-Disc-System ist ein Paradebeispiel für die Zuspitzung zahlreicher Forschungs- und Entwicklungsarbeiten auf ein Produkt. Von der ersten Idee bis zur Vermarktung war stets der Produktaspekt von zentraler Bedeutung und bildete einen roten Faden, dem auch grundlegende Forschungsarbeiten zur Verwirklichung der hochgesteckten Produktziele folgten. Wichtigstes Ziel war dabei die Schaffung eines neuartigen Tonträgermediums, das sich neben der traditionellen Schallplatte am Markt behaupten sollte. Problematisch bei der Erzeugung einer solchen Konkurrenzsituation war der durch weltweite Kompatibilität bedingte Stellenwert, den die Schallplatte innerhalb von fast einhundert Jahren erlangt hatte. Der Einsatz von Hochtechnologie war daher ausschließlich erforderlich, um innertechnische Vorteile gegenüber der inzwischen ausgereiften Schallplattentechnologie zu erzeugen, die zwar nach außen hin von potentiellen Käufern erkannt werden konnten, jedoch nicht zu einer verkomplizierten Benutzbarkeit führen durften.¹ Die derart „getarnte“ Technik der CD, deren Vorzüge auch ohne Spezialkenntnisse wahrnehmbar waren, fügte sich geschmeidig in den vorhandenen Markt der Schallplatte ein und führte zur lautlosen Verdrängung letzterer innerhalb weniger Jahre.

Interessanterweise spiegelte sich die Diskrepanz zwischen komplexer Hochtechnologie und unkomplizierter Produkterscheinung auch im Selbstverständnis, mit dem die Compact Disc vermarktet wurde. Aufgrund zahlreicher Lizenznehmer, die der niederländische Philips-Konzern zusammen mit seinem japanischen Kooperationspartner Sony für die Compact Disc gewinnen konnte, bestand seit der Einführung der CD ein breites Angebot von Abspielgeräten verschiedener Hersteller. Die durch die Darstellung der CD als technologische Selbstverständlichkeit erzeugte

¹ vgl. Pannenberg, A.E. „Technology push versus market pull — the designer's dilemma“ *Electronics & Power* (IEE publ.) 21(9), May 15, 1975, S.563-566

Entmythologisierung wirkte sich auf den Konsummarkt verkaufsfördernd aus. Auch hier wurde zugunsten des unkomplizierten Zugangs des Käufers zum Produkt auf die Betonung tatsächlich umfangreicher Forschungs- und Entwicklungsarbeiten einzelner Unternehmen verzichtet.

Ziel dieses Kapitels soll es sein, einen Blick hinter die Produktkulisse der Compact Disc zu werfen, um nachzuvollziehen, wie eine Produktidee im Verlauf von zehn Jahren (1972-1982) nach erheblichem Forschungs- und Entwicklungsaufwand als international standardisiertes und lizenziertes System aus Abspielgerät und Tonträgern seine fest etablierte Vorgängertechnologie verdrängen konnte. Die verschiedenen Phasen der Entwicklung wurden zur Strukturierung dieses Kapitels herangezogen. Nach einer der entscheidenden Idee folgenden „Inkubationszeit“ (Kap.2.2), in der mit nur geringen Mitteln Pionierarbeit geleistet worden war, wurden in einer Phase der Vorentwicklung (Kap.2.3) wesentliche Produkteigenschaften definiert. Der zur internationalen Standardisierung notwendigen Phase der Kompromißfindung und Kooperation (Kap.2.4) folgte schließlich ein Endspurt zum Markt (Kap.2.5), der zu einer Vielzahl von Konkurrenzprodukten führte. Abgerundet wird dieses Kapitel durch die Untersuchung der Rolle der phonographischen Wirtschaft (Kap.2.6), Betrachtungen zur Markteinführung des Systems (Kap.2.7) und schließlich durch den Versuch, aus der gesamten Produktentwicklung des Compact-Disc-Systems Schlußfolgerungen zu ziehen (Kap.2.8).

Gerade weil die Entwicklung der Compact Disc in der nachfolgenden Untersuchung aufgrund ihrer Geradlinigkeit und Kompromißlosigkeit in angemessener Weise nur als Erfolgsgeschichte dargestellt werden kann, erscheint bereits an dieser Stelle ein Hinweis darauf angebracht zu sein, daß der CD-Erfolg offenbar nicht beliebig wiederholbar ist. Ideengebend für die CD war nämlich zum einen gerade eine Technik, die sich als nicht erfolgreiches Produkt erweisen sollte, nämlich das Bildplattensystem „VLP“.¹ Zum anderen konnten auch gleichgelagerte Produkt-

¹ „Bildplatte“ bezeichnet ein Speichermedium für Bild- und Tonsignale. Für japanische „Karaoke“-Anwendungen eignet es sich besonders, weil die gleichzeitige Wiedergabe von Hintergrundmusik und die Anzeige des Liedtextes auf dem Bildschirm möglich ist. Dies erklärt, warum Bildplattensysteme zumindest in Japan erfolgreich vermarktet werden konnten.

neuheiten, die von Philips und Sony selbst im Anschluß an die CD auf den Markt gebracht wurden, nicht an den großen wirtschaftlichen Erfolg der Compact Disc anschließen.¹

2.2 INSPIRATION UND INKUBATION (1972-1976)

VLP als technischer Ausgangspunkt



VLP-Emblem

Wäre das Compact-Disc-System in erster Linie als wissenschaftlich-technisches Produkt anzusehen, so müßten seine Wurzeln bei den Forschungs- und Entwicklungsarbeiten gesucht werden, die bei Philips 1969 zur Entwicklung eines optischen Bildträgermediums begonnen worden waren (vgl.

Kap.3).² Als Resultat dieser Arbeiten wurde bereits 1972, in einem sehr frühen Entwicklungsstadium³, ein Bildplattensystem mit der Bezeichnung „VLP“ („Video Long Play“) vorgestellt.⁴ In nicht nur namentlicher Analogie zur Langspielplatte (LP) sollte das VLP-System die Möglichkeit eröffnen, die nun „in fast jedem Wohnzimmer und in vielen Erziehungseinrichtungen [vorhandenen]

¹ Es handelt sich um die Digital Compact Cassette (DCC) von Philips und die MiniDisc (MD) von Sony; beide Systeme wurden 1992 eingeführt und haben sich bislang (1996) nicht etablieren können. Aufgrund der geringen Nachfrage sind Absatzergebnisse entsprechend bespielter Tonträger etwa in Deutschland „nicht meßbar“.

zur DCC: vgl. Hoogendoorn, Abraham. „Digital Compact Cassette“ *Proc. IEEE* 82(10), October 1994, S.1479-1489

zur MD: vgl. Yoshida, Tadao. „The Rewritable MiniDisc System“ *Proc. IEEE* 82(10), October 1994, S.1492-1500

zum fehlenden Markterfolg: vgl. Zombik, Peter „Tonträger im Markt der Zukunft“ *Media Perspektiven* 10/1995, hier: S.497

² vgl. Guterl, F. „Compact Disc“. *IEEE Spectrum*, 25(11), 1988, hier: S.102

³ Der Zeitpunkt der Ankündigung des VLP-Systems wurde so früh gewählt, um nicht hinter RCA, dem Entwickler eines konkurrierenden, technisch jedoch völlig verschiedenen Bildplattensystems, hinterherzuhinken. Vgl. van Tilburg, J.J.G.Ch. Interview 2. Dez. 1993, 6A 045

⁴ Compaan, K. and P. Kramer. „The Philips ‚VLP‘ system“ *Philips tech. Rev.* 33(7)1973, S.178-180. Die Pressevorführung fand bereits am 5. September 1972 statt: vgl. Ottens, L.F. Interview 12. Okt. 1993, 2A 222 und Ottens, L.F., pers. comm.

*Fernsehempfänger*¹ außer zum Empfang vergänglicher Fernsehsendungen auch zur Wiedergabe aufgezeichneter und auf Bildplatten gespeicherter Programme zu nutzen. Problematisch hierbei war die Unterbringung der im Vergleich zur konventionellen LP um Größenordnungen umfangreicheren Bild- und Toninformationen auf einer Platte, deren äußeres Erscheinungsbild aus Gründen der Erhöhung der Marktakzeptanz Ähnlichkeiten mit dem der gewohnten Langspielplatte aufweisen sollte. Die Lösung dieses Problems — die gleichzeitig als technologischer Angelpunkt des VLP- und auch des Compact-Disc-Systems angesehen werden muß — lag in der Kombination aus optischer Dichtspeicherung und mechanischer Reproduzierbarkeit des Bild- bzw. Tonträgers. Videosignale der VLP wurden somit — ähnlich wie bei einer Schallplatte, bei der akustische Signale als mechanisch gepresste Rille vorliegen — als mikroskopisch kleine Erhebungen auf eine metallisierte Kunststoffplatte geprägt, um mit Hilfe des Strahls eines Gaslasers berührungslos ausgelesen zu werden.

Die beidseitig bespielten, spiegelnden Bildplatten, die jeweils 30-minütige Farbfernsehprogramme aufnehmen sollten, konnten im Vergleich zur LP mit zwei technischen Verbesserungen aufwarten. Zum einen wurde im Zuge des optischen Auslesens des Videosignals der bei Schallplatten durch die kratzende Nadel des Tonabnehmers bedingte *Verschleiß* vermieden. Außerdem konnte durch die Verwendung von Laserlicht als Abtastmedium eine *Miniaturisierung* der in die Platte geprägten Informationen erfolgen, die bei Verwendung herkömmlicher mechanischer Tonabnehmersysteme aufgrund deren Abmessungen und Massenträgheit nicht erreichbar gewesen wäre.



Prinzip der optischen Abtastung (einer CD)²

¹ Compaan, K. and P. Kramer. „Das Philips ‚VLP‘ System“ *Philips techn. Rdsch.* 33(7), 1973/74, S.190-192

² Quelle: Philips Gloeilampen N.V., Presseveröffentlichung

VLP als Extrem-Langspielplatte



Lou F. Ottens

Im Jahr 1972 wurde das VLP-Projekt zur Durchführung der konkreten Produktentwicklung vom „Nat.Lab.“ (Naturkundig Laboratorium, wissenschaftliches Forschungslaboratorium des Philips-Konzerns in Eindhoven) in die Hauptindustriegruppe Radio/Grammophone/Television (RGT) verlegt. Die grundsätzlich bestechende Idee der berührungslosen optischen Abtastung, verbunden mit der Vorstellung, große Informationsmengen preiswert auf eine Kunststoffscheibe pressen zu können¹, veranlaßte Lodewijk „Lou“ F. Ottens — seit 1972 technischer Direktor dieses später in Hauptindustriegruppe *Audio* umbenannten Geschäftsbereichs — über weitere Anwendungsmöglichkeiten des VLP-Konzepts nachzudenken.² Naheliegend für Ottens, der als studierter Maschinenbauingenieur³ bereits Anfang der 1960er Jahre wesentlich beteiligt an der Entwicklung und Durchsetzung der weltweit erfolgreichen *Compact Cassette* gewesen war⁴, war eine Anwendung im reinen Audiobereich. Der Übergang zur Audiotechnik barg jedoch die rekursive Problematik, daß die Langspielplatte, die ja selbst aufgrund ihrer hohen Akzeptanz das äußere Erscheinungsbild der VLP geprägt hatte, nicht im Gegenzug durch die Einführung eines verbesserten Audiomediums in Frage gestellt werden konnte. Um eine direkte Konkurrenzsituation zwischen LP und einem neuartigen Tonträger zu vermeiden, verfolgte Ottens zunächst die Idee, das projektierte VLP-System lediglich derart umzukonstruieren, daß es sich neben der Videowiedergabe auch zur reinen Audiowiedergabe eignete. Die große Frequenzbandbreite, die zur Videospeicherung zur Verfügung stand, hätte dabei gegen eine extrem

¹ Tatsächlich erwies sich das Pressen von VLPs und CDs aufgrund der hohen Präzisionsanforderungen als besonders aufwendig, da zunächst in Teilen der Presswerke unter Reinraumbedingungen gearbeitet werden mußte.

² Ottens, L.F. Interview 12. Okt. 1993, 2A 007 - 2A 030

³ Ottens, L.F. „CD Development“ S.15; (mechanical engineer, University of Delft, seit 1955 bei Philips)

⁴ vgl. Ottens, L.F. „The Compact Cassette for Audio Tape Recorders“ *JAES* 15 (1), January 1967, S.26-28

lange Spielzeit eines schmalbandigen analogen Audiosignals eingetauscht werden können. Bei mittlerer Tonqualität wäre damit eine Extrem-LP mit Spielzeiten bis zu 48 Stunden möglich geworden.¹

Der Gedanke, das im eigenen Verantwortungsbereich in der Entwicklung befindliche VLP-System derart umzukonstruieren, daß wahlweise Bildplatten oder Tonträger mit extrem langer Spielzeit wiedergegeben werden konnten, stellte zwar eine Herausforderung technischer Art dar. Unter der bei einem Unterhaltungselektronikkonzern naheliegenden Vorgabe, ein massenhaft verkaufbares Konsumgut zu entwickeln, konnte sich ein derartiges Konzept jedoch nicht behaupten. Zum einen war ein potentieller Markt für ein Tonwiedergabesystem mit extrem langen Spielzeiten nicht absehbar, allenfalls der Nischenbereich der Musikberieselung in Kaufhäusern hätte mit einem solchen Produkt bedient werden können.² Zum anderen konnte es nicht im Interesse der Tonträgerhersteller liegen, einen erheblichen Repertoireumfang auf nur einer Extrem-LP vergleichsweise günstig anzubieten. Mit der notwendigen Unterstützung der phonographischen Industrie, deren Musikprogramme nur in Ausnahmefällen die weniger als einstündige Kapazität einer LP überschritten (große Opern u.ä.), konnte also nicht gerechnet werden.³

Geburtsstunde der Compact Disc

Die anfängliche Idee der reinen Überführung des VLP-Konzepts in den Audiobereich war zum Scheitern verurteilt, weil herausragender Technik größere Bedeutung zugemessen worden war als der Forderung, ein vermarktbare Produkt zu entwerfen. Moderne Hochtechnologie alleine hätte nicht ausgereicht, um ein Produkt zu verkaufen, dessen Gebrauchswert allenfalls zweifelhaft war.

Der eigentliche Durchbruch, der zugleich die „Geburtsstunde“ der CD markiert, gelang Ottens erst durch einen weiteren gedanklichen Schritt, der 1972 weniger naheliegend war, als er rück-

¹ Ottens, L.F. Interview 12. Okt. 1993, 2A 040

Ottens, L.F. „CD Development“ S.10

² Sinjou, J.P. Interview 28. Okt. 1993, 5A 151 („funktionelle Musik“ für Kaufhäuser)

vgl. auch Bericht über funktionelle Musik in *Audio* (dt.), August 1983, S.127f.

³ Dierckx, F.J. „Compact Disc“ *The Ouchy Speech*, May 1978

blickend erscheint.¹ Hierzu war es notwendig, ein Paradigma zu überwinden, das sich im Laufe von fast einhundert Jahren in der Tonträgerbranche herausgebildet hatte: die stets unangefochtene Position der Schallplatte als bespielter Tonträger. Deren wesentliche Funktionsmerkmale waren, trotz einiger Detailverbesserungen, aus Kompatibilitätsgründen seit Emil Berliners Grammophon von 1887 gleichgeblieben. Indem Ottens sich nun an den Gedanken heranwagte, die Vormachtstellung der LP grundsätzlich in Frage zu stellen, um am großen internationalen Markt der Schallplatte mit einem selbstentwickelten, völlig inkompatiblen hochtechnischen Produkt teilhaben zu können, schuf er die Basis für die Entwicklung der Compact Disc.

Um auf dem etablierten Tonträgermarkt bestehen zu können, war es erforderlich, die gesamte Palette der auf Schallplatte veröffentlichten Musikproduktionen auch auf dem neuen Medium verfügbar zu machen. Dazu war ein Tonträger notwendig, dessen Spielzeit, anders als bei ersten Überlegungen, nicht über eine Stunde hinausgehen mußte.² Unter dieser Prämisse gelangte Ottens zum entscheidenden Umkehrschluß, der später namensgebend für die Compact Disc sein sollte: Statt auf einer großen Platte extrem lange Musikprogramme zu speichern, konnte bei geringer Spielzeit der Plattendurchmesser drastisch verkleinert, bzw. der Tonträger „kompakt“ gestaltet werden.³

Nachdem das Paradigma der Unantastbarkeit der LP gedanklich durchbrochen war, faszinierte Ottens die Idee eines kompakten Audio-Ablegers des VLP-Konzepts derart, daß er noch 1972 eine zunächst nur zweiköpfige Forschungsgruppe ins Leben rief, die die technische Realisierbarkeit eines optisch abgetasteten Tonträgersystems untersuchen sollte. Noch war nicht abzusehen, daß dieses zunächst nur im Schatten der VLP-Entwicklung geführte Projekt in den folgenden Jahren die VLP selbst überflügeln sollte. Daß Ottens mit seiner Vorliebe für verbraucherfreundliche Pro-

¹ Dierckx, F.J., zitiert nach: Nayak, P.R. and J.M. Ketteringham. *Breakthroughs!* San Diego 1994. S.369

² Ottens, L.F. „CD Development“ S.10

³ Ottens, L.F. Interview 12. Okt. 1993, 2A 140 - 2A 160

dukte¹ erst dann in eine Phase der gezielten Vorentwicklung der CD eintrat, als dem neuartigen Tonträger, ganz im Gegensatz zur ideengebenden VLP, ein potentieller Markt sicher war, sollte sich später als richtig erweisen.² Weitere sechs Jahre der Entwicklung waren für Philips notwendig, um bis 1978 aus dem ehrgeizigen VLP-Projekt ein — nur wenig erfolgreiches — Produkt namens „Laser-Vision“ werden zu lassen. Hauptgrund für den geringen Markterfolg des technisch bestechenden VLP-Konzepts war das zwischenzeitliche Aufkommen von Heimvideorecordern, die, trotz schlechterer Bildqualität, bei eher niedrigerem Preis neben der Bildwiedergabe die attraktive Möglichkeit der eigenen Aufnahme boten.³

Keimzelle der CD: ALP und Quadrophonie

Noch 1972, im Jahr der ersten öffentlichen Vorstellung des VLP-Projekts, nutzte Ottens den Ehrgeiz, der sich im Nat.Lab. im Umfeld der Erforschung des optischen Bildplattensystems entwickelt hatte, um auch seine Audio-Platte in den Genuß wissenschaftlicher Forschung kommen zu lassen. Um einerseits Synergieeffekte zwischen Wissenschaft und Technik zu ermöglichen und andererseits ein Abdriften der Nat.Lab.-Forschung von seinen Produktvorstellungen zu verhindern, stellte er Toon van Alem, einen Mitarbeiter seines Audio-Bereichs, an die Seite des Nat.Lab.-Forschers Loek Boonstra.⁴ Um die Kreativität des kleinen Forscherteams nicht von vornherein einzuengen, gab ihnen Ottens keinerlei konkrete Anweisungen: „Nur ein bißchen 'rumprobieren was möglich sein könnte.“⁵ Die Nähe zum anspruchsvollen VLP-Projekt⁶ brachte Ottens zum Ausdruck, indem diese Keimzelle der

¹ vgl. ebenda, 3B 346 - 3B 426; Ottens ärgert sich etwa über die geringe Verbraucherfreundlichkeit von Batterien für Kameras und Tintenkartuschen für Tintenstrahldrucker. Beides wird aufgrund fehlender Standardisierungen in einer breiten Palette ähnlicher Ausführungen produziert.

² Nayak, P.R. and J.M. Ketteringham. *Breakthroughs!* San Diego 1994. S.368-369

³ Ottens, L.F. „CD Development“ S.9

⁴ Ottens, L.F. Interview 12. Okt. 1993, 2A 197; vgl. „Hospitantenprinzip“, Kap.3

⁵ ebenda, 2A 160 - 2A 180

⁶ Mons, J.J. Interview 25. Nov. 1993, 5A 020- 5A 030

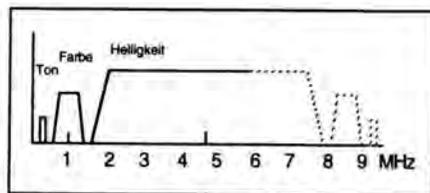
Ottens spricht von einem seinerzeit 50-köpfigen Entwicklungsteam der VLP vgl. Ottens, L.F. „CD Development“ S.10

Erforschung und Entwicklung der CD den verwandten Namen „ALP“ — für „Audio Long Play“ — erhielt.¹ Die hier beginnende Zusammenarbeit von Forschern des Nat.Lab. und Ingenieuren der Hauptindustriegruppe Audio sollte sich in der Folgezeit zum charakteristischen Merkmal des Compact-Disc-Systems entwickeln und dessen Konzeption maßgeblich prägen.²

In der ersten Zeit beschränkten sich Boonstra und van Alem darauf, Methoden zur Speicherung von Tonsignalen auf einer abgewandelten VLP zu untersuchen. Naheliegend, wenngleich keineswegs zwingend, war dabei die Übernahme des Modulationsprinzips der VLP. Wie in der Fernsichttechnik üblich, wurden verschiedene Ausgangssignale mit relativ geringer Bandbreite („Quellensignale“) durch Anwendung von „Frequenzmodulationsverfahren“ im Frequenzspektrum überlappungsfrei gegeneinander versetzt angeordnet, indem sie zur Dehnung von sinusförmigen „Trägersignalen“ herangezogen wurden.³

Der Grund für diese Vorgehensweise bestand darin, mehrere Quellensignale als nur ein einziges breitbandigeres Signal mit Hilfe eines Laserstrahls auslesen zu können. Als Nachteil mußte jedoch eine nicht unerhebliche Erhöhung der zu speichernden Informationsmenge in Kauf genommen werden, da die Bandbreite des

resultierenden Signals größer war als die Summe der Bandbreiten der Ausgangssignale.⁴ Konkret handelte es sich beim VLP-System um vier oder fünf Signale (Helligkeits-, zwei Farb- und ein bis zwei Tonsignale), die auf Trägerfrequenzen von 250 kHz (Ton), 1 MHz (Farbsignale) und 4,75 MHz (Helligkeit) aufmoduliert



Frequenzspektrum der VLP

¹ Mons, J.J. Interview 25. Nov. 1993, 5A 011

² Peek, J.B.H. Interview 17. April 1996

³ vgl. Lüke, Hans Dieter. *Signalübertragung: Grundlagen der digitalen und analogen Nachrichtenübertragungssysteme*. 4. Aufl., Springer-Verlag 1990, S.228ff.

vgl. van den Bussche, W., A.H. Hoogendijk und J.H. Wessels. „Signalverarbeitung beim Philips ‚VLP‘ System“ *Philips techn. Rdsch.* 33(7), 1973/74, S.193-197

Mons, J.J. Interview 25. Nov. 1993, 5A 080- 5A 086; vgl. auch Kap.3

⁴ vgl. ebenda

wurden. Im abgebildeten Frequenzspektrum des VLP-Systems sind die abgegrenzten Frequenzbereiche der verschiedenen Signale erkennbar.¹

Doch obwohl auch bei der ALP die Verwendung der Frequenzmodulation (FM) zu einem Mißverhältnis zwischen Ton- und Trägersignalinformation führte, war es erneut ein Blick auf den Markt für Tonträgerprodukte, der nicht nur Bedenken gegenüber der Verwendung der FM zerstreute, sondern sogar völlig neue Perspektiven eröffnete. Denn mit der Möglichkeit, problemlos mehrere verschiedene frequenzmodulierte Tonsignale gleichzeitig auslesen zu können, war die ALP geradezu prädestiniert für ein neuartiges Aufnahme- und Wiedergabeverfahren, das sich auf Basis der herkömmlichen Schallplatte seinerzeit gerade zu etablieren schien: die *Quadrophonie*.² Dieses Vierkanaltonverfahren, mit dem eine ausgeprägtere Raumwirkung als mit dem Stereo-Zweikanalverfahren erreicht werden sollte, hatte nach einer Experimentierphase mit Mehrspurtonbandgeräten und verkoppelten Rundfunkausstrahlungen³ erst ein Jahr zuvor auf das Schallplattensystem übertragen werden können.⁴ Doch nur mit großem technischen Aufwand und Kompromissen bei der Klangqualität war es möglich gewesen, einerseits die Vierkanalinformation auf der eigentlich nur für zwei unabhängige Tonkanäle geeigneten Schallplatte zu speichern und andererseits die Kompatibilität zur konventionellen Stereo-Schallplatte aufrechtzuerhalten.

Da sich die ALP unter Verwendung der Frequenzmodulation als kompromißloses Quadrophonie-Medium anbot⁵, eröffnete sich für Boonstra und van Alem die Möglichkeit, nicht nur die Modulationsmethode, sondern auch technische Komponenten des VLP-Systems zu übernehmen.⁶ Zwar befand sich die VLP noch im Erforschungs- und frühen Entwicklungsstadium, immerhin bestand

¹ vgl. van den Bussche, W., A.H. Hoogendijk und J.H. Wessels. „Signalverarbeitung beim Philips ‚VLP‘ System“ *Philips techn. Rdsch.* 33(7), 1973/74, S.194. Darstellung ist nicht maßstabsgetreu.

² Ottens, L.F. Interview 12. Okt. 1993, 2A 247

³ Woodward, J.G. „Quadrophony — A Review“ *JAES* 25(10/11), Oct./Nov. 1977, S.843-854

⁴ Inoue, T., et al. „A Discrete Four-Channel Disc and Its Reproducing System (CD-4 System)“ *JAES* 19(7/8), July/Aug. 1971, S.576-583

⁵ Mons, J.J. Interview 25. Nov. 1993, 5A 077

⁶ Ottens, L.F. Interview 12. Okt. 1993, 2A 180

aber durch den Transfer der noch rudimentären VLP-Technik die Möglichkeit, mit nur geringem Aufwand einen ersten ALP-Versuchsspieler zu realisieren.¹ Nachdem das zweiköpfige Forscherteam zwischenzeitlich durch zwei weitere Mitarbeiter, Cor Vos und Jan van der Veerdonk, verstärkt worden war², konnte auch der Aufbau der praktischen Versuche so weit vorangetrieben werden, daß Ende 1974 eine erste ALP-Audioplatte abgespielt werden konnte. Sie war, zu Testzwecken zunächst in einkanaliger Mono-Ausführung³, am 15. Dezember 1974 auf einer speziellen „VLP-Schreibmaschine“ mit einem Laserstrahl aufgenommen worden.⁴ Der zu diesem Zeitpunkt bereits von Dr. J.B.H. Peek, Leiter der Nat.Lab.-Forschungsgruppe für elektronische Kommunikationssysteme, eingebrachte Vorschlag, einen grundlegenden Systemwandel zu vollziehen und auf ein *digitales* Modulationsverfahren überzugehen, konnte aus praktischen Erwägungen nicht aufgegriffen werden, um das kleine Forscher- und Entwicklerteam inhaltlich und personell nicht zu überfordern.⁵

Anhand der im folgenden halben Jahr durchgeführten Berechnungen und Messungen kristallisierten sich bis Mitte 1975 die Randbedingungen heraus, unter denen die ALP realisierbar erschien. Als problematisch erwies sich hierbei die Forderung, daß ALP-Quadro-Platten auf einer zweikanaligen ALP-Stereoanlage ebenso wiedergegeben werden sollten wie Stereo-ALPs auf einem vierkanaligen ALP-System. Da eine Anpassung der Spielzeit an die Bandbreite (Anzahl der Kanäle) im Rahmen der vorgesehenen Modulationsmethode nicht durchführbar war (halbstündige Quadro-Programme *oder* einstündige Stereo-Programme bei gleichem Plattendurchmesser), hatte dies zur Folge, daß die Speicherkapazität einer ALP auf *einstündige Quadro-Programme* zugeschnitten werden mußte. Unter Beibehaltung der von Ottens vorgegebenen Spielzeit von einer Stunde und der Option der wahlweisen Stereo- und Quadro-Wiedergabe⁶ errechnete sich der

¹ Ottens, L.F. Interview 12. Okt. 1993, 2A 215

² Mons, J.J. Interview 25. Nov. 1993, 5A 060

³ ebenda, 5A 082

⁴ Sinjou, J.P. „Terugblik op Compact Disc“ Zeittafel der CD-Entwicklung, erstellt anlässlich der Verleihung des Eduard-Rhein-Preises am 9. Okt. 1981

⁵ Peek, J.B.H. Interview 17. April 1996

⁶ Ottens, L.F. Interview 12. Okt. 1993, 2A 205, 259, 378-388

notwendige Plattendurchmesser zu 20 cm oder 7 inch.¹ Bei Stereo-Programmen, die ebenfalls nur in einstündiger Länge gespeichert werden konnten, blieb somit etwa die Hälfte der Tonträgerkapazität ungenutzt. Der sich hieraus ergebende große Plattendurchmesser erfüllte nicht die von Ottens aufgestellte Forderung nach Kompaktheit.² Zudem erwies sich auch die Klangqualität als mangelhaft. Mikroskopische Fehler auf den Testplatten bewirkten ein „Knistern und Knacken“ wie bei herkömmlichen Schallplatten.³

2.3 PHASE DER INNOVATION (1976-1978)

Aufwind erhielt das vom technischen Direktor Lou F. Ottens leidenschaftlich verfolgte Kleinprojekt ALP, als im Januar 1976 Johann „Joop“ J.G.Ch. van Tilburg die allgemeine/kommerzielle Leitung der Hauptindustriegruppe Audio des Philips-Konzerns übernahm.⁴ Als erfahrener Philips-Manager (zuvor hatte er regionale Philips-Niederlassungen in Ostafrika und Indien geleitet⁵) sorgte er mit Aufgeschlossenheit für eine günstige Stimmung gegenüber Neuerungen. Schon nach kurzer Zeit befreundete sich Ottens mit seinem Kollegen an der Spitze der Audio-Abteilung und weihte ihn schließlich im April 1976 in sein bis dahin im Stillen verfolgtes Projekt ein.⁶



J.J.G.Ch. van Tilburg

Zwischenzeitlich hatte Ottens die Arbeiten an der

¹ Ottens, L.F. Interview 12. Okt. 1993, 3A 462

van Tilburg, J.J.G.Ch. Interview 2. Dez. 1993, 6A 110

Sinjou, J.P. „Terugblik op Compact Disc“ Zeittafel der CD-Entwicklung, erstellt anlässlich der Verleihung des Eduard-Rhein-Preises am 9. Okt. 1981.

² Mons, J.J. Interview 25. Nov. 1993, 5A 190-200

Ottens, L.F. Interview 12. Okt. 1993, 2A 188

³ Mons, J.J. Interview 25. Nov. 1993, 5A 105

⁴ van Tilburg, J.J.G.Ch. Interview 2. Dez. 1993, 6A 008-015

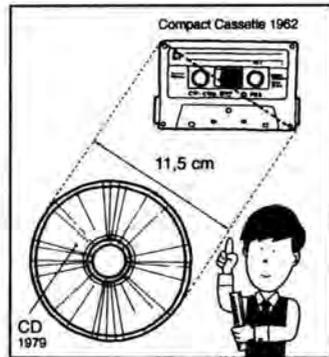
vgl. auch Guterl, F. „Compact Disc“. *IEEE Spectrum*, 25(11), 1988, hier: S.104

⁵ van Tilburg, J.J.G.Ch. Interview 2. Dez. 1993, 7B 390

⁶ ebenda, 6A 024, 6A 112, 7 B 152

Van Tilburgs Vorgänger Winfried C.J. van't Hoff hatte zu erkennen gegeben, daß keinerlei Interesse an Ottens' Projekt bestünde (Ottens, L.F. pers.comm).

ALP nochmals in eigener Regie vorangetrieben: Das ALP-Forscher- und Entwicklerteam war Anfang November 1975 wieder vom Nat.Lab. in seine Einflußsphäre, in die Hauptindustriegruppe Audio, zurückgekehrt und durch den Elektronikspezialisten J.J. „Hans“ Mons verstärkt worden.¹ Als van Tilburg im April 1976 in den „Hinterzimmern“ seiner eigenen Hauptindustriegruppe die rudimentäre Vorversion eines optischen Tonträgersystems präsentiert wurde, war er gleichzeitig überrascht und begeistert.² Als nicht technisch ausgebildeter Kaufmann empfand er das ihm präsentierte Szenario zwar noch als sehr unausgereift: „Auf Brettern hatte man ein System aufgebaut, wo sich irgendetwas drehte, eine 7-Zoll-Platte.“³ Van Tilburg erwärmte sich jedoch spontan für die Idee des neuartigen Systems und versprach, sich für die offizielle Entwicklung eines derartigen Produktes einzusetzen, falls einige Details geändert würden.⁴ So störte ihn in erster Linie die schlechte Klangqualität, die zwar „besser war als die [der] alten Schellack-Platten“, aber für die Durchsetzung eines neuen Produktes nicht ausreichte.⁵



Durchmesser der CD⁶

Außerdem weckten die Abmessungen der ALP in ihm schlechte Erinnerungen an Vinyl-Singles (abgespielt mit 45 Umdrehungen pro Minute). Ein kleiner Single-Schallplattenspieler von Philips namens „Mignon“ war nämlich („außer in Griechenland“) nie zu einem Erfolg geworden.⁷ Um unschöne Assoziationen zu vermeiden, war es daher aus van Tilburgs Sicht notwendig, die ALP weiter zu verkleinern. Nach seiner Vorstellung sollte ihr Durchmesser nicht größer sein als die Diagonale einer Compact Cassette.⁸

¹ Mons, J.J. Interview 25. Nov. 1993, 5A 068

² van Tilburg, J.J.G.Ch. Interview 2. Dez. 1993, 6A 038

³ ebenda, 6A 105-110

⁴ Ottens, L.F. Interview 12. Okt. 1993, 2B 007, 023

⁵ van Tilburg, J.J.G.Ch. Interview 2. Dez. 1993, 6A 135-140

⁶ aus: Fu, Nobuyuki. *Hear the Light* (engl. Übers. d. Titels), Bungei Shunju K.K. 1987, S.57

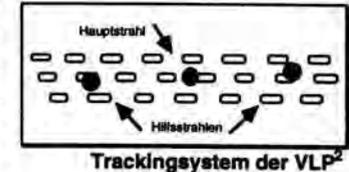
⁷ van Tilburg, J.J.G.Ch. Interview 2. Dez. 1993, 6A 120-130

⁸ ebenda, 6A 131

Schließlich äußerte van Tilburg seinen Unmut über die Benennung des neuen Tonträgersystems. Den Namen „ALP“ als Abkürzung der wenig aussagekräftigen Formel „Audio Long Play“ empfand er wie bereits die Bezeichnung der namensgebenden Video-Version „VLP“ als zu wenig prägnant.¹ Er animierte seine Mitarbeiter, treffendere und einprägsamere Namen zu erfinden.

Klangliche Probleme

Die bei der Wiedergabe früher ALPs häufig auftretenden Auslesefehler³ (bzw. Störgeräusche) waren zum einen durch mechanische Fehler auf der optischen Oberfläche der Tonträger und zum anderen durch Probleme bei der exakten Nachführung des abtastenden Laserstrahls unter der auszulesenden Informationsspur hervorgerufen worden. In Anlehnung an das sogenannte „Tracking“-System der VLP, bei dem mit Hilfe von zwei weiteren, zu Hauptstrahl leicht versetzten Laserstrahlen⁴ gewährleistet wurde, daß jede Abweichung vom „Kurs“ erkannt und dieser gegengesteuert werden konnte, wurde bei der ALP nur ein einziger Strahl benutzt, der zunächst nach dem „Wobbel“-Verfahren gesteuert wurde:⁵ Dabei wurde der Laserstrahl dazu veranlaßt, einen oszillierenden Zick-Zack-Kurs unter der Informa-



Trackingsystem der VLP²

¹ van Tilburg, J.J.G.Ch. Interview 2. Dez. 1993, 150

² vgl. Bouwhuis, G., P. Burgstede. „The optical scanning system of the Philips ‚VLP‘ record player“ *Philips tech. Rev.* 33(7), 1973, S.186-189

³ Peek, J.B.H. Interview 17. April 1996

⁴ (Das Strahlentripel wurde durch Beugung eines Laserstrahls an einem Gitter erzeugt.) vgl. Bouwhuis, G., P. Burgstede. „The optical scanning system of the Philips ‚VLP‘ record player“ *Philips tech. Rev.* 33(7), 1973, S.186-189

⁵ vgl. Bouwhuis, G., P. Burgstede. „The optical scanning system of the Philips ‚VLP‘ record player“ *Philips tech. Rev.* 33(7), 1973, S.186-189;

vgl. Janssen, P.J.M. und P.E. Day. „Control mechanisms in the Philips ‚VLP‘ record player“ *Philips tech. Rev.* 33(7), 1973, S.190-193;

Mons, J.J. Pers. Comm., 4. Juli 1995; Sinjou, J.P. Pers. Comm., Brief vom 24.7.1995; Beim späteren CD-System von Philips kam — im Gegensatz zu japanischen Geräten, in denen 3-Strahl-Verfahren angewandt wurden — ein nochmals weiterentwickeltes Tracking-System („Push-Pull“) mit ebenfalls nur einem Strahl und einer in zwei Hälften geteilten Auslese-Fotodiode zum Einsatz (wenn eine Hälfte stärker als die andere beleuchtet wird, wird gegengesteuert).

tionsspur (um die Idealspur herum) zu beschreiben. Entsprechend wurde nicht das gespeicherte Signal ausgelesen, sondern ein um die Tracking-Bewegungen verändertes Signal.¹ Während bei der Wiedergabe von VLP-Bildsignalen Tracking-Modulationen buchstäblich übersehen werden konnten, waren sie bei der ALP-Tonwiedergabe als Störgeräusch wahrnehmbar.²

Noch größere Probleme verursachten Fehler, die bei der Herstellung der Test-ALPs entstanden waren. Da eine technisch optimierte Serienpressung von VLPs und ALPs noch nicht durchgeführt werden konnte, mußte jede einzelne Testplatte im Nat.Lab.



elektronenmikroskopische Aufnahme einer VLP-Vorlage mit Herstellungsfehler⁶

mit erheblichem Aufwand bespielt werden.³ Gelangten dabei Unreinheiten wie etwa Staubkörner auf die optische Oberfläche, so führte dies bei der Wiedergabe zu sogenannten „Drop-Outs“, also kurzzeitigen Unterbrechungen im Tonsignal, die als Knistern und Knacken wahrnehmbar waren.⁴ Derartige Probleme mit leicht fehlerhaften Testplatten-Unikaten, die die gesamte Entwicklung bis hin zur CD begleiteten, führten zur Einrichtung eines eigenen optischen Labors, in dem die Art der auftretenden Fehler auf mikroskopischem Weg überprüft werden konnte. Mit Hilfe dieser Einrichtung konnte nicht nur die Qualität späterer

Fehlerkorrekturverfahren nachvollzogen, sondern konnten auch wichtige Erkenntnisse bezüglich der Herstellung von CDs gewonnen werden. Außerdem ermöglichte dieses Labor nach der Markteinführung auch die optische Qualitätskontrolle der Pressungen von CD-Lizenznehmern.⁵

¹ Mons, J.J. Interview 25. Nov. 1993, 5A 115-123

² Peek, J.B.H. Interview 16 Juli 1993, 1A 060

³ Ottens, L.F. Interview 12. Okt. 1993, 2A 230-240

⁴ Peek, J.B.H. Interview 16 Juli 1993, 1A 062

⁵ Sinjou, J.P. Pers. comm. 24. Aug. 1994

⁶ entnommen aus: van Rosmalen, G. „Control Mechanics“ In: Bouwhuis, G., J. Braat, A. Huijser, J. Pasman, G. van Rosmalen and K. Schouhamer Immink. *Principles of Optical Disc Systems*. Bristol/Boston: Adam Hilger 1985, Abb. S. 130

Der Schritt zur Digitaltechnik

Mit den klanglichen Problemen der ALP wurde deutlich, daß die ursprüngliche Strategie, möglichst die gesamte Technik der VLP zu übernehmen, nicht weiterverfolgt werden konnte. Aufgrund des verwendeten Verfahrens der Frequenzmodulation lagen die zu speichernden Tonsignale — moduliert auf Trägersignale — quasi in Reinform auf der Platte vor. Wie bei herkömmlichen Schallplatten führte also jeder noch so kleine Fehler beim Auslesen der Toninformation zwangsläufig zu einer Verfälschung des Tonsignals. Diese „Analogie“ zwischen der Qualität des Auslesevorgangs und der Qualität des später wiedergegebenen Tonsignals stellte ein unüberbrückbares Problem dar. Da weder Fehler auf der Speicher-oberfläche des Tonträgers grundsätzlich ausgeschaltet noch durch Tracking-Bewegungen verursachte Signalschwankungen vermieden werden konnten, war es mit dem analogen Verfahren der Frequenzmodulation nicht möglich, die Klangqualität der ALP erheblich zu verbessern.¹

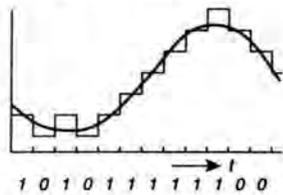
Einen wesentlichen Schritt in der Entwicklung der ALP markierte daraufhin der vom ALP-Entwicklungsteam in Zusammenarbeit mit der Forschungsgruppe von Dr. J.B. Hans Peek gefällte Entschluß, zu einer völlig anderen Art der Modulation überzugehen.² Lorend Vries, Mitarbeiter von Peeks Gruppe „Distribution Systems and Fundamental Aspects“, hatte sich bereits zuvor bemüht, ein analoges Verfahren zur Behebung großflächiger Fehler auf der Plattenoberfläche der ALP (sog. „Burst“-Fehler) zu entwickeln und hatte in diesem Zusammenhang schon im ersten Quartal des Jahres 1976 erste Studien zu einer „digitalen Version der ALP“ angestellt.³ Mit der Übernahme dieser Konzepte von Vries vollzog die ALP den Schritt vom analogen zum digitalen Medium. Dies bedeutete, daß die Tonsignale nicht mehr wie bisher in modulierter, analoger Reinform auf der Platte niedergelegt werden sollten, sondern als codierte Informationen. Eine solche Codierung, bei der die zu digitalisierenden Tonschwingungen analysiert und in Symbole umgesetzt werden, besaß den grund-

¹ Mons, J.J. Interview 25. Nov. 1993, 5A 108

² Sinjou, J.P. Pers. Comm., Brief vom 24. Juli 1995

³ Peek, J.B.H. Interview 17. April 1996

Deltamodulation



Die Deltamodulation ist eine besonders einfache Methode der Digitalisierung von Signalen. Pro Abtastpuls wird ein einziges Bit verwendet, mit dem angezeigt wird, wie sich der aktuelle Signalwert gegenüber dem vorangegangenen Näherungswert verändert hat. Ist das Signal größer als die letzte Stufe, wird eine „1“, ansonsten eine „0“ verwendet. Das Ergebnis ist eine dem Signal angenäherte Treppenkurve.²

sich nämlich bei Hörversuchen herausstellte, verschwanden zwar mit der Deltamodulation praktisch alle analogen Störeffekte wie Rauschen und Knistern, dafür entstanden unter anderem neue, schwerwiegendere Probleme bei lauten, hochfrequenten Tonsignalen. Aufgrund der Schwäche der Deltamodulation bei der

sätzlichen Vorteil, daß Symbole (z.B. Zahlen), im Gegensatz zu kontinuierlichen Signalen, auch unter ungünstigen Bedingungen (z.B. rauschende Leitungen) fehlerfrei übertragen und gespeichert werden konnten.¹ Außerdem eröffnete sich bei der Verwendung von Zahlenwerten die Möglichkeit, mathematische Verfahren anzuwenden, mit denen das Auftreten von Auslesefehlern erkannt werden konnte.

Bei diesem Schritt zur Digitaltechnik konnten die ALP-Entwickler auf Erfahrungen zurückgreifen, die im Nat.Lab. in Eindhoven bei der Entwicklung digitaler Kommunikations- und Datenspeichersysteme gewonnen worden waren.³ Das zunächst angewandte Verfahren der „Deltamodulation“ (siehe Kasten), das den Vorteil relativ geringer anfallender Datenmengen besitzt⁴, konnte den hohen Anforderungen, die an eine digitale ALP-Version gestellt wurden, nicht gerecht werden. Wie

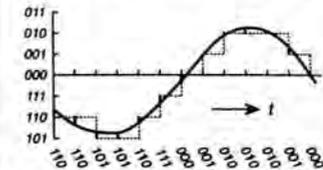
¹ vgl. Blesser, Barry A. „Digitization of Audio: A Comprehensive Examination of Theory, Implementation, and Current Practice“ *JAES* 26(10), October 1978, hier: S.740

² vgl. de Vrijer, F.W. „Modulation“ *Philips techn. Rdsch.* 36 (11/12), 1976/77, hier: S.362

³ Peek, J.B.H. Interview 16 Juli 1993, IB 365 und Interview 17. April 1996
Ottens, L.F. „CD Development“ S.12
Sinjou, J.P. „CD Development“ S.18

⁴ Schouten, J.F., F. de Jager und J.A. Greefkes. „Deltamodulation, ein neues Modulationssystem für die Fernmeldetechnik“ *Philips techn. Rdsch.* 13 (9), März 1952, S.257-266

Pulsmodulation (PCM)



Bei der Pulsmodulation wird die Amplitude des Signals gemessen. Pro Abtastpuls wird diese auf den nächstliegenden Quantisierungswert auf- oder abgerundet. Die Darstellung erfolgt häufig in Form von Dualzahlen (aus Gründen der Darstellbarkeit sind im obigen Beispiel dreistellige Dualzahlen verwandt worden). Die Rate der zu übertragenden Binärzustände richtet sich — neben der Abtastrate — nach dem Umfang der Quantisierungsstufen. Im Gegensatz zur Deltamodulation werden keine relativen Änderungen, sondern absolute Amplitudenwerte ermittelt, die sich zwischen zwei aufeinanderfolgenden Abtastungen beliebig verändern können.

Erfassung großer Signaländerungen¹ (die Wiedergabe eines Flötenduetts wurde als „schrecklich“ empfunden²), wendete man sich einer anderen Form der Digitalcodierung zu, die zu einem wesentlichen Merkmal der Compact Disc werden und den weiteren Fortgang der Entwicklung beflügeln³ sollte: der „Pulse-Code-Modulation“ (PCM).⁴

PCM: Quadro vs. Compact

Verglichen mit der Deltamodulation stellt das lineare PCM-Verfahren eine klanglich hochwertige, jedoch mit großen Datenmengen verbundene Digitalisierungsmethode dar. Mit großer Akribie werden dabei die analogen Tonschwingungen in regelmäßigen Zeitabständen gemessen. Die Ergebnisse dieser pro Tonkanal mehr als vierzigtausendmal pro Sekunde durchgeführten Messungen⁵ werden, unabhängig davon, ob sich das Tonsignal in der Zwischenzeit geändert hat oder nicht, etwa als 14- bis 16-stellige Dualzahlen dargestellt. Mit dieser Fülle an Daten wird das ursprüngliche Tonsignal präzise dokumentiert und kann sogar im Falle eines kurzzeitigen Ausfalls von PCM-Daten aus benachbarten Messungen rekonstruiert werden.⁶

Mit Blick auf die unvermeidlichen Oberflächenfehler bei der Herstellung von ALPs war die Verwendung eines digitalen Verfah-

¹ Bei der Deltamodulation sinkt mit steigender Frequenz des Ausgangssignals dessen maximal darstellbare Amplitude. Wird diese Amplitudenbegrenzung bei der Modulation überschritten, so entstehen Verzerrungen.

² Mons, J.J. Interview 25. Nov. 1993, 5A 158

³ van Tilburg, J.J.G.Ch. Interview 2. Dez. 1993, 6A 165

⁴ vgl. Kap.3.4

⁵ vgl. Kap.4

⁶ vgl. Fehlerkorrekturverfahren, Kap.3.4

rens, das die Möglichkeit der Verdeckung von Auslesefehlern bot, sinnvoll. Problematisch war dagegen die Menge der zu speichernden Informationen. Die beiden Forderungen, einerseits den Durchmesser der ALP zu verkleinern und andererseits die Speicherung einstündiger Quadrophonie-Programme zu ermöglichen, waren bei Verwendung von PCM nicht aufrechtzuerhalten. Wiederum waren es marktstrategische Überlegungen, die dazu führten, die Option der Quadrophonie zugunsten geringerer Abmessungen in den Hintergrund treten zu lassen.¹ Schließlich konnten einer kompakten ALP, eingeführt als potentielle Konkurrenz zur Schallplatte auf einem großen, etablierten Markt für Stereo-Repertoire, größere Chancen eingeräumt werden als einer größerformatigen Quadro-ALP, mit der zunächst nur ein kleiner, exotischer Quadrophonie-markt hätte erreicht werden können.

Marktüberlegungen

Im Verlaufe des Jahres 1977 kristallisierte sich heraus, daß das ALP-Projekt nicht weiter im Schatten der VLP geführt werden konnte. Spätestens durch den Schritt zur Digitaltechnik war die technische Verwandtschaft der ALP zur VLP gebrochen worden. Aber auch andere geplante Veränderungen gegenüber der VLP führten zu einer zunehmenden Eigenständigkeit des ALP-Projekts: Neben kompakteren Abmessungen der Platte zählten dazu auch aus den Jahren zuvor stammende Überlegungen, den Gaslaser der VLP durch einen kleineren Halbleiterlaser zu ersetzen, um auf diese Weise ein ebenfalls kompaktes Abspielgerät konstruieren zu können.²

¹ Ottens, L.F. Interview 12. Okt. 1993, 2A 500; Ottens, L.F. „CD Development“ S.11. Das spätere Fehlerkorrekturverfahren der CD wurde so ausgelegt, daß es auch bei drei- und vierkanaligen CDs hätte angewendet werden können. Vgl. Vries, Lodewijk B. und Kentaro Odaka. „CIRC — The Error-Correcting Code for the Compact Disc Digital Audio System“ In: Blesser/Locanthi/Stockham (eds.) *Digital Audio*. Collected Papers from the AES Premiere Conference, Rye, N.Y., 1982 June 3-6. New York: AES 1983, hier: S.179

² In den ersten Jahren des ALP-Projekts wurde mit Gaslasern gearbeitet. Schon seit 1975/76 waren Versuche angestellt worden, die neue Halbleiterlasertechnologie in das ALP-System zu integrieren. Vgl. Mons, J.J. Pers. Comm. vom 4. Juli 1995. Mit dem Halbleiterlaser mußte allerdings der Nachteil einer größeren Wellenlänge hingenommen werden. Vgl. Dierckx, F.J. „Compact Disc“ The Ouchy Speech, May 1978

Das ALP-Projekt war in ein Stadium getreten, in dem zur Verfolgung der hochgesteckten technischen Ziele die bisherigen Forschungs- und Entwicklungskapazitäten nicht mehr ausreichten. Zur konsequenten Weiterentwicklung war es erforderlich, die bis dahin mit relativ geringen Mitteln der Hauptindustriegruppe Audio finanzierte ALP aus der Phase der Vorentwicklung in die einer breit angelegten, vom Philips-Konzern getragenen Produktentwicklung zu überführen.¹ Fraglich dabei war, ob die späteren Marktchancen der ALP einen derartigen, mit hohen Kosten verbundenen Schritt rechtfertigen würden. Ottens befürchtete, daß die nicht absehbare Höhe der ALP-Entwicklungskosten entsprechende Entscheidungen im verantwortlichen „Programme Committee“² im Zweifelsfall negativ beeinflussen würden. Daher versuchte er, die Rentabilität derartiger Ausgaben auf andere Weise festzustellen.

Statt voraussichtliche Entwicklungskosten in Relation zu später erzielbaren Umsatzzahlen abzuwägen, stellte Ottens die möglichen Kosten eines ALP-Wiedergabegerätes in den Mittelpunkt seiner Überlegungen. Würden nämlich ALP-Player später in großen Mengen produziert werden, so hätten jedwede *Entwicklungskosten* nur einen verschwindend geringen Einfluß auf den Gerätepreis und somit auf die Marktchancen — entscheidend dagegen seien alleine die aus der verwendeten Materialmenge hervorgehenden *Materialkosten*. Dieser Ansatz floß später in den ersten von zwei Grundsätzen ein, die Ottens am Ende seiner 30-jährigen Berufstätigkeit aufstellte:

1. Gesetz der Konsumelektronik (Leichtgewicht):

Wird ein elektronisches Gerät in entsprechend großen Stückzahlen hergestellt, konvergiert der Herstellungspreis gegen die Materialkosten. Da üblicherweise die spezifischen Materialkosten bei der Verwendung von unedlen Metallen, Kunststoffen und Silizium durchweg gering sind, hängen die absoluten Materialkosten hauptsächlich von der verwendeten Materialmenge ab — leichte Geräte sind also billiger als schwere. Arbeits- und Entwicklungskosten sind stets begrenzt und haben bei zunehmenden Stückzahlen einen abnehmenden Einfluß.³

¹ Ottens, L.F. Interview 12. Okt. 1993, 2B 030

² ebenda, 2B 025

³ ebenda, 2A 086 - 2A 130

Konkret bedeutete dies, daß abgeschätzt werden mußte, wie niedrig die Materialkosten bzw. die Materialmenge für einen massenhaft hergestellten ALP-Spieler gehalten werden konnte.¹ Neben den relativ sicher abschätzbaren Größen für den mechanischen Teil des Geräts (Gehäuse, Bedienungselemente etc.) stellten Elektronik und Optik unsichere Bereiche dar.

Weder war bekannt, welchen Umfang die elektronischen Schaltungen annehmen würden, noch war sicher, wie und mit welchem Aufwand diese zu Testzwecken zunächst mit Standardbauelementen realisierten Schaltungen in spezielle Integrierte Schaltkreise (IC) überführt werden könnten. Ottens näherte sich den gesuchten Materialkosten der späteren ICs durch ein statistisches Extrapolationsverfahren.² Nachdem in der CD-Entwicklungsgruppe grob abgeschätzt worden war, wieviele Transistorfunktionen die komplette ALP-Elektronik umfassen würde³, führte Ottens Statistiken über die Herstellung von ICs, aus denen deutlich erkennbare Tendenzen zu wachsenden Integrationsdichten und sinkenden Herstellungs- und Bearbeitungskosten pro Flächeneinheit des IC-Trägermaterials Silizium abzulesen waren, unter Berücksichtigung der zu erwartenden Entwicklungszeit fort.⁴ Auf diese Weise ermittelte er aufzuwendende Materialkosten für Elektronik, die weit unter den Vorstellungen lagen, die ohne die zeitliche Extrapolation der stark in Bewegung befindlichen IC-Kosten als realistisch gegolten hätten.

Problematisch bei der Optik war insbesondere das fehlende Wissen um die möglichen späteren Herstellungskosten eines Halbleiterlasers, der bereits fest als Ersatz des Gaslasers der VLP eingeplant worden war, jedoch auch auf dem Weltmarkt aufgrund fehlender Marktreife nur in Form teurer Prototypen erhältlich war.⁵ Doch ganz im Sinne seines späteren „ersten Gesetzes“ schätzte

¹ Ottens, L.F. Interview 12. Okt. 1993, 2B 057

² ebenda, 2B 060 - 2B 090

³ Ottens, L.F. Pers. Comm., Fax vom 22. April 1996 (Ottens bemerkt, daß nicht die Zahl der Schaltungselemente, sondern die der notwendigen Transistorfunktionen abgeschätzt wurde.)

⁴ Bereits 1972 war der Trend zu komplexeren ICs mit gleichzeitig sinkenden Kosten pro IC (und somit erst recht pro Schaltungselement) erkennbar. Vgl.: Bucy, J. Fred. „For semiconductors: growth, not maturity“ *IEEE Spectrum*, April 1972, S.55-58 (insb. Fig. 1)

⁵ Ottens, L.F. Interview 12. Okt. 1993, 2B 110- 2B 140

Ottens auch die Herstellungskosten dieses exotischen Bauelements ab: „[...] wenn man erst einmal einen Festkörperlaser herstellen kann, ist es nur solch ein kleiner Tropfen Material; somit kann es nicht teuer sein. Nichts ist daran, was wirklich teuer ist.“¹ Auch die notwendige Linsenoptik, die dem Laser zur Bündelung des Strahls vorgeschaltet werden mußte, verursachte in der zunächst von Rodenstock vorgeschlagenen Ausführung als mehrlinsiges Mikroskopobjektiv in Ottens Berechnungen nicht zu vernachlässigende Kosten.² Wiederum war es ein Vorschlag des Forschungslaboratoriums, die sphärisch, also als Segmente einer Kugeloberfläche geschliffenen Glaslinsen durch eine einzige asphärische Linse mit sich ständig ändernder Oberflächenkrümmung zu ersetzen. Würden derartige Linsen in hochpräzisen Spritzformen aus Kunststoff hergestellt, so könnten sie nicht nur bei einer späteren Massenproduktion einen fast vernachlässigbaren Kostenfaktor darstellen, sondern auch aufgrund geringeren Gewichts eine einfachere Fokussierung ermöglichen.³

Nachdem Ottens mit einigem Optimismus die Kosten aller unbedingt notwendigen Komponenten zusammengestellt hatte, ergab sich, daß es bei Herstellung entsprechender Stückzahlen möglich sein könnte, einen ALP-Player für etwa 150 Gulden herzustellen.⁴ Mit dieser, auch in den Augen des Philips Programme Committee reizvoll erscheinenden Vision eines attraktiven und bezahlbaren Produkts gelang es Ottens, sein lange Zeit leidenschaftlich verfolgtes Kleinprojekt in den Status der offiziellen Produktentwicklung zu überführen.⁵ Nach einer Präsentation der bisherigen

¹ Ottens, L.F. Interview 12. Okt. 1993, 2B 140; im Original:

“[...] from the moment you can make a solid state laser, it's such a tiny drop of material; so it can't be expensive. There is nothing in it which is really expensive“

Ottens, L.F., Pers. Comm., Fax vom 22. April 1996 (Ottens erinnert sich, daß er die Kosten des Halbleiterlasers mit etwa 10 Gulden angesetzt hatte.)

² Ottens, L.F. Interview 12. Okt. 1993, 2B 090 - 2B 106

Ottens, L.F. „CD Development“ S.12

³ ebenda

vgl. asphärische Linsen, Kap.3.2

Ottens, L.F., Pers. Comm., Fax vom 22. April 1996 (Ottens erinnert sich, daß er die Kosten der asphärischen Linsenoptik mit etwa 15 Gulden angesetzt hatte.)

⁴ Ottens, L.F. Interview 12. Okt. 1993, 2B 160

⁵ ebenda, 2B 060, 2B 164

Forschungsergebnisse vor dem Philips-Vorstand im November 1977 fiel der Startschuß für die CD-Entwicklung.¹

2.4 KOORDINATION UND KOOPERATION (1978-1980)

CD-Lab und Marketing

Mit dem Start der offiziellen Entwicklung sah Joop J.G.Ch. van Tilburg, der inzwischen aufgrund einer Änderung der Organisationsstruktur des Philips-Konzerns zum alleinigen Generaldirektor der Hauptindustriegruppe Audio befördert worden war², die seltene Chance, technische Produktentwicklung und vorbereitende Überlegungen zur Markteinführung gleichzeitig zu betreiben. „Nicht [...], daß man zuerst das Produkt hat, und dann [...] anfängt nachzudenken, wie man das dann noch vermarkten muß.“³

Zu den ersten Marketing-Aktivitäten zählte die Bestimmung eines Produktnamens. Van Tilburg hatte (als Nichttechniker) stets in den kompakten Abmessungen den für jedermann zugänglichsten Vorteil des neuartigen Tonträgers gesehen — andere Vorteile wie optische Laserabtastung und die für Konsumanwendungen völlig neuartige Digitalcodierung bedurften dagegen einer genaueren Erklärung.⁴ Entsprechend hatte er selbst die ungeliebte Bezeichnung „ALP“, in Anlehnung an die ebenfalls von Philips entwickelte, äußerst erfolgreiche „Compact Cassette“, gerne durch „Compact Disc“ ersetzt.⁵ Obwohl auch andere, von seinen Mitarbeitern zusammengetragene Vorschläge wie etwa „Laser Disc“, „Minirack“, „Mini Disc“ oder „Compact Rack“⁶ zwischenzeitlich zu den Fa-

¹ Sinjou, J.P. „Compact Disc 1982-1992“ Vortragsmanuskript, Mai 1991

Sinjou, J.P. Interview 28. Okt. 1993, 4A 220

² van Tilburg, J.J.G.Ch. Interview 2. Dez. 1993, 6A 030

³ ebenda, 6A 233

⁴ ebenda, 6A 151-160

⁵ ebenda, 6A 267

⁶ Sinjou, J.P. „Terugblik op Compact Disc“ Zeittafel der CD-Entwicklung, erstellt anlässlich der Verleihung des Eduard-Rhein-Preises am 9. Okt. 1981.

voriten gezählt wurden, blieb van Tilburg letztendlich bei seinem ersten Vorschlag.¹

Auf organisatorischer Seite schlug sich der Beginn der Produktentwicklung in der Gründung eines eigenen Compact-Disc-Labors, kurz „CD-Lab“, und der Aufstockung des Mitarbeiterstabs nieder.² Leiter dieser Anfang 1978 gegründeten Abteilung der Hauptindustriegruppe Audio wurde Joop P. Sinjou, der zuvor eine Unterabteilung des VLP-Projekts betreut hatte.³ Aufgabe dieses Labors war es, einen ersten Prototyp eines Compact-Disc-Players zu konstruieren, der nicht nur als Basis der gesamten technischen Produktentwicklung dienen sollte, sondern auch äußerlich ansprechend sein mußte, um ihn bei Demonstrationen als Vorbild für spätere Produkte vorzeigen zu können.

Compact Disc und „Pinkeltje“

Um den beiden Anforderungen der technischen Erweiterungsfähigkeit und der Ansehnlichkeit gerecht zu werden, teilte Sinjou das CD-Wiedergabesystem in zwei Bereiche auf. Die zunächst umfangreiche, weil mit diskreten Bauelementen zu realisierende Elektronik wurde in ein Gestell im Format eines Tisches eingebaut. Auf diesem „Tisch“ wurde ein kleines, metallenes Abspielgerät plaziert, das neben allen notwendigen Bedienelementen hauptsächlich das mechanische Plattenlaufwerk mit der optischen Auslesevorrichtung enthielt. Bei Vorführungen konnte — nicht nur aus ästhetischen Gründen — ein Tuch über das häufig als „Kubikmeter Elektronik“ bezeichnete Tischgestell gehüllt werden, so daß der Eindruck erweckt wurde, das mechanische Laufwerk alleine sei das vollständige Wiedergabegerät. Da die vorteilhafte Zweiteilung es



Joop P. Sinjou mit „Pinkeltje“

¹ van Tilburg, J.J.G.Ch. Interview 2. Dez. 1993, 6A 282

² Mons, J.J. Interview 25. Nov. 1993, 5A 253-270

³ van Tilburg, J.J.G.Ch. Interview 2. Dez. 1993, 6A 173
Sinjou, J.P. „CD Development“ S.16

somit erlaubte, die Abspielereinheit wie das spätere Produkt aussehen zu lassen, konnten und mußten auch alle äußerlichen Spezifikationen von Anfang an festgelegt werden.¹

Die wichtigste äußerliche Spezifikation des Compact-Disc-Spielers bestand zunächst in der Festlegung der Erscheinungsform des abzuspielenden Tonträgers. Die ersten Compact Discs selbst wurden, in Verwandtschaft zu inzwischen reproduzierbaren Kunststoff-VLPs, doppelseitig bespielt bzw. aus zwei einzeln hergestellten Seiten zusammengefügt, um durch einen symmetrischen Aufbau gegen feuchtigkeitsbedingte Verwerfungen gefeit zu sein. Durch die Doppelseitigkeit bestand unter der Vorgabe einer Spielzeit von einer Stunde die theoretische Möglichkeit, den Plattendurchmesser auf nur 10 cm zu verringern.² Die beidseitige Anbringung einer noch lesbaren Inhaltsangabe rund um das Achsloch hätte jedoch bei einer derart kleinen Platte zur Folge gehabt, daß nur ein relativ schmaler äußerer Streifen für Toninformationen hätte genutzt werden können. Durch eine nur leichte Vergrößerung des Plattendurchmessers auf die bereits zuvor von van Tilburg geforderte Diagonale einer Compact Cassette von 11,5 cm war es dagegen möglich, die bespielbare Fläche erheblich zu vergrößern. Statt eine 10 cm-Platte nach maximal 30 Minuten umdrehen zu müssen, war es mit einer 11,5 cm-CD zumindest theoretisch möglich, pro Seite auf eine Spielzeit von 60 Minuten zu gelangen.³ Die Entscheidung für einen Durchmesser von 11,5 cm ging schließlich einher mit der Vorstellung, CDs später anstatt in Sandwichbauweise auch als einseitig gepresste und somit kostengünstigere Tonträger herstellen zu können. Die Option, zu einem späteren Zeitpunkt CD-Abspielgeräte für Autos zu konstruieren, konnte auch noch mit einem Durchmesser von 11,5 cm offengehalten werden.

¹ Bei späteren Vorführungen blieb der „Tisch“ zwar stets verhüllt, jedoch war die Tatsache des Vorhandenseins weiterer elektronischer Schaltungen unterhalb des Tisches kein Geheimnis.

Ottens, L.F. „CD Development“ S.13

² Sinjou, J.P. „Terugblik op Compact Disc“ Zeittafel der CD-Entwicklung, erstellt anlässlich der Verleihung des Eduard-Rhein-Preises am 9. Okt. 1981.

³ Ottens, L.F. Interview 12. Okt. 1993, 2B 168

Beispielrechnung (nicht authentisch): Die nutzbare Speicherfläche einer 11,5-cm-CD ($r_1 = 25$ mm (ohne Etikett), $r_2 = 55,5$ mm) beträgt $77,13$ cm² pro Seite, die einer 10-cm-CD ($r_1 = 32,8$ mm (Etikett!), $r_2 = 48$ mm)) beträgt $38,58$ cm² pro Seite. $[A = \pi(r_2^2 - r_1^2)]$

An ein vollständiges CD-Laufwerk in der Größe eines genormten Autoradio-Einbauschachts war zwar noch nicht zu denken, die CD selbst jedoch paßte hinein.¹

Trotz der antizipierten Möglichkeit der einseitigen Pressung von CDs, die später durch den auf PolyGram zurückzuführenden Übergang von Polymethacrylat (Acrylglas) zu Polycarbonat als Trägermaterial der Tonträger erreicht werden konnte, war zu diesem Zeitpunkt noch nicht abzusehen, daß es auch möglich werden sollte, auf ein Achslochetikett zu verzichten und statt dessen die Inhaltsangabe der CD ganzseitig aufzudrucken.² Ansonsten wäre der auf die Etiketanbringung ausgelegte und später standardisierte Achslochdurchmesser der CD von 15 mm noch weiter vergrößert worden, um ihre Handhabung — von allem mit Blick auf automatische CD-Wechsler — zu vereinfachen.



Frühe Test-CD mit Etikett

Die zunächst realisierte Erscheinungsform der doppelseitigen, silbrig spiegelnden Compact Disc beeinflusste im Gegenzug das Äußere des Abspielgerätes. So hatte sich, wie auch beim VLP-Spieler, die Vorstellung entwickelt, daß ein während des Wiedergabevorgangs von außen sichtbarer Tonträger zum einen die Neuartigkeit des Systems veranschauliche und durch die buchstäbliche Transparenz den Zugang zur unbekanntem Technik vereinfache.³ Entsprechend wurde das mechanische Testlaufwerk als „Toplader“ ausgeführt. Eine sich nach oben öffnende, mit einem Sichtfenster versehene Klappe zum Wechseln der Compact Discs war wesentliches Gestaltungselement eines graziilen, pultförmigen Gehäuses aus Aluminium. Dieses mit Blick auf spätere Demonstrationen bewußt klein gehaltene Gerät erhielt, ebenso wie alle analogen und digitalen Testgeräte zuvor, einen Spitznamen. Nach „Johanna“ und „Kidogo“⁴ für die zuvor benutzten ALP-Laborgeräte wurde das

¹ Ottens, L.F. „CD Development“ S.11

² Ottens, L.F., Pers. Comm., Fax vom 22. 4. 1996

³ Sinjou, J.P. „Terugblik op Compact Disc“ Zeittafel der CD-Entwicklung, erstellt anlässlich der Verleihung des Eduard-Rhein-Preises am 9. Okt. 1981.

⁴ Swahili für „Little One“ oder „Kleinchen“. Der Namensvorschlag stammte von Cor Vos, der einige Jahre in Tansania gearbeitet hatte. Vgl. Mons, J.J. Pers. Comm., 4. Juli 1995

neue Entwicklungs- und Demonstrationslaufwerk intern auf den Namen „Pinkel“ oder „Pinkeltje“ (nach einer Zwergenfigur aus einem niederländischen Märchen) getauft.¹



geöffnetes „Pinkeltje“-Demonstrationslaufwerk

Hörprobe

Angesichts der Tatsache, daß inzwischen auch andere Firmen begonnen hatten, Audio-Versionen von verschiedenen Bildplattensystemen zu entwickeln², waren sich van Tilburg, Ottens und Sinjou einig, daß es von entscheidender Bedeutung für die weitere Entwicklung der Compact Disc sein würde, einen Weltstandard anzustreben.³ Da es sich nämlich bei der Compact Disc um kein Einzelprodukt handelte, das von Philips beliebig in den Markt eingeführt werden konnte, sondern um ein System aus Abspielgerät und Tonträgern, war die Unterstützung der phonographischen Indu-

¹ Mons, J.J. Interview 25. Nov. 1993, 5A 323
Pinkeltje ist eine sehr kleine (Haupt-) Figur aus einer niederländischen Märchen-Serie von Dik Haan. Im Gegensatz zum *Dwerg* und *Trol* ist das Pinkeltje ein *Kabouter*, also ein freundliches, hilfsberechtigtes Wesen.

² Sinjou, J.P. Interview 28. Okt. 1993, 4A 155
Welland, K. und H. Redlich, „Entwicklungstendenzen in der Phonotechnik“ *Technische Mitteilungen PTT* 2/1980, S.77-81
Doi, T.T., T. Itoh, and H. Ogawa. „A Long-Play Digital Audio Disk System“ *JAES* 27(12), December 1979, S.975-981

³ van Tilburg, J.J.G.Ch. Interview 2. Dez. 1993, 6A 290-315

strie eine notwendige Voraussetzung für den Erfolg des Produkts.¹ Ohne die Bereitschaft der Musikverlage und Tonträgerfirmen, das bei ihnen unter Vertrag stehende Repertoire auf einem neuartigen Tonträger zu veröffentlichen, wäre eine noch so ausgereifte CD-Technologie am Markt zum Scheitern verurteilt gewesen. Anders als bei Videorecordern, bei denen sich aufgrund der Möglichkeit, eigene Aufnahmen zu erstellen, zeitweilig mehrere verschiedene Systeme am Markt behaupten konnten, war mit Blick auf die völlige Abhängigkeit von vorgefertigter Musik-Software die Einführung gleich mehrerer neuer Tonträgersysteme nicht zu erwarten. Später sollte es sich sogar als schwierig erweisen, die phonographische Industrie überhaupt zur Akzeptanz eines zweiten Tonträgers neben der Schallplatte zu bewegen.²

Um den Entwicklungsvorsprung des Compact-Disc-Systems gegenüber anderen Verfahren auszunutzen, wurde der „Pinkeltje“-Prototyp bereits kurz nach Erlangung einer ersten Funktionsfähigkeit im Herbst 1978 zu Vorführungen eingesetzt. Obwohl es noch bis März 1979 dauern sollte, bis die Nat.Lab.-Entwickler des Fehlerkorrektur- und -verdeckungssystems Lorend Vries mit seinem Assistenten Theo Diepeveen die von ihnen entwickelten Schaltungen so verbesserten³, daß hörbare Klickgeräusche („tictictic“) beseitigt werden konnten⁴, führten auch frühe Hörproben zu bemerkenswerten Reaktionen. Wohlwissend, daß der japanische Unterhaltungselektronikkonzern Matsushita Electric Industrial Co. (MEI) selbst unter der Marke JVC (Victor Company of Japan) an einer Audioversion des Bildplattensystems VHD („Video High Density“) arbeitete, war am Rande einer in Eindhoven stattfindenden Vertragsunterzeichnung mit Matsushita, bei der Gründer und Seniorchef Konosuke Matsushita selbst anwesend sein wollte, eine Demonstration der Compact Disc anberaumt worden.⁵ Nico Rodenburg, der als Präsident des Philips-Konzerns von der Entwicklung der Compact Disc lediglich wußte, jedoch keine Details

¹ Dierckx, F.J. „CD Development“ S.2

² Erläuterungen zur Rolle der phonographischen Industrie folgen im Kapitel 2.6.

³ Peek, J.B.H. Interview 17. April 1996

⁴ Dierckx, F.J. „CD Development“ S.4; verifiziert durch Anmerkung von J.P. Sinjou

⁵ Mons, J.J. Interview 25. Nov. 1993, 5A 350

kannte, ließ sich vor dem Eintreffen der japanischen Delegation das Tonträgersystem vorführen und reagierte mit Begeisterung.¹ Als Matsushita später selbst Zeuge einer der ersten CD-Vorführungen wurde, zeigte er zunächst keinerlei Regung.² Erst als nach der Vorführung der „Pinkeltje“-Spieler enthüllt und der kleine Tonträger präsentiert wurde, stieß er plötzlich einen leisen, langen Zischlaut aus.³ Lou Ottens, der Matsushita seit Verhandlungen um die Compact Cassette im Jahr 1965 kannte, erinnert sich mit Stolz an dieses für einen Japaner „maximale Zeichen von Emotion“:⁴

“He took the green cloth from the little machine and he took the disc out of it, and the old Matsushita said: ‘Tsssssssssss!!!’. For a Japanese this is the absolute maximum [...] sign of emotion that exists... I still see him do it. I never saw it before that a Japanese... They were absolutely flabbergasted!”⁵

Lou F. Ottens sah in diesen Reaktionen die Bestätigung dafür, daß die grundsätzlichen Spezifikationen für das Compact-Disc-System richtig gewählt worden waren. Quasi als Ersatz einer Marktanalyse war ihm bewußt geworden, daß die CD auch auf dem Markt ihre Käufer finden würde. Später formulierte Ottens die Gründe, die seines Erachtens nach die besondere Attraktivität der Compact Disc ausmachten, und verallgemeinerte sie zu einem weiteren Grundsatz der Unterhaltungselektronik:⁶

¹ Dierckx, F.J. „CD Development“ S.5

² Mons, J.J. Interview 25. Nov. 1993, 5A 357

³ Ottens, L.F. Interview 12. Okt. 1993, 2B 450 - 3A 010
Ottens, L.F. „CD Development“ S.13

⁴ Ottens, L.F. Interview 12. Okt. 1993, 2B 464- 3A 030
Ottens, L.F. „CD Development“ S.14

⁵ Ottens, L.F. Interview 12. Okt. 1993, 3A 014 - 3A 020

⁶ ebenda, 2A 086 - 2A 130

Obwohl sich im nachhinein der Erfolg der CD anhand von Ottens' zweitem Gesetz vortrefflich erklären läßt (Miniaturisierung, Leistungsfähigkeit und ggf. einfachere Bedienung sind erfüllt), ist zumindest fraglich, welche Beachtung solchen Gesetzen in der Industriepraxis zukommt. Immerhin genügen gleich zwei neuere HiFi-Produkte aus den Laboratorien der CD-Entwickler, nämlich die digitale Musikkassette „DCC“ von Philips und der beispielbare CD-Ableger „MiniDisc“ von Sony, Ottens' zweitem Gesetz nicht. Während die DCC im Vergleich zur herkömmlichen Analogcassette nur mit dem Vorteil der höheren Tonqualität aufwarten kann, besitzt die MiniDisc als beispielbares Medium lediglich den Vorteil der einfacheren

2. Gesetz der Konsumelektronik (Erfolgsbedingungen):

Ein neuartiges Produkt wird in der Lage sein, einen etablierten Standard zu verdrängen, wenn von den folgenden fünf Bedingungen mindestens zwei erfüllt sind:

- **Miniaturisierung**
(Verkleinerung eines Produkts oder einer wesentlichen Komponente)
- **Wesentliche Verringerung des Energieverbrauch**
(Unabhängigkeit vom Stromversorgungsnetz)
- **Einfachere Bedienung**
(z.B. von der kryptischen Computerbedienung zur graphischen Oberfläche)
- **Steigerung der Leistungsfähigkeit**
(z.B. verbesserte Tonqualität der Compact Disc)
- **Geringerer Preis**
(z.B. das „Computerzeitalter“, ausgelöst durch erschwingliche PCs)

Präsentationen

Neben der Wahl geeigneter technischer Produktspezifikationen war es zur erfolgreichen Einführung der Compact Disc notwendig, drei Hürden marktstrategischer Art zu überwinden. Dabei handelte es sich um verschiedene, teilweise konträre Interessen, ohne deren gegenseitige Abstimmung eine Durchsetzung des CD-Systems nicht zu gewährleisten war. Zum einen bestand seitens konkurrierender Hersteller ein ausgeprägtes Interesse daran, eigene Audioversionen ihrer Bildplattensysteme zur Amortisierung der ge-

Bedienung (schneller, gezielter Zugriff). Vergleicht man die MiniDisc als Abspielvorrichtung vorgefertigter Tonmedien mit der CD, so ist neben dem unerheblichen Vorteil kleinerer Abmessungen sogar der Nachteil geringerer Tonqualität zu verzeichnen. Bezeichnenderweise konnten sich beide Systeme noch nicht am Markt durchsetzen.

Auch andere Produktschicksale lassen sich anhand seines zweiten Gesetzes nachvollziehen. So setzte sich etwa die Compact Cassette in den 60er und 70er Jahren gegenüber der Tonbandtechnik durch, weil sie kleiner als ein Tonband war und ihr Abspielgerät einfacher zu bedienen und zudem billiger als eine Tonbandmaschine war. Sonys Erfolg mit dem „Walkman“ läßt sich durch die ersten beiden Punkte erklären, nämlich durch die Miniaturisierung des Abspielgerätes und die Verkleinerung des notwendigen Energieaufwandes u.a. durch die Verwendung spezieller Kopfhörer.

tätigten Forschungs- und Entwicklungsinvestitionen am Markt zu etablieren. Dieser Produktvielfalt stand das grundsätzliche Interesse des Konsumenten entgegen, die langfristige Wertbeständigkeit eigener Tonträgersammlungen nicht durch Systemwechsel oder eine Vielfalt inkompatibler Systeme zu gefährden. Weiterhin mußte es im Interesse des Philips-Konzerns liegen, alle selbst verfügbaren Kräfte zu mobilisieren, um das erfolgversprechende *Compact Disc Digital Audio System* zum alleinigen Weltstandard zu erheben und möglichst viele Konkurrenten als Lizenznehmer zu gewinnen.

Auf diese drei verschiedenen Ziele wurden die weiteren Demonstrationen des Compact-Disc-Prototyps abgestimmt. Konzernintern wurden Vorführungen für den Philips-Vorstand in Eindhoven¹, das internationale Philips Top-Management bei seiner jährlichen Versammlung in Ouchy bei Lausanne² und für die Konzerntochter PolyGram im niederländischen Baarn veranstaltet. Um potentielle Käufer auf die CD vorzubereiten, wurde am 8. März 1979 die internationale Presse zu einer CD-Demonstration mit anschließender Pressekonferenz nach Eindhoven eingeladen.³ Schließlich begab man sich nur wenige Tage später mit der gesamten Compact-Disc-Technik auf eine einwöchige Reise nach Japan, um bei allen wichtigen japanischen Unterhaltungselektronikkonzernen für die eigene Entwicklung zu werben.

Da alle Demonstrationen von größter Bedeutung für die Zukunft des CD-Projekts sein konnten, waren spezielle Vorkehrungen getroffen worden, um ein Versagen des Systems während einer Vorführung auszuschließen. So waren sowohl vom „Kubikmeter“ Elektronik als auch vom „Pinkeltje“-Abspielgerät und von den Test-CDs mehrere identische Ausführungen angefertigt worden, die bei Demonstrationen stets bereitstanden. Vor jeder Vorführung wurden die Prototypen zudem neu eingemessen, um durch den Transport oder klimatische Veränderungen hervorgerufene Stö-

¹ Mons, J.J. Interview 25. Nov. 1993, 5A 347

² Ottens, L.F. Interview 12. Okt. 1993, 2B 435

Mons, J.J. Interview 25. Nov. 1993, 5B 006

³ Dierckx, F.J. „Compact Disc: A Unique Achievement“ Maplezingen CD, 1985, S.2

Sinjou, J.P. „Compact Disc 1982-1992“ Vortragsmanuskript, Mai 1991

(Terminfixierung nach Eintragungen im Terminkalender von L.F. Ottens)



J.J. „Hans“ Mons

rungen zu vermeiden.¹ Aufgrund dieser Vorichtsmaßnahmen konnten praktisch alle Präsentationen des Compact-Disc-Systems ohne technische Störungen durchgeführt werden. Der einzige Funktionsausfall, der jedoch nicht auf Fehler in der Abspielereinheit zurückzuführen war, stellte sich bei einer in München stattfindenden Vorführung der CD vor den Vorständen von Philips und Siemens als Anteilshaltern von PolyGram ein.² Die vom Philips-Präsidenten Nico Rodenburg beabsichtigte Demonstration der Unempfindlichkeit der CD gegenüber Fingerabdrücken mißlang, weil sich der im Auditorium herumgereichte Tonträger bei der anschließenden Vorführung *nicht* mehr abspielen ließ. Die sich hierbei andeutende Schwäche des noch nicht ausgereiften CD-Systems gegenüber Verunreinigungen der optischen Platte konnte jedoch von Hans Mons, der während der Präsentation die Funktion der Abspielerelektronik überwachte, durch die manuelle Reinigung der Ausleseoberfläche überspielt werden.

Konkurrenz und Kooperation: die Japanreise

Mit großem Selbstbewußtsein verhielt sich Philips gegenüber dem zwischenzeitlichen Aufkommen konkurrierender Tonträgerprojekte. Zwar wurden die Spezifikationen anderer digitaler Audio-Ableger von Bildplattensystemen — wie etwa die „Mini-Disk“ von AEG-Telefunken³ oder das „AHD“-System („Audio High Density“) von JVC⁴ sowie Vorschläge der Firmen Hitachi, Matsushita,

¹ Mons, J.J. Interview 25. Nov. 1993, 5A 372

² ebenda, 6B 300-330

³ Welland, K. und H. Redlich. „Entwicklungstendenzen in der Phontechnik“ *Technische Mitteilungen PTT* 2/1980, S.77-81; Welland, K. und H. Redlich. „The MD (Minidisk) System: A Contribution to the Digital Audio Disk Standard“ *JAES* 28(7/8), July/August 1980, S.510-514

Im Gegensatz zur Compact Disc ist die genaue **Schreibweise** der Mini-Disk offenbar nie genau festgelegt worden. Selbst in Ankündigungen des Entwicklers AEG-Telefunken wechselt sie zwischen „Mini-Disk“ und „Mini Disc“, vgl. Telefunken Fernseh- und Rundfunk GmbH, Abt. Presse und Information. „Digitale Tonaufzeichnung: Die Vorteile des MD-Systems von TELEFUNKEN/TELDEC“ (o.J.)

⁴ Hidaka, T. „JVC AHD Digital Audio Disk System“ *JAES* 29 (1/2), Jan/Feb 1981, S.68-70

Mitsubishi, Pioneer, Sannyo, Sharp, Sony, TEAC und Toshiba — von Joop P. Sinjou, dem Leiter des CD-Labors, genauestens zur Kenntnis genommen.¹ Doch in der Überzeugung, daß die Compact Disc jedem Vergleich standhalten könnte, beeinflusste keines der konkurrierenden Systeme jemals die Entwicklung der CD bezüglich ihrer technischen Parameter.

Trotz der vielversprechenden Technik des Compact-Disc-Systems entstand mit dem Aufkommen einer Konkurrenzsituation verschiedener Systeme grundsätzlich die Gefahr, daß sich auf einem späteren Markt ein Tonträgersystem durchsetzen würde, das der CD technisch unterlegen war.² So hatte sich etwa aufgrund des durch zahlreiche Lizenznehmer erzeugten Marktvolumens schon bei Heimvideorecordern das „VHS“-System von JVC gegenüber dem nicht nur qualitativ hochwertigeren sondern sogar früher am Markt erhältlichen „Betamax“-System von Sony durchsetzen können.³ Verschärft wurde die für Philips ohnehin unangenehme Situation einer verwirrenden Vielzahl angekündigter Konkurrenzprodukte durch die Einmischung des japanischen MITI (Ministry of International Trade and Industry = Ministerium für internationalen Handel und Industrie).⁴ Es veranlaßte die Gründung einer „Digital Audio Disk Standardization Conference“ („DAD“) im September 1978, deren Ziel es war, „den Austausch verschiedener Meinungen bezüglich der Standardisierung digitaler Audio-Disks zu ermöglichen und entsprechende Standard-Spezifikationen auszuarbeiten“.⁵ Hiermit wurde in Japan eine Institution geschaffen, die aus der breiten Palette hauptsächlich japanischer Vorschläge einen weltweiten Standard festlegen sollte.

Um dieses aus niederländischer Sicht bedenkliche Unterfangen nicht zuungunsten der Compact Disc ausfallen zu lassen, entschied

¹ vgl. Sinjou, J.P. „List of Proposal for DAD Signal Format“

² Sinjou, J.P. „CD Development“ S.19

³ Morita, A. *Made in Japan*. New York: Penguin/Signet 1988, S.166, 172

Nayak, P.R. and J.M. Ketteringham. *Breakthroughs!* San Diego 1994, S.20ff.

⁴ Nayak, P.R. and J.M. Ketteringham. *Breakthroughs!* San Diego 1994, S.379

⁵ Digital Audio Disk Standardization Conference: Status of the Digital Audio Disk (DAD) Study Meeting Activity. *JAES* 28(7/8), July/August 1980, S.525-527.

Im Original: „The purpose of this [...] conference is to exchange various opinions on the standardization of the DAD system and to investigate standard specifications“

man sich bei Philips zu einem strategischen Schritt, der sich im nachhinein als wesentlich für den Markterfolg der CD erweisen sollte, nämlich zur Kooperation mit einem japanischen Konkurrenten. Angesichts der Tatsache, daß es sich bei der Compact Disc um ein fast fertiges Konzept handelte (J.J.G.Ch. van Tilburg schätzt, daß seinerzeit bereits 80% des gesamten Entwicklungsaufwandes geleistet worden war¹), bedeutete eine derartige Zusammenarbeit in erster Linie die Preisgabe aller Forschungs- und Entwicklungsergebnisse.² Andererseits konnte jedoch mit einem einflußreichen japanischen Kooperationspartner die Stellung der Compact Disc gegenüber konkurrierenden Systemen gestärkt und — nicht zuletzt auch vor der DAD-Konferenz — größerer Einfluß auf die Durchsetzung der CD als Weltstandard ausgeübt werden.³ Zudem war nicht auszuschließen, daß ein derartiger Kompromiß zwischen Preisgabe von Wissen und Sicherung von Marktchancen ebenfalls die Möglichkeit eröffnete, von den Erfahrungen des Kooperationspartners zu profitieren.⁴

Zur Anbahnung einer niederländisch-japanischen Zusammenarbeit vereinbarte Philips Vorführungstermine mit verschiedenen Firmen und Institutionen in Japan. Mit diesem im Vergleich zur Einladung japanischer Delegationen nach Eindhoven aufwendigeren Verfahren sollte ein Zeichen der Zuvorkommenheit und Selbstsicherheit gesetzt werden, eine in Japan geschätzte Kombination von Tugenden. Hierzu mußten Kubikmeter empfindlicher, handverdrahteter Elektronik buchstäblich um die halbe Welt verfrachtet werden, um potentiellen Kooperationspartnern in einer Umgebung ihrer Wahl eine bequeme Vorführung zu ermöglichen. Die vom 14. bis 23. März 1979 durchgeführte Japanreise der Compact Disc und ihrer Urheber stellt damit einen „diplomatischen“ Höhepunkt der CD-Entwicklung dar. Die achtköpfige niederländische Delegation, unter ihnen J.J.G.Ch. van Tilburg als Direktor der Hauptindustriegruppe Audio, L.F. Ottens als technischer Direktor, J.P. Sinjou als Leiter des CD-Labors und J.J. Mons als

¹ van Tilburg, J.J.G.Ch. Interview 2. Dez. 1993, 6B 130

² vgl. Guterl, F. „Compact Disc“, *IEEE Spectrum*, 25(11), 1988, hier: S.104

³ Nayak, P.R. and J.M. Ketteringham. *Breakthroughs!* San Diego 1994, S.373

⁴ Ottens, L.F. „CD Development“ S.14

verantwortlicher Spezialist für die Elektronik¹, hatte an sechs Vorführungstagen ein dicht gedrängtes Programm mit insgesamt neun Demonstrationen zu absolvieren.

Schon der Transport der gesamten Ausrüstung erwies sich als ungewöhnliches Unterfangen. Um die überaus wertvollen Prototypen nicht aus den Augen zu verlieren, reiste — zur Verwunderung der Flugzeugbesatzung — neben der Philips-Delegation auch die gesamte Technik, inklusive zweier identischer „Kubikmeter“ Elektronik und vier „Pinkeltje“-Laufwerken, in der Passagierkabine erster Klasse nach Tokio.² Eine groteske Situation ergab sich bei der Deklaration des „Wertes“ der eingeführten Apparaturen gegenüber dem japanischen Zoll. Um trotz des ungewöhnlichen „Handgepäcks“ nicht unnötig aufzufallen, wurden als teuerste Geräte ein zum Einmessen benötigter Frequenzzähler aus schwedischer Produktion mit einem Wert von 2.500,- Gulden, gefolgt von japanischen (!) Meßgeräten mit 1.300,- und 1.200,- Gulden abgegeben.³ Die Prototypen wurden als einzelne Komponenten deklariert, deren Wert bei 200,- bis 1.000,- Gulden lag. Obwohl die handgefertigten Prototypen tatsächlich Werte in Millionenhöhe darstellten, beliefen sich nach diesen Angaben die Kosten einer Vorführungseinheit, bestehend aus „Pinkeltje“ und einem Kubikmeter Servo-, Decodierungs- und Fehlerkorrektur-Elektronik, auf 2.600,- Gulden, kaum mehr als der Preis eines späteren CD-Spielers bei der Markteinführung.

Höhepunkte der Vorführungsreihe waren CD-Demonstrationen, die vor den Wunschkandidaten für eine Kooperation durchgeführt wurden. Dies waren in chronologischer Reihenfolge JVC, Sony, Pioneer, Hitachi und MEI (Matsushita). Außerdem war aus taktischen Gründen neben einer Pressevorführung eine Demonstration vor der DAD-Konferenz anberaumt worden, bei der die Leistungs-

¹ Weitere Teilnehmer waren W. Zeiss, P.W. Boegels, F.J.A.M.C. Dierckx und L. Boonstra.

vgl. Sugimura, T. „Programme Visit Audio Management. Accompanied by VLP/ALP Delegations. 14th - 23rd March 1979“ 1979-03-14, Manuskript des geplanten Reiseablaufs

² Sinjou, J.P. Interview 28. Okt. 1993, 4A 029

Mons, J.J. Interview 25. Nov. 1993, 5B 102

Dierckx, F.J. „CD Development“ S.5

vgl. auch „Apparaten voor demo reis“ vom 28.2.1979

³ „Apparaten voor demo reis“ vom 28.2.1979

fähigkeit und der fortgeschrittene Entwicklungsstand der CD gegenüber anderen Systemen zum Ausdruck gebracht werden sollten.¹

Wie von der Philips-Delegation nicht anders erwartet², verliefen die im Rahmen der Demonstrationen geführten Verhandlungen überaus zäh. Obwohl die Vorführungen selbst problemlos durchgeführt werden konnten³, war bei den anschließenden Gesprächen ein großes Maß an Geduld und diplomatischem Geschick erforderlich. Da sich nämlich alle japanischen Gastgeber zwar sehr freundlich im Umgang, jedoch praktisch unbeeindruckt von der Sache gaben, verliefen die Gespräche in einer verhaltenen Atmosphäre. Zusätzlich wurden die Verhandlungen dadurch erschwert, daß alle von der niederländischen Delegation in Englisch abgegebenen Erklärungen ins Japanische übersetzt wurden, eine überaus langwierige und häufig unnötige, von den japanischen Gastgebern jedoch gerne in Anspruch genommene Prozedur.⁴ Diese aus westlicher Sicht ohnehin sehr zögerlich erscheinenden „Gespräche“ fanden schließlich ihren Abschluß in einem offenen Ende. Zwar unterbreitete Joop van Tilburg als Verhandlungsleiter jeder einzelnen Firma das Angebot, zusammen mit ihr die Compact Disc zur Marktreife zu entwickeln, doch in keinem Fall wurde ein derartiges Angebot mit konkretem Interesse erwidert.⁵

Im Bewußtsein, daß Entscheidungen mit großer Tragweite in Japan nicht spontan, sondern vielmehr mit Bedacht gefällt werden, rechnete van Tilburg nicht ernsthaft damit, noch während seines Japan-Aufenthalts eine Reaktion auf sein Angebot zu erhalten.⁶ Doch buchstäblich in letzter Minute vor der Rückreise nach Europa erreichte den mit dem Packen seines Koffers beschäftigten van Tilburg der entscheidende Anruf. Akio Morita, Mitgründer und Präsident von Sony, unterbreitete dem überraschten van Tilburg, er habe sich, in Abstimmung mit seinem Vorstand, für eine Zusammenarbeit mit Philips entschieden. Norio Ohga werde als Vize-

¹ vgl. Sugimura, T. „Programme Visit Audio Management. Accompanied by VLP/ALP Delegations. 14th - 23rd March 1979“ 1979-03-14, Manuskript des geplanten Reiseablaufs

² Ottens hatte um 1965 für die Compact Cassette eine ähnliche Demonstrationsreise durchgeführt.

³ Mons, J.J. Interview 25. Nov. 1993, 5B 218

⁴ van Tilburg, J.J.G.Ch. Interview 2. Dez. 1993, 6A 390-407

⁵ ebenda, 6A 417

⁶ ebenda, 6A 426

präsident von Sony nach Eindhoven kommen, um die vertraglichen Einzelheiten zu klären.¹ Joop van Tilburg, dem die japanische Tradition der Verbindlichkeit mündlicher Zusagen im allgemeinen und die Vertrauenswürdigkeit des häufig telefonisch operierenden Akio Morita im speziellen bewußt war,² konnte schließlich die Nachricht vom Erfolg der Japanreise mit nach Hause bringen. Philips hatte mit Sony (übrigens neben Matsushita einem der beiden favorisierten Wunschkandidaten³) einen geradezu idealen Kooperationspartner gefunden, der erheblich zum späteren Erfolg der Compact Disc beitragen sollte.

Sony — ein erfahrener Partner

Die Bemühungen um einen japanischen Kooperationspartner fielen in eine Zeit der allgemeinen Orientierungslosigkeit bezüglich der aufkommenden *digitalen* Audiotechnik.⁴ Philips selbst hatte nur im Bereich der Kommunikationstechnik entsprechende Erfahrungen sammeln können und bemühte sich mit der Compact Disc erstmals um eine hinsichtlich der Tonqualität hochwertige Anwendung.⁵ Andere, vornehmlich japanische Hersteller hatten bereits um 1978, trotz großer Schwierigkeiten bei der Einigung auf einen gemeinsamen digitalen Standard, erste digitale Studiorecorder zur Serienreife geführt.⁶ So hatte Sony digitale Audiorecorder auf den selbst entwickelten Videorecordersystemen vom Typ „U-matic“ und „Betamax“ aufgebaut. Aufgrund der hohen Verkaufszahlen der Basisgeräte setzten sich derart zweckentfremdete Videorecorder als preiswerte digitale Audiorecorder durch und beeinflussten, trotz entsprechend verquerer digitaler Parameter, die gesamte digitale Audiotechnik, inklusive der CD.⁷

¹ van Tilburg, J.J.G.Ch. Interview 2. Dez. 1993, 6A 460-499

² vgl. Morita, A. *Made in Japan*. New York: Penguin/Signet 1988

³ Ottens, L.F. Interview 12. Okt. 1993, 3A 060; vgl. auch Nayak, P.R. and J.M. Ketteringham. *Breakthroughs!* San Diego 1994, S.379-380

Mons, J.J. Interview 25. Nov. 1993, 5B 227

⁴ Ottens, L.F. Interview 12. Okt. 1993, 3A 050-059; vgl. auch Kap.4

⁵ Mons, J.J. Interview 25. Nov. 1993, 5A 150

⁶ vgl. Kap.4

⁷ Doi, T.T. „Recommendation of 50.4 kHz as the Sampling Frequency of Digital Audio Systems“ Manuskript, May 25, 1978. Vgl. auch Kap.4

Neben den Arbeiten an digitalen Studiorecordern und parallel zur Produktentwicklung der Compact Disc bei Philips waren auch andere Firmen dazu übergegangen, Audio-Versionen ihrer Bildplattenspielerysteme anzukündigen. Von besonderer Bedeutung waren etwa die Arbeiten bei AEG-Telefunken an einem digitalen Ableger des „TED“-Bildplattensystems namens *Mini-Disk*.¹ Diese mit einem geplanten Durchmesser von 13,5 cm relativ kompakten Platte sollte nicht optisch, sondern über einen Piezo-Tonabnehmer mechanisch abgetastet werden. JVC, ein Tochterunternehmen des japanischen Matsushita-Konzerns, entwickelte auf der Basis des Bildplattensystems VHD („Video High Density“) einen Tonträger namens AHD („Audio High Density“).² Dieser zur Bildplatte kompatible und auf entsprechenden Bildplattenspielern abspielbare Tonträger arbeitete mit einem nochmals unterschiedlichen Abtastverfahren, nämlich mit einem elektro-kapazitiven Sensor auf einer rillenlosen Platte. Die erst kurz nach der Japanreise der Philips-Delegation von JVC angekündigte AHD³ sollte sich später im Rahmen der DAD-Konferenz zum wichtigsten Gegenspieler der CD entwickeln.

Auch Sony hatte mit der Entwicklung eines eigenen digitalen Tonträgersystems begonnen, das sich jedoch im Gegensatz zur Mini-Disk und zur AHD nicht an Bildplattenspielern orientierte. Das seit Mitte der 70er Jahre entwickelte und im März 1979 auf der 62. Konvention der Audio Engineering Society vorgestellte „Long-Play Digital Audio Disk System“ war als reines Tonträgersystem konzipiert worden; dabei waren sowohl Plattengröße als auch die Gestaltung des Abspielgeräts vom herkömmlichen Schallplattensystem übernommen worden. Bemerkenswerterweise wies diese später zugunsten der Compact Disc aufgegebene Entwicklung eine wesentliche Gemeinsamkeit mit der CD auf, nämlich das berührungslose Auslesen der Informationen durch einen Laser, in diesem Fall jedoch einen Gaslaser.⁴

¹ Welland, K., H. Redlich. „Entwicklungstendenzen in der Phontechnik“ *Technische Mitteilungen PTT* 2/1980: 77-81

² Hidaka, T. „JVC AHD Digital Audio Disk System“ *JAES* 29(1/2), Jan./Feb. 1981, S.68-70

³ van Tilburg, J.J.G.Ch. Interview 2. Dez. 1993, 6A 377

⁴ vgl. Doi, T.T., T. Itoh, and H. Ogawa. „A Long-Play Digital Audio Disk System“ *JAES* 27(12), December 1979, S.975-981

Tonträgersystem von Sony¹

Mit den Vorleistungen auf digitalem Gebiet und dem grundsätzlichen Interesse an der Entwicklung eines digitalen, optisch abgetasteten Tonträgersystems war Sony ein idealer Partner für Philips. So konnten die Schwächen der Sony-Entwicklung, die Toshi Tada Doi als verantwortlicher Experte für digitale Audioelektronik in der 150-minütigen Spielzeit sah, „welche sich vom [Musik-] Software-Standpunkt als unnötig erweisen könnte“², durch den Übergang auf das konzeptionell ausgereifte, weil als vermarktbare Konsumgut geplante³

Compact-Disc-System vermieden werden. Auf der anderen Seite konnte die Compact Disc, deren Schwäche in der digitalen Signalverarbeitung — insbesondere der Fehlerkorrektur — lag, von den umfangreichen Erfahrungen Sonys profitieren.⁴ Sony und Philips ergänzten sich zu einem in allen Bereichen kompetenten und bezüglich der Durchsetzung eines neuartigen digitalen, optisch abgetasteten Tonträgers ambitionierten Entwicklungsteam.⁵

Technische Kooperation — inhaltliche Änderungen

Nachdem Norio Ohga als Vizepräsident von Sony wenige Wochen nach der Japanreise der CD-Gruppe in Eindhoven mit Joop van Tilburg ein Kooperationsabkommen abgeschlossen hatte, begann im August 1979 eine intensive Zusammenarbeit auf technischem Gebiet.⁶ Um die Spezifikationen der CD bis ins Detail auszuarbeiten, trafen sich Philips- und Sony-Ingenieure bis zur Ver-

¹ Foto aus: Doi, T.T., T. Itoh, and H. Ogawa. „A Long-Play Digital Audio Disk System“ *JAES* 27(12), December 1979, S.975-981

² ebenda; Im Original: „[...] an extremely long playing time is achieved, which might be unnecessary from a software point of view“

³ Ottens, L.F. Interview 12. Okt. 1993, 3A 070

⁴ vgl. Kap.3

⁵ Ottens, L.F. Interview 12. Okt. 1993, 3B 080; Vgl. auch van Tilburg, J.J.G.Ch. Interview 2. Dez. 1993, 6B 020

⁶ Sinjou, J.P. „Compact Disc“ Eine Zusammenstellung für Piet Kramer. S.3 Dierckx, F.J. „Compact Disc: A Unique Achievement“ *Maplezingen CD*, 1985, S.2

abschiedung eines gemeinsamen Standards im Juni 1980 in regelmäßigen Abständen abwechselnd in Tokio und Eindhoven.¹

Ziel der Zusammenarbeit war es nicht, konkrete technische Komponenten zu entwerfen, vielmehr sollten Randbedingungen gefunden werden, die es unter Berücksichtigung des technisch Möglichen und des qualitativ und konzeptionell Notwendigen auch jedem späteren Lizenznehmer erlauben sollten, die Technik eines Compact-Disc-Abspielgeräts selbständig zu entwickeln. Da die Gespräche in erster Linie auf grundsätzliche Vereinbarungen abzielten, konkrete technische Detaillösungen dagegen im Hintergrund standen, fand die Zusammenarbeit zwischen Sony und Philips in einer guten, ungewöhnlich kollegialen Atmosphäre statt.² Im Rahmen monatelangen Pendelns entwickelten sich zwischen den beteiligten japanischen und niederländischen Ingenieuren persönliche Freundschaften und ließen zwischen den Mitarbeitern von Sony und Philips eine „Familien“-Atmosphäre aufkommen.³

Die sehr konzentriert verlaufenden und sich im nachhinein als äußerst ergiebig erweisenden Treffen von Sony- und Philips-Ingenieuren⁴ begannen mit den Berichten beider Parteien über die Vorarbeiten und Erfahrungen, die ins Compact-Disc-System eingebracht werden konnten.⁵ Dabei wurde das grundsätzliche, auf hohe Marktakzeptanz abgestimmte Konzept der Compact Disc unverändert beibehalten. Lediglich hinter der Fassade des Konsumguts wurden teilweise erhebliche technische Verbesserungen vorgenommen. So mußte etwa das von Philips für den Prototyp entwickelte Fehlerkorrektursystem einem völlig andern Verfahren weichen, um unvermeidlich auftretende Auslesefehler sicherer erkennen und unterdrücken zu können. Als problematisch beim ursprünglich von Philips entwickelten „Convolutional-Code“-Verfahren⁶ hatte sich nämlich erwiesen, daß jene Auslesefehler, die

¹ z.B. im Oktober 1979 in Tokyo und im Dezember 1979 in Eindhoven; vgl. Progress Report, Natuurkundig Laboratorium, Group: Digital Signal Processing for Electronic Systems, Dr.Ir. J.B.H. Peek, Period: October - December 1979, S.2, Nr. 3.2 „Compact disc, (Vries, Diepeveen)“

² Sinjou, J.P. „Compact Disc“ Eine Zusammenstellung für Piet Kramer. S.4

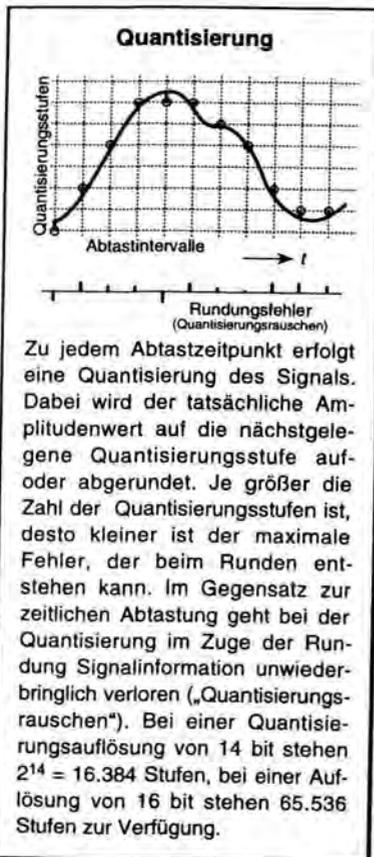
³ ebenda, S.3

⁴ vgl. Guterl, F. „Compact Disc“. *IEEE Spectrum*, 25(11), 1988, S.106

Nayak, P.R. and J.M. Ketteringham. *Breakthroughs!* San Diego 1994, S.380

⁵ Mons, J.J. Interview 25. Nov. 1993, 5B 276

⁶ vgl. Kap.3.4



nicht mit Hilfe zusätzlich auf der CD gespeicherter Redundanzinformationen aufgespielt und behoben werden konnten, über das Musikstück als nicht erkannte Fehler fortgeschleppt wurden.¹ Dies hatte neben unmittelbaren Klangverfälschungen zur Folge, daß weiterhin erkannte Fehler aufgrund der sich fortpflanzenden unerkannten Fehler nicht korrigiert werden konnten, sondern durch kurzzeitiges Ausblenden des Musiksignals verdeckt und somit unhörbar gemacht werden mußten. Da die Häufigkeit, mit der dieses sogenannte „Muting“-Verfahren in Aktion trat — vor allem mit Blick auf eine spätere Verwendung der CD als Datenspeicher — zu hoch erschien², verlangte Sony den Übergang zu einem anderen Fehlererkennungs- und Korrekturverfahren. Das schließlich vereinbarte „CIRC“-Verfahren³ profitierte vor allem von den Erfahrungen, die Sony bereits in der professionellen digitalen Audiotechnik hatte sammeln können.

Ebenfalls beeinflusst von der Entwicklung digitaler Studioaufzeichnungsmaschinen war Sonys Forderung, auch für den Konsumentenbereich die Genauigkeit der digitalen Auflösung — der sogenannten „Quantisierung“ — von 14 auf 16 bit zu erhöhen.⁴ Durch diesen Schritt, der zwar mit teureren „Umsetzern“ zwischen analogen und digitalen Audiosignalen erkaufte werden mußte, wurde das bei digitalen Aufnahmen stets auftretende „Quantisierungsrauschen“ reduziert. Die Festsetzung der Quantisierungsauflösung auf 16 bit (neben der

¹ vgl. Guterl, F. „Compact Disc“, *IEEE Spectrum*, 25(11), 1988, S.106

² Peek, J.B.H. Interview 17. April 1996

³ Cross-Interleaved Reed-Solomon Code, Fehlerkorrekturverfahren der CD; vgl. Kap.3.4

⁴ Nayak, P.R. and J.M. Ketteringham. *Breakthroughs!* San Diego 1994, S.381

Abtastrate¹ ist die Quantisierungsauflösung ein wichtiger Parameter der digitalen Audiotechnik) wirkte später unter der Bezeichnung „CD-Qualität“ auf die digitale Audiotechnik weltweit standardisierend.²

Während bei der Festlegung digitaler Parameter und der Ausarbeitung mathematischer Fehlerkorrekturverfahren in erster Linie ein Konsens zwischen den Kooperationspartnern erreicht werden mußte, stellte die noch fehlende Marktreife des unbedingt erforderlichen Halbleiterlasers das CD-Entwicklungsteam vor grundsätzliche Probleme.³ Obwohl derartige Bauteile am Markt nur in selektierten Kleinserien oder Labormodellen verfügbar waren, mußte aus unterschiedlichen Alternativen ein geeigneter Typ ausgewählt werden, auf dessen Eigenschaften (insb. Wellenlänge) weitere CD-Spezifikationen abgestimmt werden konnten.⁴ Unter dem Aspekt einer angestrebten Mindestlebensdauer, die auch unter Großserienbedingungen erreicht werden konnte, erwies sich eine derartige Entscheidung als überaus schwierig, war doch die Möglichkeit der Überprüfung der Lebensdauer der neuartigen Bauelemente in „Echtzeit“ nicht gegeben. Erst Jahre nach dem Produktionsstart der CD sollte sich herausstellen, daß die Wahl des AlGaAs-Halbleiterlasers richtig getroffen worden war; andere Alternativen stellten sich als weniger haltbar heraus.⁵

Insgesamt entwickelten sich die CD-Standardisierungsverhandlungen so, daß Philips aufgrund eigener Erfahrungen mit der Laserabtastung der VLP und laufenden Forschungsarbeiten an Laserdioden, Ausleseoptik, Strahlengang und Servomechanik in erster Linie auf dem optischen Gebiet gefordert war.⁶ Sony dagegen brachte Erfahrungen mit digitalen Studioaufnahmegeräten ein und prägte damit die Konzeption der Digitalelektronik. So waren die zur Entdeckung, Behebung und Verdeckung von Auslesefehlern notwendigen Fehlerkorrekturverfahren durch die von Sony beigesteuerten Arbeiten geprägt.

¹ vgl. Kap.4

² vgl. Kap.5

³ vgl. Guterl, F. „Compact Disc“. *IEEE Spectrum*, 25(11), 1988, S.105

⁴ vgl. Kap.3.2

⁵ Sinjou, J.P. Interview 28. Okt. 1993, 5A 390-406; „Aluminium-/Galliumarsenid“, vgl. Kap.3.2

⁶ Sinjou, J.P. „Compact Disc“ Eine Zusammenstellung für Piet Kramer. S.3.2

Verlängerung der Spielzeit einer CD

Nur an einem Punkt der Zusammenarbeit mußte Philips Sony gegenüber ein Zugeständnis eingehen, das mit dem ursprünglichen Konzept der CD nicht vereinbar war. Der von Norio Ohga im Verlauf der Verhandlungen eingebrachte Wunsch, die Spielzeit der Compact Disc zu verlängern, kollidierte mit der namensgebenden Forderung nach Kompaktheit. Die bis zu diesem Zeitpunkt angestrebte Maximalspielzeit von 60 Minuten war mit Blick auf die übliche Länge von Musikprogrammen vereinbart worden.¹ Mit 60 Minuten übertraf die CD die maximale Spielzeit einer dicht beschriebenen, doppelseitigen LP um einige Minuten und war somit in der Lage, alle bereits auf Schallplatte verfügbaren „Long-play“-Programme aufzunehmen, mit denen beispielsweise die deutsche Tonträgerindustrie etwa 90% ihrer Umsätze erwirtschaftet.² Musikprogramme für eine knapp einstündige Spielzeit konnten zudem, so zeigte die Erfahrung, von Künstlern in genau einem Jahr angefertigt werden; entsprechende Verträge zwischen Tonträgerherstellern und Künstlern sind nach wie vor branchenüblich.³ In Anbetracht der Tatsache, daß jede zusätzliche Spielminute auf der CD mit einer Vergrößerung ihres Durchmessers erkaufte werden mußte, schien nichts gegen eine 60-minütige Compact Disc zu sprechen. Auch Sony hatte sich, wenngleich nicht bei der zugunsten der CD aufgegebenen Vorläuferentwicklung einer optischen Digitalplatte, einen Namen mit kompakten Geräten gemacht. Immerhin war Sony 1957 der eigentliche Durchbruch mit einem „Taschen“-Transistorradio gelungen, für das der Aspekt der Kompaktheit (zumindest als Werbeargument) als derart wichtig eingestuft wurde, daß Handelsvertretern Hemden mit leicht vergrößerten Taschen angefertigt wurden, in die das Gerät werbewirksam hineingesteckt werden konnte.⁴

¹ Mons, J.J. Interview 25. Nov. 1993, 5B 320-330

² Zombik, Peter. „Tonträger im Markt der Zukunft“ *Media Perspektiven* 10/1995, hier: S.497

³ Moser, Rolf, Andreas Scheuermann (Hg.) *Handbuch der Musikwirtschaft*. Sarnberg: Josef Keller Verlag 1992, S.802

Ottens, L.F. Interview 12. Okt. 1993, 2A 038-042

Ottens, L.F. „CD Development“ S.10

⁴ „pocketable“ transistor radio; vgl. Morita, A. *Made in Japan*. New York 1988, S.79

Dennoch drängte Norio Ohga den inzwischen befreundeten Joop van Tilburg, die Spielzeit der Compact Disc auf über 74 Minuten zu verlängern und den Durchmesser entsprechend um 5 Millimeter auf 12 cm zu vergrößern.¹ Der Grund für Ohgas Bitte lag in seiner Ausbildung. Trotz seiner frühen, persönlichen Kontakte zu Firmengründer Akio Morita, der Ohga als interessierten Physik-Studenten an der Tokioter Universität kennengelernt hatte und ihn in die Sony-„Familie“ hatte aufnehmen wollen, absolvierte er zunächst in Berlin eine Ausbildung als Opernsänger.² Wie auch seine Frau, eine studierte Konzertpianistin, war Ohga ein Kenner und Liebhaber klassischer Musik. Diese Leidenschaft begründete seine Bitte, die Spielzeit der CD derart zu verlängern, daß ein spezielles klassisches Werk erstmals in voller Länge auf nur einen Tonträger gepreßt werden konnte — dabei handelte es sich um die neunte Symphonie von Ludwig van Beethoven.³

Obwohl dieser Wunsch bei den auf Kompaktheit bedachten Philips-Ingenieuren nicht auf ungeteilte Zustimmung traf⁴, erschien er angesichts der Tatsache, daß sich Beethovens neunte Symphonie in Japan allgemein großer Beliebtheit erfreut, so berechtigt, daß er dem Vizepräsidenten von Sony nicht ausgeschlagen werden konnte, zumal sich die dazu notwendige Verlängerung der Spieldauer nur auf wenige Minuten belief. Für die von Ohga bevorzugte Interpretation des Werkes benötigten die Berliner Philharmoniker unter Leitung von Herbert von Karajan kaum mehr als 66 Minuten.⁵ Um aber auch anderen Dirigenten die Möglichkeit zu geben, Beethovens Neunte weniger hastig darzubieten, wurde nach Prüfung der längsten bekannten Spieldauer dieses Werks durch PolyGram die

¹ van Tilburg, J.J.G.Ch. Interview 2. Dez. 1993, 6B 035

² ebenda, 6B 042

³ van Tilburg, J.J.G.Ch. Interview 2. Dez. 1993, 6B 106-12

Dierckx, F.J. „CD Development“ S.6

Damit wird die Aussage von Guterl, nach der die Vergrößerung des Durchmessers der CD von 11,5 auf 12 cm einerseits auf die Erhöhung der Quantisierungsbits von 14 auf 16 und andererseits auf den Wunsch Akio Moritas, Beethovens Neunte — das Lieblingsstück seiner Frau — auf einer CD speichern zu können, zurückzuführen sei, widerlegt. Vgl. Guterl, F. „Compact Disc“. *IEEE Spectrum*, 25(11), 1988, S.106

⁴ Sinjou, J.P. Interview 28. Okt. 1993, 5A 169, 180-195

⁵ Ottens, L.F. Interview 12. Okt. 1993, 2A 053

mögliche Spielzeit der Compact Disc von 60 auf mehr als 74 Minuten verlängert.¹

Am Ende der Verhandlungen stand im Juni 1980 ein Satz technischer Spezifikationen, die in einem — nach Sinjous Lieblingsfarbe benannten — „Roten Buch“ niedergelegt wurden.² Sie umfaßten alle Angaben, die als grundsätzliche Rahmenbedingungen unbedingt zur Gewährleistung jeglicher Kompatibilität zwischen (Audio-) Compact Discs und entsprechenden Abspielgeräten erforderlich waren. Nicht standardisiert wurden dagegen konkrete Konstruktionsdetails der Abspielgeräte. Um spätere Lizenznehmer zu eigenständigen technischen Umsetzungen zu bewegen und nicht zuletzt auch auf diesem Wege einen Vorsprung an Know-how sicherzustellen, bestand etwa für die ohnehin dem ständigen technischen Fortschritt unterliegende Ausleseoptik und Servomechanik, ebenso wie für periphere oder verzichtbare Systemkomponenten wie etwa die zur CD-Aufbewahrung übliche „Jewel Box“, kein Standardisierungsbedarf.³

Ende der DAD Standardization Conference

Ein Ziel, das sich die Kooperationspartner Philips und Sony gesteckt hatten, war die Einbringung endgültiger CD-Spezifikationen in die Verhandlungen der Digital Audio Disk (DAD) Standardization Conference bzw. deren Ausschüsse und Arbeitsgruppen.⁴ Diese vom japanischen MITI initiierte und im September 1978 zunächst von 29 Unterhaltungselektronik- und Musiksoftwareunternehmen gegründete Organisation verfolgte das Ziel, über die

¹ Bögels, P.W. (Philips). Brief an J.F. Brouwer, April 14, 1981

Nach Recherchen des japanischen Journalisten Nobuyuki Fu handelt es sich dabei um eine (Mono-) Aufnahme eines Konzerts, das am 29. Juli 1951 im Rahmen der Festspiele in Bayreuth unter der Leitung von Wilhelm Furtwängler stattgefunden hatte. (Länge: 74 min. 41 sec.) Vgl. engl. Randbemerkungen zur Abbildung aus: Fu, Nobuyuki. *Hear the Light* (engl. Übers. d. Titels), Bungei Shunju K.K. 1987, S.35

² Dierckx, F.J. „Compact Disc: A Unique Achievement“ Maplezingen CD, 1985, S.2

Sinjou, J.P. „Compact Disc 1982-1992“ Vortragsmanuskript, May 1991

³ Nayak, P.R. and J.M. Ketteringham. *Breakthroughs!* San Diego 1994, S.381

⁴ Zur Strukturierung der DAD Standardization Conference vgl: Digital Audio Disk Standardization Conference: Status of the Digital Audio Disk (DAD) Study Meeting Activity. *JAES* 28 (7/8), July/August 1980, S.525-527

Standardisierung einer zukünftigen digitalen Audioplatte zu beraten.¹ Doch das ehrgeizige Vorhaben, die Interessen der zahlreichen Teilnehmer (bis 1981 war ihre Zahl auf 50 angewachsen²) in eine einzige gemeinsame Norm einfließen zu lassen, sollte sich als undurchführbar erweisen.³ Schon die Ende 1979 beschlossenen Zielvorgaben („target specifications“) spiegelten die mangelnde Konsensfähigkeit selbst bei grundlegenden Fragen wider. Abgesehen von der seinerzeit auffallend umweltbewußten Forderung nach der Wiederverwertbarkeit des Plattenmaterials war weitgehend unklar, nach welchem Verfahren eine digitale Audioplatte abgetastet werden solle, ob die Weiterbenutzung herkömmlicher Schallplatten-Preßmaschinen und -Abspielgeräte festgelegt werden solle, ob eine Kompatibilität zwischen der digitalen Audioplatte und der analogen Videoplatte erlaubt oder gar gefordert werden müsse, ob Stereo- oder Vierkanal-Signale auf einer DAD gespeichert werden sollten und welchen Durchmesser die Platte haben dürfe.⁴

Obwohl entsprechende Überlegungen von Philips bereits Jahre zuvor angestellt worden waren und eine grundsätzliche Abänderung der Spezifikationen der CD nicht ernsthaft in Betracht gezogen werden konnte, beteiligte sich Philips an der obligatorischen DAD-Veranstaltung, nicht zuletzt um mit dem Entwicklungsvorsprung der CD einen richtungsweisenden Einfluß auf die Normenfindung auszuüben.⁵ Tatsächlich gelang es Philips spätestens im Zuge der Zusammenarbeit mit Sony, mit dem *Compact Disc Digital Audio System* einen der vorderen Plätze im japanischen Wettbewerb der

¹ Digital Audio Disk Standardization Conference: Status of the Digital Audio Disk (DAD) Study Meeting Activity. *JAES* 28 (7/8), July/August 1980, S.525-527, (1.2)

² Minutes of the Meeting of the Digital Audio Technical Committee, 1981 November 2. *JAES* 30 (1/2), Jan./Feb. 1982, S.40-46, (3.2.7).

³ vgl. Ottens, L.F. Interview 12. Okt. 1993, 3A 060: „And they were talking and talking — and nothing happened!“

⁴ Harada, M. „The Target Specifications of the DAD System. Requirements form WG-1“; publiziert und besser lesbar in: Digital Audio Disk Standardization Conference: Status of the Digital Audio Disk (DAD) Study Meeting Activity. *JAES* 28 (7/8), July/August 1980, S.525-527

⁵ vgl. Sugimura, T. „Programme Visit Audio Management. Accompanied by VLP/ALP Delegations. 14th - 23rd March 1979“ 1979-03-14, Manuskript des geplanten Reiseablaufs

Digitalplatten-Vorschläge einzunehmen. Zusammen mit zwei anderen Systemen, dem vom japanischen Matsushita-Konzern bzw. dessen Tochter JVC entwickelten AHD-System und dem deutschen Mini-Disk-System (MD) von AEG-Telefunken, gelangte die Compact Disc 1980 in die Endrunde der DAD-Ausscheidung.¹ Da die DAD Standardization Conference jedoch nicht in der Lage war, eine weitere Auswahl zu treffen, konnte während der Schlußsitzung am 10. April 1981 lediglich eine Patt-Situation zwischen den drei Systemen festgestellt werden — anschließend stellte die DAD-Konferenz ihre Aktivitäten ein.²

Trotz dieses scheinbar offenen Endes und der ernüchternden Empfehlung, jeder DAD-Teilnehmer möge aus den drei Vorschlägen selbst auswählen³, läßt sich die CD leicht als eigentlicher Gewinner unter den drei Systemen ausmachen.⁴ So wurde im Gegensatz zu den audioorientierten Systemen Compact Disc und Mini-Disk das „eher den üblichen Gebrauch eines Video-Systems berücksichtigende“ AHD-System von JVC, das kompatibel zu JVCs Bildplattensystem VHD war und damit einen technischen Kompromiß darstellte, seitens der beteiligten Audio-Ingenieure kritisch betrachtet.⁵ Außerdem war unverkennbar, daß im Rahmen der DAD-Verhandlungstätigkeit „großes Interesse“ für die Systeme CD und AHD bekundet worden war, an den Arbeitsgruppen-

¹ Kato, T. „Digital Audio Activities in Japan“ *JAES* 29 (1/2), Jan./Feb. 1981, S.58-60

² Digital Audio Technical Committee Report. Appendix 2 *JAES* 29 (9), Sep 1981, S.620-624

³ ebenda

⁴ van Tilburg, J.J.G.Ch. Interview 2. Dez. 1993, 6B 202-207

Die von Sony offiziell gebilligte Schilderung (pers. comm. Mrs. C. Feuer-senger, Publ. Communication, CCE, Sony Europe) in „*Breakthroughs!*“ (Nayak, P.R. and J.M. Ketteringham. *Breakthroughs!* San Diego 1994, S.382) besagt, daß die CD ohnehin als Gewinner aus den DAD-Verhandlungen hervorging, wörtlich: „But the demonstration that they [Philips and Sony] gave [to the DAD Committee in May 1980] was strong enough to swing the committee in favor of CD over JVC's AHD“

⁵ Digital Audio Technical Committee Report. Appendix 2 *JAES* 29 (9), Sep 1981, S.620-624 Im Original: „[...] in contrast with the AHD system which rather takes care of the common use of a video system“

vgl. auch Kato, T. „Digital Audio Activities in Japan“ *JAES* 29 (1/2), Jan./Feb. 1981, S.58-60

sitzungen um die MD jedoch niemand teilgenommen hatte.¹ Ein weiteres Indiz dafür, daß die CD inoffiziell an erster Stelle gehandelt wurde, war die Reihenfolge der Erwähnung der drei vorgeschlagenen Systeme im Sitzungsprotokoll, nämlich die Compact Disc von Philips und Sony an erster Stelle, gefolgt vom Mini-Disk-System von AEG-Telefunken/Teldec und dem AHD-System von JVC an letzter Stelle.²

2.5 ENDSPURT (1980-1982)

Noch vor der ausstehenden (wenngleich letztlich doch nie erfolgten) Nominierung eines international anzuerkennenden digitalen Tonträgersystems durch die DAD Standardization Conference starteten Philips und Sony 1980 selbstbewußt in die Endphase der Entwicklung der Compact Disc, nämlich die Überführung des Systems vom Labormaßstab in den der industriellen Massenfertigung. Mit der Festlegung der Spezifikationen im Juni 1980 lockerte sich vereinbarungsgemäß die Zusammenarbeit von Philips und Sony, und beide Unternehmen widmeten sich getrennt der konkreten technischen Umsetzung des CD-Systems in ein Konsumgut.³ Auf eine weitere gemeinsame Ausarbeitung der Technik wurde einerseits verzichtet, um das Maß an auszutauschendem technischen Know-how gering zu halten; andererseits konnte durch

¹ Digital Audio Technical Committee Report. Appendix 2 *JAES* 29 (9), Sep 1981, S.620-624 Im Original: „[...] a great deal of interest was manifested for both the CD and the AHD systems and that nobody participated in the MD sub-WG“

² Da bei der Aufzählung der drei Vorschläge das Firmenkürzel „AEG“ unterschlagen wurde und anstelle der gebräuchlichen Abkürzung „JVC“ die vollständige Firmenbezeichnung „Victor Company of Japan“ genannt wurde, könnte jedoch auch die alphabetische Ordnung der Firmennamen (Philips, Sony, Telefunken, Teldec, Victor) ausschlaggebend für die Reihenfolge der Nennung gewesen sein. Vgl. „Minutes of the Meeting of the Digital Audio Technical Committee“, 1981 November 2. *JAES* 30 (1/2), Jan./Feb. 1982, S.40-46, (3.2.7)

³ Dierckx, F.J. „Compact Disc: A Unique Achievement“ Maplezingen CD, 1985, S.2

das spätere Vorhandensein verschiedener technischer Ausführungen eine marktübliche Auswahl gewährleistet werden.¹

Als verantwortlicher Laborleiter hatte Joop Sinjou dazu für Philips bereits im Januar 1980 einen Projektplan entworfen, in dem alle wichtigen Etappen verzeichnet waren, die bis zur Serienreife des Compact-Disc-Systems und zur Vorbereitung der Produktionsanlagen zu durchlaufen waren.² Bis zur Markteinführung der CD war von Sinjou in Übereinkunft mit Sony ein Zeitraum von etwa drei Jahren angesetzt worden (Anfang 1983).³ In dieser Zeit mußten auf der Seite des Abspielgerätes vor allem die elektronischen Schaltungen, die durch ihren Aufbau mit diskreten Bauelementen ein Volumen von etwa einem Kubikmeter einnahmen, in mehrere „Integrierte Schaltkreise“ („ICs“) mit einer Fläche von nur wenigen Quadratzentimetern überführt werden.⁴ Außerdem war es notwendig, die feinmechanischen und optischen Komponenten des Abspielgerätes, die bisher als Einzelstücke von Hand gefertigt worden waren, derart abzuwandeln, daß sie sich für die Massenfertigung mit Hilfe ebenfalls zu entwickelnder Werkzeuge eigneten. Schließlich war es zur späteren Versorgung der Abspielgeräte mit entsprechender „Software“ erforderlich, rechtzeitig über entsprechend hohe Produktionskapazitäten für CD-Tonträger zu ver-

¹ Cor Van der Klugt pochte als Vorstandsmitglied des Philips-Konzerns stets auf einen international wirksamen CD-Standard. Kompatibilität und Produktvielfalt (durch verschiedene Hersteller) waren ihm wichtig. vgl. Nayak, P.R. and J.M. Ketteringham. *Breakthroughs!* San Diego 1994, S.375

² Dokument: „project planning. Compact Disc. 80-01-28. TEO-AUDIO“ Dieses Dokument diente auch als Rückgrat der zweimonatlichen Berichterstattung Sinjous vor dem Vorstand. vgl. Sinjou, J.P. Interview 28. Okt. 1993, 4A 350-368
Sony hatte einen ähnlichen Plan aufgestellt: vgl. Sinjou, J.P. Pers. Comm., Brief vom 24. Juli 1995

³ Sony kündigte auch im Oktober 1980 auf der Tokyo Audio Fair an, daß das CD System zwei Jahre später auf der gleichen Veranstaltung vorgestellt würde.
Franz, H. „Hannover Tales: The Compact Disc Story“ unpubl. timetable, 1983-06-02

⁴ Der größte der ca. 7 ICs eines frühen CD-Spielers (Fehlerkorrektur) enthielt später auf einer Fläche von 45 mm² 12.000 Gatter. Vgl. Hoeve, H., J. Timmermans and L.B. Vries. „Error correction and concealment in the Compact Disc system“ *Philips tech. Rev.* 40(6), 1982, S.169, 173

fügen. Völlig neuartige, teilweise unter Reinraumbedingungen arbeitende Presswerke mußten geplant und errichtet werden.

Problematisch bei einer derartigen Koordinationstätigkeit, die als „Programm-Management“ bezeichnet werden kann¹, ist die strategisch zielgerichtete Planung eines aus verschiedenen Produktkomponenten und Produktionsanlagen bestehenden Systems derart, daß zum richtigen Zeitpunkt jeweils notwendige Zwischenergebnisse (z.B. fertige ICs) zur Verfügung stehen und ohne Verzögerung in den weiteren Entwicklungsablauf eingebracht werden können. Ähnlich wie auch für Sony hatte für Philips die Einhaltung eines derart komplexen Plans das Anlaufen einer Maschinerie von Aktivitäten und Investitionen zur Folge. Wäre die Einstellung des CD-Projekts bis Mitte 1980 finanziell zu verkraften gewesen, so hätte der Abbruch der nun folgenden industriellen Vorbereitungen empfindliche wirtschaftliche Auswirkungen gehabt. Sony und Philips setzten sich also bewußt über die noch ausstehende Entscheidung der DAD Standardization Conference hinweg und nutzten vielmehr die mangelnde Konsensfähigkeit dieser Institution, um durch geschaffene Tatsachen ein späteres Votum gegen die CD ad absurdum zu führen. Die technische Debatte wich wirtschaftsstrategischen Überlegungen.

Partner und Konkurrenten

Auch zwischen den Kooperationspartnern Philips und Sony änderte sich in der Schlußphase der CD-Entwicklung die Stimmung spürbar. Hatte Joop Sinjou während der Erarbeitung der gemeinsamen CD-Spezifikationen ein „Familiengefühl“ zwischen den beteiligten Ingenieuren empfunden, so entwickelten sich die Partner in der Folgezeit immer stärker zu Konkurrenten — bis zur Markteinführung kehrte das Gefühl der Zusammengehörigkeit nur noch sporadisch, etwa anlässlich gemeinsam veranstalteter Pressekonferenzen, zurück.

¹ Der Begriff „program management“ wird von den US-amerikanischen Technikhistorikern Hughes und Bugos zur Charakterisierung ähnlich zielgerichteter Koordinierungstätigkeiten bei der Entwicklung von Interkontinentalraketen benutzt. vgl. Bugos, Glenn and Thomas P. Hughes. „Systems Engineering and Program Management: Post-Scientific Management“ Draft prepared for the Rathenau „Human Built World“ Summer Academy, Berlin, Germany 18-30 July 1993.

Oversampling

Digitale Audiodaten, die in bestimmten Abtastintervallen ermittelt wurden, können bei der Digital-Analogumsetzung um ein vielfaches „überabgetastet“ werden („Überabtastung“ = „Oversampling“). Dabei ergibt sich einerseits die Möglichkeit, die nachfolgende Tiefpaßfilterung durch die Vergrößerung des Frequenzabstandes sich mit der Abtastfrequenz wiederholender Bandbereiche zu vereinfachen. Andererseits besteht die Möglichkeit, gleichmäßig über den Frequenzbereich verteilte Rauschanteile so zu beeinflussen, daß sie vermehrt im oberen, akustisch nicht relevanten Frequenzbereich der Überabtastung auftreten. Dieses als „Noise-Shaping“ bezeichnete Verfahren verbessert das Signal-/Rauschverhältnis im hörbaren Bereich. Oversampling und Noise-Shaping bilden die Grundlage für sogenannte „Low-Bit-“ oder „1-bit-Umsetzer“, die aufgrund extremer Überabtastung und komplexer Noise-Shaping-Algorithmen die namensgebende Verringerung der Quantisierungsbits bei gleichzeitiger Verbesserung der Rauschverhältnisse gestatten.

Ein Paradebeispiel für das gespaltene Verhältnis der beiden Unterhaltungselektronikkonzerne zueinander war die Entwicklung der ICs für die Compact-Disc-Abspielgeräte der ersten Generation. Um eine gleichzeitige Markteinführung der CD-Spieler beider Firmen zu gewährleisten, war ein Abkommen getroffen worden, das es jedem Kooperationspartner erlaubte, beim Auftreten von Problemen bei der arbeitsaufwendigen und fehleranfälligen Integration der elektronischen Schaltkreise auf die ICs des anderen zurückgreifen zu dürfen. Um eine Austauschbarkeit grundsätzlich zu ermöglichen, mußte über die reinen CD-Spezifikationen hinaus auch ein Mindestmaß an technischen Details preisgegeben werden, aus denen hervorging, welchen Zweck die ICs im einzelnen erfüllten und wie sie mit ihrer elektronischen Umgebung in Wechselwirkung traten. Jeder der beiden glaubte also, über die Integrationsaktivitäten des anderen im Bilde zu sein.¹

Während der Entwicklungszeit der ICs deutete der Umstand lange auf Sonys Erfahrungsvorsprung in der digitalen Audio-technik hin, daß in den japanischen CD-Spielern die für die Rückumsetzung vom digitalen in den analogen Bereich zuständigen Digital-Analogumsetzer mit einer Quantisierungsauflösung von 16 bit arbeiteten, wogegen Philips eine Auflösung von nur 14 bit vorgesehen hatte.² Philips schien sich mit einfacheren und preiswerter herzu-

stellenden 14-bit-Umsetzern zu begnügen, obwohl auch in den CD-Spezifikationen die Quantisierungsauflösung in Anlehnung an die

¹ Mons, J.J. Interview 25. Nov. 1993, 6B 040-048

² ebenda, 6B 076

vgl. Kasten „Quantisierung“, S.50

professionelle Praxis auf 16 bit festgelegt worden war. Als Sony sich kurz vor Fertigstellung der ICs wegen des mit höherer Quantisierungsauflösung einhergehenden niedrigeren Rauschpegels in technischer Überlegenheit wähnte, überraschte Philips mit einem unerwarteten Alleingang. Die Entscheidung für einen vermeintlich weniger hochwertigen Digital-Analogumsetzer war nämlich bewußt im Zusammenhang mit einer weiteren Entwicklung getroffen worden, die gegenüber Sony zunächst nicht preisgegeben worden war.¹ Erst bei der gegenseitigen Präsentation der fertiggestellten Integrierten Schaltkreise wartete Philips zum Erstaunen der Sony-Ingenieure nicht nur mit drei Spezial-ICs für die Bereiche Interpolation (SAA 7000), Demodulation (SAA 7010) und Fehlerkorrektur (SAA 7020) auf, sondern präsentierte außerdem noch ein bis dahin unbekanntes viertes IC zur „digitalen Filterung“ (SAA 7030).² Dahinter verbarg sich ein Verfahren, das nicht nur die vermeintliche Schwäche des 14-bit-Digital-Analogumsetzers ausglich, sondern sogar noch den Klang von 16-bit-Umsetzern übertraf³ und unter der Bezeichnung „Oversampling“ richtungsweisend für zukünftige D/A-Umsetzer-Konzepte sein sollte.⁴

¹ Mons, J.J. Interview 25. Nov. 1993, 6B 078-088

² Neben den vier präsentierten ASICs (Application-Specific ICs) kamen in CD-Spielern noch weitere ICs zum Einsatz (D/A-Umsetzer, Microcontroller für Subcode, RAM). Vgl. „Compact Disc Digital Audio“ *Philips tech. Rev.* 40(6), 1982, Abb. S.173

³ Der Signal-/Rauschabstand bei einer 16-bit-Quantisierung liegt bei **96 dB**, der einer 14-bit-Quantisierung bei nur 84 dB. Durch die Einführung eines 4-fachen Oversamplings bei der D/A-Umsetzung (176,4 kHz statt 44,1 kHz) verteilt sich die Rauschleistung zunächst gleichmäßig über eine größere Bandbreite. Im relevanten Bereich von 0-20 kHz ergibt sich somit bei 14-bit Quantisierung ein verbessertes Signal-/Rauschverhältnis von etwa 90 dB. Werden die bei der Rundung auf 14 bit entstehenden Fehler zusätzlich durch (einfache negative) Rückkopplung korreliert, so verteilt sich die Rauschleistung nicht gleichmäßig über den Frequenzbereich, sondern verringert sich bei niedrigen und erhöht sich bei höheren Frequenzen (Anschauung: aus Gleichspannungsfehlern [$\epsilon_n = \text{const}$] werden alternierende Fehlerfolgen [$\epsilon_{2n} = \text{const}$, $\epsilon_{2n-1} = 0$, $f_n = 176,4 \text{ kHz}$]). Dieses als „Noise-Shaping“ bezeichnete Verfahren verbessert das Signal-/Rauschverhältnis im relevanten Frequenzbereich auf etwa **97 dB**. Vgl. Goedhart, D., R.J. van de Plassche and E.F. Stikvoort. „Digital-to-analog conversion in playing a Compact Disc“ *Philips tech. Rev.* 40(6), 1982, S.174-179

⁴ Mons, J.J. Interview 25. Nov. 1993, 6B 100; Goedhart, D., R.J. van de Plassche and E.F. Stikvoort. „Digital-to-analog conversion in playing a Compact Disc“ *Philips tech. Rev.* 40(6), 1982, S.174-179

Dieser heimliche Triumph der Philips-Ingenieure wurde jedoch von der Tatsache überschattet, daß Probleme bei der Herstellung des Fehlerkorrektur-ICs von Philips aufgetreten waren. Da das aufwendigste aller Philips-ICs nur unter großem Ausschuß produziert werden konnte¹, mußte zur Sicherstellung einer ausreichenden Gerätezahl zum Zeitpunkt der Markteinführung auf das Abkommen zurückgegriffen werden, die jeweiligen ICs des Partners benutzen zu dürfen. Innerhalb von nur zwei Wochen konstruierten Hans Mons und Jos Timmermans als verantwortliche Ingenieure des CD-Labors von Philips den Schaltplan derart um, daß Sonys Fehlerkorrektur-IC zusammen mit einer Reihe zusätzlicher elektronischer Bauteile in den großen CD-Spielern von Philips, den Modellen CD 200 und CD 300, eingebaut werden konnte.² Bei dem kleineren, pultförmigen Modell CD 100 konnte eine derartige „SOPHI“-Lösung, also die Verwendung von Sony-ICs in Philips-Abspielgeräten, aus Platzmangel nicht angewandt werden.³ Hier wurde der Fehler im IC, der nur bei bestimmten Gelegenheiten auftrat, durch den Einbau ausgewählter Fehlerkorrektur-ICs von Philips und einiger weniger Bauelemente kompensiert.⁴

Doch trotz der Verzögerung, die durch das leicht fehlerhafte Fehlerkorrektur-IC verursacht worden waren, konnten im April 1982 in Eindhoven Vorseriengeräte des Typs CD 100 vorgestellt werden, deren ursprünglicher „Kubikmeter“ Elektronik auf die Größe einer einzigen Platine verkleinert worden war.⁵ Mit der Bitte um Stellungnahme verteilte Philips diese ersten kompakten CD-Spieler an all jene Mitarbeiter, die einen maßgeblichen Anteil an

¹ Mons, J.J. Interview 25. Nov. 1993, 6A 365-370

² ebenda, 6B 009

Vgl. Niggemeier, Horst. „Vergleichstest: sieben CD-Spieler“ *Audio*, Juli 1983, S.9

³ Mons, J.J. Interview 25. Nov. 1993, 6B 010-020, 131

⁴ ebenda, 6B 137

Der IC-Fehler trat nur bei bestimmten Spannungsverhältnissen auf, die bei der kurzzeitigen Zwischenspeicherung der einströmenden Daten auftreten konnten.

Die von Guterl aufgestellte Behauptung, von der Option sei kein Gebrauch gemacht worden, wird damit widerlegt. Vgl. Guterl, F. „Compact Disc“. *IEEE Spectrum*, 25(11), 1988, S.102-108

⁵ Dierckx, F.J. „Compact Disc: A Unique Achievement“ *Maplezingen CD*, 1985, S.3

der Entwicklung der Compact Disc gehabt hatten. Lou F. Ottens, der bereits 1979 die Hauptindustriegruppe Audio verlassen und „sein“ Projekt in der Endphase der Entwicklung nur aus der Distanz verfolgt hatte¹, antwortete mit der Bemerkung:

„Von nun an ist der konventionelle Plattenspieler abgebrannt.“²

Vorbereitung eines Marktes

Ebenso wichtig wie die technischen Vorbereitungen, die zur industriellen Massenfertigung von CD-Spielern in Eindhoven (Produktdesign) und im belgischen Hasselt (Produktionsanlagen) getroffen werden mußten, war die Vorbereitung des Marktes auf das Compact-Disc-System. So war es die Aufgabe von François J.A.M.C. Dierckx, verantwortlicher Direktor für die kommerzielle Seite der CD-Entwicklung, eine konkrete Nachfrage für ein Produkt zu erzeugen, dessen Technik so hochentwickelt war, daß sie potentiellen Käufern weitgehend unverständlich bleiben mußte. Deshalb zog Dierckx es vor, den Markt nicht mit technischen Details der CD zu überraschen, sondern ihm vielmehr ein stimmiges Bild vom Systemcharakter³ der CD zu präsentieren, so daß sich die CD aufgrund ihrer Vorzüge von alleine behaupten würde. Wichtiger als die im Vergleich zur LP drastisch verbesserte (und somit für sich selbst sprechende) Klangqualität der CD⁴ erschien ihm etwa das leicht zugängliche Werbeargument, die CD könne im Gegensatz zur LP auch in portablen Geräten und auch im Auto genutzt werden.⁵

Um die CD möglichst breit am Markt einzuführen und durch eine Vielfalt an Abspielgeräten und verfügbaren Titeln den Eindruck der Selbstverständlichkeit der CD zu erzeugen, war es notwendig, möglichst viele Lizenznehmer für das CD-System zu

¹ Ottens, L.F. Interview 12. Okt. 1993, 2B 187

² Sinjou, J.P. Interview 28. Okt. 1993, 4A 417

im Original: „Vanaf nu is de conventionele platenspeler afgebrand!“

³ vgl. Dierckx, F.J. „CD Development“ S.2

⁴ Der Signal-/Rauschabstand einer LP ist kleiner als 60 dB, der einer CD größer als 90 dB; der Abstand der Stereokanäle einer LP beträgt 30 dB, der einer CD ebenfalls mehr als 90 dB.

⁵ vgl. Dierckx, F.J. „CD Development“ S.1

gewinnen.¹ Konnte nämlich bereits zur Markteinführung eine Konkurrenzsituation (künstlich) erzeugt werden, so blieb der CD nicht nur jeder Hauch von Exotik erspart. Vor allem konnte ein derartig konzertiertes Vorpreschen auf den Markt aus der Sicht des Konsumenten nur als deutliches Zeichen für die Stabilität eines neuen Industriestandards verstanden werden. Durch die Erzeugung eines entsprechenden Marktdrucks durch verschiedene CD-Anbieter war es aber wiederum möglich, das von Dierckx skizzierte „Henne/Ei-Dilemma“ (bei geringen Stückzahlen sind hohe Preise erforderlich, teure Geräte haben geringe Verkaufszahlen zur Folge)² durch hohe Initialkäufe zumindest teilweise zu durchbrechen.

Generell ist die Lizenznahme für elektronische Konsumgüter mit einem facettenreichen Risiko behaftet. Findet sie vor der Markteinführung eines möglicherweise erfolglosen Produkts statt, so besteht die Gefahr, daß unnütze Investitionen getätigt werden. Werden Lizenzen jedoch erst nach der erfolgreichen Einführung eines Produkts genommen, so besteht die Gefahr, daß die Lizenzierung zu ungünstigeren Konditionen erfolgt. Eine frühe Lizenznahme bietet dagegen die Möglichkeit, einen Vorsprung an Know-how gegenüber späteren Lizenznehmern zu gewinnen.

Lizenzen für die CD wurden gemeinsam von Philips und Sony einerseits für CD-Abspielgeräte und andererseits für die Pressung von CD-Tonträgern vergeben. Formell bedeutete die Lizenzvergabe die Aushändigung des „Roten Buchs“, in dem die CD-Spezifikationen niedergelegt sind. Hauptsächlich wurde mit der Lizenz jedoch das Recht erworben, Basispatente nutzen zu dürfen, ohne die kein Compact-Disc-Abspielgerät gebaut bzw. keine Compact Disc gepresst werden durfte.³ Dabei handelte es sich zum einen um teilweise von der VLP stammende Patente von Philips über den optischen Strahlengang, die Fokussierung und Servomechanik.⁴ Zum anderen brachte Sony in das Lizenzpaket Patente zur Fehlerkorrektur ein.⁵ Bei maximal 20-jähriger Laufzeit sind die ursprünglichen Basispatente bis in die 1990er Jahre hinein geschützt; neuere

¹ van Tilburg, J.J.G.Ch. Interview 2. Dez. 1993, 6B 208

² Dierckx, F.J. „CD Development“ S.2-3

³ van Tilburg, J.J.G.Ch. Interview 2. Dez. 1993, 6A 261-270

⁴ ebenda, 7A 040-058

Dierckx, F.J. „CD Development“ S.7

⁵ Ottens, L.F. „CD Development“ S.15

reichen sogar bis ins 21. Jahrhundert.¹ Angesichts noch laufender Lizenzzahlungen an Philips und teilweise an Sony besitzt jedoch das offenbar delikate Thema der Lizenzierung den Rang eines Firmengeheimnisses.²

Eminente Werbung

Auf der öffentlichen Seite kam es Sony und Philips überaus gelegen, einen prominenten Fürsprecher für die Compact Disc zu finden, dessen Urteil aufgrund seiner Kompetenz und seiner industriepolitischen Unbefangenheit von großer Bedeutung war: den international bekannten Leiter der Berliner Philharmoniker, Herbert von Karajan. Obwohl von Karajan Aufnahmen seiner Konzerte über die Deutsche Grammophon (ein über PolyGram mit dem Philips-



J. Sinjou / H. von Karajan / A. Morita

Konzern verflochtenes Label) veröffentlichte, hatte er über Ohga und Morita von Sony, die er beide persönlich kannte³, von der Entwicklung der Compact Disc erfahren.⁴ Als er sich daraufhin das CD-System bei Philips in Eindhoven vorführen ließ, begeisterte ihn der Qualitätssprung, der mit der CD gegenüber anderen Tonträgern erreichbar war, so daß er beschloß, anlässlich der Salzburger Osterfestspiele 1981 selbst für die Compact Disc zu werben.⁵

Am 15. April 1981, dem traditionell spielfreien Mittwoch des Musikfestivals, lud von Karajan die internationale Presse zu einer Demonstration des Compact-Disc-Systems mit anschließender

¹ Dierckx, F.J. „CD Development“ S.7

² van Tilburg, J.J.G.Ch. Interview 2. Dez. 1993, 6B 312-321, 345

Ottens, L.F. „CD Development“ S.16

³ Ohga hatte in Berlin Gesang studiert.

⁴ van Tilburg, J.J.G.Ch. Interview 2. Dez. 1993, 7A 154

⁵ ebenda, 7A 168

Pressekonferenz nach Salzburg ein.¹ Nach der Vorführung des nach seinem Wunsch eigens von den Berliner Philharmonikern unter seiner Leitung eingespielten Werkes *Bilder einer Ausstellung* von Mussorgski,² das mit einem großen, eindrucksvoll dynamischen Gong endete³, äußerte er einen bereits legendären Vergleich, der in praktisch keiner späteren Presseveröffentlichung fehlte. In Anspielung auf den Technologiesprung, den einst die Einführung des elektrischen Lichts dargestellt hatte, bezeichnete der von der CD geradezu besessene von Karajan⁴ „alles andere“ als „Gaslicht“.⁵

2.6 MUSIKSOFTWARE: SCHLÜSSEL ZUM SCHLOSS

Desinteresse

Anders als Herbert von Karajan stand die Mehrzahl der Vertreter der phonographischen Industrie dem neuen Tonträger CD bis zu seiner Einführung kritisch gegenüber. Zum einen war eine derart ablehnende Haltung dadurch begründet, daß die konventionelle Schallplatte die gesamte Tonträgerindustrie seit ihrem Bestehen begleitet und den Erfahrungshorizont maßgeblich geprägt hatte — und somit der Antizipation neuer Tonträger paradigmatisch entgegenstand.⁶ Ein weiterer Grund für die langanhaltende Ablehnung der CD durch die Schallplattenindustrie bestand in den finanziellen Konsequenzen, die im Zuge der Einführung neuer Tonträgertechno-

¹ Franz, H. „Hannover Tales: The Compact Disc Story“ unpubl. timetable, 1983-06-02

Dierckx, F.J. „Compact Disc: A Unique Achievement“ Maplezingen CD, 1985, S.3

Sinjou, J.P. „Terugblik op Compact Disc“ Zeittafel der CD-Entwicklung, erstellt anlässlich der Verleihung des Eduard-Rhein-Preises am 9. Okt. 1981.

Nayak, P.R. and J.M. Ketteringham. *Breakthroughs!* San Diego 1994. (388).

² Mons, J.J. Interview 25. Nov. 1993, 6B 277

Sinjou, J.P. Interview 28. Okt. 1993, 4B 056

³ Sinjou, J.P. Interview 28. Okt. 1993, 4B 060-064

⁴ van Tilburg, J.J.G.Ch. Interview 2. Dez. 1993, 7A 162

⁵ ebenda, 7A 245-249

Franz, H. „Hannover Tales: The Compact Disc Story“ unpubl. timetable, 1983-06-02

⁶ Ottens, L.F. Interview 12. Okt. 1993, 2A 400-450

logien zu erwarten waren. In der für die Vorbereitung der Markteinführung der CD entscheidenden Phase von 1980 bis 1982 befand sich die Tonträgerindustrie weltweit in einer gravierenden Absatzkrise und scheute Investitionen in neue Technologien.

Obwohl PolyGram — eines der fünf weltweit marktbeherrschenden Unternehmen der phonographischen Industrie („Majors“)¹ — als hälftige Tochter des Philips-Konzerns (zusammen mit Siemens) bereits zu Zeiten der ALP in die Eindhovener Aktivitäten eingeweiht worden war², stieß das Compact-Disc-Projekt bei den Verantwortlichen auf Desinteresse.³ Trotz einer erfolgreichen Demonstration der Tonqualität der Compact Disc Ende 1978 waren PolyGram-Manager auch 1979 noch nicht bereit, sich auf einen neuartigen Tonträger einzulassen. Bei einer Vorführung des in Japan eingesetzten Prototyps anlässlich eines Treffens des Managements und aller Label-Vertreter von PolyGram in West Palm Beach, Florida, im Juni 1979 konnte keine Zustimmung zur Zusammenarbeit gefunden werden.⁴ Erst im Zuge eines Personalwechsels an der Spitze von PolyGram sollte es Philips gelingen, das Tochterunternehmen zur Kooperation zu bewegen und damit die zur Durchsetzung des Compact-Disc-Systems dringend erforderliche Software-Unterstützung sicherzustellen.

¹ Die fünf „Majors“ der Tonträgerbranche bestreiten — mit zunehmenden Konzentrationstendenzen seit Anfang der 1980er Jahre — etwa $\frac{2}{3}$ des Weltmusikmarkts. Zu ihnen zählen *Sony Music* (Sony, Japan), *Warner Music Group* (Time-Warner, USA), *PolyGram* (Philips, Niederlande), *Bertelsmann Music Group* (Bertelsmann, Deutschland) und *EMI Music* (Thorn EMI, Großbritannien).

vgl. Lüftner, Monti. „Wirtschaftsfaktor Musikindustrie: Volkswirtschaftlicher Stellenwert: Weltmusikmarkt“ In: Moser, Rolf, Andreas Scheuermann (Hg.) *Handbuch der Musikwirtschaft*. Starnberg: Josef Keller Verlag 1992, S.17-26; Mahlmann, Carl. „Tonträgerindustrie: Struktur des Deutschen Tonträgermarktes“ ebenda, S.79-102; Schmidt, Christoph. „Tonträgerindustrie: Organisation der Majors“ ebenda, S.103-110

² Sinjou, J.P. „Compact Disc“ Eine Zusammenstellung für Piet Kramer. S.5

³ Ottens, L.F. Interview 12. Okt. 1993, 2B 300

⁴ Mons, J.J. Interview 25. Nov. 1993, 6A 135, 147, 167

Sinjou, J.P. Interview 28. Okt. 1993, 5A 140

Sinjou, J.P. „Compact Disc“ Eine Zusammenstellung für Piet Kramer. S.5

Der Nachweis hoher Tonqualität

Die aus Eindhovener Sicht bei PolyGram festzustellende Abneigung gegenüber neuen Technologien erstreckte sich auf alle Unternehmensbereiche. Selbst Tonmeister verhielten sich — trotz ihres vermeintlich größeren Interesses an hoher Tonqualität als an Unternehmensstrategien — skeptisch und unkooperativ. Bereits in der Entwicklungsphase der CD hatte es sich für den technischen Direktor der Hauptindustriegruppe Audio des Philips-Konzerns, Lou F. Ottens, als schwierig erwiesen, hochwertige Vorlagen für Test-CDs von der Konzerntochter auszuleihen. Denn um die Leistungsfähigkeit der CD mit Aufnahmen höchster Qualität unter Beweis zu stellen¹, erschien es dem CD-Entwicklungsteam angebracht, Erstaufnahmen, sogenannte Masterbänder, zur Einzelherstellung der Test-CDs heranzuziehen. Allzu häufig wurden ihnen von ihren Kollegen bei PolyGram jedoch nur (analoge) Kopien der sorgsam verwahrten Masterbänder gewährt.²

Auch bei Präsentationen, etwa der entscheidenden internen Vorführung des gerade fertiggestellten „Pinkeltje“-Prototyps bei PolyGram Ende 1978, schenkten die Tontechniker von PolyGram dem Philips-Equipment in Eindhoven kein Vertrauen.³ So war PolyGram nur dann bereit, die Tonqualität der CD zu begutachten, wenn das Labormodell in ein Baarner PolyGram-Studio verfrachtet würde. Die CD-Entwickler, die große Hoffnungen auf die motivierende Wirkung einer tontechnischen Abseugung der CD durch PolyGram setzten⁴, stießen bei der Vorführung in Baarn auf eine überaus kritische Erwartungshaltung. Im Abhörstudio wurde ihr CD-Spieler so installiert, daß zum Vergleich Bandmaschinen und Plattenspieler herangezogen werden konnten, für die jeweils Kopien derselben Aufnahmen bereitlagen, die auch zur Herstellung der Test-CDs benutzt worden waren. Dabei handelte es sich unter anderem um die neunte Symphonie von Dvorák, die „Rhapsodie Espagnole“ von

¹ Tatsächlich waren selbst die seinerzeit verwendeten analogen Masterbänder qualitativ der Compact Disc unterlegen; vgl. Ottens, L.F. „CD Development“ S.13

² Ottens, L.F. „CD Development“ S.12
Ottens, L.F. Interview 12. Okt. 1993, 2B 387

³ Ottens, L.F. „CD Development“ S.13

⁴ Sinjou, J.P. „CD Development“ S.18

Ravel, „Siciliana“ von Bach, Ausschnitte aus „Tosca“ von Puccini, einige Popmusikstücke und ein Werk von Stockhausen.¹ Zur Verwunderung der CD-Entwickler fanden die Tontechniker von PolyGram an einer Stelle der Vorführung tatsächlich einen Grund zur Beanstandung. Sie hörten ein tieffrequentes Rumpeln, das bisher unentdeckt geblieben war. Als nach Aufforderung der Philips-Mitarbeiter zum Vergleich das entsprechende Masterband herangezogen wurde, waren im Gegenzug die Tonmeister von PolyGram überrascht², das Rumpeln auch auf der Originalaufnahme vorzufinden.³ Bei der Aufklärung des eindrucksvoll ausgefallenen Beweises für die Qualität der CD stellte sich heraus, daß die Aufnahme im Amsterdamer Concertgebouw erstellt worden war: Die Erschütterungen einer um das Konzertgebäude fahrenden Straßenbahn mußten für das Rumpelgeräusch verantwortlich gewesen sein.⁴

Der inoffizielle Startschuß

Einem Vorschlag von Philips folgend, löste Jan D. Timmer, Leiter der Philips-Niederlassung in Südafrika und späterer Präsident des Philips-Konzerns, den aufgrund seiner juristischen Ausbildung mit technischen Innovationen unerfahrenen Interims-Präsidenten Wolfgang Hix an der Spitze von PolyGram ab.⁵ Erst nach diesem Managementwechsel erhielt das Compact-Disc-Projekt die erforderliche Unterstützung durch Musiksoftware. Überzeugt von den Chancen, die sich für PolyGram aus dem Vorsprung an Know-how gegenüber weniger progressiven Konkurrenten ergeben würden⁶, gelang es Timmer, die ursprüngliche Abneigung von PolyGram

¹ Sinjou, J.P. „CD Development“ S.18

² Ottens, L.F. „CD Development“ S.13

³ Sinjou, J.P. „CD Development“ S.18

⁴ ebenda, S.19

vgl. auch Guterl, F. „Compact Disc“. *IEEE Spectrum*, 25(11), 1988, hier: S.104

⁵ Van der Klugt zitiert nach:

Nayak, P.R. and J.M. Ketteringham. *Breakthroughs!* San Diego 1994, S.382
van Tilburg, J.J.G.Ch., pers. comm.

⁶ Nayak, P.R. and J.M. Ketteringham. *Breakthroughs!* San Diego 1994, S.383

gegen die CD ins Gegenteil zu wenden.¹ Unterstützung erhielt er von Dr. Hermann Franz, der, von einer Hanauer Siemens-Tochter her kommend, die technische Leitung der deutschen PolyGram-Zentrale in Langenhagen bei Hannover übernommen hatte und dem Ansinnen von Philips mit großer Offenheit begegnete.²

Doch Aufgeschlossenheit alleine reichte nicht aus, um die mit der Einwilligung verbundenen technischen Herausforderungen zu bewältigen. Denn traditionell zählte es zur Aufgabe einer Plattenfirma, neben Verwaltungstätigkeiten wie u.a. der Zusammenstellung des Repertoires, der Bearbeitung künstlerischer und urheberrechtlicher Fragen und der Unterhaltung eines Distributionsnetzes auch die technische Herstellung der Tonträger (also etwa die Pressung von Schallplatten) selbst zu übernehmen. Doch im Vergleich zur Herstellung konventioneller Vinyl-LPs erforderte die Herstellung von Compact Discs hochtechnische Produktionsverfahren, die aufgrund der erforderlichen Präzision im Mikrometerbereich Reinraumbedingungen ähnlich wie bei der IC-Herstellung erforderten. Anders als im belgischen Hasselt, wo konventionelle Produktionsanlagen für die Montage von CD-Spielern herangezogen werden konnten, waren für die Herstellung von Compact Discs erhebliche Investitionen in den Aufbau völlig neuer Anlagen erforderlich.

Obwohl mit Jan Timmer ein Präsident für PolyGram gefunden worden war, der prinzipiell bereit war, auch in wirtschaftlich schlechten Zeiten Investitionen zu tätigen, um auf den Aufschwung, den die CD auslösen könnte, vorbereitet zu sein³, zögerte PolyGram

¹ van Tilburg, J.J.G.Ch. Interview 2. Dez. 1993, 6B 435

Als späterer Präsident des Philips-Konzerns bezeichnete Timmer die Einführung der CD als Beispiel dafür, daß die Softwareindustrie (PolyGram) von der Hardwareindustrie (Philips) profitieren kann (sic!), wenn „reife“ Produkte (Compact Disc) ohne unnötige Verzögerungen auf einen durch das Vorgängerprodukt gesättigten Markt gebracht werden. Vgl. Timmer, J.D. „Windows of Opportunity for the Music Industry“ Speech to the International Federation of the Phonographic Industry IFPI Conference, Cannes, January 23, 1991.

² Franz, H. Interview 7. Juli 1994.

van Tilburg, J.J.G.Ch. Interview 2. Dez. 1993, 6B 362

Sinjou, J.P. „Compact Disc“ Eine Zusammenstellung für Piet Kramer. S.6

³ van Tilburg, J.J.G.Ch. Interview 2. Dez. 1993, 6B 400

vgl. auch: Nayak, P.R. and J.M. Ketteringham. *Breakthroughs!* San Diego 1994, S.390

den Startschuß für den Bau einer CD-Fabrik wegen weiterhin bestehender Standardisierungs-Unsicherheiten weiter hinaus.¹ Erst als Philips am 19. Januar 1981 anlässlich eines Management-Treffens in Eindhoven² nicht ohne Stolz verkünden konnte, daß Matsushita, der größte Unterhaltungselektronikkonzern weltweit³, nun zu den Lizenznehmern der CD zähle⁴, willigte auch PolyGram ein, endgültig mit dem Bau der Produktionsanlagen zu beginnen. Die Lizenznahme von Matsushita im Januar 1981 war deshalb von besonderer Bedeutung, weil sie noch vor der Schlußsitzung der DAD Standardization Conference erfolgte. Matsushita sprach sich damit gegen den von der eigenen Konzerntochter JVC bis zuletzt aufrechterhaltenen Alternativvorschlag des AHD-Systems aus und willigte somit gleichsam in den zukünftigen Weltstandard CD ein.⁵ Damit markierte das Einlenken des größten Konkurrenten den eigentlichen, wenngleich inoffiziellen Schlußpunkt aller in der DAD-Conference geführten Debatten. Für das Compact-Disc-System öffnete sich der Weg zum alleinigen Weltstandard — ebenso wie für PolyGram der Weg zur ersten CD-Fabrik.

¹ van Tilburg, J.J.G.Ch. Interview 2. Dez. 1993, 6B 453

² Franz, H. „Hannover Tales: The Compact Disc Story“ unpubl. timetable, 1983-06-02 Beteiligt waren Manager von PolyGram und der Hauptindustrie-gruppe Audio von Philips.

³ Unter den Marken National, Panasonic, Quasar, Technics und JVC erwirtschaftet MEI die weltweit größten Umsätze mit Unterhaltungselektronik; außerdem ist MEI weltgrößter Hersteller von elektrischen Haushaltsgeräten. Umsatz 1988/89: 5,5 · 10¹² Yen.

⁴ van Tilburg, J.J.G.Ch. Interview 2. Dez. 1993, 6B 215-232

Dierckx, F.J. „CD Development“ S.7

⁵ Dierckx, F.J. „CD Development“ S.7

Franz, H. „Hannover Tales: The Compact Disc Story“ unpubl. timetable, 1983-06-02

Dierckx, F.J. „Compact Disc: A Unique Achievement“ Maplezingen CD, 1985, S.3

500 Tage in Hannover



Dr. Hermann Franz

Als Timmer am 20. Januar 1981 den Einstieg in die CD-Technologie bekanntgab, begann für PolyGram ein Wettlauf mit der weit fortgeschrittenen Hardwareentwicklung bei Philips und Sony. Zwar war im Rahmen der Vereinbarung der CD-Spezifikationen das physische Format der CD-Tonträger genau festgelegt worden, die Bedingungen, unter denen die industrielle Massenfertigung dieser CDs stattfinden sollte, waren jedoch noch offen. Aufgabe PolyGrams war es nun, bis zur geplanten Markteinführung der CD im Oktober 1982 den Fertigungsprozeß der CD zu entwerfen, alle erforderlichen Maschinen zu entwickeln oder zu ordern und eine funktionierende Produktionsanlage zu errichten. Hermann Franz übernahm die Leitung dieses ehrgeizigen Projekts und entwarf ein „500-Tage-Programm“ mit einem Investitionsvolumen von ca. 80 Mio. DM¹, in dessen Verlauf die ersten 500.000 CD-Pressungen entstehen sollten.² Aufgrund der geringen Zeit, die zur Verfügung stand, beschloß Franz, einen „Crashkurs“ einzuschlagen³, auf die ansonsten übliche Testproduktionsanlage („pilot plant“) zu verzichten⁴ und im Sinne des Management-Stils „simultaneous engineering“ nicht ein Problem nach dem anderen anzugehen, sondern „auf allen Kanälen größtmögliches Tempo“ vorzulegen.⁵ Gleichzeitig wurden die physikalischen Vorgänge des Preßvorgangs (Materialmenge, Preßtemperatur, Preßdruck), der

¹ „The software of the Compact Disc system. Interview with Dr. Hermann Franz of PolyGram“ *Philips News* 12(5), 4/1983 („20 Mio. DM Vorentwicklung, 30 Mio. DM erste Ausbaustufe CD-Fabrik, 30 Mio. DM Fabrik-erweiterung“)

vgl. van Tilburg, J.J.G.Ch. Interview 2. Dez. 1993, 6B 369 („85 Mio DM“) Nayak, P.R. and J.M. Ketteringham. *Breakthroughs!* San Diego 1994, S.382 („\$ 35 Mio“)

² Franz, H. „Hannover Tales: The Compact Disc Story“ unpubl. timetable, 1983-06-02

Dierckx, F.J. „Compact Disc: A Unique Achievement“ Maplezingen CD, 1985, S.4

³ Franz, H. Interview 7. Juli 1994.

⁴ Franz, H. „Hannover Tales: The Compact Disc Story“ unpubl. timetable, 1983-06-02

⁵ Franz, H. Interview 7. Juli 1994.

Metallbedampfung, Lackierung der gepreßten Rohlinge und der Drucktechnik zur Beschriftung erforscht, der Aufbau der Fabrik entworfen (Maschinenanordnung, Maschinengröße, Verkehrswege) und Vorbereitungen zur Vermarktung der CDs getroffen (Entwurf von CD-Verpackung, Werbung). Neben unscheinbaren Problemen wie der Frage, wie groß Sammelbehälter für Fehlpressungen zu dimensionieren seien, wirkten sich andere Probleme unmittelbar auf den Fortgang der Entwicklungsarbeiten aus. In der Übergangsphase zwischen konventionell verdrahteten Schaltungen und noch nicht fertig integrierten IC-Labormustern stand in Langenhagen bis zum Juli 1981 kein einziges Abspielgerät zur experimentellen Überprüfung der CD-Versuchspressungen zur Verfügung. Der dann gelieferte CD-Meßspieler (ohne Audiokontrolle) wurde erst im Oktober 1981 durch einen ersten CD-Spieler mit Audioausgang ergänzt.¹

Nachdem innerhalb von 10 Monaten der industrielle Fertigungsprozeß geplant worden war, wurde im November 1981 mit dem Aufbau der Fabrikanlagen, und zwar zunächst mit dem kritischen Reinraumfabrikationsbereich, begonnen.² Von März bis Juni 1982 wurden die Maschinen aufgebaut, am 10. Juni schließlich konnte die fertiggestellte Fabrik intern eingeweiht werden.³ Am 18. August wurde die Massenproduktion aufgenommen, Anfang Oktober verließen die ersten industriell gefertigten CDs Langenhagen in Richtung Japan, um dort zum Debut der CD auf der Tokyo Audio Fair am 25. Oktober 1982 zur Verfügung zu stehen.⁴

Aufgrund der großen Nachfrage aus Japan (80.000 CDs wurden bis Ende 1982 nach Japan exportiert⁵) wurde zum Aufbau eines Vorrats für weitere regionale Markteinführungen die Kapazität der

¹ Franz, H. „Hannover Tales: The Compact Disc Story“ unpubl. timetable, 1983-06-02

² ebenda
Dierckx, F.J. „Compact Disc: A Unique Achievement“ Maplezingen CD, 1985, S.4

³ Franz, H. „Hannover Tales: The Compact Disc Story“ unpubl. timetable, 1983-06-02

⁴ ebenda
Dierckx, F.J. „Compact Disc: A Unique Achievement“ Maplezingen CD, 1985, S.4

⁵ „The software of the Compact Disc system. Interview with Dr. Hermann Franz of PolyGram“ *Philips News* 12(5), 4/1983

Langenhagener Fabrik bereits im November 1982 wesentlich erhöht: Mit Einführung einer dritten Schicht konnten nun CDs rund um die Uhr gepreßt werden, außerdem wurden die Produktionsanlagen erweitert.¹ Insgesamt gelang es den PolyGram-Mitarbeitern, die Vorgabe des 500-Tage-Programms einzuhalten. Am 21. Januar 1983, 500 (Arbeits-) Tage nach PolyGrams Entscheidung zugunsten der CD-Produktion, waren 500.000 CDs hergestellt worden.²

Zurückhaltung und Zugzwang

Obwohl sich auch PolyGram erst zu einem späten Zeitpunkt für die CD entschieden hatte und im Rahmen des 500-Tage-Programms erst dann tätig geworden war, als durch Matsushitas Lizenznahme ein De-facto-Standard der CD gesichert erscheinen konnte, nahm das Unternehmen selbst mit diesem überaus vorsichtigen Kurs eine Vorreiterrolle in der Softwareindustrie ein. Um nicht große Investitionen in eine möglicherweise erfolglose CD-Technologie zu tätigen, versuchten die anderen vier *Majors* der Branche, die aus ihrer Sicht nicht drängende Entscheidung hinauszuzögern.³ So wurde der von der Branche als Zwang empfundene CD-Investitionsdruck beim jährlichen, von der amerikanischen Fachzeitschrift *Billboard* veranstalteten Treffen der Softwareindustrie im Mai 1982, nur wenige Monate vor ihrer geplanten Markteinführung, heftig kritisiert.⁴ Auf subtilere Weise wollten die Präsidenten aller amerikanischen Musiksoftwarefirmen den von den Hardwareherstellern verordneten CD-Standard bei einem Treffen in New York abwenden. In einem Memorandum zur zukünftigen Entwicklung der Branche sollte die CD nämlich — um verbotene *Kartellabsprachen* zu umgehen — durch bloße *Nichterwähnung* disqualifiziert werden.⁵

¹ Franz, H. „Hannover Tales: The Compact Disc Story“ unpubl. timetable, 1983-06-02

² ebenda

³ van Tilburg, J.J.G.Ch. Interview 2. Dez. 1993, 6B 439-451

⁴ Nayak, P.R. and J.M. Ketteringham. *Breakthroughs!* San Diego 1994, S.384

⁵ Akio Morita, der von diesem Plan erfahren hatte, alarmierte in Eindhoven Philips-Vorstandsmitglied Cor J. van der Klugt. Um die Vertreter der Tonträgerindustrie umzustimmen, schlug Morita vor, Ohga zum Treffen zu schicken, der Sonys Verzicht auf Lizenzgebühren für jede gepreßte CD erklären sollte. Doch van der Klugt schloß sich trotz der von Morita

Trotz der hartnäckigen Versuche der Musiksoftwareindustrie, der Umstellung auf die Compact Disc zu entgehen oder sie zumindest hinauszuzögern, nahm die Entwicklung der CD-Abspielgeräte an Volumen und Geschwindigkeit zu, so daß auch für die Tonträgerseite ein Nachziehen unabwendbar wurde. Obwohl Lizenznahme nicht mit sofortiger Marktpräsenz des lizenzierten Produktes gleichgesetzt werden kann, ist dieses „Nachhinken“ der phonographischen Industrie an den Zahlen der Lizenznehmer für CD-Abspielgeräte und für CD-Tonträger abzulesen. Während es Sony und Philips etwa im Rahmen publikumswirksamer Präsentationen¹ gelungen war, Konkurrenten zur Lizenznahme zu bewegen und somit die Vermarktung einer breiten Palette von CD-Spielern sicherzustellen, blieb die Zahl der Interessenten für die aufwendige Herstellung der CD-Tonträger gering. So stieg die Zahl der Lizenznehmer für CD-Player alleine im Zeitraum von März bis August 1982 von 30 auf 37 an², die Zahl der Tonträgerlizenzen blieb in dieser Zeit dagegen konstant bei zehn und erhöhte sich erst

ausgesprochenen Drohung, daß er Philips im Falle des Scheiterns der CD die Schuld daran zuweisen würde, einem derartigen Verzicht nicht an. In mehrstündigen telefonischen Verhandlungen wurde Morita von van der Klugt und schließlich auch vom Vorstandsvorsitzenden von Philips, Wisse Dekker, soweit beschwichtigt, daß er und Ohga nicht aktiv wurden. Ohne seinen Plan zu verraten, übernahm statt dessen van der Klugt die Verantwortung dafür, daß es einerseits nicht zu einem Ausbremsen der CD durch die Softwareindustrie kommen würde und andererseits Philips nicht auf Lizenzzahlungen verzichten müsse. Gelöst wurde das Problem der drohenden Nichterwähnung schließlich dadurch, daß sich Philips selbst zu dem New Yorker Treffen einlud und dort in Begleitung zweier Rechtsanwältinnen erschien. Durch die dort von Philips betriebene Thematisierung der CD konnte eine Nichterwähnung ausgeschlossen werden. Außerdem war gewährleistet, daß die Frage der Lizenzierung sachlich behandelt wurde, da unerlaubte Kartellabsprachen vor den als unabhängige Zeugen dienenden Anwälten nicht hätten stattfinden dürfen. Vgl. Nayak, P.R. and J.M. Ketteringham. *Breakthroughs!* San Diego 1994, S.384-386

¹ Wichtige Präsentationen fanden im März 1981 auf dem Festival du Son in Paris, im August 1981 auf der Berliner Funkausstellung und im Oktober 1981 auf der Tokyo Audio Fair statt. Im April 1982 in Eindhoven und im Juni 1982 in Chicago (CES) und London (CETEX) konnte sogar endgültig die technische Realisierbarkeit des ehrgeizigen CD-Projekts in Gestalt kompakter Vorserienmodelle, in die der gesamte „Kubikmeter“ Elektronik in Form von ICs integriert worden war, eindrucksvoll unter Beweis gestellt werden. Vgl. Dierckx, F.J. „Compact Disc: A Unique Achievement“ *Maplezingen CD*, 1985, S.3

² Dierckx, F.J. „Compact Disc: A Unique Achievement“ *Maplezingen CD*, 1985, S.3

in den folgenden zwei Jahren auf 16 (im August 1983) und 20 (im April 1984)¹.

Diese eigentlich problematische Unterversorgungssituation durch Tonträger im ersten Jahr nach der Markteinführung wurde kompensiert durch die Limitierung der auf CD verfügbaren Titel. Statt zahlreiche verschiedene Musikprogramme allen Käufergruppen gleichzeitig anzubieten und somit das Risiko einzugehen, Verärgerung durch ausverkaufte Titel hervorzurufen², wurde die CD als Spartenprodukt mit großen Preßzahlen nur relativ weniger Titel eingeführt. Mit Blick auf die vermeintliche Kaufkraft audiophiler Liebhaber klassischer Musik handelte es sich bei den zunächst etwa 150 verschiedenen Titeln, die im Oktober 1982 von PolyGram und CBS/Sony veröffentlicht wurden³, hauptsächlich um „klassische“ Werke. Nachdem auch wichtige Plattenkonzerne und -labels wie WEA, RCA, CBS, Virgin und Chrysalis (ab Februar 1983)⁴, gefolgt von WCI, EMI u.a., ihre Lizenzen nutzten und sich dazu bereit erklärten, Neuerscheinungen auf CD zu verlegen, erhöhte sich die Zahl der verfügbaren Titel im folgenden Jahr auf 1000.⁵ Doch auch diese Zahl lag noch weit hinter den Veröffentlichungen auf Langspielplatten zurück. Denn allein in Deutschland wurden 1983 ca. 20.000 Titel angeboten.⁶

In absoluten Zahlen beliefen sich die bis Dezember 1982 von Hannover zur japanischen Markteinführung ausgelieferten CDs auf 80.000.⁷ Nach Erreichen des Etappenziels von 500.000 Pressungen im Januar 1983 wirkte sich PolyGrams Erfahrungsvorsprung dahingehend aus, daß über den eigenen Veröffentlichungsbedarf hinaus

¹ Dierckx, F.J. „Compact Disc: A Unique Achievement“ Maplezingen CD, 1985, S.5, 6

² Nayak, P.R. and J.M. Ketteringham. *Breakthroughs!* San Diego 1994, S.391

³ Dierckx, F.J. „Compact Disc: A Unique Achievement“ Maplezingen CD, 1985, S.4

Nayak, P.R. and J.M. Ketteringham. *Breakthroughs!* San Diego 1994, S.389

⁴ Dierckx, F.J. „Compact Disc: A Unique Achievement“ Maplezingen CD, 1985, S.4

⁵ ebenda, S.4, 5

⁶ Mahlmann, Carl. „Tonträgerindustrie: Struktur des Deutschen Tonträgermarktes“ In: Moser, Rolf, Andreas Scheuermann (Hg.) *Handbuch der Musikwirtschaft*. Starnberg: Josef Keller Verlag 1992, Tabelle 2, S.94

⁷ „The software of the Compact Disc system. Interview with Dr. Hermann Franz of PolyGram“ *Philips News* 12(5), 4/1983

auch für andere Plattenfirmen CDs gepreßt werden konnten — bis zum September 1983 insgesamt drei Millionen Stück.¹

Ein Markt entsteht

Obwohl die Verfügbarkeit von Musiktiteln notwendig war, um den Eindruck der Stabilität des neuen Standards zu vermitteln, war die Verbreitung entsprechender Abspielgeräte entscheidend, um einen derartigen Standard tatsächlich zu etablieren. Die Produktionszahlen der von Philips in den ersten Monaten nach der Markteinführung hergestellten Geräte der Typen CD 100, CD 200 und CD 300² (monatliche Kapazität: insgesamt 10.000 Geräte³) entsprachen genau den Zahlen von CD-Playern, die alle Anbieter in Japan absetzen konnten (30.000 Geräte in 3 Monaten). Allerdings bot Philips nur einen Teil seiner eigenen Produktion auf dem japanischen Markt an — und diesen auch nicht unter eigenem Namen. Um Lizenznehmern die Möglichkeit zu bieten, auch ohne eigenen Entwicklungsaufwand CD-Spieler anbieten zu können, bot Philips Komponenten oder sogar vollständige CD-Laufwerke in Auftragsfertigung an.⁴ Dieses branchenübliche Auftreten als „OEM“ (original equipment manufacturer⁵) bedeutete im konkreten Fall für Philips, daß in Japan unter dem Markennamen der Konzerntochter *Marantz* nur ein Teil der Produktion des Spitzenmodells CD 300 in leicht abgewandelter Form unter der Typenbezeichnung CD-73 angeboten wurde.⁶ Alle eigentlichen Philips-CD-Player wurden dagegen für die anstehende europäische Markteinführung der CD im März 1983⁷ in Großbritannien, Frankreich, der Bundes-

¹ Dierckx, F.J. „Compact Disc: A Unique Achievement“ Maplezingen CD, 1985, S.4,5

² ebenda, S.3,4

³ Stand: März 1983

⁴ Dierckx, F.J. „Compact Disc: A Unique Achievement“ Maplezingen CD, 1985, S.4

⁵ Morita, A. *Made in Japan*. New York: Penguin/Signet 1988, S.93

⁶ zitiert nach: Nayak, P.R. and J.M. Ketteringham. *Breakthroughs!* San Diego 1994, S.389f.

Dierckx, F.J. „Compact Disc: A Unique Achievement“ Maplezingen CD, 1985, S.4

⁷ ebenda

republik Deutschland und den Niederlanden aufgespart.¹ Auf diese Weise sollte auch bei den CD-Abspielgeräten vermieden werden, Kunden durch Einführung einer potentiellen Mangelware zu verärgern.

Entsprechend der weiteren Verfügbarkeit von CD-Spielern und -Tonträgern folgten Markteinführungen in Singapur im April, in Australien im Mai, in den USA, in Kanada, Südafrika und Brasilien im Juni und in Neuseeland, Malaysia, Taiwan und Thailand im August 1983.² Bis zum Herbst 1983, also ein Jahr nach ihrer Vorstellung in Japan, war die CD fast weltweit erhältlich.

CD als Motor aus der Krise

Als einer der vier größten Tonträgermärkte weltweit kann die Bundesrepublik Deutschland als Beispiel für die Absatz- und Umsatzentwicklung des ausschlaggebenden Standbeins der Tonträgerindustrie, nämlich dem Absatz von „Longplay“-Tonträgern wie LP und CD, herangezogen werden.³ An den Verkaufszahlen von Langspielplatten läßt sich ablesen, daß die Tonträgerindustrie bis 1984 — nach einem zwischenzeitlichen, durch die sogenannte „Discowelle“ hervorgerufenen Hoch um 1979 — in eine tiefe Absatzkrise geraten war.⁴ Konkret war der Absatz von Langspielplatten im Jahre 1984 mit 71,1 Mio. Stück wieder auf das Niveau von 1974 (70 Mio.) zurückgefallen.

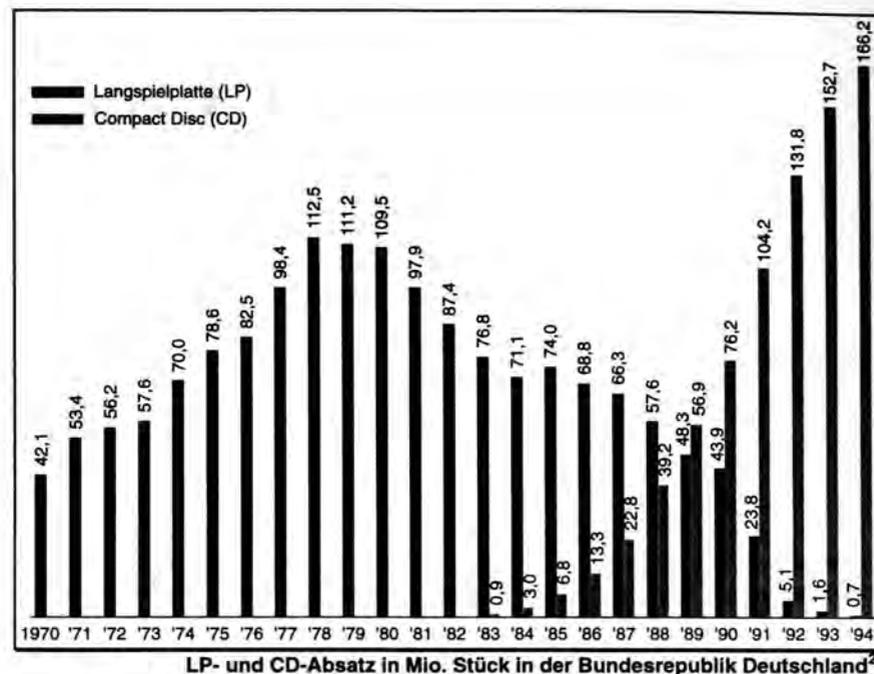
Gründe für diesen Einbruch sind sowohl auf wirtschaftlicher als auch auf technischer und kultureller Seite zu suchen: Eine schwache Konjunktur führte zu anhaltender Kaufzurückhaltung, und die weite Verbreitung von Compact-Cassetten-Systemen ermöglichte das private Überspielen von Musikprogrammen auf Leercassetten. Außerdem blieben auf künstlerischer Seite einheit-

¹ zitiert nach: Nayak, P.R. and J.M. Ketteringham. *Breakthroughs!* San Diego 1994, S.389f.

² Dierckx, F.J. „Compact Disc: A Unique Achievement“ Maplezingen CD, 1985, S.4

³ Als „Longplay“ werden Musikprogramme mit einer etwa einstündigen Länge bezeichnet. Zombik, P. „Tonträger im Markt der Zukunft“ *Media Perspektiven* 10/1995, S.498, 501

⁴ ebenda, S.496



liche musikalische Trends aus, die der Tonträgerbranche Absatzimpulse verschafft hätten.¹

Daß dagegen neuere Entwicklungen im Bereich der digitalen Audiotechnik und insbesondere die Ankündigung und Markteinführung der Compact Disc beim Zustandekommen der Krise praktisch keine Rolle spielten, zeigt sich an der Kaufzurückhaltung, die sich anfänglich auch auf den neuen Tonträger CD erstreckte. Erst im Zuge der Trendwende, die sich in den wieder steigenden LP-Absatzzahlen des Jahres 1985 andeutet, gelang es der CD, das zusätzliche Volumen des wieder anziehenden Markts für sich zu gewinnen. Obwohl sich die Absatzkrise Anfang der 1980er Jahre zunächst hemmend auf die CD-Verbreitung auswirkte, erwies sich

¹ Zombik, P. „Tonträger im Markt der Zukunft“ *Media Perspektiven* 10/1995, S.496

² vgl. ebenda, S.497

die CD nach Überwindung des Tiefpunkts als Motor, der die Tonträgerindustrie nicht nur aus dem Absatztal herausführte, sondern Verkaufszahlen von LPs und CDs hervorbrachte, die (nicht zuletzt wegen der Substitution alter LP-Titel durch CD-Nachpressungen beim Konsumenten) ab 1990 noch weit über die Erfolgswerte der Discowelle hinausgingen. Übertrumpft wurden die LP-Verkäufe von CDs erstmals im Jahre 1989 (48,3 Mio. LPs : 56,9 Mio. CDs); mit einem Absatz von gerade noch 700.000 Stück neigte sich schließlich der Lebenszyklus der Schallplatte im Jahre 1994 — nach 107 Jahren — dem Ende entgegen.¹

Tonträgerabsätze in Mio. Stück²

Jahr	USA		Japan		Deutschland		Großbritannien		weltweit	
	LP	CD	LP	CD	LP	CD	LP	CD	LP	CD
1981					97,9	-			1140,5	-
1982					87,4	-			900,0	-
1983					76,8	0,9			850,0	5,5
1984					71,1	3,0			800,0	20,0
1985	167,0	22,6	46,4	16,5	74,0	6,8	52,9	3,1	730,0	61,0
1986	125,2	53,0	34,2	36,1	68,8	13,3	52,3	8,4	690,0	140,0
1987	107,0	102,1	20,8	52,0	66,3	22,8	52,2	18,2	590,0	260,0
1988	72,4	149,7	8,7	72,0	57,6	39,2	50,2	29,2	510,0	400,0
1989	34,6	207,2	1,7	114,7	48,3	56,9	37,9	41,7	450,0	600,0
1990	11,7	286,5	0,6	135,3	43,9	76,2	24,7	50,9	339,0	770,0
1991	4,8	333,3	0,7	171,8	23,8	104,2	12,9	62,8	157,3	977,8
1992	2,3	407,5	0,8	181,8	5,1	131,8	6,7	70,5	114,9	1165,6
1993	1,2	495,4	0,6	191,8	1,6	152,7	5,0	92,9	80,5	1392,8
1994	1,9	662,1	0,5	203,5	0,7	166,2	4,5	116,4	37,7	1741,0

Das mit der Vermarktung von CD-Tonträgern einhergehende Risiko, die Platten im Gegensatz zu ihren Abspielgeräten trotz der hohen Investitionen in einem engen, relativ konstanten Preisrahmen anbieten zu müssen, verwandelte sich im Zuge der stark steigenden Nachfrage in einen langanhaltenden Bonus für alle Firmen, die trotz der krisenhaften wirtschaftlichen Situation Anfang der 1980er Jahre

¹ Zombik, P. „Tonträger im Markt der Zukunft“ *Media Perspektiven* 10/1995, S.497-498

² ebenda

frühzeitig in CD-Produktionsanlagen investiert hatten. Um die anfängliche Unrentabilität¹ der CD aufzufangen, war der Verkaufspreis einer CD nämlich deutlich höher angesetzt worden als der einer Langspielplatte, in Deutschland liegt dieser nach wie vor bei etwa 25 bis 35 DM (nominal), knapp doppelt so hoch wie der einer LP.² Da Konkurrenz in der Plattenbranche aufgrund vertraglicher Bindungen zu einzelnen Künstlern jedoch eine andere Qualität besitzt als etwa in der Elektronikindustrie, ein Preiskampf zwischen verschiedenen Anbietern aufgrund des unterschiedlichen Repertoires folglich nur in beschränktem Umfang Sinn macht, konnte der nominale Verkaufspreis einer CD trotz sinkender Herstellungskosten beibehalten werden. Allerdings ist dabei zu berücksichtigen, daß der um die Inflation bereinigte reale durchschnittliche Verkaufspreis einer CD im Zeitraum von 1983 bis 1990 um 26 Prozent sank.³

Neben der reinen Verdrängung der LP durch die teurere CD wurde das Marktvolumen außerdem durch CD-Neuaufgaben zurückliegender, häufig vergriffener LP-Titel vergrößert. Die Neuaufgabe bereits beim Käufer vorhandener Titel zur Substitution

¹ Heister, Hanns-Werner. „Die Compact Disc: Ökonomische, technische und ästhetisch-soziale Bedingungen einer Innovation“ S.51. In: Jungheinrich, Hans-Klaus (Hg.) *Ästhetik der Compact Disc*. Kassel/Basel/London: Bärenreiter 1985

Heister zitiert das Informationsblatt EMI Intern Nr. 21, S.6, wonach die CD in der Phase der Markteinführung als zumindest mittelfristig von der LP „subventioniertes Produkt“ angesehen wurde.

Vgl. auch Interview mit Wilfried Jung, Geschäftsführer von EMI-Electrola, im Nachrichtenmagazin *Spiegel* vom 19. Dezember 1983. Originalzitat: „Und berücksichtigen Sie bitte, daß die CD teilweise sogar noch subventioniert wird, weil die tatsächlichen Kosten durch den Verkaufspreis gar nicht gedeckt werden“ zitiert nach:

Csampa, Attila. „Musikalische Begegnung der dritten Art“ S.87. In: Jungheinrich, Hans-Klaus (Hg.) *Ästhetik der Compact Disc*. Kassel/Basel/London: Bärenreiter 1985

² Und dies, obwohl sich inzwischen L.F. Ottens' *1. Gesetz der Konsumelektronik* (s. S.29) auch hier bewahrheitet hat: Trotz aufwendigerer Verfahren kostet die Herstellung einer CD heute weniger als die einer LP. Aufgrund großer Stückzahlen sind letztlich die Materialkosten weitgehend kostenbestimmend, die bei einer kompakten CD geringer sind als bei einer Vinyl-LP.

³ Mahlmann, Carl. „Tonträgerindustrie: Struktur des Deutschen Tonträgermarktes“ In: Moser, Rolf, Andreas Scheuermann (Hg.) *Handbuch der Musikwirtschaft*. Starnberg: Josef Keller Verlag 1992, S.90f.

bzw. Kompatibilisierung dessen bestehender LP-Sammlungen erzeugte einen äußerst lukrativen, weil produktions- und werbekostenarmen Zusatzmarkt.¹ Anfängliche Bedenken, durch alte, teilweise verrauschte Aufnahmen den klanglichen Möglichkeiten der CD nicht gerecht zu werden, wurden durch die Nachfrage zerstreut.²

Nachhaltig gefestigt wurde der Erfolg der Audio-CD durch die Festlegung des CD-ROM-Standards durch Sony und Philips im Dezember 1983.³ Durch die Weiterentwicklung der Audio-CD zu einem digitalen Speichermedium, hauptsächlich genutzt zur Verbreitung vorgefertigter Computerprogramme und -dateien großen Umfangs, erwies sich die CD über den Audiobereich hinaus als zukunftsweisendes Konzept, dessen Technologie auch auf andere Anwendungsbereiche übertragbar (und somit vermarktbare) war.⁴

2.7 ERFOLGREICHE MARKTEINFÜHRUNG

Drei Szenarien

Compact-Disc-Spieler zählen heute wie Computer und Taschenrechner zur Produktkategorie der „Konsumelektronik“ („consumer electronics“). Die Leistungsfähigkeit solcher Produkte steht gemeinhin im Verhältnis zur Komplexität der verwendeten Elektronik. Da elektronische Schaltkreise zwar mit hohem Aufwand entworfen werden, jedoch in miniaturisierter Form als Integrierte Schaltkreise (ICs) mit geringem Material- und Energieaufwand in großen Mengen reproduziert werden können, hängen die Gesamt-

¹ Bei einer exemplarischen CD (Herbert Grönemeyer, „Chaos“), deren Nennverkaufspreis bei 35 DM liegt, beläuft sich der Anteil der Kosten für Aufnahme, PR/Marketing und Produktentwicklung auf etwa 10% der Gesamtkosten. Um diese bei Neuauflagen entfallende Größe (die bei erfolgreichen Künstlern in etwa deren Tantiemen entspricht) vergrößert sich der potentielle Gewinn für das Tonträgerunternehmen. Vgl. „Zur Diskussion über die Preise von CD: Eine Kostenrechnung gibt Aufschluß“ *Der Musikmarkt* 36(16), 15. August 1994, S.22

² „Rauschen in Digital-Qualität“ *Stereo* (dt.), März 1983, S. 74

³ Dierckx, F.J. „Compact Disc: A Unique Achievement“ *Maplezingen CD*, 1985, S.5

⁴ vgl. Kap.5

kosten solcher Produkte in erster Linie von den produzierten Stückzahlen ab — der Menge gleichartiger Produkte also, auf die die hohen Entwicklungskosten verteilt werden können.¹ Als drohende Konsequenz ergibt sich daraus der von François Dierckx als „Henne/Ei-Dilemma“ bezeichnete dialektische Gegensatz², daß Konsumelektronik einerseits nur dann in großen Stückzahlen abzusetzen ist, wenn sie zu einem geringen Preis angeboten wird, geringe Herstellungskosten aber andererseits nur bei großen Stückzahlen erzielt werden können.³ Ein solches Dilemma war im Falle der CD vor allem bei einer geringen Marktakzeptanz zu erwarten.

Die voraussichtliche Marktakzeptanz des Compact-Disc-Systems war den Verantwortlichen bei Philips jedoch weitgehend unklar. Angesichts der Tatsache, daß die CD schon vor ihrer Markteinführung durch zahlreiche Lizenznehmer zu einem neuen Tonträger-Standard erhoben worden war, konnte zwar ein Scheitern weitgehend ausgeschlossen werden, die Schnelligkeit, mit der sich die Compact Disc etablieren würde, stellte jedoch eine unbekannte Größe dar. Da weitere Investitionstätigkeiten und die Festlegung der Gerätepreise auf die aktuelle Marktsituation der CD abgestimmt werden mußten, entwarf François Dierckx, Direktor für den Bereich HiFi-Konsumelektronik der Hauptindustriegruppe Audio, mit seinen Mitarbeitern drei verschiedene Bewertungsszenarien. Das „A-Szenario“ sollte dann vorliegen, wenn die Nachfrage nach CD-Playern hinter der Angebotskapazität zurückblieb, in diesem Falle war es zwar möglich, aufgrund der vorhandenen Produktionsreserven die verschiedenen regionalen Markteinführungen zu beschleunigen, andererseits bestand die Gefahr, daß die CD mangels Marktvolumen versiegen würde. Das realistische „B-Szenario“ sollte im Rahmen eines Gleichgewichts von Nachfrage und Produktionskapazität einen langsamen, aber stetigen Ausbau des Marktes erlauben. Innerhalb von fünf Jahren, also bis 1988, wurde mit einer „Durchdringung“ des Tonträger- und CD-Spielermarktes in Höhe von 1,4 % gerechnet.⁴ Das optimistische „C-Szenario“

¹ van Houten, S. „Applied research — the source of innovation in consumer electronics“ *Philips tech. Rev.* 44(6), Dec. 1988, S.180-189

² Dierckx, F.J. „CD Development“ S.2

³ Sinjou, J.P. „Compact Disc“ Eine Zusammenstellung für Piet Kramer. S.3

⁴ Sinjou, J.P. Interview 28. Okt. 1993, 5A 222 (Quelle: Business-Plan)

sollte schließlich bei großer Nachfrage eine rasche Expansion der Produktion erforderlich machen.

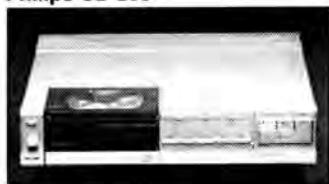
Gerätevielfalt und Understatement



Philips CD 100



Philips CD 200



Philips CD 300

Mit der europäischen Markteinführung der Compact Disc im März 1983 verfolgte Philips eine Produktpolitik, die sich nicht ohne weiteres nachvollziehen läßt und daher einer genaueren Betrachtung bedarf. Zwar hatte Philips bereits im August 1982 als einziger Anbieter eine Palette von drei verschiedenen CD-Spielern angekündigt, der Erfahrungsvorsprung, der während der gesamten Entwicklungszeit gewonnen worden war, ließ sich an diesen Geräten jedoch nicht ohne weiteres ablesen. Im Gegensatz zu den konkurrierenden CD-Lizenznehmern verfolgte Philips die Strategie, Geräte mit herausragender Klangqualität, durchschnittlicher Fertigungsqualität und minimaler Ausstattung preiswert anzubieten.

In Form des kompakten Einsteigermodells CD 100 waren die einst bewußt gewählten Gestaltungsmerkmale des „Pinkeltje“-Prototyps zur Marktreife gelangt. Mit einem schmalen, flachen, pultförmigen Gehäuse aus Aluminium sollte das Modell CD 100 die Neuartigkeit und Kompaktheit des CD-Systems verkörpern und in seiner Erscheinungsform ein Pendant zur graziilen, silbernen CD-Scheibe selbst darstellen. Die beiden größeren Modelle CD 200 und CD 300 entsprachen dagegen (mit ihrer Breite von 42 cm) den üblichen Geräteabmessungen großer HiFi-Bausteine und konnten zusammen mit anderen Geräten — wie etwa Verstärker, Cassettenrecorder („Tape-Deck“) und Rundfunkempfänger („Tuner“) — zu einem „HiFi-Turm“ gestapelt werden. Der wesentliche Unterschied zwischen den großen Modellen bestand darin, daß die Tonträger beim CD 200, wie beim kleinen CD 100, durch eine Öffnung in der Gehäuseoberseite ein-

¹ Dierckx, F.J. „Compact Disc: A Unique Achievement“ Maplesingen CD, 1985, S.3

gelegt werden mußten (sog. „Toplader“), während beim Modell CD 300 die Scheiben zwischen einen waagrecht nach vorne ausfahrenden Schlitten und einen dabei gleichzeitig hochschwenkenden, hinten am ausfahrenden Schlitten befestigten Arm, der im geschlossenen Zustand die obere Lagerung der Drehachse übernahm, eingelegt werden mußten. Kennzeichnend für alle Philips-Geräte war die Minimalausstattung des Modells CD 100. So wurde etwa auf die bei allen Konkurrenzmodellen übliche Anzeige der Spielzeit verzichtet. Nur anhand einer Reihe von Leuchtdioden konnte die Anzahl der auf der eingelegten Platte vorhandenen Titel abgezählt und durch Vorwärtsspringen von einem Titel zum anderen angewählt werden. Dagegen erwies sich die Klangqualität des 14-bit-Digital-Analogumsetzers mit vierfachem Oversampling gegenüber den ansonsten eingesetzten 16-bit-Umsetzern ohne Oversampling als überlegen. Auch bezüglich der Sicherheit der Fehlerkorrektur überragte der kleine CD-Spieler von Philips seine Konkurrenten — trotz der geschilderten Probleme bei der Herstellung des entsprechenden ICs.¹ Gleiches gilt auch für den ersten von Philips gefertigten CD-Spieler, der bereits ab Herbst 1982 auf dem japanischen Markt erhältlich war, das Modell CD-73 der Philips-Tochter Marantz. Weitgehend baugleich mit dem Philips-Modell CD 300 galt dieses Abspielgerät im ersten Jahr nach der CD-Markteinführung als Referenzspieler.²

Wie bei allen Philips-Geräten drehten sich auch beim ersten CD-Spieler von Sony, dem kompakten Modell CDP-101, die silbernen Scheiben in horizontaler Lage. Anders als beim Philips CD 300 konnten jedoch die Tonträger in die nach vorne ausfahrende Schublade des CDP-101 aufgrund der im Gehäuseinneren verbliebenen oberen



Sony CDP-101

¹ Vgl. *Stereo*-Vergleichstest, in dem von neun getesteten CD-Spielern zwei die Auszeichnung „exzellent“ erhielten. Beide Modelle stammten von Philips (Philips CD 100 und Marantz CD 73). Vgl. Schild/Weihönig/Wienforth, „Die Klang-Elite: Neun aktuelle Compact-Disc-Player im Test“ *Stereo* 6/1983, S.16ff.

² Erst im September 1984 wurde der Marantz-Spieler CD 73 als Referenzspieler der deutschen Publikumszeitschrift *Audio* durch das Modell DCD-1800 der japanischen Marke Denon ersetzt. vgl. *Audio*, September 1984, S.36

Achslagerung frei von oben eingelegt werden. Dieses Konstruktionsprinzip des Sony CDP-101 war, zusammen mit anderen Ausstattungsmerkmalen wie der Anzeige der Spielzeit und der Titelnummer, der Möglichkeit, zwischen Musikstücken einer Platte vorwärts und rückwärts zu springen, dem einstellbaren Kopfhörerausgang auf der Frontseite und der Möglichkeit, das Gerät drahtlos fernzusteuern und über die Fernsteuerung Titel direkt anzuwählen, richtungsweisend für spätere CD-Player-Generationen aller Hersteller. Bezüglich der Klangqualität und der Abtastsicherheit war der vorbildlich ausgestattete Sony-Spieler jedoch trotz seiner 16-bit-Umsetzer und der von Sony maßgeblich entwickelten Fehlerkorrekturverfahren den niederländischen Konkurrenzmodellen leicht unterlegen.¹



Vertikalspieler von Philips (Prototyp)



Vertikalspieler von Sony (Prototyp)

Inspiziert durch die Bauweise von Cassettenspielern und bestärkt durch nicht zur Marktreife gelangte CD-Spieler-Prototypen von Philips und Sony² hatten alle anderen Lizenznehmer ihre Geräte der ersten Generation so ausgeführt, daß die Tonträger in eine nach vorne schwenkende Klappe eingesteckt und senkrecht abgespielt wurden. Aufgrund der notwendigen Gerätehöhe entsprachen derartige Senkrechtspieler nicht der Grazilität, die Philips und Sony der neuen Technik zugedacht hatten — allerdings wiesen ihre meist transparenten Klappen, durch die die CD wie durch ein Bullauge beobachtet werden konnte, auch beim Einbau in einen HiFi-Turm darauf hin, daß es sich hierbei um neuartige (und statusträchtige) Komponenten handelte.

OEM-Technik

Besonders in der ersten Einführungsphase der CD ließ sich aufgrund des noch übersichtlichen Marktes eine Tendenz erkennen, die kennzeichnend für die Branche der Unterhaltungselektronik ist. Bereits die äußerliche Ähnlichkeit einiger CD-Spieler deutete da-

¹ z.B. „Sony CDP 101“ *Stereo* (dt.), Juni 1983, S.32

² Feld, Wolfgang, „Laser-Sieg?“ *Audio*, Dezember 1981, S. 146f.

rauf hin, daß deren Anbieter zumindest Teile ihrer Geräte bei anderen Herstellern (bzw. Lizenznehmern) im Auftrag fertigen ließen. So produzierte etwa Sanyo CD-Laufwerke für Fisher, ITT und Siemens; Hitachi fertigte ebenfalls als „OEM“ (Original Equipment Manufacturer) für Denon, JVC, Dual, Saba und Nordmende und Kyocera/Cybernet entwarf die Technik der CD-Spieler von Akai, Rotel, Tensai und Mikro Seiki. Während Hitachi in Werbetexten betonte, im Modell DA-1000 selbst entwickelte Integrierte Schaltkreise einzusetzen, verschwieg OEM-Großanbieter Sanyo nicht, daß zumindest einige der verwendeten ICs von Sony stammten.¹

Obwohl sich auch Lizenzgeber Philips als OEM anbot², stammten in der Anfangszeit lediglich Spieler der Konzerntöchter Marantz und Grundig aus Hasselt. Die Übernahme der klanglich überlegenen Oversampling/Umsetzer-ICs durch renommierte Hersteller wie Revox (Modell B223, Mai 1984)³ und Nakamichi (Modell OMS-7E, 1984/85)⁴ bestätigte jedoch Philips' Rolle als Fremdhersteller einzelner Komponenten. Besonderen Erfolg hatte Philips als OEM im Jahre 1986 mit einem weiterentwickelten Digital-Analogumsetzer des Tochterunternehmens Valvo, dessen Leistungsfähigkeit es erlaubte, das 4-fach-Oversamplingprinzip nun auch auf die umfangreicheren Zahlenkolonnen einer Quantisierungsauflösung von 16 bit anzuwenden und somit die Vorzüge der zuvor konkurrierenden Umsetzerverfahren (14 bit mit 4-fach Oversampling bei Philips; 16 bit ohne oder allenfalls mit 2-fach Oversampling bei allen anderen Geräten) zu vereinen.⁵ Der unter der Bezeichnung TDA 1541 bekannt gewordene Digital-Analogumsetzer von Philips

¹ Siehe geöffnetes Gehäuse des Sanyo DAD 8 als Abb. in: Schild/Weihönig/Wienforth „Die Klang-Elite“ *Stereo*, Juni 1983, S.16-23;

„Sanyo DAD 8: Spielfreudig“ *Stereo*, März 1983, S.80-81;

Hitachi-Werbung für DA-1000: z.B. *Stereo*, März 1983, S.66-67

² Dierckx, F.J. „Compact Disc: A Unique Achievement“ Maplezingen CD, 1985, S.4

³ vgl. *Audio* (dt.) Mai 1984, S.26

⁴ Dierckx, F.J. „Compact Disc: A Unique Achievement“ Maplezingen CD, 1985, S.6

Audio (dt.) Dezember 1984, S.71 und Januar 1985, S.42

⁵ *Audio* (dt.) März 1988, S.22; vgl. auch Kasten „Oversampling“ auf S.60

(Valvo) wurde 1987 sogar in einem der Spitzenmodelle von Sony eingesetzt.¹

Markteinführung aus Käufersicht

Zur europäischen Markteinführung der Compact Disc im März 1983 standen mehr als ein Dutzend CD-Player zur Verfügung. Die Zahl der Gerätetypen vervielfachte sich in den Monaten nach der Markteinführung und stieg im Verlauf des folgenden Jahres auf über 50.² Anfängliche Ladenpreise bewegten sich in Deutschland um 2000,- DM, wobei die Spanne zwischen teuren und billigen Geräten lediglich 400,- DM betrug.³ Die sehr unterschiedliche Gestaltung und Ausstattung der Geräte bot von Beginn an die den Gewohnheiten der Konsumgesellschaft entgegenkommende Möglichkeit, zwischen verschiedenen Modellen wählen zu können.

Die mit dem Bekanntheitsgrad steigende Nachfrage nach CD-Spielern verursachte einen raschen, drastischen Preisverfall. Bereits zum Weihnachtsgeschäft des Einführungsjahres 1983 wurden einzelne Modelle (Rotel RCD 870 und Akai CD 1) knapp unter 1000,- DM angeboten.⁴ Gleichzeitig wurde jedoch für das neu von Sony angebotene Spitzenmodell CDP-701 ES der vierfache Preis veranschlagt.⁵ Als deutliches Indiz für die Ausdifferenzierung von Marktsegmenten weitete sich die relative Preisspanne zwischen preiswerten und teuren Geräten auf; der Markt öffnete sich allen Käuferschichten. Vier Jahre später, zum Weihnachtsgeschäft 1987, brachen Compact-Disc-Spieler endgültig in den Niedrigpreisbereich ein. Während die Preise für hochwertige Player in den Be-

¹ Beim Sony-Spieler handelte es sich um das Modell DCP-555 ESD; vgl. *Audio* (dt.) März 1988, S.22 und Test CDP-555 ESD in *Audio* (dt.) August 1987

Der Philips D/A-Umsetzer TDA 1541 wird bis heute (1996) zu hochwertigen HiFi-Entwicklungen herangezogen. Vgl. Spoerle-Electronic, Components Guide, Vol.1-10.036, 1996

² *Audio* (dt.) Oktober 1984, S.28,29

³ „Alle aktuellen CD-Player auf einen Blick“ *Stereo*, März 1983, S.84,85

⁴ „So entwickelten sich die Preise“ *Audio*, März 1984, S.26 (Rotel RCD 870 bei der norddeutschen Schaulandt-Kette)

Rubrik „Letzte Nachricht“ *Funkschau* 26/23.Dez.1983, S.8 (Akai CD 1 für 899,- DM bei einem „großen Münchner Fachhändler“)

⁵ „Sony CDP-701ES“ *Stereo* (dt.), Februar 1984, S. 34

reich um 800,- DM gefallen waren¹ (einzelne Spitzenmodelle lagen noch weit darüber), bot die auf preiswerte Grundversorgung ausgerichtete Lebensmittelmarktkette Aldi einen CD-Spieler für nur 260,- DM an.² Die ursprünglich von Lou F. Ottens angestellten Überlegungen, einen CD-Spieler für 150 Gulden herstellen zu können, bewahrheiteten sich nach wenigen Jahren.

Seitens der Ausstattung setzte sich die von Sony vorgegebene Bauweise weitgehend durch. Senkrechtspieler und Topladermodelle wurden in den folgenden Gerätegenerationen durch Schubladenkonstruktionen ersetzt.³ Die Anzeige der auf jeder Audio-CD vorhandenen Zusatzinformation der laufenden Spielzeit setzte sich als Standardausstattung durch. Die nicht mit dieser Möglichkeit ausgestatteten Modelle CD 200 und CD 300 von Philips wurden noch in der ersten Gerätegeneration entsprechend nachgerüstet und unter der Typenbezeichnung CD 202 und CD 303 vermarktet.⁴

Die bei einigen Geräten in Analogie zur Stellung des Tonabnehmers auf einer Schallplatte intuitiv ablesbare Anzeige der ungefähren momentanen Position des Lasers durch Leuchtdioden wurde ebenfalls in späteren Entwicklungen nicht fortgeführt. Dagegen setzten sich neben der Fernbedienbarkeit die ebenfalls auf Sony zurückgehenden Sprungtasten zum schnellen Anwählen des folgenden oder des vorangehenden Musiktitels allgemein durch.

Bemerkenswert ist, daß es den beteiligten Unternehmen gelang, zur Einführung der CD schlagartig eine normale, scheinbar breit gefächerte Marktkulisse zu erzeugen. Angesichts einer größeren Zahl verschiedener Geräte eines neuartigen Systemstandards war auch ohne Kenntnis der innertechnischen Eigenschaften des Compact-Disc-Systems erkennbar, daß ein Systemwechsel in der Tonträgertechnik anstand.



Philips CDI 450

¹ *Audio* (dt.) Januar 1988, S.26ff.

² Fessler, Hans-Ulrich. „Die richtige Zeit“ *Stereoplay*, Januar 1988, hier: S.42

³ Trotz des anhaltenden Trends der vereinheitlichten Gestaltung von CD-Playern präsentierte Philips jedoch auch elf Jahre nach der Markteinführung mit dem Modell CDI 450 einen multifunktionalen CD-I-Spieler, der immer noch die typischen Merkmale des „Pinkeltje“-Prototypen und des Einstiegsmodells CD 100 aufwies. (s. Foto)

⁴ vgl. etwa Philips-Werbung: *Funkschau* 21/14.Okt.1983, S.10/11; oder Philips Produkt-Katalog 1983/84, S.6

Verzögerte Weiterentwicklung

Während sich der Markt für Compact-Disc-Spieler ausbildete, gefährdete die von Philips verfolgte Produktpolitik — aus Konsumentensicht nicht ohne weiteres erkennbar, jedoch an den Absatzzahlen ablesbar¹ — die ursprünglichen Investitionen in die Entwicklung des Compact-Disc-Systems. Bereits zur Markteinführung schienen die zierlichen Philips-Geräte in der Fülle der teilweise großvolumigen, mit vielen Leuchtanzeigen versehenen und umfangreich ausgestatteten Konkurrenzmodelle unterzugehen. Käufer, die die verborgenen klanglichen Qualitäten der Philips-Geräte nicht kannten, konnten sich nur bei puristischer Veranlagung zu den spartanisch ausgestatteten niederländischen CD-Spielern hingezogen fühlen. Um im Wettbewerb mit immer neu auf den Markt strömenden, besser ausgestatteten CD-Playern zu bestehen, verfolgte Philips die Strategie, eigene Geräte in möglichst hohen Stückzahlen — also auch über einen langen Zeitraum hinweg — in unveränderter Bauweise zu produzieren, um sie vergleichsweise preiswert anbieten zu können. Sogar als eineinhalb Jahre nach der europäischen Markteinführung mit den Typen CD 104, CD 204 und CD 304 ein Modellwechsel eingeleitet wurde, der aus Käufersicht auf eine zweite Gerätegeneration hindeutete, verbarg sich hinter den neuartigen Schubladenkonstruktionen immer noch Technik der Erstmodelle.² Da sich Philips jedoch den Ruf erworben hatte, einfache, klanglich ausgezeichnete Geräte zu einem guten Preis/Leistungs-Verhältnis zu bauen, wurden auch bei der vermeintlich zweiten Gerätegeneration die bescheidenen Ausstattungsmerkmale nicht als Mangel wahrgenommen.

¹ Der deutsche CD-Spieler-Markt teilte sich im ersten halben Jahr nach der deutschen Markteinführung wie folgt auf: Sony 39%, Philips 20%, Hitachi 13%, Sanyo/Fisher 9%, Marantz 6%, andere ca. 13%. Vgl. „CD-Spieler: Japaner führen den deutschen Markt an“ *Funkschau* 26/23.Dez.1983, S.20. Trotz hoher EG-Einfuhrzölle für außereuropäische CD-Spieler von 19% ab 1. Januar 1984 (zuvor 9%) führten japanische Geräte den deutschen Markt an. Vgl.: „National Panasonic über VHS-Video-Movie: Lösung auf Zeit?“ *Funkschau* 25/9.Dez.1983, S.14; Rubrik „Letzte Nachricht“ *Funkschau* 26/23.Dez.1983, S.8.

² CD 104: vgl. *Audio* (dt.) 9/84, S.36; CD 204: vgl. *Audio* (dt.) 11/84, S.34ff.; CD 304 vgl. *Audio* (dt.) 10/84, S.28, 11/84, S.180 und 12/84, S.72ff.

Tatsächlich war den Verantwortlichen bei Philips inzwischen bewußt geworden, daß es im Zuge der erfolgreichen Vermarktung der ersten Modellreihe versäumt worden war, eine grundsätzlich neue, zweite Generation von CD-Spielern zu entwickeln.¹ Spätestens mit dem unerwarteten Quereinstieg des japanischen Mischkonzerns Yamaha in die Entwicklung hochwertiger CD-Player mit kleinen, leistungsfähigen Laufwerken wurde deutlich, daß bei Philips die Planung einer neuen, billigeren CD-Spielergeneration eingeleitet werden mußte.² In einem aufwendigen Umstrukturierungsprozeß gelang es Philips, die Technik der Compact Disc derart weiterzuentwickeln, daß der zwischenzeitliche Verlust des ursprünglichen Erfahrungsvorsprungs innerhalb von zwei Jahren wieder wettgemacht werden konnte. Als Verantwortlicher für die Produktion von CD-Spielern verordnete Gaston Bastiaens klare, auf jeweils drei Monate ausgelegte Planziele, die unter bewußter Vermeidung jeglicher kreativer Abschweifungen rigoros eingehalten werden mußten.³ Als Ergebnis dieses autoritären Führungsstils wurde die Bauweise von CD-Playern derart vereinfacht, daß etwa die ursprünglich aus 17 Teilen bestehende Ausleseeinheit (Laser und Optik) auf nur sechs Teile reduziert werden konnte, wodurch der Preis von 100 Gulden auf 25 Gulden sank. Die Anzahl der Bauteile eines gesamten CD-Players wurde von 850 auf 250 gesenkt, gleichzeitig konnte der Herstellungspreis von anfänglich 850 Gulden auf 250 Gulden gedrückt werden.⁴

¹ Ottens, L.F. Interview 12. Okt. 1993, 3A 474-3B 025
van Tilburg, J.J.G.Ch. Interview 2. Dez. 1993, 7A 371

Mit der Unterlassung der Weiterentwicklung eigener Erfindungen wiederholte sich damit für Philips ein Fehler, der bereits zwanzig Jahre zuvor bei der Vermarktung von sog. „Taschenrecordern“ für Compact Cassetten begangen worden war. Alle Bandfunktionen (Vor-, Rücklauf, Start, Stopp) dieses kompakten Cassettenrecorders des Typs EL 3000 wurden durch einen einzigen, multifunktionalen Schiebeschalter betätigt. Erst als japanische Konkurrenzmodelle mit den später üblichen Drucktasten für jeweils einzelne Bandfunktionen vorgestellt wurden, wurde Philips darauf aufmerksam, daß der Weiterentwicklung der ursprünglich erfundenen Technologie zu wenig Aufmerksamkeit geschenkt worden war.

² van Tilburg, J.J.G.Ch. Interview 2. Dez. 1993, 7A 485
vgl. auch Nayak, P.R. and J.M. Ketteringham. *Breakthroughs!* S.392

³ Nayak, P.R. and J.M. Ketteringham. *Breakthroughs!* S.392-393

⁴ ebenda

Erst im Nachhinein deutete sich nach außen hin an, daß bei Philips die Weiterentwicklung der eigenen Erfindung lange Zeit versäumt worden war. Das von Philips zur Funkausstellung in Berlin im September 1985 präsentierte Modell CD 150, das die wirklich zweite Generation eigener CD-Spieler markierte, erfüllte mit einem Gewicht von nur 3 kg in geradezu idealer Weise Ottens' erstes Gesetz der Konsumelektronik (Leichtgewicht).¹ Durch die Verkleinerung von Hauptplatine und Leseeinheit konnte dieser CD-Spieler deutlich preiswerter als seine Vorgängermodelle hergestellt werden. Da jedoch die materialsparende Leichtbauweise auch auf das Äußere des Gerätes Einfluß genommen hatte, nahmen Kritiker Anstoß am „billigen Kunststoffgehäuse“ mit „Wackeltasten“² und der „wenig vertrauenserweckenden Mechanik“³ des Modells CD 150.

Scheinbar unabhängig von der verzögerten Weiterentwicklung durchlief die Akzeptanz der Compact Disc aus Sicht des Systementwicklers Philips letztlich alle drei ursprünglich aufgestellten Szenarien. Nach anfänglich geringen Verkäufen (A-Szenario)⁴, fanden CD-Abspielgeräte und -Tonträger noch im ersten Jahr den erhofften Markt (B-Szenario) und übertrafen in der Folgezeit sogar noch die optimistischen Annahmen des C-Szenarios.⁵ In Deutschland fand die CD sogar überdurchschnittlich viele Käufer. Hier wurde schon im ersten Verkaufsjahr mit einem Umsatzanteil des CD-Players am gesamten HiFi-Markt von knapp 4% das B-Szenario deutlich übertroffen.⁶ Insgesamt ergab sich eine Nachfrage nach CD-Playern, die von Philips in der Entwicklungsphase nicht erwartet worden war.⁷

Im Zuge der lebhaften Aufnahme der CD am Markt entwickelte sich die Wechselwirkung von steigenden Absatzzahlen und sinkenden Herstellungskosten zu einem sich selbst verstärkenden Wachstumsmechanismus. Trotz des hohen anfänglichen Verkaufspreises von CD-Playern löste die ursprüngliche Nachfrage nach dem

¹ vgl. S.29

² vgl. *Audio* (dt.) September 1985, S.44

³ Fessler, Hans-Ulrich. „Die richtige Zeit“ *Stereoplay* (dt.), Januar 1988, S. 28ff. (S.36)

⁴ Mons, J.J. Interview 25. Nov. 1993, 6A 308

⁵ van Tilburg, J.J.G.Ch. Interview 2. Dez. 1993, 6B 470 - 7A 009

⁶ Renner, K. „Stirbt Analog?“ *Das Ohr, Zeitschrift für High-Fideles Hören*, Heft 21, Dez. 1987, S.3-4

⁷ van Tilburg, J.J.G.Ch. Interview 2. Dez. 1993, 7A 026

neuartigen Produkt einen Strudel aus Preisverfall und zunehmender Verbreitung aus, der erst Anfang der 1990er Jahre durch die Normalität und Allgegenwärtigkeit der CD in einem gesättigten und rezessiven Markt gebremst wurde.

2.8 FAZIT

Vermarktbar Hochtechnologie

Als eigentlicher Vordenker und Initiator des CD-Projekts erkannte Lou F. Ottens die potentiellen Auswirkungen, die die Anwendung aufkommender hochtechnischer Entwicklungen auf einen vorhandenen Markt haben könnten. Auf technischer Seite war Ottens inspiriert durch Vorarbeiten seiner Kollegen Klaas Compaan und Piet Kramer, die in die Entwicklung der Bildplatte VLP gemündet waren. Absatzchancen für die neuartige Technik eines dicht beschriebenen Speichermediums mit berührungsloser Abtastung sah Ottens vor allem im Markt der technisch überalterten Schallplatte. Die Gewißheit der Potenz dieses Marktes bildete den nötigen Rückhalt für das aufwendige Entwicklungsprojekt.

Neben dem wichtigen Aspekt des vorhandenen Absatzmarktes, der natürlich auch für alle Konkurrenzentwicklungen von gleicher Bedeutung war, erwies sich die technische Kompromißlosigkeit der CD gegenüber anderen Konzepten als entscheidend. Mit Weitsicht antizipierte Ottens Komponenten, die zur Zeit der Planung noch nicht oder nur mit großem finanziellen Aufwand erhältlich waren, deren spätere Verfügbarkeit jedoch die technische Fortschrittlichkeit der CD ausmachten. Kompakte Halbleiterlaser, hochintegrierte Schaltkreise und digitale Signalverarbeitungsverfahren verkörpernten wie asphärische Kunststofflinsen und CD-Tonträger als optische Dichtspeichermedien den Stand der Technik und ließen das Compact-Disc-System zu einem Symbol der technischen Fortschrittlichkeit werden. Eine derart hoch angelegte Meßplatte konnte von konkurrierenden Verfahren im Rahmen einer Beurteilung nach rein technischen Kriterien nicht übertroffen werden.

Entmythologisierung und Konsequenz

Ähnlich konsequent wie die technische Konzeptionierung des Compact-Disc-Systems wurden auch Strategien zur Vorbereitung des Absatzmarktes für das neue Produkt entwickelt. Um als niederländisches Unternehmen nicht im Markt japanisch dominierter Unterhaltungselektronik unterzugehen, suchte Philips für das fast fertig entwickelte CD-Projekt einen japanischen Partner. Daß im Rahmen der Kooperation mit Sony über die strategische Allianz hinaus weitere technische Impulse zur Verbesserung der digitalen Datenverarbeitung ausgelöst wurden, kam dem CD-System als Nebeneffekt zugute.

Ein weiterer strategischer Schritt zur Durchsetzung der CD am Markt war die Suche nach möglichst vielen Lizenznehmern. Statt die CD als exotische Neuentwicklung zweier Unternehmen auf den Markt zu bringen, konnte mit der Verbreitung der „Bauanleitung“ eine adäquate industrielle Basis zur Versorgung eines großen potentiellen Marktes erzeugt werden. Die im Zuge der Lizenznahme getätigten Investitionen zahlreicher Industrieunternehmen sicherten somit auf der Angebotsseite einen erheblichen Marktdruck, der — abgesehen von Lizenzzahlungen — für Philips und Sony die Chance bot, potentiell verkleinerte eigene Marktanteile durch größeres Marktvolumen zu kompensieren.

Auf der Käuferseite bewirkte die Strategie der breiten Lizenzvergabe in zweifacher Hinsicht einen verkaufsfördernden Effekt. Einerseits wurde durch die Vielzahl der Lizenznehmer eine Marktpräsenz erzeugt, die von Philips und Sony alleine nicht hätte aufgebracht werden können. Unabhängige Werbekampagnen einzelner Lizenznehmer und die Warenpräsentation zahlreicher Konkurrenzmodelle in Verkaufsräumen steigerten die Wahrscheinlichkeit, daß das neue Tonträgersystem allgemein wahrgenommen wurde. Andererseits bewirkte die Vielzahl der verschiedenen CD-Systeme eine verkaufsfördernde „Entmythologisierung“ der Compact Disc. Die offenbar von vielen Herstellern „beherrschte“ CD-Technologie vermittelte den Eindruck der „Normalität“ der Compact Disc und trug dazu bei, Berührungsängste gegenüber exotischer Hochtechnologie abzubauen oder gar nicht erst aufkommen zu lassen.

Die technische und marktstrategische Kompromißlosigkeit, mit der die CD entwickelt wurde, spiegelte sich auch in den organisatorischen Umständen der Entwicklung. Das von Lou F. Ottens in den ersten Jahren zur Ausarbeitung wesentlicher Produkteigenschaften mit minimalem Personalaufwand verfolgte ALP-Projekt wurde erst mit der Aufgeschlossenheit J.J.G.Ch. van Tilburgs in den Status der offiziellen Entwicklung überführt. Die erforderliche Unterstützung durch das Nat.Lab. verlief ebenso unproblematisch wie unbürokratisch. Daß Geld zur Finanzierung der CD-Entwicklung stets in ausreichendem Maße zur Verfügung stand, deutet ebenfalls auf geringe organisatorische Reibungsverluste hin:¹ Weder wurden im Vorfeld Kalkulationen angestellt, um zukünftige Kosten einzuplanen², noch wurden im Nachhinein die insgesamt aufgewendeten Mittel jemals aufgerechnet.³ Die Entwicklungskosten wurden schlichtweg „genommen, wie sie kamen“.⁴

„...für uns ... war das eine Lust, es war Freude, es war ein Abenteuer!“
(J.J.G.Ch. van Tilburg)⁵

¹ Ottens, L.F. Interview 12. Okt. 1993, 3B 225-236

² ebenda, 3B 233

³ van Tilburg, J.J.G.Ch. Interview 2. Dez. 1993, 7B 097

Ottens, L.F. Interview 12. Okt. 1993, 3B 225-236

⁴ van Tilburg, J.J.G.Ch. Interview 2. Dez. 1993, 7B 097

⁵ ebenda, 7B 116

Forschungs- ergebnis CD

*„... in the construction of optical discs
... teamwork of optical, electronic, mechanical
and chemical scientists and engineers has been vital.“*
(Gijs Bouwhuis, 1985)¹

3.1 WISSENSCHAFTLICHE FORSCHUNG BEI PHILIPS

Wichtige Voraussetzung zur Produktentwicklung des *Compact Disc Digital Audio Systems* durch das niederländische Industrieunternehmen Philips Gloeilampenfabrieken N.V. war die Unterstützung durch die konzerneigenen naturwissenschaftlichen Forschungslabo-
ratorien. Gleich mehrere für das CD-System vorgesehene Kom-
ponenten waren technologisch noch unausgereift, ihr Einsatz in
einem vergleichsweise billigen Konsumgut war daher nicht ohne
zusätzlichen Forschungsaufwand möglich. Nur weil Philips in der
Lage war, aktuelle Forschungsergebnisse unternehmensintern in
serienreife Technik zu überführen, konnte die Einbindung von
Hochtechnologien in ein marktfähiges Produkt gelingen.²

¹ Bouwhuis, Gijs. „Introduction“ In: Bouwhuis, G., J. Braat, A. Huijser, J. Pasma, G. van Rosmalen and K. Schouhamer Immink. *Principles of Optical Disc Systems*. Bristol/Boston: Adam Hilger 1985, hier: S. 4

² van Houten, S. „Applied research — the source of innovation in consumer electronics“ *Philips tech. Rev.* 44(6), Dec. 1988, S.180-189

Das „Vermächtnis“ von Gilles Holst

Wissenschaftliche Forschung genießt im niederländischen Philips-Konzern traditionell einen hohen Stellenwert. Schon die Gründung des Unternehmens im Jahre 1891 unter Leitung des aus einer Kaufmannsfamilie stammenden Frederik Philips (1830-1900)¹ und seines Sohnes Gerard (1858-1942) war von dem Motiv getragen worden, in der jungen und seinerzeit hochtechnologischen Branche der Glühlampenherstellung durch ein ausgewogenes Verhältnis zwischen betriebswirtschaftlicher und wissenschaftlicher Kompetenz Fuß zu fassen.²

Trotz der von Anfang an geplanten Massenproduktion von Glühlampen³ legte Gerard Philips stets großen Wert auf die Weiterentwicklung der Produkte und des Produktionsablaufs sowie auf die Standardisierung der Rohmaterialien und Bauteile⁴. Zu diesem Zweck zog er sich — quasi als Begründer der Forschung bei Philips — häufig in sein Laboratorium („chemist's shop“⁵) zurück, wo er unter anderem als Meßinstrument zur Qualitätskontrolle ein sich schneller einstellendes Spiegelgalvanometer entwickelte⁶ und an der Verbesserung des Glühfadens arbeitete⁷.

Von gezielter wissenschaftlicher Forschung profitierte Philips erstmals beim Nachbau sogenannter „Halbwatt“-Lampen. Dieser 1913 von Irving Langmuir bei General Electric entwickelte Glühbirnentypus, dessen namensgebende Reduzierung der elektrischen

¹ Benjamin Frederik David Philips hatte kaufmännische Fähigkeiten in einem Tabak-, Tee- und Kaffee-Handelsunternehmen gewonnen, das erfolgreich von seinem Vater Lion zusammen mit dessen Partner R. Peletier vom niederländischen Zaltbommel aus betrieben wurde.

Vgl. Heerding, A. The History of N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken, Cambridge University Press, 1986, Vol.1, Kap.2

² Gerard Philips hatte diese Forderungen aus den Publikationen von Sir James Swinburne, der wichtige Positionen in der Glühlampenindustrie und später die Präsidentschaft des IEE innehatte, übernommen. Vgl. ebenda, S.64-65

³ Heerding, A. The History of N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken, Cambridge University Press, 1986, Vol.1, S.286

⁴ Heerding, A. The History of N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken, Cambridge University Press, 1988, Vol.2, S.26

⁵ Interview mit A. Mansfelders, zitiert nach: ebenda, S.31

⁶ ebenda, S.27

⁷ ebenda, S.31

Leistungsaufnahme bei gleicher Lichtintensität¹ durch die spiralförmige Wendelung des Glühfadens und die Füllung des Glaskolbens mit Stickstoff erzielt wurde, konnte in Eindhoven derart verbessert werden, daß im Gegensatz zur Originalentwicklung — und zum Verdruß der wichtigen offiziellen Lizenznehmer Siemens & Halske, AEG und der Auergesellschaft — eine für den Privatgebrauch attraktive Halbwatt-Lampe mit nur *geringer* Lichtintensität hergestellt werden konnte.² Möglich geworden war diese Weiterentwicklung durch die nur wenige Jahre zuvor von Gerard Philips initiierte Einrichtung eines Nachbaus des Chemischen Laboratoriums der Technischen Universität Delft im neu errichteten Fabrikhochhaus.³ Zur Ausdehnung der dort betriebenen Grundlagenforschung im Bereich der physikalischen Chemie wurde 1914 der junge Experimentalphysiker Gilles Holst (1886-1968) von Gerard Philips mit der Gründung eines zusätzlichen physikalischen Laboratoriums beauftragt, um die bis dahin unzureichend verstandenen physikalischen Mechanismen der Glühemission zu erforschen.⁴

Bereits wenige Jahre nach Gründung des physikalischen Laboratoriums und der Durchführung der „Auftragsforschung“ bezüglich der Halbwatt-Lampe begann Holst, eine Umorientierung seiner Abteilung einzuleiten. Durch die Formulierung weitreichenderer Forschungsziele, die Förderung wissenschaftlicher Publikationen und die Einrichtung interner Weiterbildungskurse gelang es ihm, die Rolle des physikalischen Laboratoriums als eigenständige Institution zu begründen.⁵

Holsts Forschungsstil war geleitet von dem Verlangen, die Materie seines Arbeitsgebietes beherrschen zu lernen.



Gilles Holst

¹ Im Vergleich zu früheren Bauformen, bei denen eine elektrische Leistung von mehr als 1 Watt pro Kerze (Einheit für Lichtstärke) aufzuwenden war, benötigte die Halbwatt-Lampe nur etwa 1/2 Watt pro Kerze. Vgl. Heerding, A. The History of N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken, Cambridge University Press, 1988, Vol.2, S.141

² ebenda, S.311 (gleiches, energiesparendes „Halbwatt“-Prinzip, jedoch weniger hell als andere)

³ ebenda, S.312

⁴ ebenda, S.314

⁵ ebenda, S.316f.

Bereits sein in Zürich begonnenes Studium der Elektrotechnik hatte er zugunsten der Fächer Mathematik und Physik aufgegeben, weil er sich nicht damit abfinden wollte, im Bereich der Mechanik ein typisches Problem der Zeit hinzunehmen. Ihm widerstrebte es, mathematisch elegante Dimensionierungen des wichtigen Werkstoffs *Guß Eisen* aufgrund dessen physikalisch nur unzureichend verstandenen Eigenschaften mit großen, willkürlichen Sicherheitsfaktoren versehen zu müssen.¹

Nach einer Assistententätigkeit am bedeutenden Tieftemperaturlaboratorium des Physikers und Nobelpreisträgers Heike Kamerlingh Onnes in Leiden² wechselte Holst als Experimentalphysiker zu Philips, um dort „die Formel“ der Glühemission zu erforschen — ein Gebiet, in dem er über keine Erfahrungen verfügte.³ Da Holst die Auffassung vertrat, daß Expertentum zu einer Einengung des Erwartungshorizonts führen konnte, förderte er später eine multidisziplinäre Herangehensweise an Forschungsprojekte, der bei Neueinstellungen durch die Bevorzugung gut ausgebildeter naturwissenschaftlicher Generalisten gegenüber spezialisierten Fachwissenschaftlern Rechnung getragen wurde.

Eine weitere Eigenart von Gilles Holst hatte ebenfalls einen prägenden Einfluß auf den Forschungsstil des niederländischen Unternehmens. Denn auch als der Mitarbeiterstab seiner 1923 in ein eigenes Gebäude ausgelagerten Laboratorien bis zum Ausbruch des zweiten Weltkriegs auf mehr als 400 (darunter 100 Akademiker) angewachsen war, ließ es sich Holst nicht nehmen, persönlich an Forschungsprojekten mitzuarbeiten.⁴ Dadurch entstand für ihn die

¹ Die Sicherheitsfaktoren kennzeichnen ein typisches Problem der Zeit, nämlich das Theorievakuum zwischen der empirisch basierten Technischen Mechanik auf der einen Seite und der noch unausgeprägten Festkörperphysik auf der anderen Seite. Vgl. Casimir, H.B.G. „G. Holst, pioneer of industrial research in the Netherlands“ *Philips tech. Rev.* 40, 1982, hier: S.122

² Das 1894 von Kamerlingh Onnes gegründete Kältelaboratorium war für Jahrzehnte das Zentrum der Tieftemperaturphysik. Hervorzuheben sind die Verflüssigung von Helium (1908), für die Kamerlingh Onnes 1913 den Nobelpreis für Physik erhielt, und die Entdeckung der Supraleitung (1913).

³ Casimir, H.B.G. „G. Holst and his ideas of industrial research“ *Philips Research Reports* 24, 1969, hier: S.164

Casimir, H.B.G. „G. Holst, pioneer of industrial research in the Netherlands“ *Philips tech. Rev.* 40, 1982, hier: S.123

⁴ vgl. „75 years of Philips Research“ *Philips tech. Rev.* 44(8/9/10), May 1989 (Geleitwort der Herausgeber)

Möglichkeit, sowohl auf eine hierarchische Organisationsstruktur als auch auf die formelle Vergabe von konkreten Forschungsaufträgen an seine Mitarbeiter zu verzichten.¹ Beides kam der Kreativität der Forschung zugute.

Wichtig für Holst war vor allem die Unabhängigkeit der wissenschaftlichen Forschung vom Tagesgeschäft der Fabrikation und der Produktentwicklung.² Zwar war er bereit, sich von Produktentwürfen begeistern und auch in entsprechende Entwicklungen involvieren zu lassen. Eine direkte Weisungsbefugnis oder Einflußnahme der Produktionsbereiche auf Forschungsinhalte oder -budgets lehnte er dagegen ab.

High Tech = High Risk

Infolge veränderter Randbedingungen verzahnte sich nach dem Zweiten Weltkrieg bei Philips — wie überhaupt in der forschungsintensiven Industrie — das Verhältnis zwischen den produzierenden und forschenden Abteilungen des Unternehmens.³ Notwendig geworden war eine solche „Integration“ der Forschung in den industriellen Ablauf einerseits durch die steigenden Forschungsaufwendungen, die zur Erweiterung des bereits großen naturwissenschaftlich-technischen Kenntnisstandes zu leisten waren, sowie durch das hohe technologische Niveau und die Komplexität der hergestellten Produkte, die nur durch eine koordinierte Bündelung von Forschungsergebnissen weiter innoviert werden konnten.⁴ In einer Gratwanderung zwischen kreativen Freiräumen und geplanter Unternehmensstrategie wandelte sich die Rolle der Forschungslaboratorien vom allgemeinen „Know-how-Reservoir“

¹ Casimir, H.B.G. „G. Holst and his ideas of industrial research“ *Philips Research Reports* 24, 1969, hier: S.163, 164

² ebenda, S.165f.

³ Schmidt-Tiedemann, K.J. „Aktuelle Probleme des Managements industrieller Forschung“ In: Philips. *Unsere Forschung in Deutschland*. Bd.II, Aachen/Hamburg 1972, S.14-20

⁴ Kramer, P. „75 years of research: from lamps to integrated circuits“ *Philips tech. Rev.* 44(8/9/10), May 1989, S.239-240

Schmidt-Tiedemann, K.J. „Aktuelle Probleme des Managements industrieller Forschung“ In: Philips. *Unsere Forschung in Deutschland*. Bd.II, Aachen/Hamburg 1972, S.14-20

zum „Risikozentrum“ des Unternehmens, wo zukünftige Entwicklungen frühzeitig detektiert und gezielt angegangen werden sollten.¹

Die bei dieser Wandlung dem Forschungsbereich neu zugeordnete Aufgabe der Risikoabschätzung bezog sich auf mehrere wirtschaftliche Aspekte. Zum einen stiegen aufgrund einer zunehmenden Spezialisierung der Forschung² im allgemeinen und der Notwendigkeit immer aufwendigerer Laboreinrichtungen zur Beobachtung von Effekten unter extremen Bedingungen (z.B. Größenordnung, Feldstärke, Staubfreiheit etc.)³ im speziellen die Kosten zur Durchführung einzelner Projekte. Im Rahmen eines begrenzten Forschungsbudgets — bei Philips standen den Forschungslaboratorien 7-8% des Umsatzes zur Verfügung⁴ — war daher unter finanziellen Gesichtspunkten eine sorgfältige Auswahl der Forschungsprojekte erforderlich.⁵ Neben der Kostspieligkeit der Forschung an sich bestand der zweite zu evaluierende Aspekt wirtschaftlicher Art darin, daß Forschungsergebnisse letztlich in erfolgreiche Produkte umgesetzt werden mußten, um die Zukunft des Unternehmens — und somit auch die zukünftige Industrieforschung selbst — zu sichern.⁶ Bei der Auswahl der Forschungsinhalte mußte also beachtet werden, daß sich spätere Ergebnisse an

¹ Kramer, P. „75 years of research: from lamps to integrated circuits“ *Philips tech. Rev.* 44(8/9/10), May 1989, S.239-240

Schmidt-Tiedemann, K.J. „Aktuelle Probleme des Managements industrieller Forschung“ In: Philips. *Unsere Forschung in Deutschland*. Bd.II, Aachen/Hamburg 1972, S.14-20

² Bulthuis, K. „A farewell message“ *Philips tech. Rev.* 44(11/12), Nov. 1989 (Abschiedswort zur letzten Ausgabe der Zeitschrift)

³ Casimir, H.B.G. „Marginal notes for an anniversary“ *Philips tech. Rev.* 42(10/11/12), Sept. 1986, S.295-296, (anlässlich des fünfzigjährigen Bestehens der Zeitschrift)

⁴ van Houten, S. „Applied research — the source of innovation in consumer electronics“ *Philips tech. Rev.* 44(6), Dec. 1988, S.180-189; konkret bedeutete dies bei einem Anteil von 8% für das Jahr 1988 Finanzmittel in Höhe von 2,5 Mrd. US\$.

Sony-Mitgründer Akio Morita nennt für sein Unternehmen einen üblichen Umsatzanteil für Forschungs- und Entwicklungsaufwendungen in Höhe von 6 Prozent. Vgl. Morita, A. *Made in Japan*. New York: Penguin/Signet 1988, S.173

⁵ Kramer, P. „75 years of research: from lamps to integrated circuits“ *Philips tech. Rev.* 44(8/9/10), May 1989, S.239-240

⁶ Schmidt-Tiedemann, K.J. „Aktuelle Probleme des Managements industrieller Forschung“ In: Philips. *Unsere Forschung in Deutschland*. Bd.II, Aachen/Hamburg 1972, S.14-20

wirtschaftlichen Maßstäben messen lassen müßten.¹ Als dritter wirtschaftlicher Aspekt kam schließlich hinzu, daß die Lebenszyklen von High-Tech-Produkten², die tatsächlich aus der Industrieforschung hervorgingen, stetig abnahmen und somit in kürzer werdenden Abständen weitere Forschungsaufwendungen erforderlich machten.³ All dies hatte zur Folge, daß die großindustrielle Beschäftigung mit „High Tech“ immer enger mit forschungspolitischem „High Risk“ verknüpft war.⁴

Interessant ist, daß mit der sich wandelnden Rolle der Forschung, nämlich dem Unternehmen den Weg zu lukrativen Technologien der Zukunft zu ebneten, nicht ihre Unabhängigkeit aufgegeben wurde. So bestand auch während der Zeit der CD-Entwicklung nicht die Möglichkeit der unmittelbaren Einflußnahme der produzierenden Unternehmensbereiche auf den Forschungsbereich (sog. „Linienkompetenz der Hauptindustriegruppen“).⁵ Anhand des „Innovation-Chain“-Modelles, das Philips-Vorstandsmitglied A.E. Pannenberg 1975 zur Beschreibung der Wechselwirkungen von Wissenschaft und Technik heranzog (siehe Abbildung

¹ Kramer, P. „75 years of research: from lamps to integrated circuits“ *Philips tech. Rev.* 44(8/9/10), May 1989, S.239-240

² „High-Tech“ bezeichnet gem. Definition der OECD, der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung, solche industriell hergestellten Produkte, die eines überdurchschnittlichen intellektuellen Inputs bedürfen.

³ Dekker, W. „Bright spots and bottlenecks in Europe's future industrial development“ *Philips tech. Rev.* 43(4), Feb. 1987, S.77-85

Zur Verdeutlichung wird folgendes Beispiel aus dem Bereich der IC-Herstellung genannt:

1970: Kosten für Fabrikgebäude: 1 (Norm.)	Kosten für Ausstattung: 2,5
Lebensdauer des Gebäudes: 50 Jahre	Lebensdauer Ausstattung: 10 J.

1980: Kosten für Fabrikgebäude: 2,5	Kosten für Ausstattung: 4,5
Lebensdauer des Gebäudes: 50 Jahre	Lebensdauer Ausstattung: 7 J.

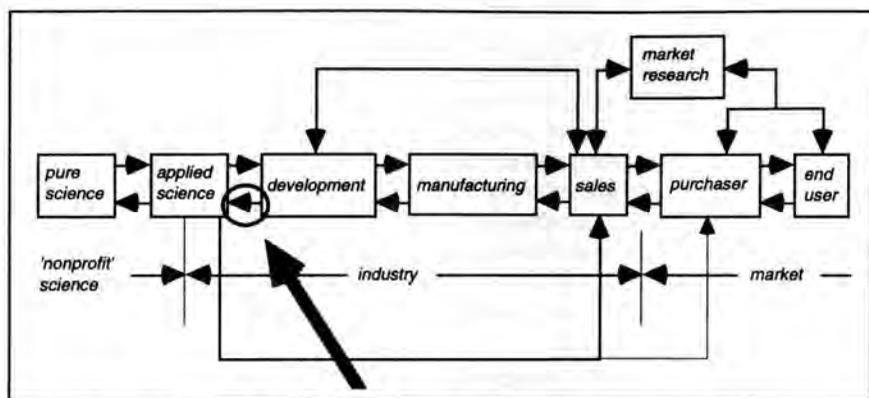
1987: Kosten für Fabrikgebäude: 30	Kosten für Ausstattung: 72
Lebensdauer des Gebäudes: 30 Jahre	Lebensdauer Ausstattung: 6 J.

In dieser Zeit stiegen die Kosten um den Faktor 30, und die Nutzungszeit sank auf 60%. Die Produktionskapazität wurde jedoch nur um den Faktor 20 gesteigert.

⁴ Dekker, W. „Bright spots and bottlenecks in Europe's future industrial development“ *Philips tech. Rev.* 43(4), Feb. 1987, S.77-85

⁵ Schmidt-Tiedemann, K.J. „Aktuelle Probleme des Managements industrieller Forschung“ In: Philips. *Unsere Forschung in Deutschland*. Bd.II, Aachen/Hamburg 1972, S.14-20

unten), läßt sich erkennen, daß sich Industrieforschung („applied science“) nur durch zwei Faktoren beeinflussen läßt. Neben den Anregungen, die aus der reinen Grundlagenforschung kommen („pure science“), besteht alleine für Produktentwickler und Produktmanager („development“) die Möglichkeit der Einflußnahme auf Forschungsinhalte (siehe Markierung).



„Innovation chain“ nach A.E. Pannenberg (mit zusätzlichen Markierungen)¹

Der wechselseitige Austausch zwischen der Forschungs- und der Entwicklungsabteilung, der für die Entwicklung der CD von maßgeblicher Bedeutung war, geschah bei Philips in der Praxis auf zwei Arten. Vor jeder Zusammenarbeit zwischen Forschung und Produktentwicklung mußte Überzeugungsarbeit geleistet werden; nur wenn es etwa Produktentwicklern gelang, Forscher für einzelne Projekte zu gewinnen, konnte der ausgeprägte institutionelle Graben zwischen Hauptindustriegruppen und Forschungslaboratorien überbrückt werden.² Zum konkreten Wissenstransfer wurden dann nach dem sogenannten „Hospitantenprinzip“ Mitarbeiter aus-

¹ Pannenberg, A.E. „Technology push versus market pull — the designer's dilemma“ *Electronics & Power* (IEE publ.) 21(No.9), May 15, 1975, S.563-566

² Ottens, L.F. Interview 12. Okt. 1993, 2B 045

getauscht.¹ Einerseits erhielten Produktentwickler die Möglichkeit, bereits im Frühstadium der Projektierung zukünftiger Produkte Erfahrungen mit entsprechenden naturwissenschaftlichen Randbedingungen zu sammeln, andererseits konnten Forscher ihr Grundlagenwissen direkt in die Produktentwicklung einfließen lassen. Diese Verzahnung in Form interdisziplinärer Forscher- und Entwicklerteams gestattete einen schnellen und sicheren Transfer von Forschungsergebnissen.² Aufgrund der durch die enge persönliche Zusammenarbeit abgebauten Berührungsgänge zwischen Forschern und Entwicklern konnten Forschungsergebnisse — unter Vermeidung einer redundanten Interpretationsstufe des „Redesigns“ — nahtlos in Produkte überführt werden.³

Erfolgreiche Planlosigkeit

Daß die Entwicklung des *Compact Disc Digital Audio System* weniger unter dem Einfluß strategischer Forschungsplanung stattfand, sondern vielmehr durch den Holst'schen Forschungsstil geprägt ist, läßt sich leicht nachvollziehen. Ideengebender Vorläufer der CD war das im Forschungslaboratorium entwickelte Bildplattensystem VLP (Video Long Play). Als nicht-strategisches Forschungsprojekt war die Entwicklung der VLP zur Speicherung von Videoprogrammen auf einer schallplattenähnlichen Scheibe begonnen worden. Die Forschung war dabei in erster Linie von der bestehenden Technologie der VLP geleitet worden. In winzigen Größenordnungen — unterhalb des Auflösungsvermögens optischer Mikroskope — waren in die VLP-Scheibe Vertiefungen eingepreßt, die mit einem Laserstrahl berührungslos abgetastet und anschließend in Video- und Tonsignale umgesetzt wurden. Kein be-

¹ Schmidt-Tiedemann, K.J. „Aktuelle Probleme des Managements industrieller Forschung“ In: Philips. *Unsere Forschung in Deutschland*. Bd.II, Aachen/Hamburg 1972, S.14-20

Der Austausch fand nicht immer physisch statt. Im Falle der Nat.Lab.-Forschergruppe von Dr. J.B.H. Peek handelte es sich zwar um eine Abstellung von Mitarbeitern für bestimmte Aufgaben (die z.B. der Koordination durch die Hauptindustriegruppe Audio unterlagen). Physisch blieben die Forscher jedoch an ihrem Arbeitsplatz. Vgl. Peek, J.B.H. Interview 17. April 1996

² Kramer, P. „75 years of research: from lamps to integrated circuits“ *Philips tech. Rev.* 44(8/9/10), May 1989, S.239-240

³ ebenda

sonderer Wert war jedoch auf die frühzeitige Analyse der Marktchancen eines derartigen technischen Systems gelegt worden:

„Weder am Anfang der industriellen Reproduktion von Schriftstücken noch am Anfang der industriellen Reproduktion von aufgezeichneten Tonwerken vermochte sich jemand vorzustellen, welchen Weg die Entwicklung einmal nehmen würde. So sollen auch keine Spekulationen über die zukünftige Entwicklung der industriellen Reproduktion von aufgezeichneten bewegten Bildern angestellt werden, wohl aber kann gesagt werden, daß das Philips 'VLP' System einem deutlich erkennbaren Bedarf entspricht.“¹

Der offensichtliche Unwille, sich mit der zukünftigen Marktentwicklung im allgemeinen und mit der absehbaren Konkurrenzsituation der VLP zu universeller einsetzbaren Videorecordern im speziellen auseinanderzusetzen, zeigt, daß die Entwicklung der VLP— im Gegensatz zu bestehenden forschungspolitischen Tendenzen — *nicht* nach marktstrategischen Gesichtspunkten erfolgt war. Und tatsächlich schien sich später im Zuge des ausbleibenden Markterfolgs der VLP die Ansicht, zur Entwicklung verwertbarer Ergebnisse sei gezielte Forschung erforderlich, zu bewahrheiten.

Trotz des wirtschaftlichen Mißerfolgs der VLP profitierte Philips von der VLP-Forschung, als Lou F. Ottens die wahren Marktchancen der zugrundeliegenden Technologie erkannte und die Entwicklung der CD einleitete. Genau jene unvorhersehbare Möglichkeit, aus den Erkenntnissen eines allgemeinen, marktstrategisch unausgereiften Forschungsprojekts schöpfen zu können, um in einem weiteren Schritt ein marktfähiges Produkt zu entwickeln, entsprach den Motiven von Gilles Holst, Forschung frei und unbudgetiert stattfinden zu lassen.

Als Ergebnis der Betrachtung des Doppelbeispiels VLP und CD bleibt zunächst festzuhalten, daß freie Forschung sowohl Erfolge als auch Mißerfolge hervorbringen kann. Diese Feststellung liefert jedoch im Umkehrschluß — angesichts der offensichtlichen Unvorhersehbarkeit der zur Entwicklung eines erfolgreichen Produkts führenden Forschungsumstände — einen deutlichen Hinweis darauf, daß marktorientierte forschungspolitische Planung erst recht ihre Grenzen hat.

¹ Entnommen aus der Einleitung zu vier Artikeln über das Philips VLP System. In: *Philips' technische Rundschau* 33(7), 1973/74, S.189

Grundlegende Forschung „mit kleinem G“

Obwohl in den acht Forschungslaboratorien¹, die in den 1970er Jahren für den Philips-Konzern tätig waren, von der Vorgehensweise her auch „Grundlagenforschung“ betrieben wurde², beschränkten sich die Forschungsinhalte auf Themengebiete, die einen Bezug zur Industrieproduktion des Unternehmens hatten. Diese Anwendungsorientierung der Grundlagenforschung brachte der Forschungsdirektor des Philips-Konzerns H.B.G. Casimir 1972 dadurch zum Ausdruck, daß er ein Industrielaboratorium „nicht als Ort für Grundlegende Forschung mit großem G“ bezeichnete.³ Gemeint war damit die wissenschaftliche Abstinenz der Philips-Forschung von brisanten Forschungsgebieten wie etwa der Quantenphysik, deren industrielle Relevanz nicht abzusehen war.⁴

- ¹ · Philips Naturkundig Laboratorium („Nat.Lab.“), Eindhoven, Niederlande,
- Philips (vormals Mullard) Research Laboratories, Redhill (Surrey), England,
- Laboratoires d'Electronique et de Physique Appliquée, Limeil-Brévannes, France,
- Philips Research Laboratory (vormals MBL Laboratoire de Recherches), Bruxelles, Belgique,
- Philips GmbH Forschungslaboratorium Aachen und
- Philips GmbH Forschungslaboratorium Hamburg, Deutschland.
- Philips Laboratories, North American Philips Corporation, Briarcliff Manor, NY, USA
- Philips Research Laboratories, Sunnyvale, Ca, USA

Die 6 europäischen Forschungslaboratorien beschäftigten 1972 etwa 4000 Mitarbeiter. Vgl. Schmidt-Tiedemann, K.J. „Aktuelle Probleme des Managements industrieller Forschung“ In: Philips. *Unsere Forschung in Deutschland*. Bd.II, Aachen/Hamburg 1972, S.14-20

1988/89 sprechen zwei unterschiedliche Quellen von etwa 4200 bis 5000 Philips-Forschern weltweit, davon ungefähr die Hälfte im Nat.Lab. in Eindhoven. Vgl. van Houten, S. „Applied research — the source of innovation in consumer electronics“ *Philips tech. Rev.* 44(6), Dec. 1988, S.180-189; und vgl. „75 years of Philips Research“ *Philips tech. Rev.* 44(8/9/10), May 1989 (Geleitwort der Herausgeber)

- ² Schmidt-Tiedemann, K.J. „Aktuelle Probleme des Managements industrieller Forschung“ In: Philips. *Unsere Forschung in Deutschland*. Bd.II, Aachen/Hamburg 1972, S.14-20
- ³ Casimir, H.B.G. „Theoretische Physik und industrielle Forschung“ *Philips techn. Rdsch.* 32(6/7/8), 1971/72, S.157-162
- ⁴ Casimir, H.B.G. „Marginal notes for an anniversary“ *Philips tech. Rev.* 42(10/11/12), Sept. 1986, S.295-296 (anlässlich des fünfzigjährigen Bestehens der Zeitschrift)

Tatsächlich lassen sich bei Philips inhaltlich zwei wesentliche Forschungsstränge unterscheiden¹, die interessanterweise beide von entscheidender Bedeutung für die Entwicklung der Compact Disc waren. Der erste Strang ist geprägt vom „klassischen“ Arbeitsfeld des Unternehmens, das mit den Begriffen „Lichttechnik“ und „Optik“ umrissen werden kann. Ausgehend von der Erforschung von Glüh- und Gasentladungslampen konnte Wissen in den Bereichen der Materialkunde, der Vakuumtechnologie und der Glasherstellung gesammelt werden. Zwischen den Weltkriegen förderte dies die Entwicklung von Elektronen- und Röntgenröhren und sicherte Philips später eine führende Position bei der Herstellung von Bildröhren.²

Eine zweite Forschungslinie begann nach dem Zweiten Weltkrieg als Reaktion auf die Entwicklung des Transistors. Die Auseinandersetzung mit der Festkörperphysik von Halbleitern einerseits und der Beschäftigung mit elektronischen Schaltungen andererseits kam in den 1960er Jahren der Entwicklung Integrierter Schaltkreise (ICs) zugute.³ Die von Philips mitgetragene Erhöhung der Integrationsdichten von ICs und die Kompetenz auf mikroelektronischem Gebiet können vor allem auf diese zweite Forschungslinie zurückgeführt werden.

Doch bereits bei der IC-Entwicklung bahnte sich ein Brückenschlag zwischen beiden Forschungssträngen an, der später bei der Compact Disc seinen vorläufigen Höhepunkt finden sollte. Denn zur Herstellung von ICs (d.h. zur Belichtung ihrer Feinstrukturen) waren neben Kenntnissen aus den Bereichen der Festkörperphysik und der Mikroelektronik genau die dem ersten Forschungszweig zuzuordnenden Erfahrungen erforderlich, die aus dem Bereich der (Mikro-) Optik zur Verfügung standen.⁴ Zur Entwicklung des komplexen CD-Systems trugen schließlich beide Forschungsstränge zu gleichen Teilen bei. Die nachfolgend genannten vier wichtigen Forschungsbereiche im Rahmen des CD-Projekts verdeutlichen, daß die Konzeption der CD maßgeblich geprägt war von der naturwissenschaftlichen Kompetenz, die im Unternehmen

¹ Kramer, P. „75 years of research: from lamps to integrated circuits“ *Philips tech. Rev.* 44(8/9/10), May 1989, S.239-240

² ebenda

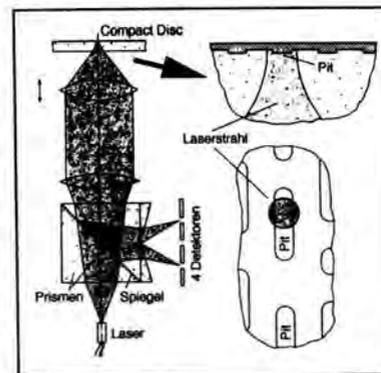
³ ebenda

⁴ ebenda

in den Bereichen der Optik, Festkörperphysik, Mikroelektronik und auch Informatik angesammelt worden war. Dabei handelt es sich erstens um die Erforschung geeigneter Halbleiterlaser und die Entwicklung des optischen Auslesesystems, zweitens um den Entwurf digitaler Signalverarbeitungs- und Fehlerkorrekturverfahren, drittens um die Entwicklung von Regelungsmechanismen zur Nachführung des Auslesestrahls unter der Informationsspur und zur Fokussierung des Objektivs und viertens um die Ausarbeitung des Herstellungsprozesses des optischen Tonträgers.¹

3.2 MIKRO-OPTIK

Eines der wesentlichen technischen Merkmale des *Compact Disc Digital Audio Systems* ist die berührungslose optische Abtastung der Tonträger mittels eines Laserstrahls. Vereinfacht bedeutet dies, daß ein Lichtstrahl auf den sich drehenden, verspiegelten CD-Tonträger gerichtet wird, der je nach Beschaffenheit der in die Scheibe eingepprägten Vertiefungen (sog. „Pits“)³ unterschiedlich reflektiert wird. Die dabei an- und abschwellende Intensität des reflektierten Strahls wird gemessen und zur weiteren Verarbeitung in ein elektrisches Signal verwandelt.



Optisches Auslesen einer CD²

Ein derartiges optisches Abtastverfahren bietet mehrere Vorteile.⁴ Zum einen ist es verschleißfrei, weil — im Gegensatz etwa zur Schallplatte — der Abrieb durch einen mechanischen Ton-

¹ van Houten, S. „Applied research — the source of innovation in consumer electronics“ *Philips tech. Rev.* 44(6), Dec. 1988, S.180-189

² entnommen aus: Carasso, M.G., J.B.H. Peek und J.P. Sinjou. „The Compact Disc Digital Audio System“ *Philips tech. Rev.* 40(6), 1982, hier S.153, mit eingefügtem Text

³ Es handelt sich dabei um längs einer spiralförmigen Informationsspur verlaufende Einprägungen konstanter Breite und Tiefe, deren Abstands- und Längenvariationen im Falle der VLP das pulsmodierte Signal darstellen.

⁴ vgl. Bouwhuis, Gijs. „Introduction“ In: Bouwhuis, G., J. Braat, A. Huijser, J. Pasman, G. van Rosmalen and K. Schouhamer Immink. *Principles of Optical Disc Systems*. Bristol/Boston: Adam Hilger 1985, hier: S.1,2

abnehmer vermieden werden kann. Außerdem befinden sich die Informationseinprägungen nicht auf der äußeren Oberfläche der Platte, sondern werden durch das transparente Trägermaterial der Platte hindurch ausgelesen, das somit gleichzeitig Schutz vor Beschädigungen bietet.

Neben diesen praktischen Vorteilen entsteht durch die Verwendung eines Laserstrahls zur Informationsabtastung die Möglichkeit, in Grenzbereiche der Strahlenoptik vorzudringen. Indem nämlich der Wellencharakter des verwendeten Lichts dahingehend ausgenutzt wird, daß der Laserstrahl auf den kleinsten physikalisch möglichen Strahl-, „Durchmesser“¹ gebündelt wird, kann eine extreme *Miniaturisierung* der Informationseinprägungen bzw. eine entsprechend hohe Informationsdichte auf der Platte erzielt werden. Auf einer Compact Disc, bei deren Entwicklung eine Maximierung der Informationsdichte angestrebt wurde, befinden sich entlang der spiralförmigen Spur mit mehr als 22.000 Windungen bis zu 3 Milliarden eingeprägte „Pits“.²

Bildplattensysteme: Optik vs. Mechanik

Die Entwicklung des CD-Vorläufers VLP begann 1969 mit der Idee, mikroskopisch kleine Bilder auf eine schallplattenähnliche Scheibe unter Ausnutzung der Brechungseigenschaften des Trägermaterials mechanisch einprägen und somit preiswert reproduzieren zu können.³ Angeregt worden waren die Urheber dieser Idee, Drs. Klaas Compaan von der Hauptindustriegruppe Elektro-Akustik (ELA) und Dr. Piet Kramer vom Nat.Lab., durch Hologramm-Experimente bei der Radio Corporation of America (RCA). In Anlehnung an optische Belichtungsverfahren, die bei Philips zur gleichen Zeit bereits zur industriellen Fertigung erster Integrierter Schaltkreise (u.a. ein Hörgerät-Verstärker mit drei Transistoren auf

¹ Dabei handelt es sich nicht um den Durchmesser eines Strahlenbündels im eigentlichen Sinne, sondern um das innere Amplitudenmaximum der radialen Beugungsfigur, dessen Abmessungen durch die Wellenlänge und das Auflösungsvermögen der Optik bestimmt werden.

² Pohlmann, Ken C. *The Compact Disc Handbook*. Oxford University Press, 1992, S.51

³ Guterl, Fred. „Compact Disc“ IEEE Spectrum 25(11), 1988, S.102-108

0,6 mm² Silizium) angewandt wurden¹, stellten Kramer und Compaan 1970 zunächst eine Glasplatte mit einer Reihe winziger, nur ein Quadratmillimeter kleiner Schwarz-Weiß-Dias her, die mit einer Frequenz von 50 Bildern in der Sekunde konventionell auf einen Schirm projiziert werden sollten.²

Aus verschiedenen Gründen setzte sich dieses naheliegende Prinzip, Bildinformationen als mikroskopische Einzelbilder — also quasi in Form eines miniaturisierten Kinofilms — auf einem optischen Medium niederzulegen, bei der weiteren Entwicklung der Videodisk nicht durch.³ Zum einen war es nicht gelungen, für derartige Bildscheiben den üblichen photochemischen Reproduktionsprozeß durch einen preiswerteren mechanischen Preßvorgang zu ersetzen.⁴ Außerdem war bei der Projektion ein zuverlässiger schrittweiser Weitertransport von einem zum anderen Bild bei den gegebenen Abmessungen nicht zu realisieren. Entscheidenden Einfluß auf die Aufgabe dieses Konzepts hatte jedoch die Tatsache, daß gleich zwei andere Bildplattenverfahren bekannt wurden, die nicht auf der Speicherung einzelner optischer Bilder, sondern auf der Speicherung von Bild- und auch Tonsignalen beruhten, die auf seinerzeit zunehmend Verbreitung findenden Farbfernsehgeräten sichtbar und hörbar gemacht werden konnten. Bereits Ende der 1960er Jahre waren bei RCA die grundlegenden Eigenschaften des späteren Bildplattensystems „SelectaVision“ festgelegt worden.⁵ Bei diesem System konnten die in eine Kunststoffplatte eingeprägten und mit leitenden und isolierenden Schichten überdeckten mechanischen Bild- und Tonsignale auf kapazitivem Wege ausgelesen und in Fernsehbilder umgesetzt werden. Beim 1970 vorgestellten Entwurf des späteren „TED“-Bildplattensystems von AEG-Telefunken/DECCA (TELDEC) lagen die Bild- und Toninformationen ebenfalls als Einprägungen in einer schallplatten-

¹ van Houten, S. „Applied research — the source of innovation in consumer electronics“ *Philips tech. Rev.* 44(6), Dec. 1988, S.180-189

² Guterl, Fred. „Compact Disc“ IEEE Spectrum 25(11), 1988, S.102-108

³ van Rosmalen, G. „Control Mechanics“ In: Bouwhuis/Braat/Huijser/Pasman/Rosmalen/Immink. *Principles of Optical Disc Systems*. Bristol/Boston: Adam Hilger 1985, hier: S.126

⁴ Guterl, Fred. „Compact Disc“ IEEE Spectrum 25(11), 1988, S.102-108

⁵ Keizer, E.O. and D.S. McCoy. „The Evolution of the RCA ‚SelectaVision‘ VideoDisc System—A Historical Perspective“ *RCA Review* 39(1), March 1978, hier S.18-19

ähnlichen Scheibe vor, wurden jedoch mittels eines piezoelektrischen Abnehmers mechanisch ausgelesen.¹

Als Kramer und Compaan Mitte 1971 ihr Bildplattensystem derart umkonzeptionierten, daß ebenfalls Videosignale gespeichert werden konnten, hielten sie jedoch an einem grundlegenden Prinzip des ursprünglichen Entwurfs fest, das später wesentlich zur technologischen Überlegenheit des VLP-Ablegers CD beitragen sollte.² Im Gegensatz zu den angekündigten konkurrierenden Verfahren vermieden die Philips-Forscher den Schwachpunkt der Abtastung durch direkten mechanischen Kontakt zwischen Platte und Abnehmer, sondern brachten ihre Erfahrungen aus dem Bereich der Optik dahingehend ein, ein berührungsloses, optisches Ausleseverfahren für die VLP vorzusehen. Mittels eines Lichtstrahls sollten die auf der Bildplatte in Form von „Pits“ gespeicherten Signale erkannt und in elektrische Signale umgewandelt werden. Wichtig dabei war, daß es möglich sein mußte, derartige Signale auf mechanischem Wege in die Scheibe zu prägen, um eine preiswerte Reproduktion der Bildplatten zu ermöglichen.

Optische Dichtspeicherverfahren

Zeitgleich zum Entwurf des optischen Abtastsystems der VLP fanden in der Computerbranche Fachdiskussionen über Konzepte für leistungsfähigere Datenspeicher statt, die eine deutliche technologische Verwandtschaft zum VLP-Prinzip aufwiesen. Insgesamt handelte es sich dabei um neue Verfahren der Dichtspeichertechnik, die es erlauben sollten, die steigenden Mengen der in Rechenzentren anfallenden digitalen Computerdaten preiswert und sicher abzuspeichern und nach nur kurzer Zugriffszeit wiederfinden zu können. Anders als bei der VLP bestand die wichtigste Anforderung an derartige Speichermedien darin, auf eine *Fluktuation* von Daten ausgerichtet zu sein und somit die Möglichkeit des Hinzuspeicherns neuer oder auch des Löschens nicht mehr benötigter Daten zu bieten.

¹ vgl. auch Dickopp, Gerhard und Horst Redlich. „Die Bildplatte System TED“ *Techn. Mitt. AEG-Telefunken* 63(7), 1973, S.288ff.

² van Rosmalen, G. „Control Mechanics“ In: Bouwhuis/Braat/Huijser/Pasman/Rosmalen/Imminck. *Principles of Optical Disc Systems*. Bristol/Boston: Adam Hilger 1985, hier: S.126

Das „klassische“ Prinzip, das diesen Anforderungen gerecht wird, ist die Speicherung auf magnetischem Weg durch die Erzeugung bestimmter, beim Auslesen wiedererkennbarer Magnetisierungszustände auf definierten Zonen des Speichermediums. Seit den 1950er Jahren wurden etwa bei IBM zur Speicherung von Computerdaten Magnetbänder eingesetzt, deren Kapazität von 2000 binären Informationseinheiten pro Quadratinch¹ (1956, IBM 350) über 220.000 bit/in² (1965, IBM 2314) bis zum Jahre 1970 auf 800.000 bit/in² (IBM 3330) gesteigert werden konnte.²

Ein Limitierungsfaktor bei der magnetischen Speicherung war die räumliche Ausdehnung des durch den Schreibkopf erzeugten Magnetfeldes. Da die Wirkung eines solchen Feldes nicht punktförmig ist, sondern mit der Entfernung abnimmt³, ist während des Schreibvorgangs zur Vermeidung von Beeinflussungen ein Mindestabstand zu benachbarten Speicherzonen einzuhalten. Obwohl es in der Folgezeit möglich sein sollte, die Datendichte auf magnetischen Speichern durch die Verbesserung der Speichermaterialien und die Verkleinerung des Schreibkopfes evolutionär zu erhöhen, begannen seit Anfang der 1970er Jahre Fachdiskussionen über neuartige Speicherverfahren, mit denen vermeintliche Beschränkungen der herkömmlichen Magnetspeichertechnologie bezüglich der erreichbaren Speicherdichte umgangen werden sollten.⁴ Mit Blick auf die Entwicklung der Compact Disc sind dabei drei Verfahren von besonderem Interesse, die alle über eine optische Komponente verfügen.

Bei der magneto-optischen Speicherung handelt es sich um eine Erweiterung der konventionellen Magnetspeichertechnik, bei der der Effekt ausgenutzt wird, daß die notwendige magnetische Feld-

¹ 1 Quadratinch = 6,45 Quadratzentimeter

² Hoagland, Albert S. „Mass Storage — Past, present and future“ American Federation of Information Processing Societies (AFIPS). *Proceedings of the Fall Joint Computer Conference, 1972*. Vol. 41, S.985-991

³ (und somit in abgeschwächter Form auch noch in einiger Entfernung vorhanden ist)

⁴ Das Bestreben einiger Fachwissenschaftler, den vermeintlich drohenden Limitierungen der konventionellen Magnetspeichertechnologie durch die frühzeitige Entwicklung von Alternativtechnologien zu begegnen, entspricht dem Motiv der „*Presumptive Anomaly*“, das George Wise etwa zur Erklärung der frühzeitigen Entwicklung des Düsentriebwerks zur Hoch-Zeit der Propellertechnologie heranzieht. Vgl. Wise, George. „Science and Technology“ *OSIRIS*, 2nd series, 1985, 1, S.229-246

stärke zur Ummagnetisierung des Speichermediums mit steigender Temperatur abnimmt. Dies bedeutet, daß beim Beschreiben eines magneto-optischen Speichers die gewünschte Magnetfeldrichtung großflächig — also ohne Rücksicht auf benachbarte Speicherzonen — erzeugt wird. Konkret erfolgt die eigentliche Ummagnetisierung dadurch, daß mit einem Laserstrahl punktuell eine begrenzte Speicherzone aufgeheizt und unter Einfluß der Wärme ummagnetisiert wird.¹ Obwohl das Auslesen der Information prinzipiell auf magnetischem Weg erfolgen kann, sah IBM bei einem 1972 entwickelten magneto-optischen Speichersystem auch hierfür einen Laser vor, dessen Strahl in Abhängigkeit von der Magnetisierung der Speicheroberfläche mit unterschiedlicher Polarisierung reflektiert wurde.²

Eine weitere Methode, große Mengen von Computerdaten mit Hilfe von Laser- oder Elektronenstrahlen dicht und somit preiswert zu speichern, wurde ebenfalls Anfang der 1970er Jahre von IBM erforscht. Grundsätzlich handelte es sich dabei um ein der magneto-optischen Speicherung verwandtes Verfahren. Ein wesentlicher Unterschied bestand jedoch darin, daß der Laserstrahl nicht dazu genutzt wurde, Wärme zur Ummagnetisierung zur Verfügung zu stellen, sondern daß direkt mit seinem Strahl bleibende Veränderungen auf dem Speichermedium hervorgerufen wurden. So erfolgte etwa beim „Unicon“-System die Datenspeicherung dadurch, daß mit einem Laserstrahl Löcher in einen Plastik-Film gebrannt wurden, die auf optischem Weg wieder ausgelesen werden konnten.³ Ein ähnliches Verfahren kam beim Terabit- (10^{12} bit) Speichersystem „Photo-Digital Cypress“ (IBM) zur Anwendung. Hier wurde mit einem Elektronenstrahl hochauflösendes photographisches Filmmaterial belichtet, das mit einem optischen

¹ Hoagland, Albert S. „Mass Storage — Past, present and future“ American Federation of Information Processing Societies (AFIPS). *Proceedings of the Fall Joint Computer Conference, 1972*. Vol. 41, S.985-991

² Matick, Richard E. „Review of Current Proposed Technologies for Mass Storage Systems“ *Proceedings of the IEEE* 60(3), March 1972, S.266-289

³ Hoagland, Albert S. „Mass Storage — Past, present and future“ American Federation of Information Processing Societies (AFIPS). *Proceedings of the Fall Joint Computer Conference, 1972*. Vol. 41: S.985-991
Barrekette, E.S. „Trends in Storage of Digital Data“ *Applied Optics* 13(4), April 1974, S.749-754

Scanner wieder ausgelesen werden konnte.¹ Der Vorteil derartiger „Strahl-adressierbarer“ Speichersysteme („beam addressable storage systems“), der vor allem in den niedrigen Kosten pro Speichereinheit bestand, wurde allerdings vom Nachteil der fehlenden Möglichkeit, die einmal gespeicherten Informationen zu ändern oder zu löschen, überwogen.

Auch die *Holographie*, die mit der Verfügbarkeit von Lasern einen qualitativen Sprung vollzogen hatte, wurde seit Ende der 1960er Jahre auf ihre Verwendbarkeit als optisches Datenspeicherverfahren untersucht.² Hologramme boten im Gegensatz zu herkömmlichen photographischen Abbildungen die Möglichkeit, durch die Überlagerung zweier kohärenter Lichtstrahlen in Form eines Interferenzbildes nicht nur *Intensitäten*, sondern auch Informationen über die *Phasenlagen* der Strahlen zu speichern.³ Handelte es sich bei diesen beiden Strahlen einerseits um einen Referenzstrahl, der auch zur Rekonstruktion des Hologramms herangezogen wurde, und andererseits um einen Objektstrahl, der beispielsweise die Reflexion des Referenzstrahls an einem dreidimensionalen Objekt darstellte, so blieb durch die Speicherung der Phaseninformationen, in denen der Wegstreckenunterschied zwischen verschiedenen reflektierten Objektstrahlen zum Ausdruck kam, auch die Information über die Räumlichkeit des Objekts erhalten. Einen anderen Zweck verfolgte die Holographie bei der Speicherung von (nicht-räumlichen) Daten. Wurden diese durch *diffuse* Referenzstrahlen beleuchtet, so verteilte sich die Information jedes einzelnen Objektpunkts (z.B. jedes Bits) über das *gesamte* Hologramm (sog. „distributed bit storage“).⁴ Die Verteilung der Information über das Hologramm brachte zwei interessante Vorteile mit sich. Zum einen

¹ Hoagland, Albert S. „Mass Storage — Past, present and future“ American Federation of Information Processing Societies (AFIPS). *Proceedings of the Fall Joint Computer Conference, 1972*. Vol. 41: S.985-991

Barrekette, E.S. „Trends in Storage of Digital Data“ *Applied Optics* 13(4), April 1974, S.749-754

² Anderson, L.K. „Holographic Optical Memory For Bulk Data Storage“ *Bell Laboratories Record*, Vol. 46, 1968, S.319-326

³ Gabor, Dennis. „Holography, 1948-1971“ *Proc. IEEE* 60(6), June 1972, S.655-668

⁴ ebenda

Hoagland, Albert S. „Mass Storage — Past, present and future“ American Federation of Information Processing Societies (AFIPS). *Proceedings of the Fall Joint Computer Conference, 1972*. Vol. 41, S.985-991

erschien ein derartiges „diffuses“ Hologramm als Abbild einer rauschenden Quelle (ähnlich wie ein rauschendes Fernsehbild) und erfüllte somit (nach Shannon) die Idealanforderungen einer Signalcodierung, die alle Regelmäßigkeiten eines Signals beseitigte.¹ Zum anderen konnte durch die räumliche Verteilung der Informationen Defekten im Speichermedium entgegengewirkt werden. Jeder Bruchteil des Hologramms enthielt die *gesamte* gespeicherte Information — allerdings mit einem höheren Rauschanteil.

Trotz dieser Vorteile bestand jedoch bei der diffusen Holographie erst recht das für Computeranwendungen relevante Problem, daß einmal abgespeicherte Daten aufgrund ihrer Verteilung über das gesamte Hologramm nicht mehr geändert werden konnten. Schon 1972 war daher abzusehen, daß es im Computerbereich nicht zu einer raschen Durchsetzung von nur-auslesbaren (read-only) Laser- oder Elektronenstrahlbasierten Dichtspeicherverfahren kommen würde.²

Das DRAW-System von Philips

Philips befaßte sich in den 1970er Jahren — der Hoch-Zeit der Computerentwicklung bei Philips — intensiv mit der Entwicklung optischer Dichtspeichermedien, förderte damit mittelbar die Entwicklung einer kompakten Ausleseoptik für das CD-System und bahnte schließlich den Weg für die spätere Entwicklung beschreibbarer CD-Derivate. Basierend auf der VLP- (später LaserVision-) Technologie wurden seit ersten Demonstrationen im September 1972 *beschreibbare* optische Dichtspeichersysteme erforscht („optical recording“).³ Im Vergleich zur Entwicklung des ALP-/CD-Systems, die zeitlich parallel von der Hauptindustriegruppe Audio betrieben wurde, handelte es sich hierbei um ein wissen-

¹ Gabor, Dennis. "Holography, 1948-1971" *Proc. IEEE* 60(6), June 1972, S.655-668

vgl. Abschnitt Modulation im weiteren Verlauf dieses Kapitels (Kap.3.4)

² Hoagland, Albert S. „Mass Storage — Past, present and future“ American Federation of Information Processing Societies (AFIPS). *Proceedings of the Fall Joint Computer Conference, 1972*. Vol. 41, S.985-991

³ Thomas, G.E. „Future trends in optical recording“ *Philips tech. Rev.* 44(2), April 1988, S.51-57

schaftlich anspruchsvolleres Vorhaben.¹ Da das sogenannte „DRAW“-System („Direct Read After Write“) bereits Jahre vor der ALP auf die Speicherung *digitaler* Informationen ausgelegt worden war, mußten Verfahren zur strikten *Vermeidung* von Schreib- und Lesefehlern entwickelt werden (im Gegensatz zur noch analogen ALP, wo der Versuch der *Verdeckung* von Auslesefehlern im Vordergrund stand). Ein namensgebendes Fehlererkennungsverfahren des DRAW-Systems bestand darin, die mittels eines Laserstrahls in die transparent gekapselte Tellur-/Wismut-Schicht einer doppelseitigen optischen Speicherplatte eingebrannten Informationen quasi gleichzeitig — mit Hilfe eines abgespaltenen Teilstrahls des schreibenden Laserstrahls — wieder auszulesen.² Dieses optisch aufwendige Verfahren ermöglichte die sofortige Kontrolle der aufgezeichneten Informationen und erlaubte es, einen auftretenden Fehler als solchen zu kennzeichnen und den Schreibvorgang auf einem anderen Sektor zu wiederholen. Im Jahre 1979 konnte ein Labormodell vorgestellt werden, das Daten mit einer Rate von 10 Millionen Bits pro Sekunde auf einen Datenträger mit einer Kapazität von 10 Milliarden Bits einbrennen konnte.³

Der Laser als Schlüssel zur Dichtspeichertechnik

Sowohl magneto-optische, Laserstrahl-adressierbare als auch holographische Speichersysteme zeichnen sich dadurch aus, daß zur Erzeugung hoher Speicherdichten die seinerzeit neuartige Technologie des Lasers herangezogen wurde. Der Grund hierfür liegt in einer Eigenschaft des Lasers, die ihn zu einer Lichtquelle besonderer Art macht: Das erzeugte Licht ist (weitgehend) monochromatisch und kohärent, d.h. es werden nur elektromagnetische Wellen einer bestimmten Frequenz bzw. Wellenlänge und gleicher Phasenlage erzeugt. Im sichtbaren Bereich bedeutet dies, daß etwa im Gegensatz zum breiten Farbenspektrum des Sonnenlichts nur im

¹ Kenney, George C., D.Y.K. Lou, R. McFarlane, A.Y. Chang, J.S. Nadan, T.R. Kohler, J.G. Wagner und F.Zernike. „An optical disk replaces 25 mag tapes“, *IEEE Spectrum*, February 1979, S.33-38

² Ein als fehlerhaft erkannter Sektor wurde noch während des Schreibvorgangs als solcher gekennzeichnet, die zu speichernden Informationen wurden nochmals in den nächsten Sektor geschrieben. Vgl. ebenda, S.36

³ Bulthuis, Kees, M.G. Carasso, J.P.J. Heemskerk, P.J. Kivits, W.J. Kleuters und P. Zalm. „Ten billion bits on a disk“, *IEEE Spectrum*, August 1979, S.26-33

Gleichtakt schwingende Lichtwellen einer bestimmten Farbe entstehen.

Aufgrund dieser Eigenschaft kann der Strahl des Lasers mit Hilfe optischer Linsen so stark gebündelt werden, daß sein „Durchmesser“ im Brennpunkt auf den Größenordnungsbereich eines Mikrometers (Tausendstel Millimeter, dies entspricht ungefähr einer einzigen Wellenlänge) reduziert werden kann. Mit Licht, das aus verschiedenen Farbanteilen (bzw. Wellenlängen) besteht, wäre eine derartige Bündelung nicht zu erreichen, da verschiedene Wellenlängen in optischen Linsen unterschiedlich gebrochen werden und eine einheitliche Fokussierung auf einen gemeinsamen Brennpunkt nicht erlauben. Aufgrund der extremen Bündelungsmöglichkeit von Lichtstrahlen war der Laser das geeignete Instrument, um in Dichtspeichersystemen zum Schreiben und Abtasten von Informationen auf kleinstem Raum herangezogen zu werden.

Die oben erwähnten Dichtspeichersysteme, die bei IBM vor 1972 erforscht und entwickelt wurden, markieren zwar nicht den Beginn der technischen Einsatzreife und der kommerziellen Verfügbarkeit von Lasersystemen, sie erfolgten jedoch zu einer Zeit, in der sich die zunächst rasante Laserentwicklung Anfang der 1960er Jahre entspannt hatte. Bis etwa 1970 waren die meisten Lasertypen, die in der Folgezeit kommerziell eingesetzt werden sollten, vorgestellt worden¹ und hatten hinsichtlich der erzeugten Lichtleistung und der Möglichkeit ihres kontinuierlichen Betriebs einen Entwicklungsstand erreicht, der eine breite Palette von Anwendungen eröffnete.² So war nach der ersten Realisation eines Lasers — auf der Basis von Rubin — durch Theodore H. Maiman (Hughes Aircraft Research Laboratories) im Jahre 1960³ noch im gleichen Jahr in den Bell Laboratories in Murray Hill, N.J., die Funktion des ersten Helium-Neon-Gaslaser demonstriert worden.⁴ In den folgenden Jahren war Lasertätigkeit auch bei Cäsium-Dampf,

¹ Hecht, Jeff. *Laser Pioneers*. London: Academic Press 1992, S.44

² ebenda, S.33ff.

³ Maiman, T.H. „Stimulated Optical Radiation in Ruby“ *Nature* 187, Aug. 6, 1960, S.493f.

⁴ Fleury, P.A., A.G. Fox, J.A. Giordmaine, B.F. Levine, R.C. Miller, M.B. Panish, C.K.N. Patel, and P.W. Smith. „Quantum Electronics - The Laser“ in Millman, S. (ed.) *A History of Engineering and Science in the Bell System: Physical Sciences (1925-1980)*, AT&T Bell Laboratories, 1983, hier: S.154ff.

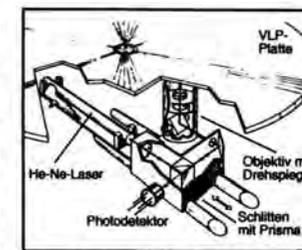
verschiedenen Festkörpern (Neodym-dotierten Kristallen) und Gallium-Arsenid-Halbleitern nachgewiesen worden. Gefolgt waren in den 1960er Jahren u.a. CO₂-Laser, Ionen-Laser und organische Farbstoff-Laser.¹

Gaslaser vs. Halbleiterlaser

Von besonderem Interesse im Zusammenhang mit der VLP- und CD-Entwicklung sind zwei Lasertypen, nämlich der Helium-Neon-Gaslaser und der Halbleiterlaser auf der Basis von Gallium-Arsenid. Das VLP-Bildplattensystem basierte auf einem Helium-Neon- (He-Ne-) Laser, der bis zur Verbreitung von Halbleiterlasern für etwa 20 Jahre der gebräuchlichste Lasertyp war. Gründe hierfür liegen u.a. in seinem verhältnismäßig einfachen Aufbau. So war die Füllung einer Laserröhre mit Edelgasen wesentlich einfacher zu realisieren als die Züchtung von im Vergleich zu späteren Halbleiterlasern verhältnismäßig großen Kristallen für Festkörperlaser. Außerdem war es erstmals mit einem He-Ne-Laser gelungen, von gepulsten Lichtstrahlen zu kontinuierlichem Laserbetrieb überzugehen.³

Während der Konzeptionierungsphase des VLP-Systems um 1970 lag die Entscheidung für einen Helium-Neon-Gaslaser aufgrund seiner kommerziellen Verfügbarkeit und seiner Zuverlässigkeit nahe. Da Gaslaser jedoch nicht in hohen Stückzahlen produziert wurden und nicht für den Einsatz in kompakten, preiswerten Konsumgütern vorgesehen waren, entsprach weder ihr Preis noch ihre Abmessungen den Anforderungen, die an ein Bildplattenabspielgerät gestellt werden konnten.

Eine Alternative, die den Gaslaser später vor allem aufgrund geringerer Abmessungen und Kosten verdrängen sollte, bot der Halbleiterlaser. Im Jahre 1970 befand sich die Erzeugung des Lasereffekts mit Hilfe von Halbleitern noch in einem Stadium, in dem es unter Laborbedingungen gerade gelungen war, konti-



VLP mit Gaslaser (1973)²

¹ Hecht, Jeff. *Laser Pioneers*. London: Academic Press 1992, S.25ff.

² entnommen aus: Compaan, K. and P. Kramer. „The Philips ‚VLP‘ system“ *Philips tech. Rev.* 33(7)1973, S.180; mit eingefügtem Text

³ Hecht, Jeff. *Laser Pioneers*. London: Academic Press 1992, S.24.

nuierlichen Laserbetrieb bei Raumtemperatur zu erreichen.¹ Allerdings betrug die Lebensdauer derartiger Gallium-Arsenid- (GaAs-) Halbleiterlaser lediglich wenige Stunden.² Seit der ersten Beobachtung von Lasertätigkeit bei Halbleitern im Jahre 1962³ waren zuvor lediglich Experimente im gepulsten Betrieb unter tiefen Temperaturen (77 Kelvin) gelungen.⁴ Sowohl die regelmäßige Unterbrechung der Lichterzeugung (gepulster Betrieb) als auch die starke Kühlung waren dabei notwendig, um einer Zerstörung des Materials durch die notwendige hohe Stromdichte in der aktiven Zone (Größenordnung: 10.000 Ampère pro Quadratcentimeter) entgegenzuwirken.⁵ Nachdem 1970 kontinuierlicher Betrieb bei Raumtemperatur erreicht worden war, dauerte es weitere fünf Jahre, bis der Übergang zu ersten kommerziell erhältlichen, jedoch mehrere tausend Dollar teuren Halbleiterlaser-Bauelementen gelang.⁶ Um 1976 war der Herstellungsprozeß von Halbleiterlasern derart verfeinert worden, daß bei Raumtemperatur eine Lebensdauer von

¹ Fleury, P.A., A.G. Fox, J.A. Giordmaine, B.F. Levine, R.C. Miller, M.B. Panish, C.K.N. Patel, and P.W. Smith. „Quantum Electronics - The Laser“ in Millman, S. (ed.) *A History of Engineering and Science in the Bell System: Physical Sciences (1925-1980)*, AT&T Bell Laboratories, 1983, hier: S.165ff.

² Kneubühl, F.K. und M.W. Sigrüst. *Laser*. Stuttgart: B.G. Teubner, 1991, S.331

vgl. Hecht, Jeff. *Laser Pioneers*. London: Academic Press 1992, S.32

³ Dupuis, Russell D. „An introduction to the development of the semiconductor laser“ *IEEE Journal of Quantum Electronics* QE-23, June 1987, S.651-657

Quellen:

Hall, Robert N., G.E. Fenner, J.D. Kingsley, T.J. Soltys, and R.O. Carlson. (GE R&D) „Coherent light emission from GaAs junctions“ *Physical Review Letters* 9, 1962, S.366;

Nathan, M.I., W.P. Dumke, G. Burns, F.H. Dill, and G. Lasher. (IBM) „Stimulated emission of radiation from GaAs p-n junction“ *Applied Physics Letters* 1, 1962, S.62;

Quist, T.M., R.H. Rediker, R.J. Keyes, W.E. Krag, B. Lax, A.L. McWhorter, and H.J. Zeiger „Semiconductor lasers of GaAs“ *Applied Physics Letters* 1, 1962, S.91;

Holonyak, Nick, Jr., and S.F. Bevacqua. (GE Syracuse) „Coherent (visible) light emission from Ga(As,_xP_{1-x}) junctions“ *Applied Physics Letters* 1, 1962, S.4, 82-83

⁴ Kneubühl, F.K. und M.W. Sigrüst. *Laser*. Stuttgart: B.G. Teubner, 1991, S.331

⁵ Hecht, Jeff. *Laser Pioneers*. London: Academic Press 1992, S.31

⁶ ebenda, S.32

einer Million Stunden vorausgesagt werden konnte.¹ Am Beispiel der DRAW-Entwicklung bei Philips zeigt sich jedoch, daß verwendete AlGaAs-Halbleiterlaser (aus Aluminium-/Galliumarsenid) auch noch 1979 in der Laborpraxis — trotz gepulsten Betriebs — aufgrund der zum Schreiben erforderlichen Leistung lediglich eine Lebensdauer von „mehr als 100 Stunden“ erreichten.²

Photoelektrische Forschung bei Philips

Zu den traditionellen Inhalten der Forschung bei Philips zählen Untersuchungen, die im Zusammenhang mit photoelektrischen Phänomenen angestellt werden. Neben der Erzeugung von Licht aus Elektrizität — dem klassischsten aller Motive der Philips-Forschung — rückte in den 1960er Jahren im Zuge der wachsenden industriellen Bedeutung von Halbleiterbauelementen auch der Photoeffekt bei Halbleitern, also die Erhöhung der elektrischen Leitfähigkeit durch Lichteinwirkung, in den Mittelpunkt des Forschungsinteresses.³ Während sich die mit Philips kooperierenden Laboratoires d'Electronique et de Physique appliqué im französischen Limeil-Brévannes stärker mit der theoretischen Seite des Photoeffekts von Halbleitern beschäftigten, stand im Eindhovener Nat.Lab. die Frage nach möglichen Anwendungen im Vordergrund.⁴

Als praktische Ergebnisse dieser Untersuchungen können Photodetektoren angesehen werden, mit denen auch sehr schnelle Lichtänderungen mit Frequenzen bis zu 1 GHz⁵ in elektrische

¹ Joyce, W.B., R.W. Dixon, and R.L. Hartman. „Statistical characterization of the lifetimes of continuously operated (Al,Ga)As double-heterostructure lasers“ *Appl. Phys. Lett.* 28(11), Juni 1, 1976, S.684-686

² Bulthuis, Kees, M.G. Carasso, J.P.J. Heemskerk, P.J. Kivits, W.J. Kleuters und P. Zalm. „Ten billion bits on a disk“, *IEEE Spectrum*, August 1979, hier: S. 33

³ Boutry, Georges-Albert (Limeil-Brévannes). „Brève histoire de la photo-émission“ *Acta Electronica* 16(2), 1973, S.127-136

Hurault, Jean-Paul (Limeil-Brévannes). „Problèmes théoriques en photo-émission“ *Acta Electronica* 16(2), 1973, S.173-180

⁴ van Laar, J. und J.J. Scheer (Eindhoven). „Photoemission von Halbleitern“ *Philips techn. Rdsch.* 29(1/2), 1968, hier: S.35

Boutry, Georges-Albert (Limeil-Brévannes). „Brève histoire de la photo-émission“ *Acta Electronica* 16(2), 1973, S.127-136

⁵ Ein Gigahertz (10⁹ Hz) bezeichnet eine Milliarde Schwingungen pro Sekunde.

Signale verwandelt werden konnten.¹ Ebenfalls ging die Entwicklung von Avalanche-Photodioden, die sich aufgrund ihrer inneren Verstärkung und günstiger Rauscheigenschaften besonders für den Einsatz in optischen Kommunikationssystemen (Lichtwellenleiter) eignen², auf die eingehende Beschäftigung der Philips-Forschung mit dem Photoeffekt zurück. Weil auch in CD-Abspielgeräten Photodetektoren zur Verwandlung des von der Platte reflektierten und modulierten Laserstrahls benötigt wurden, profitierte auch die Entwicklung der Compact Disc von diesen Ergebnissen.

Erkenntnisse, die bei der Untersuchung von Halbleiter-Photokathoden in Bezug auf deren Herstellung, insbesondere das epitaktische Aufwachsen von Galliumarsenid-Schichten, gewonnen wurden³, konnten auch für die Entwicklung eigener Halbleiterlaser genutzt werden. So wurden 1976/77 bei Philips für den Einsatz in optischen Glasfaserübertragungssystemen Halbleiterlaser entwickelt, die kontinuierlich bei Zimmertemperatur betrieben werden konnten und eine Lebensdauer von bis zu 5000 Stunden erreichten.⁴ Auch der He-Ne-Gaslaser des VLP-Bildplattenspielers wurde 1977 versuchsweise durch einen Halbleiterlaser ersetzt, dessen geringe Abmessungen es erlaubten, statt eines Kippspiegels den Laser selbst der Spur und der Plattenoberfläche folgen zu lassen.⁵ Eine vergleichbare Konstruktion wurde auch für das Compact-Disc-

¹ Berth, Michel und Camille Venger (Limeil-Brévannes). „Photodétecteurs rapides à état solide“ *Acta Electronica* 15(4), 1972, S.281-308

Piétri, Georges (Limeil-Brévannes). „Photoélectronique rapide“ *Acta Electronica* 15(4), 1972, S.261-262

² Bollen, L.J.M., J.J. Goedbloed und E.T.J.M. Smeets (Eindhoven). „Die Avalanche-Fotodiode“ *Philips techn. Rdsch.* 36(7), 1976/77, S.220-226

³ Boucher, A. (Limeil-Brévannes) und B.C. Easton. (Redhill) „Epitaktisches Züchten von Galliumarsenid“ *Philips techn. Rdsch.* 32(9/10/11/12), 1971/72, S.405-410

Frank, Günter und Siegfried Garbe (Aachen). „Photoemission of GaAs in the reflection and transmission mode“ *Acta Electronica* 16(3), 1973, S.237-244

⁴ Acket, G.A., J.J. Daniele, W. Nijman, R.P. Tijburg und P.J. de Waard (Eindhoven / Briarcliff Manor). „Halbleiterlaser für optische Kommunikation“ *Philips techn. Rdsch.* 36(7), 1976/77, S.204-215

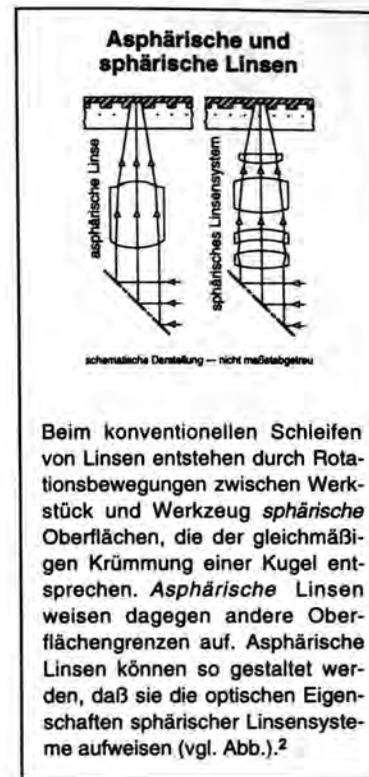
Khoe, G.D. und L.J. Meuleman. „Lichtmodulation und -einkopplung bei Faserübertragungssystemen mit Halbleiterlasern“ *Philips techn. Rdsch.* 36(7), 1976/77, S.216-219

⁵ „Äußerst kompakter optischer Abtaster für ‚VLP‘ Spieler“ *Philips techn. Rdsch.* 37(4), 1977/78, S.98

System vorgesehen. Durch die Verwendung eines Halbleiterlasers und einer kompakten Linsenoptik war es möglich, alle zur optischen Auslesung notwendigen Komponenten in einen sogenannten „optischen Pick-up“ zu integrieren, der als Einheit unter der Auslesestelle nachgeführt werden konnte.¹

Asphärische Linsen und Optomechanik

Die zur Bündelung und Fokussierung des Laserstrahls erforderliche Linsenoptik wurde im Prototypenstadium der CD-Entwicklung durch hochwertige, lichtstarke Mikroskopobjektive des deutschen Herstellers Rodenstock realisiert.³ Deren hohes Auflösungsvermögen war von zentraler Bedeutung, weil sich hieraus die mögliche Miniaturisierung der Informationseinprägungen auf der CD ableiten ließ.⁴ Die zunächst verwendeten konventionell aufgebauten Objektive bestanden aus präzise geschliffenen und polierten Glaslinsen, deren Oberflächen — als zwangsläufige Konsequenz dieser Vor-



¹ vgl. Finck, J.C.J., H.J.M. van der Laak und J.T. Schrama. „Ein Halbleiterlaser zum Auslesen von Information“ *Philips techn. Rdsch.* 39(4), 1980/81, S.101-111

² vgl. Braat, J.J.M. „Aspheric surfaces: design and optical advantages“ *Philips tech. Rev.* 41(10), 1983/84, S.289-295

³ Ottens, L.F. Interview 12. Oktober 1993, 2B 099

⁴ vgl. Bouwhuis, G. und J.J.M. Braat. „Video disk player optics“ *Applied Optics* 17(13), 1 July 1978, hier: S.114;

Die räumliche Grenzfrequenz f_c (spatial cutoff frequency), die die räumliche Periodizität kleinstmöglicher Informationseinprägungen angibt, berechnet sich aus der „numerischen Apertur“ der Linse (NA) und der Wellenlänge des (Laser-)Lichts (λ) nach der Beziehung $f_c = 2 \cdot NA / \lambda$; bei gegebener Wellenlänge ist somit eine möglichst große Apertur maßgebend für die Miniaturisierung der Informationseinprägungen.

gehensweise¹ — sphärisch geformt waren und somit die Oberflächenkrümmung einer Kugel aufwiesen. Da einzelne sphärische Linsen Abbildungsfehler mit sich bringen, eine exakte Fokussierung des Laserstrahls mit einer einfachen Konvexlinse also nur näherungsweise möglich ist², kam in den Mikroskopobjektiven der ersten CD-Spieler-Prototypen zur weitgehenden Vermeidung derartiger Fehler ein aufwendiges, aus vier Glaslinsen bestehendes Linsensystem zum Einsatz. Nur ein solches Objektiv konnte gewährleisten, daß bei der notwendigen Bündelung des Laserstrahls auf einen Durchmesser von nur einem Mikrometer genügend Lichtenergie an der Auslesestelle zur Verfügung stand.³

Rechtzeitig zur Produktentwicklung marktfähiger CD-Spieler gelang es Philips-Forschern des Nat.Lab., das Mißverhältnis zwischen dem kompakten und potentiell billig herzustellenden Halbleiterlaser und der aufwendigen Linsenoptik auszugleichen. Grundsätzlich bestand die Möglichkeit, den durch das Linsensystem erzielten optischen Korrektoreffekt auch mit Hilfe einer einzigen Linse zu erzielen, wenn deren Oberfläche abweichend von der sphärischen Form in bestimmter Weise asphärisch konturiert war.⁴ Da die Herstellung asphärischer Linsen hoher Qualität durch konventionelles Schleifen nicht zu erzielen ist, war zunächst die Entwicklung einer eigenen Werkzeugmaschine erforderlich, mit der beliebige asphärische Linsenkonturen erzeugt werden konnten. Einen Durchbruch in diesem Bereich erzielte Philips 1978 mit Hilfe der im Nat.Lab. entwickelten „ultra-hochpräzisen“, numerisch ge-

¹ Scott, R.M. „Optical manufacturing“ In: Kingslake (ed.) *Applied optics and optical engineering*. Vol.III, Academic Press, New York 1965, S.43-95

² Kuchling, Horst. *Taschenbuch der Physik*. Thun/Frankfurt a.M.: Verlag Harri Deutsch 5.-9. Aufl., 1987. (Optik: Linsen: Abbildungsfehler) S. 354

³ vgl. Bulthuis, Kees, M.G. Carasso, J.P.J. Heemskerk, P.J. Kivits, W.J. Kleuters und P. Zalm. „Ten billion bits on a disk“, *IEEE Spectrum*, August 1979, S.26-33

Haisma, J., W. Mesman, J.M. Oomen and J.C. Wijn. „Fabrication, testing and application of highly accurate aspheric optical elements“ *Philips tech. Rev.* 41(10), 1983/84, S.296-303

⁴ Braat, J.J.M. „Aspheric surfaces: design and optical advantages“ *Philips tech. Rev.* 41 (10), 1983/84, S. 289-295

Haisma, J., W. Mesman, J.M. Oomen and J.C. Wijn. „Fabrication, testing and application of highly accurate aspheric optical elements“ *Philips tech. Rev.* 41(10), 1983/84, S.296-303

steuerten Drehmaschine COLATH.¹ Durch die Verwendung eines steuernden Computers einerseits und andererseits durch den Ersatz des konventionellen Schneidwerkzeugs einer Drehmaschine durch eine ebenfalls rotierende Schleifspindel, mit der die Oberfläche des Werkstücks quasi punktförmig abgeschliffen und poliert wurde², konnten beliebig geformte (rotationssymmetrische) Oberflächen mit hoher optischer Qualität, vergleichbar mit der von Mikroskopobjektiven, hergestellt werden. (Die Abweichung von der gewünschten Oberflächenkontur betrug dabei weniger als 0,2 µm, die durch die Schleifspindel erzeugte Rauheit der Oberfläche belief sich auf weniger als 10 nm.)³

Die Möglichkeit der Herstellung stark asphärischer Konturen mit Hilfe von COLATH war jedoch nur ein erster Schritt zur Vereinfachung der Linsenoptik von CD-Spielern. Da diese nicht nur kompakt, sondern auch preiswert sein mußten, wäre eine Einzelherstellung auf COLATH unangemessen aufwendig gewesen. Erst der Zwischenschritt über die Anfertigung hochpräziser Preßformen, mit denen asphärische CD-Ausleselinsen preiswert im großindustriellen Maßstab aus Kunststoff gepreßt werden konnten, brachte den gewünschten Kostensenkungseffekt mit sich.⁴

Nachführung der optischen Ausleseinheit

Beeinflußt durch die Forschungsergebnisse auf optischem Gebiet wurde auch der Bereich der Regelungstechnik für das Compact-Disc-System. Regelungsbedarf bestand im Falle der CD hauptsächlich bei der Nachführung des Auslestrahls unter den „Pits“ der spiralförmigen Informationsspur.⁵ Vor allem die Verwendung von kleinen Halbleiterlasern eröffnete die Möglichkeit — im Gegensatz zu frühen VLP-Abspielgeräten mit im Gerät fixierten Gaslasern — nicht nur die Linsenoptik, sondern das gesamte opti-

¹ Gijsbers, T.G. „COLATH, a numerically controlled lathe for very high precision“ *Philips tech. Rev.* 39, 1980, S.229-244

² Haisma, J. and T.G. Gijsbers. „Optomechanics, an ultra-high-precision machining technique“ *Philips tech. Rev.* 41(10), 1983/84, S.285-289

³ ebenda

⁴ ebenda

⁵ Außerdem mußte, da sich die Informationsspur einer CD gegenüber der Ausleseinheit mit konstanter Geschwindigkeit bewegen muß, die Drehzahl der Platte geregelt werden.

sche Auslesesystem eines CD-Abspielgeräts (bestehend aus Laser, Linsen und Photodetektoren) als kompakte Einheit mechanisch nachzuführen.

Problematisch hierbei war weniger die Forderung, dem sich ständig ändernden Radius der spiralförmigen Auslesespur auf der sich drehenden Platte zu folgen. Als um Größenordnungen gravierender erwiesen sich notwendige Positionskorrekturen aufgrund der Tatsache, daß VLPs wie CDs keine ideal ebene Oberfläche und kein vollkommen zentrisches Achsloch aufweisen.¹ Beides führte bei der Rotation der Kunststoffscheiben zu vertikalen und horizontalen Auslenkungen des Auslesepunktes, die Informationsspur pendelte also um ihre Ideallinie. Die hierbei auftretenden Abweichungen lagen beim „Flattern“ leicht gewölbter Oberflächen in der Größenordnung von einem halben Millimeter (also $\pm 500 \mu\text{m}$!) und aufgrund der Exzentrizität des Achslochs im Bereich von $\pm 100 \mu\text{m}$.²

Aufgabe der Regelungstechnik mußte es daher in erster Linie sein, die Ausleseoptik servomechanisch den Pendelbewegungen der Platte folgen zu lassen, um den Auslesestrahl stets unter der Informationsspur zu führen. Die dabei einzuhaltenden Toleranzgrenzen ergaben sich in Fokussierungsrichtung (Abstand Platte-Optik) aus der Tiefenschärfe des Objektivs und in radialer Richtung (Exzentrizität) aus der Breite der eingepprägten „Pits“ ($0,5 \mu\text{m}$) und dem Abstand benachbarter Spuren ($1,6 \mu\text{m}$). Die zur Gewährleistung hoher Lichtstärke erforderliche große Öffnung der Linse ging einher mit geringer Schärfentiefe und machte es erforderlich, vom Soll-Abstand zwischen Objektiv und Platte um nicht mehr als $2 \mu\text{m}$

¹ van Rosmalen, G. „Control Mechanics“ In: Bouwhuis/Braat/Huijser/Pasman/Rosmalen/Immink. *Principles of Optical Disc Systems*. Bristol/Boston: Adam Hilger 1985, hier: S.129

² für VLP vgl.: Janssen, P.J.M. und P.E. Day „Regelmechanismen im Philips ‚VLP‘ Plattenspieler“ *Philips techn. Rdsch.* 33(7), 1973/74, hier: S.202; für CD vgl.: Pohlmann, Ken C. *The Compact Disc Handbook*. Oxford University Press 1992, S.107

Im frühen VLP-Entwicklungsstadium (1971) hatte man durch die Verwendung 6 mm dicker, am äußeren Rand vertikal geführter Glasscheiben mit extrem ebener Oberfläche auf eine nachgeführte Fokussierung des Auslesestrahls verzichten können. Vgl. van Rosmalen, G. „Control Mechanics“ In: Bouwhuis/Braat/Huijser/Pasman/Rosmalen/Immink. *Principles of Optical Disc Systems*. Bristol/Boston: Adam Hilger 1985, hier: S.126f.

abzuweichen.¹ Noch geringer war die maximal zulässige „seitliche“ Spurabweichung: Bei einer Breite der „Pit“-Einprägungen von nur $0,5 \mu\text{m}$ durfte der Strahl um nicht mehr als $0,2 \mu\text{m}$ von der Idealspur abweichen.

Während zur Spurhaltung verschiedene Verfahren zum Einsatz kamen (linear unter der Platte geführter Schlitten oder Schwingarm²), wurde die vertikale Fokussierungsnachführung — vergleichbar mit dem Antrieb eines elektrodynamischen Lautsprechers — durch die Aufhängung des Objektivs in einer konzentrischen Anordnung aus Spule und Permanentmagnet realisiert.³ Hierbei erwies sich vor allem die Masse der bewegten Elemente als problematisch, konnten doch bei deren ständiger Beschleunigung auftretende Kräfte über das Chassis auf den Tonträger selbst zurückwirken und dessen Laufruhe ungünstig beeinflussen.⁴ Insbesondere bei der Vergegenwärtigung der Größenunterschiede zwischen der Amplitude vertikaler und horizontaler Pendelbewegungen sowohl der Platte als auch der nachgeführten Ausleseoptik einerseits und der Präzision der Spurhaltung andererseits wird der feinmechanische Entwicklungsaufwand deutlich, der zur Konstruktion eines entsprechenden Regelungsmechanismus erforderlich war.

Die CD als Anwendungsergebnis optischer Forschung

Die Tatsache, daß sich die VLP-Entwickler Piet Kramer und Klaas Compaan um 1970 für eine Dichtspeichertechnologie entschieden hatten, die eine deutliche technologische Verwandtschaft zu fortschrittlichen Datenspeichern für Großcomputer aufwies, deutet zunächst auf einen guten Überblick über den Stand der Technik und

¹ van Rosmalen, G. „Control Mechanics“ In: Bouwhuis/Braat/Huijser/Pasman/Rosmalen/Immink. *Principles of Optical Disc Systems*. Bristol/Boston: Adam Hilger 1985, hier: S.134

² Die radiale Nachführung erfolgte bei der VLP durch einen sich langsam bewegenden Trägerschlitten für die Optik („caterpillar“), auf dem ein Kippspiegel („tilting mirror“) für die präzise Spurhaltung sorgte. Bei der CD wurde die gesamte kompakte Ausleseoptik mit Hilfe eines Schwingarms bewegt.

³ Janssen, P.J.M. und P.E. Day „Regelmechanismen im Philips ‚VLP‘ Plattenspieler“ *Philips techn. Rdsch.* 33(7), 1973/74, hier: S.202

⁴ van Rosmalen, G. „Control Mechanics“ In: Bouwhuis/Braat/Huijser/Pasman/Rosmalen/Immink. *Principles of Optical Disc Systems*. Bristol/Boston: Adam Hilger 1985, hier: S.132

erhebliche Weitsicht bezüglich des technisch Machbaren im Konsumgüterbereich hin. Doch die grundsätzliche Idee der optischen Dichtspeicherung hätte weder bei der VLP noch bei der Compact Disc ausgereicht, um deren *Produktentwicklung* erfolgreich durchzuführen. In beiden Fällen waren anspruchsvolle Technologien aus dem Labormaßstab in die industrielle Anwendbarkeit zu überführen. Wissenschaftlicher Rückhalt, der bei den konkreten Entwicklungen durch das Hospitantenprinzip erfolgte, war dabei unabdingbar.

Gleiches gilt für die etwa 1977 getroffene Entscheidung, den VLP-Ableger Compact Disc mit einem Halbleiterlaser auszustatten. Zwar hat Philips die Erforschung von Halbleiterlasern nicht angeführt, doch fand die Forschung in den verschiedenen Einrichtungen des Konzerns auf einem hohen Niveau statt, das dem internationalen Stand der Wissenschaft entsprach und diesen auch durch eigene Publikationen beförderte. Die wissenschaftliche Absicherung durch dieses Erfahrungspotential erlaubte es, ein neuartiges elektronisches Bauelement für das Compact-Disc-System vorzusehen, das noch nicht zur Marktreife gelangt war.

Als sich das mit einem Halbleiterlaser ausgestattete Compact-Disc-System in den 1980er Jahren als erfolgreich erwies, wirkte dies auf die Produktion von Halbleiterlasern zurück. Hergestellt als Massenprodukt, durchbrachen die Produktionszahlen von Halbleiterlasern 1985 die Millionengrenze; 1988 betrug die jährliche Produktion bereits über 20 Mio. Stück weltweit, wodurch die Preise in die Größenordnung weniger Dollar sanken.¹

Daß die Möglichkeit einer derartigen Kostensenkung nicht zwangsläufig mit der Mikroelektronik verbunden ist, belegt das Beispiel der Linsenherstellung für CD-Spieler. Deutlich zeigt sich, daß auch hier — ebenso wie bei der Dichtspeichertechnik und der Integration von Schaltkreisen — das Eindringen der Materialbearbeitung in den Größenordnungsbereich unterhalb eines Mikrometers einen wesentlichen Qualitätssprung mit sich brachte. In Verbindung mit der Möglichkeit, hochpräzise bearbeitete Werkstücke verhältnismäßig einfach in großen Stückzahlen reproduzieren zu können (CDs, ICs, asphärische Kunststofflinsen), führte diese Art der wissenschaftlichen Betätigung letztlich zu einer Entkopplung

¹ Hecht, Jeff. *Laser Pioneers*. London: Academic Press 1992, S.33

des Aufwandes, der einerseits zur Entwicklung und andererseits zur industriellen Herstellung einer Sache aufgewendet werden muß. Die beteiligten Wissenschaftler des Philips-Konzerns schufen damit den Schlüssel zur massenhaften Verbreitung der hochkomplexen CD-Technik.

Besonders mit Blick auf die CD-Komponenten Halbleiterlaser und Linsenoptik zeigt sich allerdings auch, daß bei der Betrachtung des Verhältnisses zwischen Wissenschaft und Technik ein Aspekt nicht vernachlässigt werden darf, der aus der historischen Rückschau aufgrund vermeintlicher Zwangsläufigkeiten häufig unterzogen droht. Daß rechtzeitig zum Endstadium der CD-Entwicklung einerseits Halbleiterlaser und andererseits asphärische Präzisionslinsen zur Verfügung standen, muß angesichts der Komplexität des gesamten CD-Systems als *Zusammentreffen glücklicher Umstände* gewertet werden.¹

3.3 MIKRO-ELEKTRONIK

Neben der optischen Abtastung zeichnet sich das Compact-Disc-System dadurch aus, daß die gespeicherten Musikinformatoren, anders als bei analogen Schallplatten, aus digitalen Zahlenwerten bestehen. Die Zahlen werden beim Vermessen der zu speichernden Schallwellen gewonnen. Mehr als vierzigtausend Amplitudmessungen eines zweikanaligen Stereo-Schallsignals pro Sekunde ergeben eine Zahlenflut von bis zu 400 Millionen 16-stelliger Dualzahlen auf einer Compact Disc. Zum Vergleich: Der gesamte Text dieser Arbeit könnte mit etwa 400.000 8-stelligen Dualzahlen gespeichert werden. Zweitausend (!) dieser Arbeiten entsprechen also hinsichtlich der Datenmenge den Musikinformatoren auf einer vollen CD.

Trotz der eindeutigen Nähe des Compact-Disc-Systems zur Computertechnik hängt die digitale Datenspeicherung der CD nur mittelbar mit der Verbreitung von Personal Computern (PC) zusammen. Das verbindende Glied zwischen dem Konsumgut CD und dem Konsumgut PC liegt nicht, wie das spätere Aufkommen von „Multimedia“-Computern glauben macht, auf der Ebene der Informationsverarbeitung digitaler Audiodaten, sondern vielmehr

¹ Peek, J.B.H., Pers. Comm., Interview 16. Juli 1993

auf der Ebene der Hardware.¹ Die Möglichkeiten der Festkörper-elektronik, komplexe elektronische Schaltungen in stark miniaturisierter Form in preiswerte Halbleiter zu integrieren, erlaubten sowohl die Realisierung von PCs als auch die wesentlich spezialisierterer Compact-Disc-Abspielgeräte.

Seitens der Informationsverarbeitung entstand der Brückenschlag zwischen PC und CD erst im Zuge der massenhaften Verbreitung von Compact Discs. Durch preiswert erhältliche Digital-Analogumsetzer und leistungsfähigere Mikroprozessoren für Personal Computer ist es seit Anfang der 1990er Jahre möglich geworden, Audiodaten in „CD-Qualität“ auch auf dem universell einsetzbaren PC in „Echtzeit“ zu bewältigen. Die Idee der digitalen Datenverarbeitung von Toninformationen ist jedoch unabhängig von der Datenverarbeitung auf Computern entstanden und wird erst im Anschluß an die festkörperphysikalischen Betrachtungen aufgegriffen.

Die Revolution der ICs

Notwendige Voraussetzung für die Entwicklung des Compact-Disc-Systems war die Annahme, daß das komplexe System mit seinen umfangreichen elektronischen Schaltungen kompakt und preiswert als Konsumgut hergestellt werden könnte.² Betrachtet man etwa den „Pinkeltje“-Prototyp des CD-Systems, so läßt sich eine derartige Annahme nicht ohne weiteres nachvollziehen. Die mit Tausenden einzelner elektronischer Bauelemente (Widerstände, Kondensatoren, Transistoren...) aufgebauten Schaltungen nahmen so viel Raum in Anspruch, daß sie nicht in das Vorführmodell eines CD-Abspielgerätes integriert werden konnten, sondern unterhalb des Tisches, auf dem dieses Modell stand, Platz fanden.

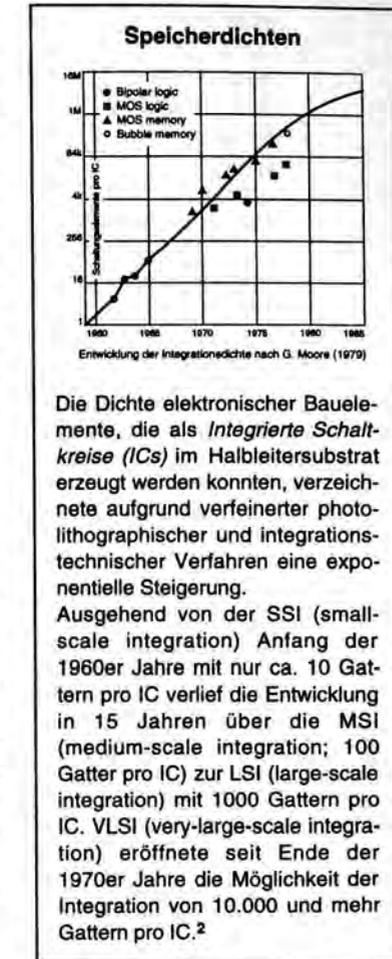
Daß es dennoch möglich sein sollte, den gesamten „Kubikmeter“ handverdrahteter Elektronik später in einem kompakten Gehäuse unterzubringen, ist auf eine revolutionäre Entwicklung zurückzuführen, die seit Anfang der 1960er Jahre die gesamte Elektrotechnik verändert hat: Durch die Möglichkeit, in zeitlicher Staf-

¹ Als Hardware werden, im Gegensatz zur Software, die *physischen* Komponenten der Computertechnik, insbesondere die Halbleiterbauelemente, bezeichnet.

² vgl. Kap.2

felung immer umfangreichere elektronische Schaltungen in Form von kompakten „Integrierten Schaltkreisen“ (IC; Integrated Circuit) billig in großen Mengen herstellen zu können, wurde das Zeitalter der Mikroelektronik eingeläutet.

Als Ausgangspunkt der Entwicklung von ICs ist der namensgebende Schritt zur *Integration* aller zum Aufbau einer elektronischen Schaltung benötigten Bauelemente in ein einziges Halbleiter-substrat (d.h. deren Realisierung aus nur einem Basismaterial) zu sehen.¹ Dies wiederum eröffnete die Möglichkeit, die in einen Halbleiter integrierbaren Schaltungen durch verfeinerte Herstellungsverfahren zunehmend zu *miniaturisieren* und dabei vergleichsweise einfach zu *reproduzieren*. Im relevanten Zeitraum der Entwicklung Integrierter Schaltkreise für das CD-System waren die Integrationsdichten von ICs bereits derart angestiegen, daß auf einem nur wenige Quadratmillimeter großen „Chip“ Tausende miteinander verschalteter Bauelemente untergebracht werden konnten. Mit Hilfe weniger Integrierter Schaltkreise ließ sich die umfangreiche Elektronik eines CD-Spielers in ein kompaktes und preiswertes Konsumgut überführen.



¹ Kaiser, Walter. „Technisierung des Lebens seit 1945“ In: Braun, Hans-Joachim und Walter Kaiser. „Energiewirtschaft, Automatisierung, Information seit 1914“. Bd.5 der Reihe *Propyläen Technikgeschichte*, hrsg. von Wolfgang König. Berlin: Propyläen Verlag 1992, S.343

² vgl. „LSI“ Einleitung zum Themenheft; *Philips techn. Rdsch.* 37(11/12) 1977/78, S.289
vgl. Paul, Reinhold. *Einführung in die Mikroelektronik*. Heidelberg 1985, S.19

IC-Herstellung bei Philips

Bereits die Tatsache, daß Philips bei der Entwicklung des CD-Systems nicht nur die spätere Verwendung hochintegrierter ICs im Endprodukt vorsah, sondern sogar die Tendenz zu höheren Integrationsdichten fest in die Produktplanungen mit einbezog¹, veranschaulicht den souveränen Umgang mit der IC-Technologie. Tatsächlich hatte sich Philips im Bereich der forschungsintensiven IC-Herstellung seit Mitte der 1960er Jahre eine führende Position in Europa erworben.² Der Umsatz, den der niederländische Konzern 1983, im Jahr der europäischen Markteinführung der CD, allein mit integrierten Schaltkreisen erzielte, belief sich auf 250 Millionen US-Dollar, 25% mehr als der nächstgrößte europäische Mitbewerber Siemens.³ Wirtschaftlich konnte Philips diese Führungsposition in den folgenden Jahren noch erheblich ausbauen, indem der jährliche Umsatz mit ICs bis 1986 mehr als verdoppelt werden konnte, während der von Siemens sogar stagnierte. Auch im internationalen Vergleich weist der Umsatz, den Philips mit Halbleitern erzielt, auf eine erhebliche Kompetenz auf dem Gebiet dieser schnellebigen Hochtechnologie hin. Denn im Gegensatz zu US-amerikanischen und japanischen Konkurrenten gelang es dem niederländischen Konzern trotz des Verzichts auf lukrative vertragliche Bindungen zu kapitalkräftigen Unternehmen der Rüstungsindustrie, einen Platz unter den zehn größten Halbleiterherstellern weltweit zu behaupten — in den 1980er Jahren sogar als einziges europäisches Unternehmen.⁴

¹ vgl. Extrapolationsmethode von Lou F. Ottens in Kap.2; vgl. auch das nach Intel-Mitgründer Gordon Moore benannte „Moore's Law“, das besagt, daß sich die Komplexität eines ICs von Jahr zu Jahr verdoppelt. vgl. Noyce, Robert N. „Microelectronics“ *Scientific American*, September 1977

² vgl. van Vessem, J.C. „From transistor to IC: a long road?“ *Philips tech. Rev.* 42(10/11/12) Sept. 1986, S.326-334

³ Morris, P.R. *A History of the World Semiconductor Industry*. London 1990, S.113

⁴ ebenda, S.107

vgl. Braun, Ernest and Stuart Macdonald. *Revolution in Miniature. The history and impact of semiconductor electronics*. 2nd ed. Cambridge University Press, 1982, S.151

van Houten, S. „Applied research — the source of innovation in consumer electronics“ *Philips tech. Rev.* 44(6), Dec. 1988, S.180-189

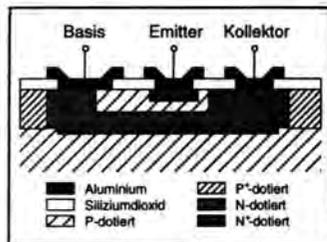
Um den internationalen Fortschritt der IC-Technologie im eigenen Unternehmen umsetzen und auch selbst befördern zu können, betrieb Philips intensive IC-Forschung, die sich in drei Gebiete aufgliederte.¹ Für die aufwendige Herstellung von ICs waren *Chemiker* verantwortlich, deren Forschungsaufgabe darin bestand, die Verfahrensschritte vom Ausgangsstoff (hauptsächlich Silizium-Einkristallen) bis zum fertigen IC derart zu verbessern und zu verfeinern, daß immer komplexere und miniaturisiertere Strukturen erzielt werden konnten. *Bauelementspezialisten* kümmerten sich um den physikalischen Aufbau und die elektrische Funktionsweise einzelner elektronischer Schaltungselemente, die im IC eingesetzt werden sollten. Schließlich entwarfen *Elektroniker* einerseits immer einfachere Grundschaltungen für logische Funktionen und andererseits immer umfangreichere Gesamtschaltungen, die zur sinnvollen Nutzung der steigenden Integrationsdichten erforderlich waren. Die Aspekte der chemischen Herstellung, der Gestaltung von einzelnen Bauelementen und des Entwurfs der Gesamtschaltung werden im folgenden getrennt betrachtet.

Ausgangspunkt der IC-Herstellung sind aus der Schmelze gezogene Siliziumstäbe mit nahezu fehlerfreier Kristallstruktur, aus denen dünne, scheibenförmige „Wafer“ gesägt werden. Auf jedem Wafer werden eine Reihe von integrierten Schaltkreisen in zahlreichen Arbeitsschritten gleichzeitig bearbeitet.² Zur Erzeugung bestimmter elektronischer Bauelemente — bzw. zur Erzeugung bestimmter elektrischer Eigenschaften im Kristall — sind gezielte „Verunreinigungen“ durch Fremdatome notwendig (sog. „Dotierung“), die entweder durch Aufwachsen von verunreinigten Kristallschichten (Epitaxie) oder durch direktes Injizieren von Verunreinigungsatomen in die Kristallstruktur (Ionenimplantation) verursacht werden. Durch zusätzliche Aufbringung speziell geformter Isolationsschichten und elektrisch leitender Metallschichten können auf dem Halbleitermaterial umfangreiche elek-

¹ Bosma, H. und W.C. Gelling. „LSI, eine Revolution in der Elektronik“ *Philips techn. Rdsch.* 37(11/12), 1977/78, S.291-300
vgl. „LSI“ Vorwort zum Themenheft *Philips techn. Rdsch.* 37(11/12), 1977/78, S.289

² Bosma, H. und W.C. Gelling. „LSI, eine Revolution in der Elektronik“ *Philips techn. Rdsch.* 37(11/12), 1977/78, S.291-300

trische Schaltungen in Form komplexer räumlicher Strukturen aufgebaut werden.



Schnitt durch ein integriertes Bauelement am Beispiel eines Schottky-Transistors¹

Die Formgebung der einzelnen Halbleiter-, Isolations- und Metallschichten geschieht auf lithographischem Weg durch partielles Wegätzen von Teilbereichen, die unter einer lichtempfindlichen Lackschicht nach gezielter Belichtung und Entwicklung freigelegt werden. Die Steigerung von Integrationsdichten steht damit in enger Wechselbeziehung zur Detailgenauigkeit, die im physikalisch-chemischen Lithographieprozeß erzielt werden kann. Bei hochintegrierten LSI-Schaltkreisen, die seit Mitte der 1970er Jahre Stand der Technik waren und auf denen etwa 1000 logische Gatter

Platz fanden, konnten kleinste Detailstrukturen (Abstände zwischen verschiedenen Schaltungselementen) bis herab auf etwa fünf Tausendstel Millimeter ($5 \mu\text{m}$) verkleinert werden.² Die VLSI-Technik (Very Large Scale Integration), erlaubte es, kleinste Details in einer Schaltung auf die Größenordnung von ein bis zwei Tausendstel Millimeter (ca. $1-2 \mu\text{m}$) zu verringern.³

Auch hier konnte Philips von Erfahrungen aus anderen Forschungsbereichen profitieren. So bewegten sich die Abmessungen der Informationseinheiten beim optischen Dichtspeichersystem DRAW nicht zufällig in den gleichen Größenordnungen wie kleinste Detailstrukturen, die bei der IC-Lithographie erzielt werden konnten.⁴ In beiden Fällen kamen nämlich ähnliche Verfahren zum Einsatz — so z.B. das „Schreiben“ von Belichtungsvorlagen für IC-Schichten (Masken) einerseits und von Informationen auf Dichtspeichermedien andererseits mit Hilfe von Elektronen- oder Laser-

¹ vgl. de Troye, N.C. „Digitale integrierte Schaltungen mit geringer Verlustleistung“ *Philips techn. Rdsch.* 35 (7/8), 1975/76, hier S.235

² Braun, Ernest and Stuart Macdonald. *Revolution in Miniature. The history and impact of semiconductor electronics.* 2nd ed. Cambridge University Press, 1982, S.117

³ vgl. ebenda, S.147

⁴ Allan, Roger „Electronics: experts probe world outlook“ *IEEE Spectrum* 16(7), July 1979, S.56-59 (insbes. Abb. [1]; Große Bauteilstrukturen im LSI-Layout lassen dieses jedoch auf den ersten Blick weniger fein aufgelöst erscheinen.)

strahlen.¹ Auch Erfahrungen aus der Erforschung von Gasentladungslampen kamen Philips bei notwendigen Prozeßänderungen auf dem Weg zu höheren Integrationsdichten zugute. Naßchemische Ätzverfahren stießen nämlich mit zunehmender Verkleinerung der Größenordnungen an ihre Grenzen, da bei flüssigen Ätzmitteln bereits leichtes kapillares Unterkriechen des die Ätzfläche begrenzenden Photolacks zum vollständigen Ausfall eines Schaltungselements — und somit auch des gesamten ICs — führen konnte. Abhilfe wurde durch das „Plasma-Ätzen“ geschaffen, bei dem in einer Gasatmosphäre unter dem Einfluß elektrischer Entladung Gasmoleküle in reaktive Teilchen umgesetzt wurden, die mit den zu ätzenden Oberflächen reagierten.²

Daß sich Philips außerdem an der Vereinfachung des Herstellungsprozesses von ICs beteiligte, belegt auch die Entwicklung des international anerkannten LOCOS-Verfahrens (LOCAL Oxidation of Silicon) um 1970. Eine Eigenschaft des Basismaterials Silizium, die wesentlich zur erfolgreichen Entwicklung von ICs beitrug, bestand nämlich in der Möglichkeit, auf der Halbleiteroberfläche durch thermische Oxidation eine dünne, geschlossene, homogene, außerordentlich gut haftende und mechanisch und chemisch sehr widerstandsfähige *Isolationsschicht* zu erzeugen.³ War es ansonsten notwendig gewesen, den gesamten Wafer mit einer Oxidschicht zu überziehen, um in weiteren Schritten Verbindungspunkte zu darunterliegenden Schichten freizuätzen, so konnte durch das LOCOS-Verfahren ein Prozeßschritt eingespart werden, indem die isolierende Oxidschicht nur an den benötigten Stellen lokal aufgebracht wurde.⁴ Außerdem konnte etwa bei der Anwendung der LOCOS-Technik zum Aufbau bestimmter Integrierter Schaltungen

¹ Bosma, H. und W.C. Gelling. „LSI, eine Revolution in der Elektronik“ *Philips techn. Rdsch.* 37(11/12), 1977/78, S.291-300

² ebenda

³ ebenda

⁴ Appels, J.A., E. Kooi, M.M. Paffen, J.J.H. Schatorjé und W.H.C.G. Verkuylen. „Local oxidation of silicon and its application in semiconductor device technology“ *Philips Research Reports* 25, 1970, S.118-132

zu Anwendung von LOCOS vgl. auch: Boonstra, L., C.W. Lambrechtse und R.H.W. Salters. „A 4096-b One-Transistor Per Bit Random-Access Memory with Internal Timing and Low Dissipation“ *IEEE J. Solid-State Circuits*, October 1973, S.305-310

in „MOS“-Technik¹ (dem sog. LOCOS-Verfahren²) eine erhebliche Platzersparnis bei der Integration erreicht werden.³

Neben der Beherrschung der Verfahrensschritte zur Bearbeitung des gesamten Wafers trug vor allem die Gestaltung der einzelnen Schaltungselemente zum Erreichen einer hohen Packungsdichte von ICs bei. Bei der bedeutenden Gruppe der *digitalen* ICs läßt sich dies anhand von zwei wichtigen Kriterien nachvollziehen, nämlich einerseits der Geschwindigkeit, mit der Transistoren — als wesentliche Schaltungselemente von integrierten Schaltkreisen überhaupt — betrieben werden konnten, und andererseits der elektrischen Leistung, die dazu benötigt wurde. Das Produkt aus der Schaltzeit und der Verlustleistung gab die Energie an, die in einem Transistor pro Schaltzyklus in Wärme umgesetzt und in den Halbleiterkristall abgegeben wurde.⁴ Zwar handelte es sich dabei um vergleichsweise winzige Energiemengen (selbst bei den ersten integrierten Logikschaltungen Anfang der 1960er Jahre wurden pro Transistor etwa 400 pJ, also 0,4 Milliardstel Joule benötigt⁵), im Zuge der Integrationsdichtesteigerung summierten sich jedoch die Wärmemengen, die von den zahlreichen Schaltungselementen auf kleinstem Raum abgegeben wurden, zu nennenswerten Größen auf. Um nicht die Funktionsfähigkeit der gesamten Halbleiterschaltung durch Überhitzung in Frage zu stellen, war es im Rahmen der Miniaturisierung notwendig, die Energieaufnahme einzelner Transistoren zu verringern.⁶

¹ MOS = Metal Oxide Semiconductor, Verfahren zur Herstellung von Halbleiterbauelementen

² Brandt, B.B.M., W. Steinmaier und A.J. Strachan. „LOCOS, eine neue Technologie für komplementäre MOS-Schaltungen“ *Philips techn. Rdsch.* 33, 1973/74, S.343-347

³ de Troye, N.C. „Digitale integrierte Schaltungen mit geringer Verlustleistung“ *Philips techn. Rdsch.* 35 (7/8), 1975/76, S.230-239

⁴ Transistoren werden durch elektrische Ladung gesteuert. Es ist möglich, diese durch einen starken Strom schnell oder durch einen schwachen Strom langsam zuzuführen. Im letzteren Fall ist die Schaltdauer größer, aber die Verlustleistung kleiner. Das Produkt der beiden ist für eine bestimmte Technologie etwa konstant und wird als „Gütezah!“ verwendet. Die Gütezahl hat die Dimension einer Energie. Vgl. ebenda

⁵ Bosma, H. und W.C. Gelling. „LSI, eine Revolution in der Elektronik“ *Philips techn. Rdsch.* 37(11/12), 1977/78, S.291-300

⁶ de Troye, N.C. „Digitale integrierte Schaltungen mit geringer Verlustleistung“ *Philips techn. Rdsch.* 35 (7/8), 1975/76, S.230-239

Durch die Einführung von Schottky-Dioden (1968) konnte die Schaltenergie von Transistoren auf 20 pJ herabgesetzt werden.¹ Auch in Metalloxid-Halbleitern (MOS), bei denen aus konstruktiven Gründen besonders hohe Packungsdichten erzielt werden können², konnte bis Ende der 1970er Jahre die Schaltenergie pro Transistor auf unter 10 pJ gesenkt werden. Mit noch geringerer Wärme konnte 1972 für bipolare digitale Schaltungen mit der „integrierten Injektionslogik“, kurz I²L, ein Durchbruch erzielt werden. Die Verlustenergie bei diesem Verfahren betrug pro Transistoroperation nur noch weniger als 1 pJ.³

Digitalisierung mit ICs

Die Möglichkeiten, die immer stärker integrierte ICs mit sich brachten, hatten eine erhebliche Rückwirkung auf die Art der Schaltungen, die auf diese Weise realisiert wurden. Generell war die fortschreitende Erhöhung der technologisch erreichbaren Integrationsdichten stets von der Suche nach neuen, sinnvollen Anwendungen begleitet worden.⁴ Abgesehen von Speicherchips, die sich wegen ihrer regelmäßigen Strukturen besonders eigneten, durch den Übergang zu höheren Integrationsdichten größere Speicherkapazitäten preiswert verfügbar zu machen, ging mit den technologischen Fortschritten der Hochintegration eine ungewöhnliche Problematik seitens ihrer Nutzbarmachung einher. Um neue Integrationstechniken zu etablieren, mußten elektronische Schaltungen entworfen werden, die die Verwendung höherer Integrationsdichten einerseits schaltungstechnisch erforderten und andererseits — zur Umlegung der hohen Entwicklungskosten — in großen Stückzahlen absetzbar waren. Geleitet von dem Erfolg, den die Heranziehung der bis Ende der 1960er Jahre nur unvollkommen genutzten LSI-Technik zur Entwicklung eines ersten Mikro-

¹ de Troye, N.C. „Digitale integrierte Schaltungen mit geringer Verlustleistung“ *Philips techn. Rdsch.* 35 (7/8), 1975/76, S.230-239

² nach Übergang von der trägen P-Kanal-Technik mit langen Schaltzeiten zur schnelleren N-Kanal-Technik. Vgl. ebenda

³ ebenda

de Troye, N.C. „Integrated Injection Logic — Present and Future“ *IEEE J. Solid-State Circuits* SC-9(5), October 1974, S.206-211

⁴ Moore, Gordon. „VLSI: some fundamental challenges“ *IEEE Spectrum* 16(4), April 1979, S.30-37. Zitat Moore: „Beyond memory, I haven't the slightest idea how to take advantage of VLSI“

prozessors auf einem Chip (Intel 4004) mit sich gebracht hatte, hielt die Halbleiterindustrie auch Ende der 1970er Jahre Ausschau nach geeigneten VLSI-Schaltungen, die einerseits sehr komplex und andererseits von breitem Interesse sein mußten.¹

Eine Folge dieser Suche nach neuen Anwendungen war der Einzug digitaler Methoden auch dort, wo eine analoge Behandlung naheliegender und weit weniger aufwendig gewesen wäre.² So bestand etwa in der Audiotechnik die einfachste Methode zur Verarbeitung und Speicherung eines akustischen Schalldrucksignals in dessen *analoger* Umsetzung in ein mechanisches, elektrisches oder magnetisches Signal. Die Überführung des analogen Signals in ein digitales — also das Vermessen des analogen Signals — bietet zwar den Vorteil, daß abstrakte Zahlenwerte wesentlich unempfindlicher gegenüber Verfälschungen sind als kontinuierliche Zustände. Allerdings muß diese Robustheit durch einen erheblichen technologischen Schaltungsaufwand erkauft werden.³

Solange es notwendig gewesen wäre, digitale Schaltungen mit einzelnen, diskreten Bauelementen aufzubauen, hätte die Digitaltechnik — insbesondere im Konsumbereich — aufgrund ihrer Komplexität zumindest einen unhandlichen und kostspieligen Umweg dargestellt.⁴ Erst die IC-Technologie, die es erlaubte, vor allem äußerst umfangreiche *digitale* Schaltungen verhältnismäßig einfach herzustellen und — bei großen Stückzahlen — auch äußerst billig zu reproduzieren, ebnete der Digitaltechnik den Weg, bei Mikrocomputern ebenso wie im Audiobereich.⁵

Aber auch auf die *analoge* Elektronik übte die IC-Technologie einen großen Einfluß aus. Zwar wurden hier, im Gegensatz zur

¹ Moore, Gordon. „VLSI: some fundamental challenges“ *IEEE Spectrum* 16(4), April 1979, S.30-37

Torrero, E.A. „VLSI and other solid-state devices: New fabrication technologies put us on the threshold of a quantum jump in IC complexity“ *IEEE Spectrum* 16(1), Jan. 1979, S.43ff.

² vgl. van Vessem, J.C. „From transistor to IC: a long road?“ *Philips tech. Rev.* 42 (10/11/12) Sept. 1986, hier: S.332

³ vgl. Peek, J.B.H. „Digital signal processing — growth of a technology“ *Philips tech. Rev.* 42(4), Dec. 1985, S.103-109

⁴ Bosma, H. und W.C. Gelling. „LSI, eine Revolution in der Elektronik“ *Philips techn. Rdsch.* 37(11/12), 1977/78, S.291-300

⁵ Hodges, David A., Paul R Gray und Robert W. Broderon. „Enhancing MOS/LSI's role in analog design“ *IEEE Spectrum* 16(2), February 1979, S.24-32 (Bedeutung von LSI für A/D- und D/A-Umsetzer)

Digitaltechnik, nicht immer umfangreichere Schaltungen integriert, dafür konnten jedoch die Funktionen der analogen Schaltungen qualitativ immer weiter verbessert werden.¹ Analoge Bausteine wie Operationsverstärker mit äußerst guten Rauscheigenschaften waren Ergebnis derartiger Bemühungen.

Daß auch analoge ICs eine Spezialität von Philips sind², ist kein Widerspruch zu Philips' Vorreiterrolle bei der Entwicklung des digitalen CD-Systems. Denn gerade beim kritischen Übergang zwischen digitalen und analogen Signalen konnte Philips Erfahrungen im Bereich kombinierter ICs mit digitalen und analogen Anteilen ausspielen.³ So zählten etwa Digital-Analogumsetzer von Philips, die in CD-Spielern die ausgelesenen und aufbereiteten digitalen Daten in analoge Musiksignale zurückkonvertieren, zu den besten ihrer Art.⁴

3.4 DIGITALISIERUNG

Modulation

Die Technologie Integrierter Schaltkreise eröffnete die Möglichkeit, immer umfangreichere digitale Schaltungen kompakt und verhältnismäßig preiswert herzustellen. In enger Wechselbeziehung rief dies auf der Anwendungsseite einen Trend zur Digitalisierung der Elektronik hervor. Alle Zustände, die auf elektrischem Wege umgesetzt oder erfaßt werden können, waren grundsätzlich geeignet, um als Zahlenwerte vermessen und somit digitalisiert zu werden.

Getragen wurde die theoretische Seite der Digitalisierung von zwei Forschungslinien. Zum einen bestand im Zuge der Digitalisierung die Möglichkeit, verschiedenste Informationen durch die Verlagerung auf eine abstrakte, numerische Ebene zu verknüpfen. Die Computerwissenschaft bildete damit die Grundlage von uni-

¹ Bosma, H. und W.C. Gelling. „LSI, eine Revolution in der Elektronik“ *Philips techn. Rdsch.* 37(11/12), 1977/78, S.291-300

² van Houten, S. „Applied research — the source of innovation in consumer electronics“ *Philips tech. Rev.* 44(6), Dec. 1988, S.180-189

³ de Troye, N.C. „Digitale integrierte Schaltungen mit geringer Verlustleistung“ *Philips techn. Rdsch.* 35 (7/8), 1975/76, S.230-239

⁴ vgl. Kap.2.7

versell nutzbaren Digitalcomputern. Aber auch auf einer weniger abstrakten Ebene brachte die Digitaltechnik — wie im Falle der Compact Disc — als Sonderform der *Modulation* einen Qualitätssprung mit sich.

In fast allen elektrischen Kommunikations- und Informationssystemen ist es üblich, informationstragende elektrische Signale nicht in „Reinform“, sondern in modulierter Form zu verarbeiten, um einerseits Informationen gegenüber Kanalfehlern abzuschirmen und andererseits besser übertragen zu können. Zwar sind etwa beim Rundfunk nur niederfrequente Sprach- und Musiksignale von Interesse. Da jedoch zu ihrer drahtlosen Ausbreitung wesentlich höherfrequente elektromagnetische Wellen erforderlich sind, ist es notwendig, ein hochfrequentes Trägersignal in Form des eigentlich interessierenden Quellensignals zu modulieren. Das Trägersignal selbst ermöglicht die drahtlose Ausbreitung und die selektive Empfangbarkeit, seine zeitliche Veränderung entspricht dem Audiosignal. Durch Demodulation wird das Empfangssignal im Radiogerät wieder in das ursprüngliche niederfrequente Tonsignal überführt.

Außerdem eröffnete die Modulation auch die Möglichkeit, mehrere Signale gleichzeitig über einen Kanal zu übertragen. Während die Aufteilung in getrennte „Frequenzbänder“ bei der drahtlosen Nachrichtentechnik die Voraussetzung für eine gleichzeitige Ausbreitung verschiedener Funksignale darstellt (Sprechfunk, Radio, Fernsehen, Mobiltelefonie, Satellitenfunk etc.), ist sie im kabelgebundenen Bereich aus ökonomischen Gründen angebracht. Würden keine Modulationsverfahren angewandt, so müßte für jedes Telefonsignal eine eigene Kupferleitung zur Verfügung stehen. Mit Hilfe des sogenannten Frequenzmultiplexverfahrens ist es dagegen möglich, zahlreiche analoge Telefonsignale — gestuft in verschiedene Frequenzbänder — gleichzeitig über nur eine physische Leitung zu übertragen.¹

¹ de Vrijer, F.W. „Modulation“ *Philips techn. Rdsch.* 36 (11/12), 1976/77, hier: S.337

Pulsmodulation und VLP

Eine prinzipiell andere Modulationsmethode zur gleichzeitigen Übertragung mehrerer Signale über eine Leitung besteht darin, jedem einzelnen Signal nacheinander kurze, periodisch wiederkehrende Zeitintervalle zur Verfügung zu stellen. So wie beim Kinofilm 24 einzelne, aneinandergereihte Momentaufnahmen pro Sekunde ausreichen, um den vollständigen Eindruck eines bewegten Bildes zu erzeugen, ist es auch bei Tonsignalen möglich, mit einer bestimmten Anzahl von „Momentaufnahmen“ (oder engl.: „Samples“) die vollständige Form des Signals zu erfassen. Die „Momentaufnahmen“ verschiedener Signale können dann zeitlich verschachtelt übertragen werden.¹

Realisiert werden derartige „Zeitmultiplexverfahren“ durch die Modulation von sogenannten Pulsfolgen — also z.B. einer regelmäßigen zeitlichen Abfolge kurzer Rechteckimpulse. In Abhängigkeit des modulierenden Quellensignals können diese Rechteckpulse etwa in ihrer Amplitude (PAM, Pulsamplitudenmodulation), in ihrer Frequenz (PFM, Pulsfrequenzmodulation) oder in ihrer Breite bzw. Dauer (PDM, Pulsdauermodulation) verändert werden.² Daß die Pulsmodulationsmethoden bereits als Übergangsform zur Digitalisierung angesehen werden können, wird besonders anhand der beiden letztgenannten Verfahren deutlich. Denn der zu diskreten Zeiten ermittelte Abtastwert des Signals wird sowohl bei der Pulsfrequenz- als auch bei der Pulsdauermodulation in Rechteckpulse konstanter Amplitude überführt. Das modulierte Signal nimmt damit lediglich zwei zu unterscheidende Zustände an (*kein Puls* oder *Puls dauert an*) und erhält somit — trotz fehlender diskreter Quantisierung oder abstrakter Codierung — einen binären Charakter.

Obwohl Modulation in erster Linie mit der Telekommunikation — also der *Übertragung* von Informationssignalen — verflochten ist³, machte sich Philips den Umstand zweier Signalpegel auch bei der *Speicherung* von Informationen zunutze. Da beim Auslesen

¹ de Vrijer, F.W. „Modulation“ *Philips techn. Rdsch.* 36 (11/12), 1976/77, S.352

² ebenda, S.353; der Vollständigkeit halber ist noch die „Pulsphasenmodulation“ (PPM) zu nennen

³ ebenda, S.376

optischer Dichtspeichermedien besonders einfach zwischen zwei Zuständen unterschieden werden kann (Laserstrahl wird reflektiert oder nicht reflektiert), fand beim Bildplattensystem VLP eine Kombination aus Pulsfrequenz- und Pulsdauermodulation Anwendung.¹ Während die Variationen der Abstände zwischen den in die Bildplatte eingepprägten Vertiefungen die Helligkeitsinformationen des Bildes beinhalteten, lagen die Farb- und Toninformationen als Längenvariationen der Vertiefungen vor.²

Digitale Modulation

Charakteristisch für digitale Modulationsverfahren ist die abstrakte Codierung, durch die das modulierte Signal unanfälliger gegenüber Rauscheinflüssen wird.³ Am Beispiel der Deltamodulation wird deutlich, daß auch ein simples nicht-numerisches Verfahren dem Kriterium einer abstrakten Codierung genügt und somit die einfachste Form einer digitalen Modulation darstellt. Bei der Deltamodulation wird das Informationssignal — ebenso wie bei den Pulsmodulationsverfahren — zu bestimmten Zeitpunkten abgetastet.⁴ Der jeweilige Zustand des Signals wird jedoch nicht in eine analoge Veränderung eines Impulses überführt, sondern es wird letztlich eine „Stufenkurve“ gebildet, die als quantisiertes Näherungssignal das modulierende Signal umschreibt. Bei der Bildung einer neuen Stufe wird der augenblickliche Abtastwert des Signals mit dem Wert der letzten Stufe verglichen. Ist das Signal größer als die letzte Stufe, so wird der binäre Zahlenwert „1“ übertragen, ist das Signal dagegen kleiner als die letzte Stufe, so wird eine „0“ übertragen.⁵

Diese sehr einfache Art der Digitalcodierung, die wie praktisch alle Modulationsverfahren für die Telekommunikationstechnik ent-

¹ de Vrijer, F.W. „Modulation“ *Philips techn. Rdsch.* 36 (11/12), 1976/77, S.356

² ebenda

³ Schouten, J.F., F. de Jager und J.A. Greefkes. „Deltamodulation, ein neues Modulationssystem für die Fernmeldetechnik“ *Philips techn. Rdsch.* 13 (9), März 1952, S.257-266

⁴ vgl. Kasten „Deltamodulation“, Kap. 2, S.26

⁵ Schouten, J.F., F. de Jager und J.A. Greefkes. „Deltamodulation, ein neues Modulationssystem für die Fernmeldetechnik“ *Philips techn. Rdsch.* 13 (9), März 1952, S.257-266

wickelt wurde¹, besitzt zunächst den Vorteil, im Vergleich zu anderen digitalen Modulationsverfahren als einfaches gekoppeltes Regelsystem nur eine sehr einfache Apparatur zu erfordern.² Doch trotz der einfachen Funktionsweise ist auch die Deltamodulation weitgehend unempfindlich gegenüber Störungen, die unweigerlich auf dem Übertragungsweg auftreten. Da nur zwischen zwei unterschiedlichen Zuständen („1“ oder „0“) innerhalb gleichbleibender Zeitintervalle unterschieden werden muß, kann bei der Übertragung ein gewisses Maß an Rauschen und Verzerrungen hingenommen werden, ohne die *exakte* Wiedererkennbarkeit der Digitalzahlen zu gefährden.

Da die Deltamodulation von Philips im Telefonbereich erfolgreich eingesetzt wurde³, lag es nahe, dieses Verfahren auch bei der Entwicklung der Compact Disc in Erwägung zu ziehen. Tatsächlich gelang es mit Hilfe einer verfeinerten Form der Deltamodulation⁴, die Tonqualität gegenüber den ursprünglich verwandten, von der Bildplatte VLP übernommenen analogen Pulsmodulationsverfahren zu verbessern. Doch zwei Gründe führten dazu, daß die Deltamodulation zugunsten eines aufwendigeren digitalen Modulationsverfahrens aufgegeben werden mußte. Zum einen ergab sich, daß aufgrund der mangelnden Dynamik bei hohen Frequenzen bzw. der erheblichen Verfälschungen, die bei lauten, obertonreichen Musiksignalen auftraten⁵, die Verwendung in einem Produkt, bei dem hohe Zielvorgaben bezüglich der Klangqualität einzuhalten waren, nicht angebracht erschien. Ein weiterer, informationstheoretisch tiefer liegender Grund für die Ablehnung der Deltamodulation be-

¹ de Vrijer, F.W. „Modulation“ *Philips techn. Rdsch.* 36 (11/12), 1976/77, hier: S.376

² Schouten, J.F., F. de Jager und J.A. Greefkes. „Deltamodulation, ein neues Modulationssystem für die Fernmeldetechnik“ *Philips techn. Rdsch.* 13 (9), März 1952, S.257-266

³ de Vrijer, F.W. „Modulation“ *Philips techn. Rdsch.* 36 (11/12), 1976/77, hier: S.363

Greefkes, J.A. und K. Riemens. „Codemodulation mit digital gesteuerter Kompanierung für Sprachübertragung“ *Philips techn. Rdsch.* 31(11/12), 1970/71, S.351-370

⁴ Mons, J.J. (Pers. Comm.): Es handelte sich um eine „adaptive“ Deltamodulation, bei der die Größe der Quantisierungsstufen (also das jeweilige „Delta“) sowohl von der Amplitude als auch von der Frequenz abhing.

⁵ Die Wiedergabe eines Flötenduetts wurde als „schrecklich“ empfunden; vgl. Kap.2.3

stand darin, daß Codierungsfehler (Quantisierungsrauschen) im Gegensatz zum später verwendeten PCM-Verfahren (s.u.) in Abhängigkeit zum Ausgangssignal standen und aufgrund dieser Korrelation nicht statistisch berechenbar waren.¹ Nicht einmal zentrale Parameter wie das Verhältnis von Signal- und Rauschpegel hätten somit ermittelt und zur Bestimmung weiterer Systemparameter herangezogen werden können.

Bei der CD-Entwicklung wurde die Deltamodulation zugunsten der sogenannten Pulscodemodulation (PCM)² aufgegeben. Diese unterscheidet sich von anderen Pulsmodulationsverfahren darin, daß die Amplitude des modulierenden Signals zu jedem Abtastzeitpunkt als Zahlenwert vermessen wird.³ Dieser als Quantisierung bezeichnete Vorgang kann durch das Anlegen einer „Meßlatte“ mit einer endlichen Zahl von Quantisierungsstufen an den momentanen Signalwert veranschaulicht werden. Die Digitalisierung erfolgt sodann durch Auf- oder Abrunden des abgetasteten Signalwerts auf die nächstgelegene Quantisierungsstufe. Der so ermittelte Quantisierungswert wird in der Regel in Form von Dualzahlen übertragen, die im Gegensatz zum gebräuchlichen Dezimalsystem (Ziffern „0“ bis „9“) den Vorteil bieten, zur Darstellung jeder beliebigen Zahl nur zwei verschiedene Zustände („0“ und „1“) zu benötigen. Entsprechend reichen auch zur PCM-Übertragung zwei verschiedene Pegel aus, die selbst bei Rauscheinwirkung vollständig erkannt werden können.

Digitaltechnik: verletzliche Robustheit

Zwar ist es mit Hilfe digitaler Modulationsverfahren theoretisch möglich, die Störanfälligkeit von Signalen gegenüber Rauscheinflüssen zu eliminieren, indem fehlerfrei erkennbare Binär-

¹ Peek, J.B.H. Interview 17. April 1996

² vgl. Kasten „Pulscodemodulation“, Kap.2, S.27
zur Geschichte: vgl. Deloraine, E. Maurice und Alec H. Reeves. „25 Jahre Pulscodemodulation“ *Elektrisches Nachrichtenwesen* 40(4), 1965, S.434-447; Originalveröffentlichung unter dem Titel „The 25th anniversary of pulse code modulation“ *IEEE Spectrum*, May 1965, S.56-63

³ de Vrijer, F.W. „Modulation“ *Philips techn. Rdsch.* 36 (11/12), 1976/77, hier: S.360

Greefkes, J.A. und K. Riemens „Codemodulation mit digital gesteuerter Kompanierung für Sprachübertragung“ *Philips techn. Rdsch.* 31(11/12), 1970/71, S.351-370

zustände zur Übertragung verwendet werden. Doch auch die Robustheit der Zahlenwerte stößt an ihre Grenzen, wenn es während der Datenübertragung zu schwerwiegenden Störungen oder Ausfällen kommt. Die Fehlinterpretation einer einzigen Binärziffer kann dann etwa zur Folge haben, daß aus einem sehr kleinen Zahlenwert (000000000000101 (Basis 2) = 5 (Basis 10)) eine sehr große Zahl wird (100000000000101 (Basis 2) = 32.773 (Basis 10)). Ohne Gegenmaßnahmen würde ein entsprechend verfälschtes digitales Audiosignal einen abrupten Pegelsprung vollführen, der als Klickgeräusch wahrnehmbar wäre.

Bei digitalen optischen Dichtspeicherverfahren können Störungen aller Art mit großer Regelmäßigkeit erwartet werden.¹ Neben den oben erläuterten Einzelfehlern, die etwa durch fehlerhaft eingprägte Vertiefungen in das Speichermedium entstehen können (sog. „Random“-Fehler)², treten vor allem durch Verschmutzung und Beschädigung des optischen Speichermediums großflächige Auslesefehler auf. Da bereits der Durchmesser eines einzelnen Staubkorns das Zwanzigfache der Spurbreite der Informationseinprägungen übertreffen kann³, liegen derart großflächige Fehler (sog. „Burst“-Fehler) bereits bei leichtesten Veränderungen der Speicheroberfläche vor.⁴

Obwohl die herstellungstechnisch bedingte durchschnittliche Fehlerrate beim Auslesen einer später standardisierten Compact Disc bei etwa 10^{-5} bis 10^{-6} liegt, ein einzelner Fehler also statistisch gesehen nur alle 100.000 bis 1 Mio. Bits auftritt, würden angesichts einer Audio-Datenrate von mehr als 1,4 Mio. Bits pro Sekunde

¹ Peek, J.B.H. Interview 17. April 1996
zur systematischen Einbindung der Fehlerkorrektur im Übertragungssystem Compact Disc: Peek, J.B.H. „Communications Aspects of the Compact Disc Digital Audio System“, *IEEE Communications Magazine* 23(2), Feb. 1985, S.7-15

² Vries, L.B. „The Error Control System of Philips Compact Disc“ Vortragsmanuskript, 64th Convention of the Audio Engineering Society, Nov. 2-5, 1979, N.Y., Preprint 1548 (G-8)

³ Pohlmann, Ken C. *The Compact Disc Handbook*. Oxford University Press 1992, S.61

⁴ Staubkörner auf der Oberfläche der Ausleseseite haben allerdings weniger katastrophale Auswirkungen, da sie sich nicht auf der Schärfeebene des Laserstrahls befinden. Vgl. Pohlmann, Ken C. *Principles of Digital Audio*. Sams, 2nd ed. 1989, S.225
vgl. auch Abb. S. 24

(ohne Kanalkodierung und Modulation) beim Abspielen einer CD erhebliche Störgeräusche entstehen.¹ Um diesen zu begegnen, war die Anwendung mathematischer Verfahren zur *Erkennung, Korrektur* und *Verdeckung* von Auslesefehlern (engl. error detection, correction, and concealment), die an die speziellen Anforderungen und statistischen Fehlerraten eines optischen Speichers angepaßt sein mußten, unvermeidlich.²

Fehlerkorrekturverfahren

Die Verfahren zur Erkennung und Beseitigung von Fehlern gehen unmittelbar auf die Einführung digitaler Modulationsmethoden zurück. Insbesondere die Entwicklung der Pulscodemodulation (PCM) veranlaßte den studierten Elektrotechniker und promovierten Mathematiker Claude Elwood Shannon, sich bei den Bell Laboratories der mathematischen Grundlagen der Übertragung digitaler Daten über eine verrauschte Leitung anzunehmen.³ Inspiriert durch seine Arbeiten im Bereich der Kryptographie während des Zweiten Weltkriegs formulierte er 1948 als Ergebnis ein vielbeachtetes Theorem, in dem zum Ausdruck kommt, daß die Kapazität verrauschter (also realer) Übertragungskanäle hinsichtlich der Übertragung binärer Zustände *endlich* ist und mit einer maximalen Anzahl von *Bits pro Sekunde* beziffert werden kann.⁴ Dies hat zur Folge, daß die Fehleranfälligkeit bei der Übertragung von digitalen

¹ Pohlmann, Ken C. *The Compact Disc Handbook*. Oxford University Press 1992, S.67

vgl. Immink, K.A Schouhamer. „Channel Coding für Optical Disc Systems“ In: Bouwhuis, G., J. Braat, A. Huijser, J. Pasman, G. van Rosmalen and K. Schouhamer Immink. *Principles of Optical Disc Systems*. Bristol/Boston: Adam Hilger 1985, S.238

² Peek, J.B.H. „Communications Aspects of the Compact Disc Digital Audio System“, *IEEE Communications Magazine* 23(2), Feb. 1985, S.7-15

Vries, L.B. „The Error Control System of Philips Compact Disc“ Vortragsmanuskript, 64th Convention of the Audio Engineering Society, Nov. 2-5, 1979, N.Y., Preprint 1548 (G-8)

Pohlmann, Ken C. *Principles of Digital Audio*. Sams, 2nd ed. 1989. S.192

³ Shannon, Claude E. „A Mathematical Theory of Communication“ *The Bell System Technical Journal* 27 (3), July 1948, S.379-423 und Forts. S.623-656

⁴ Vgl. Gilbert, E.N., C.L. Mallows, B. McMillan, and A.D. Wyner. „Mathematical Foundations of Communications“ In: Millman, S. (ed.) *A History of Engineering and Science in the Bell System: Communication Sciences (1925-1980)*, AT&T Bell Laboratories, 1984, hier: S.49f.

Informationen unterhalb dieser kritischen Kanalkapazität berechenbar wird und — bis hin zur theoretischen Fehlerfreiheit selbst bei verrauschten Kanälen — mit Hilfe von Codierungsverfahren beliebig reduziert werden kann.¹ Wird also der Durchsatz unabhängiger Informationen etwa durch redundante Zusatzinformationen verringert, so sinkt gleichzeitig die Wahrscheinlichkeit der Beeinträchtigung durch Übertragungsfehler. Mit diesen Aussagen begründete Shannon die sogenannte Informationstheorie und veranlaßte andere Wissenschaftler, konkrete Verfahren zur Optimierung des Verhältnisses zwischen übertragenen Symbolen und übermittelten Informationen zu entwickeln.²

Trotz Shannons Ausrichtung auf die digitale Informationsübertragung war es zunächst die noch junge Computerwissenschaft, also der Bereich der digitalen Informationsverarbeitung, in der Ende der 1940er Jahre ein konkreter Bedarf an Maßnahmen zur Fehlervermeidung entstand. Insbesondere im Rahmen der Entwicklung früher Digitalcomputer für militärische Zwecke wurden Fehlererkennungsverfahren entworfen, durch die das Auftreten von Fehlern, die den Totalausfall der Rechenanlage zur Folge haben konnten, vermieden werden sollten.³

Abgesehen von der wenig effektiven Fehlererkennung durch mehrfache Wiederholung der zu übertragenden Informationen bestand eine der einfachsten Möglichkeiten, einzelne Fehler innerhalb bestimmter Datenblöcke auszumachen, in der Hinzuziehung sogenannter „Paritäts“-Bits.⁴ Diese zusätzlichen Binärziffern werden im

¹ Peterson, W. Wesley. „Error-correcting Codes“ *Scientific American*, 206, Feb.1962, S.96-108

² vgl. Golay, M.J.E. „Notes on Digital Coding“ *Proc. of the I.R.E.* 37(6), June 1949, S.657

vgl. Rice, S.O. „Communication in the Presence of Noise—Probability of Error for Two Encoding Schemes“ *The Bell System Technical Journal* 29(1), Jan. 1950, S.60-93

vgl. Wyner, A.D. „The Capacity of the Band-Limited Gaussian Channel“ *The Bell System Technical Journal* 45 (3), March 1966, S.359-395

vgl. Gilbert, E.N., C.L. Mallows, B. McMillan, and A.D. Wyner. „Mathematical Foundations of Communications“ In: Millman, S. (ed.) *A History of Engineering and Science in the Bell System: Communication Sciences (1925-1980)*, AT&T Bell Laboratories, 1984, hier: S.55

³ Hamming, R.W. „Error Detecting and Error Correcting Codes“ *The Bell System Technical Journal* 26(2), April 1950, S.147-160

⁴ vgl. Chien, R.T. „Memory error control: beyond parity“ *IEEE Spectrum*, July 1973, S.18-23

Falle der „geraden Parität“ so gewählt, daß die Anzahl der im jeweiligen Datenblock — inklusive des angefügten Paritäts-Bits — vorkommenden *Einsen* gerade wird. Enthielt also beispielsweise ein achtstelliger digitaler Block drei *Einsen* und fünf *Nullen*, so wurde das Paritäts-Bit ebenfalls auf *Eins* gesetzt, um die Anzahl der insgesamt vorkommenden *Einsen* auf die gerade Zahl *vier* zu erhöhen. Trat nun bei der Übertragung ein einzelner Bit-Fehler auf, so konnte dieser anhand des Paritäts-Bits festgestellt, jedoch nicht lokalisiert bzw. korrigiert werden. Außerdem wurde dieses Verfahren bei einer größeren Zahl von Fehlern pro Wort untauglich, da jede gerade Anzahl von Fehlern überhaupt nicht erkannt wurde und jede ungerade Anzahl von Fehlern nicht von einem Einzelfehler unterschieden werden konnte.

Eine weitere Möglichkeit zur Fehlererkennung bestand darin, aus einer Menge von Zahlen nur eine bestimmte Teilmenge zur Codierung heranzuziehen. Konkret bedeutete dies, daß bei einer mehrstelligen Binärzahl nicht alle möglichen Permutationen von *Einsen* und *Nullen* zugelassen wurden, sondern nur eine bestimmte Liste von Binärzahlen, deren „Bitmuster“ sich deutlich voneinander unterscheiden. Die Unterscheidbarkeit (die sog. „Distanz“) mußte so ausgeprägt sein, daß beim Auftreten eines einzelnen Übertragungsfehlers aus jedem „legalen“ Wort ein „illegales“ wurde, das somit als fehlerhaft erkannt werden konnte.¹

Block-Codierung

Die theoretische Basis für Fehlerkorrekturverfahren, die auf der deutlichen Unterscheidbarkeit von charakteristischen Bitmustern beruhen, schuf 1950 der von der Großrechnerentwicklung in Los Alamos her kommende Mathematiker Richard W. Hamming.² Bei den Bell Laboratories entwickelte er ein simples, aber effektives Verfahren zur Fehlererkennung und -korrektur in Großrechenanlagen, um dort Ausfallzeiten zu vermeiden.

Beim Hamming-Code handelt es sich um einen sogenannten zyklischen Block-Code (cyclic block code), bei dem mehrere

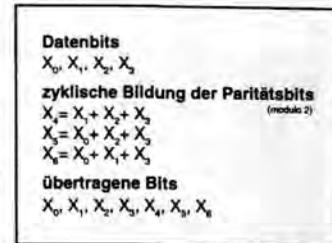
¹ Pohlmann, Ken C. *Principles of Digital Audio*. Sams, 2nd ed. 1989. S.207

² Hamming, R.W. „Error Detecting and Error Correcting Codes“ *The Bell System Technical Journal* 26 (2), April 1950, S.147-160 (s. auch Kurzbiographie S. 294)

Paritätsbits aus den Datenbits durch zyklische Auswahl bestimmter Positionen innerhalb eines Datenblocks ermittelt werden.¹ Einzeln auftretende Fehler wirken sich nicht auf alle Paritäts-Bits aus und können somit lokalisiert und korrigiert werden. Die technische Realisierung dieser Fehlerkorrekturmethode ist durch die Verwendung von im Computerbereich gebräuchlichen Schieberegistern verhältnismäßig simpel.²

Außerdem entstehen durch die Anfügung von Paritätsbits an die eigentlichen Datenbits längere Wörter, die zwar beim Auftreten von Fehlern eine große Anzahl von Permutationsvarianten ermöglichen, aufgrund der begrenzten Anzahl verschiedener Datenbit-Zustände jedoch nur eine begrenzte Anzahl verschiedener Bit-Muster annehmen. Die bereits oben erwähnte „Distanz“ zwischen den Bitmustern, also die Anzahl der Änderungen, die zur Überführung eines fehlerfreien Codewortes in ein anderes fehlerfreies notwendig sind, gibt Auskunft über das Fehlerentdeckungs- und -korrekturpotential des verwendeten Codes. Werden etwa an vier Datenbits drei Paritätsbits angefügt, die sich in unterschiedlichen Kombinationen auf jeweils drei der vier Datenbits beziehen, so entsteht eine Hamming-Distanz von „3“. Diese weist darauf hin, daß mit dem Code ein einzelner Fehler innerhalb eines jeden Codewortes korrigiert und ein doppelter Fehler erkannt werden kann.⁴

Angewandt wurden die von Hamming entwickelten Fehlerkorrekturverfahren ab 1954 im Rahmen des ehrgeizigen Projektes „Stretch“ von IBM. Aufbauend auf dem in Los Alamos entwickelten „Supercomputer“ des Typs 7030 sollte mit dem ebenfalls für militärische Aufgaben vorgesehenen „Stretch“ die hundertfache Leistungsfähigkeit des 1954 angekündigten kommerziellen IBM-



Beispiel eines cyclic block codes³

¹ Peterson, W. Wesley. „Error-correcting Codes“ *Scientific American*, 206, Feb. 1962, hier: S.102

² vgl. ebenda

³ Pohlmann, Ken C. *Principles of Digital Audio*. Sams, 2nd ed. 1989. S.200

⁴ ebenda, S.206

⁴ ebenda, S.207

Computers 704 erreicht werden.¹ Zu diesem Zweck wurde neben der ausschließlichen Verwendung von Transistoren (statt Elektronenröhren) unter anderem ein Fehlerkorrekturverfahren nach Hamming sowohl für den Magnetkern-Arbeitspeicher als auch für die Magnetscheibenspeicher vorgesehen.²

Eine Erweiterung der Hamming-Codierung wurde um 1960 unabhängig von A. Hocquenghem am Conservatoire National des Arts et Métiers in Paris und von Ray Chandra Bose und D.K. Ray-Chaudhuri an der University of North Carolina — letztere unterstützt von der US Air Force — entwickelt.³ Mit den nach Bose, Chaudhuri und Hocquenghem benannten „BCH“-Codes war es möglich, mehrere Fehler in einem Datenblock zu korrigieren.⁴ Konkret konnte mit einem exemplarischen BCH-Code die Auftrittswahrscheinlichkeit eines nicht korrigierbaren Fehlers in einem 511 Symbole umfassenden Block, der zu 171 Symbolen aus Prüfinformationen bestand, so sehr reduziert werden, daß mit einem solchen Ereignis nur alle 3 Millionen Milliarden Blöcke ($3 \cdot 10^{15}$) gerechnet werden mußte.⁵

Eine Unterklasse der BCH-Codes, die einen mittelbaren Bezug zur Fehlerkorrektur der Compact Disc besitzt, wurde 1960 von Irving S. Reed und Gustave Solomon an dem auf Militärforschung ausgerichteten Lincoln Laboratory des Massachusetts Institute of

¹ Bashe, C.J., W. Buchholz, G.V. Hawkins, J.J. Ingram and N. Rochester. „The Architecture of IBM's Early Computers“ IBM J. of Research and Development 25(5), September 1981, hier: S.364, 370f.

² Peterson, W. Wesley. „Error-correcting Codes“ *Scientific American*, 206, Feb. 1962, hier: S.102

³ Bose, R.C. and D.K. Ray-Chaudhuri. „On A Class of Error Correcting Binary Group Codes“ *Information and Control* 3, S.68-79, 1960; und ebenda: „Further Results on Error Correcting Binary Group Codes“ S.279-290
Berlekamp, E.R. „Error-Correcting Codes for Digital Audio“ In: Blesser/Locanthi/Stockham (eds.) *Digital Audio*. Collected Papers from the AES Premiere Conference, Rye, N.Y., 1982 June 3-6. New York: AES 1983, S.127-138

vgl. Peterson, W. Wesley. „Error-correcting Codes“ *Scientific American*, 206, Feb. 1962, hier: S.102

⁴ Berlekamp, E.R. „Error-Correcting Codes for Digital Audio“ In: Blesser/Locanthi/Stockham (eds.) *Digital Audio*. Collected Papers from the AES Premiere Conference, Rye, N.Y., 1982 June 3-6. New York: AES 1983, S.127-138

⁵ Peterson, W. Wesley. „Error-correcting Codes“ *Scientific American*, 206, Feb. 1962, hier: S.102

Technology (MIT) entwickelt.¹ Durch die Verwendung von Polynomen zur Ermittlung der Prüfinformationen waren die sehr strukturierten Reed-Solomon-Codes geeignet, um durch die Bildung zweier unterschiedlich gewichteter Prüfsummen eine größere Zahl von fehlerhaften Bits innerhalb eines Datenblocks vollständig zu korrigieren.²

Convolutional Codes für die CD

Als Mitarbeiter der Nat.Lab.-Forschungsgruppe „Distribution Systems and Fundamental Aspects“ von Dr. J.B.H. Peek befaßte sich bei Philips Lodewijk „Lorend“ Vries mit Fehlerkorrekturverfahren für das ALP-/CD-System.³ Schon der Übergang vom analogen VLP-Derivat zur digitalen Modulation war 1976 durch seine Arbeiten beeinflusst worden, da er keine geeigneten Konzepte gefunden hatte, großflächige Burst-Fehler mit Hilfe eines analogen Systems zu beheben oder zu verdecken.⁴ Mit der Verwendung diskreter, digitaler Informationseinheiten sah er hingegen die Möglichkeit, sowohl Einzel- als auch Burstfehlern zu begegnen. Aufbauend auf Erfahrungen bei der Entwicklung des optischen Datenspeichersystems DRAW entwarf er zunächst ein zweifach wirkendes Fehlerkorrektursystem bestehend aus einem BCH-Code und einer sogenannten „Interleaving“-Stufe.⁵ Während die BCH-Codierung dazu diente, verstreute Random-Fehler zu erkennen und zu korrigieren, sollten lange Burst-Fehler, die sich auch beim DRAW-System als besonders problematisch erwiesen hatten, durch Interleaving — also der Durchmischung von Datenblöcken — in



Prof. J.B.H. Peek

¹ Reed, I.S. and G. Solomon. „Polynomial Codes over Certain Finite Fields“ *Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics* 8(2), June 1960, S.300-304

² Pohlmann, Ken C. *Principles of Digital Audio*. Sams, 2nd ed. 1989. S.210

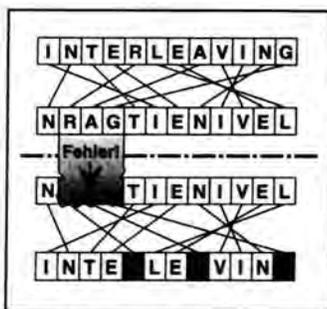
³ Peek, J.B.H. Interview 17. April 1996

⁴ ebenda

⁵ vgl. Progress Report, Naturkundig Laboratorium, Group: Distribution systems and fundamental aspects, Dr.Ir. J.B.H. Peek, Period: April - June 1976, S.3, Nr.4 „Optical disc“

Kennedy, George C., D.Y.K. Lou, R. McFarlane, A.Y. Chang, J.S. Nadan, T.R. Kohler, J.G. Wagner und F.Zernike. „An optical disk replaces 25 mag tapes“, *IEEE Spectrum*, February 1979, S.33-38

kleinere und somit ebenfalls korrigierbare Fehlerbereiche aufgespalten werden.



Beispiel
Interleaving / Deinterleaving

Wird nämlich eine durchmischte Folge von Datenblöcken beim Auslesevorgang für einige Zeit gestört, so ergibt sich, daß nach der Rückgängigmachung der Durchmischung — dem De-Interleaving — große, zusammenhängende Fehler auf kleine Fehler verteilt werden.¹ Während es ohne Interleaving notwendig wäre, die Redundanz der Codierungen so zu erhöhen, daß auch die größten zusammenhängenden Burst-Fehler korrigiert werden können, sind mit Interleaving (unter der Voraussetzung, daß der gesamte Interleaving-Bereich innerhalb dessen Datenblöcke vertauscht werden, deut-

lich größer ist als der auftretende Burstfehler) die längsten zusammenhängenden Fehler auf die Größe eines einzigen vertauschten Datenblocks begrenzt.²

Bis zur Fertigstellung eines Prototyps des CD-Systems, der 1979 auch zu Vorführungen in Japan eingesetzt wurde,³ entwickelte Vries die CD-Fehlerkorrekturverfahren weiter. Ausgehend von einer empirisch durch Marino Carasso von der optischen Forschungsgruppe ermittelten Bitfehlerstatistik wählte er — vor allem mit Blick auf die Vereinfachung der erforderlichen Decodierungselektronik und deren Integrierbarkeit in einen einzigen LSI-Chip⁴ — anstelle eines BCH-Codes einen sogenannten Convolutional Code, der sich auf veröffentlichte Vorarbeiten⁵ von E.R. Berlekamp

¹ vgl. Pohlmann, Ken C. *The Compact Disc Handbook*. Oxford University Press, 1992, S.65

² Vries, L.B. „The Error Control System of Philips Compact Disc“ Vortragsmanuskript, 64th Convention of the Audio Engineering Society, Nov. 2-5, 1979, N.Y., Preprint 1548, S.7

vgl. Pohlmann, Ken C. *Principles of Digital Audio*. Sams, 2nd ed. 1989, S.215

³ vgl. Kap.2.4

⁴ Vries, L.B. „The Error Control System of Philips Compact Disc“ Vortragsmanuskript, 64th Convention of the Audio Engineering Society, Nov. 2-5, 1979, N.Y., Preprint 1548, S.9

⁵ ebenda, S.4

vgl. Berlekamp, Elwyn R. „Note on Recurrent Codes“ (Correspondence) *IEEE Transactions on Information Theory* IT-10(3), July 1964, S.257-258;

und Franco P. Preparata und auf Arbeiten von Ph. Piret am Brüsseler MBLE-Laboratorium des Philips-Konzerns stützte.

Konkret belief sich die Auftrittswahrscheinlichkeit einfacher Random-Fehler mit einer Fehlerlänge von 1-3 bit auf etwa $2 \cdot 10^{-4}$ (mit einem solchen Fehler war also relativ häufig, nämlich einmal innerhalb von 20.000 Bits zu rechnen).¹ Wesentlich seltener traten dagegen längere Fehler mit einer Anzahl von bis zu 32 verfälschten Bits auf ($6 \cdot 10^{-7}$), Burst-Fehler mit einer Länge von bis zu 200 Bits waren nur vereinzelt auf einer Platte aufzufinden; noch längere Fehler wurden aus statistischen Gründen völlig vernachlässigt.

Genau auf diese Bitfehlerstatistik schnitt Vries mit Hilfe von aufwendigen Computersimulationen² eine möglichst effektive Fehlerkorrektur- und -verdeckungsstrategie — bestehend aus Kodierung, Interleaving und Verdeckung — zu. Die Convolutional-Codierung nach Berlekamp/Preparata sah vor, Fehlerkorrektur nicht nur isoliert für jeweils aufeinanderfolgende Datenblöcke durchzuführen, sondern bei der Decodierung größere Datenbereiche in die Prüfung miteinfließen zu lassen, so daß im Anschluß an den Auslesevorgang jedes Datenbit (genauer: jedes Daten-Tupel bestehend aus 3 Bits) von einer Abfolge sich überlappender, fortschreitender Prüfbereiche überstrichen wurde.³ In Abänderung der Vorgaben von Berlekamp/Preparata entwickelte Vries den Code dahingehend

vgl. Preparata, Franco P. „Systematic Construction of Optimal Linear Recurrent Codes for Burst Error Correction“ *Calcolo* 1964, S.147-153

vgl. Piret, Ph. „Structure and Error Probability of Burst-Correcting Convolutional Codes“ *Philips Research Reports* 27, 1972, S.244-256

¹ Vries, L.B. „The Error Control System of Philips Compact Disc“ Vortragsmanuskript, 64th Convention of the Audio Engineering Society, Nov. 2-5, 1979, N.Y., Preprint 1548, S.3

² Vries im Original: „exhaustively search... using 50 hours of minicomputer time“, ebenda.

Dabei handelte es sich um einen Minicomputer des Typs VAX 11 von DEC (Pers. Comm. J.B.H. Peek)

³ Vries, L.B. „The Error Control System of Philips Compact Disc“ Vortragsmanuskript, 64th Convention of the Audio Engineering Society, Nov. 2-5, 1979, N.Y., Preprint 1548, S.3ff.

Piret, Ph. (MBLE, Brussels). „Convolutional Codes and Irreducible Ideals“ *Philips Research Reports* 27, 1972, S.257-271

Pohlmann, Ken C. *Principles of Digital Audio*. Sams, 2nd ed. 1989, S.213

Guterl, Fred. „Compact Disc“ *IEEE Spectrum* 25(11): 102-108, 1988

weiter, daß dieser innerhalb eines fortschreitenden Prüfsegments, dessen Länge („decoding constraint length“) mit Blick auf die Minimierung des erforderlichen Speicheraufwandes gering gehalten werden mußte, nicht nur einen einzelnen Bitfehler (genauer: ein fehlerhaftes Tupel bestehend aus 3 Bits), sondern die statistisch häufig auftretenden Fehler mit einer Länge bis zu 3 Bits vollständig korrigieren konnte.¹

Burst-Fehler mit einer Länge von bis zu 200 Bits wurden durch entsprechend weiträumiges Interleaving so verteilt, daß sie nach dem Rückgängigmachen (De-Interleaving) wie Random-Fehler auftraten und als solche korrigiert werden konnten. Erkannte, jedoch nicht korrigierbare oder falsch korrigierte Fehler wurden als „unzuverlässig“ („unreliable data detection“) gekennzeichnet und konnten nachfolgend verdeckt werden.² Dabei wurde entweder ein Interpolations-Verfahren angewandt, um die Form des Signals näherungsweise nachzubilden, oder es erfolgte eine kurzzeitige, bis zur völligen Stummschaltung reichende Ausblendung des Signals. Diese von Vries als „Scratch Annoyance Elimination“ (also das Ausschalten von Belästigungen durch Kratzer) und später als „Muting“ bezeichnete Vorgehensweise war bei der Wiedergabe unauffälliger als das Durchlassen des fehlerhaften Signals, das als „digitales Rauschen“ deutlich hörbares Knattern und Klicken erzeugen konnte.³

Änderungswünsche von Sony

Diese von Philips für das Compact-Disc-System vorgesehene Fehlerkorrekturstrategie zählt zu den wenigen technischen Details, die im Zuge der Kooperation mit Sony völlig abgeändert wurden.

¹ Vorsicht: Von einem beliebigen 3-bit-Auslesefehler ist nur mit einer Wahrscheinlichkeit von 1:3 ein einziges 3-bit-Tupel betroffen, wahrscheinlicher ist dagegen die Verfälschung zweier aufeinanderfolgender Tupel.

² Vries, L.B. „The Error Control System of Philips Compact Disc“ Vortragsmanuskript, 64th Convention of the Audio Engineering Society, Nov. 2-5, 1979, N.Y., Preprint 1548, S.7

³ vgl. Progress Report, Naturkundig Laboratorium, Group: Digital Signal Processing Techniques for Electronic Systems, Dr.Ir. J.B.H. Peek, Period: July - September 1978, S.2, Nr. 3.2 „Compact disc“ Pohlmann, Ken C. *The Compact Disc Handbook*. Oxford University Press 1992, S.66

Zwar ermöglichten die vorgesehenen Convolutional Codes im Vergleich zu Block-Codes bei gleichem Umfang zusätzlicher Redundanzinformationen eine bessere Fehlerkorrektur, da sie auf einer größeren Datenmenge basierten.¹ Andererseits wendete sich jedoch die Stärke des Convolutional Codes, zurückliegende Daten zur Fehlerkorrektur miteinzubeziehen, genau dann in einen erheblichen Nachteil, wenn Fehler endgültig nicht korrigiert oder überhaupt nicht erkannt werden konnten. Während ersteres zur Aktivierung der Interpolations- und Muting-Stufe führte, flossen nicht erkannte Fehler über zahlreiche Schritte in den Fehlerkorrekturmechanismus der folgenden Daten ein und pflanzten sich somit unerkannt über das ursprüngliche fehlerhafte Ereignis hinaus fort.² Auch diese Fortpflanzung führte dazu, daß neu auftretende Fehler, die auch als solche erkannt wurden, unerwartet oft *nicht* korrigiert und ebenfalls durch Interpolation und Muting verdeckt werden mußten.³

Diese Schwäche des Convolutional-Code-Prinzips veranlaßte Dr. Toshi T. Doi als Leiter der technischen Kooperationsverhandlungen mit Philips, die Neuentwicklung eines Fehlerkorrekturverfahrens für die CD in Betracht zu ziehen. Doi, der auf erhebliche Erfahrungen im Bereich der digitalen Codierung von Audiosignalen zurückgreifen konnte, hatte bei eigenen Sony-Entwicklungen wie dem professionellen „DASH“-Recorder (Digital Audio Stationary Head) mit seiner gegenüber Fingerabdrücken empfindlichen offenen Bandführung gute Erfahrungen mit abgewandelten Blockcodes gemacht.⁴ Um diese auch für Burst-Fehler tauglich zu machen, hatte er zusammen mit seinen Mitarbeitern das sogenannte „Cross-Interleaving“-Verfahren entwickelt.⁵ Da bei der CD ähnliche Burst-Fehler zu erwarten waren wie beim DASH-Recorder,

¹ Doi, Toshi T. „Error Correction for Digital Audio Recordings“ In: Blesser/Locanthi/Stockham (eds.) *Digital Audio*. Collected Papers from the AES Premiere Conference, Rye, N.Y., 1982 June 3-6. New York: AES 1983, hier S.154

Pohlmann, Ken C. *Principles of Digital Audio*. Sams, 2nd ed. 1989. S.215

² ebenda (Doi und Pohlmann)

³ Peek, J.B.H. Interview 17. April 1996 (Vries, 3. Quartalsreport 1978)

⁴ Doi, Toshi T. „Error Correction for Digital Audio Recordings“ In: Blesser/Locanthi/Stockham (eds.) *Digital Audio*. Collected Papers from the AES Premiere Conference, Rye, N.Y., 1982 June 3-6. New York: AES 1983, hier S.163

⁵ ebenda, S.174

wurde zunächst auch hier in Form des von Sony weiterentwickelten „Improved Cross Interleave Codes“ (ICIC) die Kombination aus herkömmlichem Interleaving und einer *mehrfachen* Block-Codierung angewandt.¹ Konkret handelte es sich um eine zwei-stufige Code-Bildung, bei der die Datenblöcke zunächst durch Paritätsinformationen ergänzt, dann zwischengespeichert und einem Interleaving-Prozeß unterworfen, und anschließend unter Heranziehung anderer Datenblockstrukturen ein zweites mal codiert wurden. Mit diesem Verfahren konnten die Vorzüge von einfachen Block-Codes und weiträumigen Convolutional Codes kombiniert werden.²

Auf der Suche nach einer Kodierung mit einem möglichst geringen Umfang an Redundanzinformation³ wurde zwischenzeitlich im Januar 1980 ein von Doi entwickelter Code mit der Bezeichnung „cross b-adjacent code“ (CBAC) in Betracht gezogen.⁴ Auch hierbei handelte es sich um einen Cross-Interleave-Code, bei dem die Kontrollinformationen der Block-Codierung — ähnlich, wenngleich einfacher als beim später gewählten Reed-Solomon-Code — durch verschiedene Potenzen vorgegebener Matrizen gewichtet wurden. Das schließlich im Juni 1980 für die CD vereinbarte Fehlerkorrekturverfahren mit der Bezeichnung „CIRC“ für „Cross-Interleaved Reed-Solomon Code“ stellte aufgrund der Verringerung der aufzuwendenden Redundanzinformationen bei gleicher Burst-Fehler-Tauglichkeit nochmals eine Verbesserung gegenüber den zuvor von Sony eingebrachten Codes dar.⁵ Ein vor allem im Hinblick auf die Vermarktung (!) interessantes Detail

¹ Doi, Toshi T. „Error Correction for Digital Audio Recordings“ In: Blesser/Locanthi/Stockham (eds.) *Digital Audio*. Collected Papers from the AES Premiere Conference, Rye, N.Y., 1982 June 3-6. New York: AES 1983, hier: S.157, 169f.

² Pohlmann, Ken C. *The Compact Disc Handbook*. Oxford University Press 1992, S.218,219

³ Vries, Lodewijk B. und Kentaro Odaka. „CIRC — The Error-Correcting Code for the Compact Disc Digital Audio System“ In: Blesser/Locanthi/Stockham (eds.) *Digital Audio*. Collected Papers from the AES Premiere Conference, Rye, N.Y., 1982 June 3-6. New York: AES 1983, hier: S.179

⁴ Doi, Toshi T. „Error Correction for Digital Audio Recordings“ In: Blesser/Locanthi/Stockham (eds.) *Digital Audio*. Collected Papers from the AES Premiere Conference, Rye, N.Y., 1982 June 3-6. New York: AES 1983, hier: S.173,175

⁵ ebenda, Fig.74, S.170

stellte die Möglichkeit dar, bei der Decodierung (im CD-Spieler) die aus den beiden Reed-Solomon-Codierungsstufen zur Verfügung stehenden Informationen nach verschiedenen Strategien auszuwerten.¹ So sollte bei preiswerten CD-Spielern mit vergleichsweise geringem Schaltungsaufwand eine einfache Fehlerkorrekturstrategie verfolgt werden können, während bei teureren Geräten eine aufwendigere Strategie zu einer höheren Korrekturwahrscheinlichkeit von Burst-Fehlern führen sollte. Mit der sogenannten „Superstrategie“ sollte schließlich durch wiederholte Heranziehung der Redundanzinformationen aus beiden Reed-Solomon-Codes das Potential der Codierung vollständig ausgenutzt werden² — diese kam jedoch in den ersten vermarkteten CD-Spielern noch nicht zum Einsatz.³ Mit CIRC war theoretisch eine vollständige Korrektur eines Burst-Fehlers von etwa 4000 bit in Folge möglich — dies entspricht einer Zeitspanne von 1,9 Millisekunden oder einem 2,47 mm langen Defekt auf der Platte.⁴ Fehler bis zu einer Länge von 12.304 Bits konnten darüber hinaus durch Interpolationsverfahren verdeckt werden. Bei noch längeren Fehlern, wie etwa bei größeren, längs der Informationsspur verlaufenden Kratzern in der Oberfläche des Speichermediums, erfolgte eine kurzzeitige Stumm-schaltung des Signals (Muting).

EFM — digitale Daten als analoges Signal

Eine zusätzliches (wenngleich nicht in erster Linie als solches vorgesehenes) Fehlererkennungs- und Korrekturverfahren ergab sich aus dem vom Nat.Lab.-Forscher Kees A. Schouhamer Immink für die CD entwickelten Kanalkodierungs- und -modulationsverfahren mit der Bezeichnung EFM für „Eight-to-Fourteen Modu-

¹ Vries, Lodewijk B. und Kentaro Odaka. „CIRC — The Error-Correcting Code for the Compact Disc Digital Audio System“ In: Blesser/Locanthi/Stockham (eds.) *Digital Audio*. Collected Papers from the AES Premiere Conference, Rye, N.Y., 1982 June 3-6. New York: AES 1983, S.178-186

² ebenda, S.184

³ Hoeve, H., J. Timmermans and L.B. Vries. "Error correction and concealment in the Compact Disc system" *Philips tech. Rev.* 40(6), 1982, S.166-172

⁴ ebenda, S.170

Pohlmann, Ken C. *The Compact Disc Handbook*. Oxford University Press 1992, S.73

lation".¹ Grundsätzlich dient dieses Verfahren dazu, die nach der Pulsmodulation, der Fehlercodierung und der Hinzufügung von Zusatzinformationen vorliegenden Daten (also dualen Zahlen) an das optische Speichermedium CD anzupassen. Zwar liegen auch dort in Form der eingepprägten Pits binäre Zustände vor; diese treten jedoch beim Auslesen mittels eines Laserstrahls als oszillierendes *analoges Signal* in Erscheinung. Insofern nimmt die Modulation eine Brückenfunktion zwischen abstrakten numerischen Informationen und deren serieller Übertragung und Speicherung als (im Idealfall pulsförmiges²) oszillierendes Analogsignal ein.

Die unmittelbare Speicherung der nach der Fehlercodierung vorliegenden Daten etwa in der Form, daß jeder „1“ eine Einprägung im optischen Speichermedium entspräche, ist aus mehreren Gründen untauglich. Aus der sich dabei ergebenden fast zufälligen Abfolge von Einsen und Nullen würde die *kleinste* Einprägung auf der Platte den Informationsgehalt eines einzigen Bits repräsentieren. Da jedoch die optische Auflösung eines laserabgetasteten Speichermediums durch den Durchmesser des Laserstrahls begrenzt ist, richtet sich die maximale Speicherkapazität nach den kleinsten Informationseinheiten, die optisch darstellbar sind.³ Ziel der Kanalcodierung eines optischen Dichtspeichermediums ist es daher, den Informationsgehalt einer kleinstmöglichen Einprägung zu erhöhen.

Konkret geschah dies im Zuge der Eight-to-Fourteen-Modulation durch bestimmte Bitmuster, die mit Blick auf die Länge der Pit-Einprägungen gewählt wurden. Dabei fand eine Überführung achtstelliger Dualzahlen, die 256 verschiedene Werte annehmen können, in 14-stellige Dualzahlen statt. Aus dem Überangebot der 16.384 Werte, die mit 14-stelligen Dualzahlen theoretisch darstellbar sind, wurden 256 Zahlen kondensiert, die einem bestimmten („Laufängen-“) Kriterium genügen: Alle Zahlen waren so gewählt, daß die entsprechenden Pit-Einprägungen in der Platte nicht kürzer als drei Bits und nicht länger als elf Bits waren. Weil hierdurch

¹ Heemskerck, J.P.J. und K.A. Schouhamer Immink. „Compact Disc: system aspects and modulation“ *Philips techn. Rev.* 40 (6), 1982, S.157-164

² Tatsächlich liegt beim realen Auslesevorgang einer CD eine Bandbreitenbegrenzung derart vor, daß die Bitfolgen nicht aus einem pulsförmigen, sondern aus einem „sinus-ähnlichen“ Auslesesignal (dem sogenannten „Augenmusterdiagramm“, engl. „eye-pattern“) rekonstruiert werden.

³ Heemskerck, J.P.J. und K.A. Schouhamer Immink. „Compact Disc: system aspects and modulation“ *Philips techn. Rev.* 40 (6), 1982, S.157-164

jeder kleinsten Einprägung ein Informationsgehalt von *drei* Bits zugeordnet wurde, konnte trotz der Vergrößerung der absoluten Datenmenge im Verhältnis von 14:8 eine *Erhöhung* der Speicherkapazität der CD erreicht werden.¹

Mit Hilfe von Computerberechnungen wurde aus der Menge der 267 14-stelligen Zahlen, die dem Laufängenkriterium ($3 < x < 11$) genügten, eine Übersetzungstabelle zwischen acht- und vierzehnstelligen Zahlen ermittelt, die die spätere Demodulation im CD-Spieler mit einer möglichst geringen Anzahl von Gattern erlaubte.³ Ein wichtiges Auswahlkriterium war außerdem die Vermeidung von Bitfolgen, die beim Auslesen niederfrequente Spektralanteile unterhalb von 20 kHz aufwiesen.⁴ Da die Ausleseoptik bei ihrer Nachführung unter der Informationsspur der Platte in genau diesem Frequenzbereich um die Ideallinie oszillierte, hätten entsprechende Frequenzanteile des auszulesenden Signals zu einer Störung der Regelungselektronik geführt. Aufgrund der Möglichkeit einer entsprechenden Hochpaßfilterung schützte der Verzicht auf niederfrequente Signalanteile auch gleichzeitig vor Einflüssen durch Fingerabdrücke auf der Oberfläche des Tonträgers, die ebenfalls als niederfrequente Signalabschwächungen in Erscheinung traten.⁵

Data bits	Channel bits
00000000	01001000100000
00000001	10000100000000
00000010	10010000100000
00000011	10001000100000
00000100	01000100000000
00000101	00000100010000
00000110	00010000100000
00000111	00100100000000
...	...

EFM-Übersetzungstabelle²

¹ Doi, Toshi T. „Channel Codings for Digital Audio Recordings“ *JAES* 31(4), April 1983, S.224-238

² Pohlman, Ken C. *The Compact Disc Handbook*. Oxford University Press, 1992, S.79

Zu beachten ist, daß bei der Bildung der Pit-Einprägungen das sogenannte „Non-Return-to-Zero-Inverted“-Verfahren (NRZI) zur Anwendung kommt: An- und abfallende Flanken eines Pits werden durch *Einsen* gekennzeichnet.

³ Heemskerck, J.P.J. und K.A. Schouhamer Immink. „Compact Disc: system aspects and modulation“ *Philips techn. Rev.* 40(6), 1982, hier: S.162

⁴ Peek, J.B.H. „Communications Aspects of the Compact Disc Digital Audio System“ *IEEE Communications Magazine* 23(2), February 1985, hier: S.8

⁵ ebenda, S.7-15

Heemskerck, J.P.J. und K.A. Schouhamer Immink. „Compact Disc: system aspects and modulation“ *Philips techn. Rev.* 40 (6), 1982, S.157-164

Zur Vermeidung niederfrequenter Signalanteile wurden auch sogenannte „Merging Bits“, die jedem 14-stelligen Codewort angehängt wurden, herangezogen. Diese wurden so zu „1“ oder „0“ gesetzt, daß Gleichspannungsanteilen entgegengewirkt wurde.

Quasi als Nebeneffekt erzeugten Hamming-Distanzen zwischen den ausgewählten 14-stelligen Codewörtern genau dann zusätzliches Fehlerkorrekturpotential, wenn beim Auftreten einzelner Bitfehler das entstehende „illegale“ Wort eine größere Nähe zum Ausgangscode aufwies als zu jedem anderen „legalen“ Codewort.¹

Schließlich wurden im Zuge der Modulation Vorkehrungen zur Synchronisation des Bitstroms getroffen. Die Einfügung von Synchronisationswörtern, die ebenfalls dem Lauflängenkriterium der EFM genügten, jedoch ansonsten nicht zur Übersetzung herangezogen wurden und somit eindeutig wiedererkennbar waren, konnten — auch nach einer kurzzeitigen Unterbrechung des seriellen Datenstroms, z.B. durch Burst-Fehler oder „Vor-/Rückspulen“ — zur Synchronisation, also zur Identifikation logisch zusammenhängender Datenblöcke herangezogen werden.²

Erfahrungen aus Telekommunikation und Computerentwicklung

Während analoge wie digitale Modulationsverfahren eng mit der Telekommunikation verflochten sind, geht die Entwicklung von Fehlerkorrekturverfahren — unter eindeutig militärischen Vorzeichen — auf die frühe US-amerikanische Computertechnik zurück. Obwohl Philips bis zum Zeitpunkt der Entwicklung der Compact Disc sowohl im Telekommunikations- als auch im Computerbereich unternehmerische Aktivitäten entwickelt hatte, kann von einer maßgeblichen Beteiligung des Philips-Konzerns an der Erforschung der entsprechenden informationstheoretischen Grundlagen nicht die Rede sein.

Denn ausgehend von der Glühlampen-Herstellung beschäftigte sich Philips erst verhältnismäßig spät mit der Telekommunikation. Unter Nutzung eigener Elektronenröhren-Patente belieferte die Anfang der 1930er Jahre gegründete „Transmission Group“ zunächst die niederländische Postverwaltung mit Verstärkern und Pupin-

¹ Pohlman, Ken C. *The Compact Disc Handbook*. Oxford University Press, 1992, S.79

² Peek, J.B.H. „Communications Aspects of the Compact Disc Digital Audio System“ *IEEE Communications Magazine* 23(2), February 1985, S.7-15
Heemskerk, J.P.J. und K.A. Schouhamer Immink. „Compact Disc: system aspects and modulation“ *Philips techn. Rev.* 40 (6), 1982, S.157-164

Spulen zum Aufbau eines Telephonnetzes.¹ Erst nach dem Zweiten Weltkrieg, im Zuge des Wiederaufbaus des niederländischen Telephonnetzes, nahm sich Philips auch — in Form einer 1947 als *Philips' Telecommunicatie Industrie* ausgelagerten Konzerntochter — dem vollständigen Telefonsystem, insbesondere dem Bau automatischer Telefonvermittlungen, an.² Die praktische Auseinandersetzung mit Modulationsverfahren setzte also erst entsprechend spät ein.

Auch im Computerbereich zählte Philips nicht zu den Pionieren der Branche. Nur in der ersten Hälfte der 1970er Jahre konnte Philips in diesem Sektor kurzzeitig Erfolge mit eigenständigen Entwicklungen verbuchen.³ Die von Philips entwickelte Großrechnerfamilie P 1000 wurde nach dem Scheitern einer Zusammenarbeit mit Siemens und der französischen Compagnie Internationale pour l'Informatique (CII) im Jahre 1975 aufgegeben.⁴ Aber auch eine Neuausrichtung auf kleinere Mini- und Business-Computersysteme brachte lediglich über die Befruchtung des Telekommunikationsbereichs in Form spezieller digitaler Telefonvermittlungcomputer Erfolge mit sich.⁵ Auch im Bereich der Informationsverarbeitung kann also von einer frühen Anhäufung von theoretischem Wissen aus der Praxis der Computerentwicklung heraus keine Rede sein. Das Wissen, das aus Telekommunikation und Computerentwicklung — umgesetzt etwa in digitalen Telefonübertragungs- und Vermittlungsanlagen — zur Verfügung stand, hätte nicht ausgereicht, um ein in mancherlei Hinsicht über den Stand der Technik hinausgehendes Produkt wie die Compact Disc zu entwickeln.

¹ Brouwer, J.F. „Half a century of 'electronification' in telephony systems“ *Philips techn. Rev.* 42 (10/11/12), Sept. 1986, S.361-373

² ebenda

³ vgl. *Philips Jaarverslag 1972 bis Jaarverslag 1977* (Jahresberichte)

⁴ Bis Ende 1972 waren 117, bis Ende 1973 150 dieser Systeme aufgestellt worden,

vgl. *Philips Jaarverslag 1972, 1973*, Das Scheitern wird als Konsequenz eines französischen Regierungsbeschlusses zur Förderung der heimischen Computerindustrie dargestellt. vgl. *Philips Jaarverslag 1975*, „*Verslag van de Raad van Bestuur*“, S.5

⁵ *Philips Jaarverslag 1975*, „*Verslag van de Raad van Bestuur*“, S.5-6;

Brouwer, J.F. „Half a century of 'electronification' in telephony systems“ *Philips techn. Rev.* 42 (10/11/12), Sept. 1986, S.361-373

Forschung als Ressource

Angesichts der Tatsache, daß im Rahmen der Produktentwicklung gewonnene technische Kenntnisse es zwar gestattet hätten, ein hochtechnologisches System wie die Compact Disc zu entwerfen, nicht aber, dieses über die Hürden der vorherrschenden technischen Machbarkeit hinweg zu entwickeln, wird die Bedeutung der Industrieforschung als „Know-how-Reservoir“¹ für ein Unternehmen deutlich, das sich in einem schnell verändernden Markt wie dem der Konsumelektronik betätigt. So liegt nämlich sowohl im Falle der Pulsmodulation als auch bei den Fehlerkorrekturverfahren zwischen der ursprünglichen Entwicklung der theoretischen Grundlagen und deren großindustrieller Anwendbarkeit eine — gemessen an der Kurzlebigkeit der vermarkteten Konsumgüter — erhebliche Zeitspanne. Da jedoch von der Entwicklungsabteilung eines Industrieunternehmens eine evolutionäre oder allenfalls (wie im Falle der CD) revolutionäre Weiterentwicklung der aktuellen Produktpalette erwartet werden muß, kann eine Inkubation und Bewahrung von zunächst nicht anwendbaren Theorien über eine längere Zeitspanne hinweg dort nicht gewährleistet werden. Wird diese Aufgabe von einer freien (oder strategisch vorausschauenden) Forschungsabteilung wahrgenommen, so besteht die Möglichkeit, bewahrtes Wissen und praktische Anwendung zum gegebenen Zeitpunkt zusammenzufügen. Die Entwicklung des hochtechnologischen Compact-Disc-Systems durch ein europäisches Industrieunternehmen, das seine Wurzeln weniger in der Nachrichtentechnik und erst recht nicht in der frühen militärischen Digitalrechnerentwicklung, sondern bei der Herstellung von Glühlampen hat, veranschaulicht genau diesen Idealfall.

¹ vgl. Schmidt-Tiedemann, K.J. „Aktuelle Probleme des Managements industrieller Forschung“ In: Philips. *Unsere Forschung in Deutschland*. Bd.II, Aachen/Hamburg 1972, S.14-20

3.5 FAZIT

Es liegt nahe, die im vorangegangenen *Kapitel 2* erklärte Linearität der Produktentwicklung des Compact-Disc-Systems angesichts des Ausmaßes der sich über Jahrzehnte erstreckenden wissenschaftlichen Vorarbeiten in Frage zu stellen. Tatsächlich kann davon ausgegangen werden, daß die Beteiligung an Hochtechnologieentwicklung für ein nicht-forschendes Industrieunternehmen erhebliche Reibungsverluste beim Aufbringen externen Wissens und dessen Überführung in die eigene Entwicklungsarbeit mit sich bringen würde. Kann jedoch bereitstehendes Grundlagenwissen der erforderlichen Art bei Bedarf in die Entwicklung einfließen, so ist trotz der an sich aufwendigen Koordinierung von Forschungsinhalten und Produktvorstellungen eine geradlinige Produktentwicklung möglich. Im Falle der CD-Entwicklung ist dem Philips-Konzern genau dieses Zusammenspiel zwischen Wissenschaft und Technik gelungen. Zum einen handelt es sich dabei um die Früchte einer erfolgreichen Forschungspolitik, zum anderen um eine glückliche Konstellation günstiger Umstände, die forschungsstrategisch nicht planbar war.

Planung und Glück

Das erfolgreiche Zusammenwirken von Forschung und Technik innerhalb des Philips-Konzerns läßt sich zum Teil durch das Vorhandensein günstiger inhaltlicher wie organisatorischer Rahmenbedingungen erklären. Bemerkenswert ist dabei in erster Linie, daß offensichtlich alle wissenschaftlichen Fragestellungen, die im Verlauf des CD-Projekts aufgeworfen wurden, von der Forschung inhaltlich abgedeckt werden konnten.

Erklärungen dafür liefert die Forschungstradition des Unternehmens. Ausgehend von ersten wissenschaftlichen Arbeiten über die Glühemission, mit der die Forschung bei Philips im Jahre 1914 institutionalisiert worden war, entwickelte sich ein Forschungsschwerpunkt im Bereich der Festkörperphysik, der Elektronengasttheorie und der Photoelektrizität. Erfahrungen aus diesen Forschungsbereichen flossen in der Folgezeit in eine Vielzahl von neuartigen technischen Anwendungen ein und prägten das Spek-

trum der unternehmerischen Aktivitäten des Philips-Konzerns. So bildete die Erforschung der Elektronenemission der Glühlampe den Grundstein für die Entwicklung von Röhren für spezielle Anwendungen. Mit der Herstellung von Röntgenröhren wurde der Bereich der Medizintechnik bei Philips begründet; die Elektronenröhre — eingebettet unter anderem in Telephonverstärker und Radiogeräte — ebnete Philips den Weg in die Nachrichtentechnik und Elektroakustik; spätestens mit Bildröhren für Fernsehgeräte schuf sich Philips nach dem Zweiten Weltkrieg ein wichtiges Standbein in der Konsumelektronik.

Im Rahmen der sich ausdehnenden industriellen Aktivitäten im Bereich der Elektronik und angeregt durch die Entwicklung des Transistors ging außerdem aus dem „klassischen“ Zweig der Festkörperphysik eine intensive Erforschung von Halbleitern hervor, die sich — mit Blick auf die CD — bis zur Herstellung von hochintegrierten Schaltkreisen und Halbleiterlasern erstreckte. Die einmal industriell beschrittenen Gebiete der Nachrichtentechnik und Elektroakustik lieferten wiederum den Anlaß zur wissenschaftlichen Auseinandersetzung mit neuen Modulations- und digitalen Codierungsverfahren, ergänzend brachte die zeitweilig verfolgte Entwicklung eigener Computer Erfahrungen im Bereich der Informationstheorie mit sich. Das gesamte technologische Neuland, das im Zuge der Entwicklung der Compact Disc beschritten werden mußte, war also im Rahmen der stetigen Ausweitung des Unternehmensspektrums auf der Ebene der Forschung bereits gesichtet oder betreten worden. Inhaltlich war die Forschung des Philips-Konzerns damit geradezu ideal auf die Problemstellungen vorbereitet, die seitens der Produktentwicklung allein nicht hätten gelöst werden können.¹

Auch organisatorische Vorkehrungen förderten im Rahmen der Entwicklung der Compact Disc das Zusammenspiel von Wissenschaft und Technik. So bestand in Form des Hospitantenprinzips die effektive Möglichkeit, über konzerninterne Gräben zwischen einzelnen Unternehmensbereichen hinweg den Wissenstransfer zwischen Forschern und Entwicklern auf der Ebene enger persönlicher Zusammenarbeit zu erleichtern. Zwar bestand noch zum Zeitpunkt der CD-Entwicklung eine Hürde auf dem Weg zur

¹ van Tilburg, J.J.G.Ch. Interview 2. Dez. 1993, 7B 203

Bildung von gemeinsamen Entwickler-/Forscherteams darin, daß Wissenschaftler seitens der Hauptindustriegruppen nicht „eingekauft“ werden konnten, sondern im Einzelfall von der Bedeutung der aufgeworfenen Fragestellungen überzeugt werden mußten.¹ Da dies jedoch angesichts der Tatsache, daß sich wissenschaftliches Interesse und technische Anforderungen im Falle der CD geradezu ideal ergänzten, keine Schwierigkeiten bereitete², kam es durchgängig in allen Entwicklungsbereichen der Compact Disc zu einer starken Involvierung von Forschern.³

Neben günstigen inhaltlichen und organisatorischen Rahmenbedingungen wurde das Zustandekommen des Compact-Disc-Systems aber auch durch eine glückliche Konstellation von wissenschaftlich-technischen Ergebnissen bedingt. So war zum Zeitpunkt des Produktentwurfs durch Lou F. Ottens die konkrete technische Umsetzung des späteren CD-Systems nicht vorhersehbar. Erst im Laufe der Entwicklung fand der Übergang von analoger zu digitaler Signalverarbeitung statt, mußten Fehlerkorrekturverfahren entwickelt, große Mengen elektronischer Schaltungselemente integriert und geeignete Halbleiterlaser gefunden werden. Ohne das nicht einplanbare rechtzeitige Vorhandensein entsprechender aktueller Forschungsergebnisse wäre die Entwicklung der CD anders verlaufen — ein Konsumgut zumindest hätte dabei wahrscheinlich nicht entstehen können.

Vorbildlicher Wissenschaftstransfer?

Angesichts der zweifellos gelungenen Zusammenarbeit von Forschung und Entwicklung stellt sich die Frage, ob aus dem speziellen Beispiel der CD-Entwicklung allgemein gültige Schlüsse gezogen werden können. In einem weiteren Schritt ist zu erörtern, ob es sinnvoll und zulässig ist, derartige Schlüsse zu einer Bildung

¹ Ottens, L.F. Interview 12. Okt. 1993, 3B 036

² ebenda, 2B 042

³ vgl. etwa Herkunft der Autoren des Themenhefts „Compact Disc Digital Audio“ anlässlich der Ankündigung des CD-Systems. *Philips tech. Rev.* 40(6), 1982. Alle Artikel waren gemeinsam von Forschern und Entwicklern verfaßt worden. Dabei war das Nat.Lab. vertreten durch: M.G. Carasso, K.A. Schouhamer Immink, J.B.H. Peek, R.J. van de Plassche, E.F. Stikvoort und L.B. Vries; die Hauptindustriegruppe Audio durch D. Goedhart, J.P.J. Heemskerk, H. Hoeve, J.P. Sinjou und J. Timmermans.

eines Transfermodelles zwischen Wissenschaft und Technik heranzuziehen.

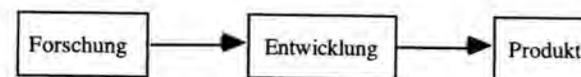
Wissenschaftstransfer kann nur dort stattfinden, wo sich Forschung und Entwicklung inhaltlich nahekomen oder gar berühren. Wie in diesem Kapitel aufgezeigt, kam es im vorliegenden Fall tatsächlich zu einer Reihe von inhaltlichen Berührungen. Die Art und Weise, wie die Berührung stattfand, war dabei sehr unterschiedlich und reichte von abstrakter Inspiration bis hin zur intensiven persönlichen Zusammenarbeit. So geht die Produktidee, von der letztlich die gesamte Forschung und Entwicklung der Compact Disc getragen wurde, auf einen inspirierenden Impuls zurück, der im eigenen Unternehmen von wissenschaftlichen Vorarbeiten zur VLP-Bildplatte ausgegangen war. Dabei ist die Tatsache bemerkenswert, daß die Konzeption der VLP zum Zeitpunkt der Inspiration bereits veröffentlicht vorlag. Eine Berührung bzw. Befruchtung fand also zunächst auf „öffentlicher“ Ebene statt; die „Erfindung“ der CD hätte daher ebenso durch andere erfolgen können.

Da die verfolgte Produktidee über den Stand der Technik hinausging, war der weitere Verlauf der Entwicklung mit der Notwendigkeit verknüpft, auch wissenschaftliche Arbeit zu leisten. Berührungspunkte mit der Forschung ergaben sich also regelmäßig dann, wenn die wissenschaftliche Kompetenz der industriellen Produktentwicklung an ihre Grenzen stieß. Aufgrund unternehmenspolitischer Vorgaben fielen derartige Berührungen sehr intensiv aus. Statt Fragestellungen aus der Entwicklung als Aufträge an die Forschungsabteilung zu delegieren, kam es zur persönlichen Einbindung von Forschern in die Entwicklungsarbeit und von Entwicklern in die Forschungsarbeit. Diese enge Verzahnung von Wissenschaft und Technik setzte zwar auf der einen Seite ein erhebliches Potential an konzerninterner Forschung voraus, ermöglichte jedoch auf der anderen Seite einen reibungsarmen, entformalisierten und somit beschleunigten Transfer von Grundlagenwissen in die Produktion.

Angesichts der Komplexität des Zusammenwirkens von Forschung und Entwicklung stellt sich im vorliegenden Fall die Frage, ob Verallgemeinerungen angebracht sind. Obwohl die konkrete CD-Entwicklung in mancherlei Hinsicht auf einer einmaligen Konstellation günstiger Umstände beruht, ist diese Frage deshalb zu

bejahen, weil gezielte Unternehmenspolitik an der Erzeugung dieser Umstände einen nicht unwesentlichen Anteil hatte. So bildete stets die freie inhaltliche Entfaltung der Forschung (z.B. im Bereich der Festkörperphysik) die Grundlage für die weitere Ausdehnung des Unternehmensspektrums (in den Bereich der Halbleitertechnik). Ohne diesen vorbildlichen „Lawineneffekt“ hätten auch Forschungsarbeiten im Rahmen des CD-Projekts inhaltlich nicht ohne weiteres konzernintern abgedeckt werden können. Außerdem kann das zur Teambildung animierende Hospitantenprinzip wegen seiner den Wissenstransfer fördernden Wirkung allgemein als mustergültige Form der Zusammenarbeit zwischen Forschung und Entwicklung angesehen werden.

Trotz der prinzipiell überschaubaren Struktur des Zusammenwirkens von Wissenschaft und Technik ist die Überführung in ein einfaches abstraktes Transfermodell nicht unproblematisch. Fest steht zunächst, daß zwar angehäufte Forschungserfahrungen eine notwendige Bedingung für die Realisierung des CD-Projekts darstellten, daß aber eine *zwangsläufige* Überführung dieses Wissenschaftspotentials in ein marktfähiges und erfolgreiches Produkt *nicht* vorliegt.



Linearer Transfer

Erweitert man dieses lineare Modell um die Möglichkeit von *Rückwirkungen*, vergleichbar etwa mit dem „Innovation-Chain“-Modell von A.E. Pannenberg¹, so wird zwar jede Art von Wechselbeziehung zwischen Wissenschaft und Technik umfaßt, die Umstände dieser Wechselbeziehungen — sowohl inhaltlich, organisatorisch als auch zeitlich — bleiben jedoch unberücksichtigt. Anhand des Modells kann also beispielsweise nicht die entscheidende Bedeutung der Produktidee der CD nachvollzogen werden, vielmehr wird auch hier suggeriert, daß der Ausgangspunkt einer Entwicklung bei der Forschung zu suchen ist.

¹ Pannenberg, A.E. „Technology push versus market pull — the designer's dilemma“ *Electronics & Power* (IEE publ.) 21(No.9): 563-566, May 15, 1975; siehe S.104



Der offensichtliche Mangel derartiger Wirkungsdiagramme besteht darin, daß zwar das *mögliche Vorhandensein* von Einflußfaktoren sehr wohl dargestellt werden kann, daß jedoch über die Art und Umstände der gegenseitigen Beeinflussungen keine Aussage getroffen wird. Spitzt man diesen Mangel zu und postuliert zwischen allen Unternehmensbereichen mögliche Wechselwirkungen, so versagt ein derartiges Diagramm vollends. Da jeder Einfluß auf jeden hat, ist zwar alles möglich, aber nichts nachvollziehbar. Unter dem Gesichtspunkt, daß ein Modell nur dann Sinn macht, wenn die modellierten Vorgänge nachvollziehbar bleiben, ist also die Heranziehung von Wirkungsschemata zur Beschreibung der vorliegenden Wechselbeziehungen zwischen Wissenschaft und Technik abzulehnen.

Da das zwar überschaubare, im Detail jedoch komplexe Ineinandergreifen von Forschung und Technik bei der Überführung in ein einfaches Strukturmodell problematisch erscheint, liegt die Versuchung nahe, eine Metapher zur Modellierung heranzuziehen. Eine Veranschaulichung der Beschreibung der Verhältnisse im Rahmen der Entwicklung der CD soll anhand des „Löwenbändiger-Modells“ versucht werden. Setzt man ein Industrieunternehmen mit einem Zirkus gleich, so wirbt letzterer ebenso mit attraktiven Programmpunkten um die Gunst der Zuschauer wie das Unternehmen mit attraktiven Produkten um die Gunst der Konsumenten. Eine Möglichkeit zur Steigerung der eigenen Attraktivität besteht nun darin, das Programm um eine besonders anspruchsvolle, aufwendige und exotische Komponente zu erweitern. Nach traditionellem (Zirkus-) Verständnis eignete sich dazu besonders die Dressur von Löwen.

Voraussetzung zur Durchführung eines derartigen Vorhabens ist zunächst das durchaus kostenintensive „Engagement“ von Löwen (Forschern) und Dompteuren (Entwicklern). Obwohl jeder Löwe mit der Zirkusarbeit seine grenzenlose Freiheit grundsätzlich aufgibt und diese gegen die Hoffnung auf eine sichere Versorgung

und den Schutz vor den Unbilden der Natur (im Sinne der Metapher freiwillig!) eintauscht, müssen ihm auch in der „Gefangenschaft“ große Entfaltungsfreiräume gewährt werden, um seine Kräfte nicht verkümmern zu lassen. Im Gegensatz dazu bedingt die Spezialausbildung des Dompteurs, daß weniger die freie Entfaltung denn vielmehr die zielgerichtete Mitgestaltung des Zirkusprogramms im Mittelpunkt seiner Bemühungen steht.

Obwohl der Ehrgeiz des Dompteurs, Konvergenz und Integration herbeizuführen, mit dem Wunsch des Löwen nach ungestörter Freiheit zu kollidieren droht, ist zur Ausarbeitung einer Löwennummer eine enge Kooperation zwischen den ungleichen Partnern unbedingt erforderlich. Dabei ist es zwar Aufgabe des Dompteurs, die Planung des gemeinsamen Projekts zu übernehmen, die letztendliche Ausgestaltung liegt jedoch ebenso im Ermessen des Löwen. Der Dompteur muß den Löwen im Einzelfall davon überzeugen, daß die Kooperation sinnvoll ist und Vorteile für beide Seiten mit sich bringt, der Löwe hingegen definiert die Toleranzgrenzen für eine Zusammenarbeit. Die gemeinsame Tätigkeit ist nur dann von Erfolg gekrönt, wenn sich beide Seiten ihrer gegenseitigen Abhängigkeit bewußt sind und sich auf eine intensive, gleichberechtigte Zusammenarbeit einlassen.

Normierende CD

4.1 ABTAstrate ALS POLITIKUM

Parallel zu den intern von Philips und Sony betriebenen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten am *Compact Disc Digital Audio System* fanden auch in der Fachöffentlichkeit Bemühungen statt, die technischen Möglichkeiten der noch nicht etablierten digitalen Audiotechnik zu diskutieren und international gültige Vereinbarungen zu ihrer Vereinheitlichung treffen. Unvermeidliche thematische Überschneidungen zwischen interner Entwicklung und öffentlicher Diskussion führten in einem Falle zur Verstimmung zwischen den Kooperationspartnern Sony und Philips. Die von der Philips-Konzerntochter PolyGram geäußerte Kritik an der Vorgehensweise, technische Spezifikationen der Compact Disc unter Mißachtung internationaler Standardisierungsbemühungen festzulegen, rief Verunsicherung im Management von Philips und Verärgerung bei Sony hervor und stellte die pünktliche Markteinführung der Compact Disc kurzzeitig in Frage. Zentraler Punkt dieser Kritik war eine lebhafte Diskussion um die sogenannte „*Abtastrate*“, technischer Parameter eines jeden digitalen Audiosystems. Weil die Abtastrate für das Compact-Disc-System zwischen Sony und Philips schon vor ihrer internationalen An-

erkennung ausgehandelt worden war — auf 44,1 kHz¹ — avancierte ein technischer Parameter zu einem Politikum.

Zur Abtastrate

Ein akustisches Signal wird digitalisiert, indem aus der analogen, zeitkontinuierlich vorliegenden (Schall-) Welle einzelne Punkte herausgesucht werden, die charakteristisch für dieses Signal sind. Diese diskreten „Abtastwerte“ können über ein Koordinatengitter als Zahlenwerte abgelesen und fixiert werden. In dieser Form sind sie sicherer zu übertragen und zu speichern als das ursprüngliche analoge Signal. Aufgrund der Möglichkeit, mit Hilfe von Quarzen periodische Schwingungen mit hoher Genauigkeit zu erzeugen und zu reproduzieren², wird die Digitalisierung üblicherweise so vorgenommen, daß das analoge Signal in *gleichmäßigen zeitlichen Abständen* abgetastet wird und zu diesen Zeitpunkten lediglich die jeweilige Amplitude abgelesen („quantisiert“) wird. Die Häufigkeit, mit der diese periodische Abtastung pro Sekunde vorgenommen wird, wird im Deutschen als *Abtastrate* oder *Abtastfrequenz* und in der internationalen Fachsprache Englisch als *Samplingfrequenz* bezeichnet (sampling = das Nehmen einer Probe).

Die zu wählende Abtastrate ist davon abhängig, welche oberen Tonfrequenzen bei der Digitalisierung noch erfaßt werden sollen. Da das menschliche Ohr Töne von etwa 20 Hz bis 20 kHz wahrnehmen kann, ist es bei einer hochqualitativen Digitalisierung sinnvoll, die gesamte „Bandbreite“ aller Frequenzen bis 20 kHz zu berücksichtigen. Ein im Jahre 1948 von Claude E. Shannon formuliertes Theorem³ besagt dabei, daß die höchste zu digitalisierende Tonfrequenz in jeder Schwingungsperiode mindestens zweimal abgetastet werden muß.⁴ Dies bedeutet, daß für eine Digitalisierung

¹ „Hertz“ (Abkürzung: „Hz“) bezeichnet die Maßeinheit für Frequenzen in *Schwingungen pro Sekunde*. Angaben in Kilo-Hertz (kHz) beinhalten den Faktor 1000; „10 kHz“ bezeichnet etwa eine Oszillation von zehntausend Schwingungen pro Sekunde.

² Marrison, Warren A. „The Evolution of the Quartz Crystal Clock.“ *Bell Syst. Tech. J.* 27, 1948, S.510-588

³ Shannon, C.E. „A Mathematical Theory of Communication.“ *Bell Syst. Tech. J.* 27(3,4), 1948, S.379-423, 623-656

⁴ Lüke, Hans Dieter. *Signalübertragung: Grundlagen der digitalen und analogen Nachrichtenübertragungssysteme*. 4.Aufl., Springer-Verlag 1990, S.50-70

aller hörbaren Signale eine Abtastrate von mindestens 40 kHz (dem Doppelten von 20 kHz) notwendig und gleichzeitig ausreichend ist. Da sich Shannon jedoch selbst nicht als eigentlicher Urheber dieses Theorems verstand und zuvor getroffene exakte Formulierungen desselben Sachverhalts mangels Publizität (V.A. Kotel'nikov, 1933) und politischer Vorzeichen (H. Raabe, Berlin, 1939) nur geringe Anerkennung in der Fachwelt fanden¹, wird das Abtasttheorem auch häufig nach dem amerikanischen Ingenieur Harry Nyquist, der bereits zwanzig Jahre vor Shannon wesentliche Vorarbeiten dazu geleistet hatte, benannt².

Da jede Erhöhung der Abtastfrequenz mit einer größeren Zahl von Abtastwerten bzw. zu übermittelnden und zu speichernden Informationen einhergeht, sollte aus Gründen der Ökonomie die Abtastrate nicht unnötig hoch ge-



¹ Lüke, Hans Dieter. „Zur Entstehung des Abtasttheorems.“ *ntz* 31(4), 1978, S.271-274
Eine erste Präsentation des Sampling-Theorems erfolgte sogar bereits 1915: Whittaker, E.T. „On the Functions which are represented by the Expansion of the Interpolation-Theory.“ *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh* 18, June 7, 1915, S.181-194

vgl. Lucky, R.W., and W.R. Bennett. „Digital Communications.“ In: Millman, S. (ed.) *A History of Engineering and Science in the Bell System: Communication Sciences (1925-1980)*, AT&T Bell Laboratories, 1984, S.399-430 (hier S.400)

² Nyquist, H. „Certain Factors Affecting Telegraph Speed.“ *Bell Syst. Tech. J.* Vol.3(2), April 1924, S.324-346

Nyquist, H. „Certain Topics in Telegraph Transmission Theory.“ *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers* 47(2), Feb. 1928, S.617-644

Pohlmann, Ken C. *Principles of Digital Audio*. Sams, 2nd ed. 1989, S.41-54

wählt werden. Dieser Forderung steht zunächst entgegen, daß das Abtasttheorem zur Vermeidung von Verzerrungen (sog. „Aliasing“) auf *alle* im analogen Signal vorkommenden Frequenzen Anwendung finden muß — also auch auf unhörbare Frequenzanteile oberhalb von 20 kHz. Um die Abtastfrequenz nicht unnötig hoch wählen zu müssen, werden Tonsignale vor der Digitalisierung durch eine (Tiefpaß-)Filterung auf ihren hörbaren Bereich begrenzt. Da eine solche Filterung nicht in idealer Weise geschehen kann (vollständige „Entfernung“ aller Frequenzanteile oberhalb von 20 kHz), sondern vielmehr Frequenzen oberhalb von 20 kHz kontinuierlich abgeschwächt werden und somit auch noch schwache Frequenzanteile bis zu etwa 22 kHz im analogen Signal vorliegen, ist — in Abwägung des Aufwandes, der zur Filterung des Signals und zur Speicherung der Abtastwerte getrieben werden muß — die Abtastrate derart zu erhöhen, daß auch dieser Bereich dem Abtasttheorem genügt.¹

Die Rate zur Abtastung eines hochwertigen Tonsignals mit einer maximal hörbaren Bandbreite von 20 kHz sollte also etwas mehr als 40 kHz betragen. Dieser Forderung wurde bei der Compact Disc Rechnung getragen, ihre Abtastrate wurde auf 44,1 kHz festgelegt.²

Standardisierung der Abtastrate

Technische Parameter in der elektronischen Nachrichten- und Informationstechnik, die die Austauschbarkeit von Nachrichten und Informationen betreffen, sind deshalb von besonderer Bedeutung, weil ihre Beachtung bzw. Nichtbeachtung ausschlaggebend für die *grundsätzliche* Benutzbarkeit dieser Techniken ist. Im Gegensatz zu anderen Technologien kommt diesem Kompatibilitätsgedanken hier besondere Bedeutung zu, weil die Toleranzgrenzen der Kompatibilität in der Nachrichten- und Informationstechnik regelmäßig eng gesteckt sind. Bereits leichte Abweichungen vom Übertragungsformat führen bei komplexen analogen und praktisch allen digitalen Modulations- und Kodierungsverfahren nicht zu einer Verschlech-

¹ Pohlmann, Ken C. *The Compact Disc Handbook*. 22-27, Oxford University Press, 1992.

² Carasso, M.G., J.B.H. Peek and J.P. Sinjou. „The Compact Disc Digital Audio system.“ *Philips tech. Rev.* 40(6), 1982, S.151-155

terung der Übertragung, sondern machen diese unmöglich. Um Austauschbarkeit zu gewährleisten, ist daher die einheitliche Festlegung technischer Parameter im Rahmen einer Standardisierung sinnvoll.

Anders verhält es sich, wenn entsprechende Übertragungsparameter nur innerhalb eines technischen Gerätes benutzt werden und nach außen nicht in Erscheinung treten. In diesem Fall wirkt sich die fehlende Standardisierung nicht unmittelbar funktionsbeeinträchtigend aus.

Im vorliegenden Fall war es die Abtastrate, über deren Standardisierungsbedarf unterschiedliche Ansichten bestanden. Aus der Sicht der Entwickler des CD-Systems handelte es sich dabei um einen internen technischen Parameter, der in einem nach außen hin analog wirkenden Konsumgut keiner internationalen Vereinbarung bedurfte. Auf der anderen Seite befand sich die noch junge digitale Audiotechnik in einer Vereinheitlichungs- und Systematisierungsphase¹, in der sich zahlreiche Interessengruppen bemühten, die zukünftige Austauschbarkeit digitaler Audiodaten durch die Aushandlung eines internationalen Kompromisses für den eigentlich kritischen technischen Parameter der Abtastrate sicherzustellen, der sodann zur Norm erhoben werden könnte.

Lebhafte Diskussionen zur Vereinbarung einer weltweit gültigen Abtastfrequenz begleiteten seit 1977 die gesamte offizielle Entwicklung der CD (bzw. ALP) bei Philips und endeten erst mit deren Markteinführung.² Trotz des ausgeprägten technischen Bedürfnisses nach Harmonisierung sollte es der Fachwelt nicht gelingen, sich auf einen Standard — einen einzigen, simplen Zahlenwert also — zu einigen. Letztendlich überwogen konzernpolitische Erwägungen mit nationaler Prägung und führten zu einem kleinen „Babylon“ der Abtastraten. Heutzutage werden daher mindestens drei verschiedene Raten als „standardisiert“ angesehen.

¹ vgl. Kap.5.2

² vgl. Kap.2

2.?
CD
nach
1977
Lebhaft
1977

4.2 ERSTE SAMPLINGDEBATTEN (1977-1978)

Öffentliche Diskussionen über die Abtastrate begannen Ende der 1970er Jahre zeitgleich mit dem Aufkommen der ersten Generation digitaler Audiogeräte. Einerseits zeichnete sich die Vision des vollständig digitalen Aufnahmestudios ab, in dem alle Bearbeitungsschritte auf digitaler Basis vonstatten gehen sollten. Andererseits war die hierzu notwendige Vereinheitlichung wesentlicher digitaler Parameter bei der ersten Gerätegeneration nicht berücksichtigt worden. Spätestens Anfang 1978 wurde die Fachwelt auf dieses Mißverhältnis aufmerksam, als Martin Willcocks, Inhaber einer unabhängigen Beratungsfirma, eine Übersicht über digitale Audio-techniken veröffentlichte.¹ Tragisches Fazit dieser Zusammenstellung war die Erkenntnis, daß praktisch alle bis dahin gebauten und angekündigten digitalen Audiosysteme zueinander völlig inkompatibel waren. Die Notwendigkeit von Diskussionen über die Harmonisierung digitaler Parameter rückte in das Bewußtsein der Fachöffentlichkeit.

Das Digital-Dilemma

Zwar erschwerten auch verschiedene Codierungsformate und unterschiedlich präzise Quantisierungsaufösungen den Datenaustausch zwischen verschiedenen Systemen, letztendlich verantwortlich für ein frühes „Digital-Dilemma“ mit der Konsequenz der totalen Inkompatibilität waren jedoch die unterschiedlichen Abtastraten der einzelnen Systeme. So verwendete etwa die BBC zur Richtfunkübertragung digitaler Rundfunksignale bereits seit September 1972 ein System, das auf eine Abtastfrequenz von 32 kHz ausgelegt war. Später sollte diese Frequenz nicht zuletzt aufgrund ihrer Urheberschaft als Abtastrate für den gesamten digitalen Rundfunkbereich standardisiert werden. Diese bei der HiFi-Rundfunkübertragung bewährte Frequenz erschien jedoch den Herstellern professioneller digitaler Audiorecorder als nicht ausreichend; sie richteten ihre Geräte auf Abtastraten oberhalb von 40 kHz ein. So bot Denon ein

¹ Willcocks, Martin. „A Review of Digital Audio Techniques.“ *JAES* 26(1/2), Jan./Feb. 1978, S.56-64 (Willcocks' Übersicht stand Interessenten als Entwurf bereits im Dezember 1977 zur Verfügung.)

auf einem Video-Bandrecorder (VTR, Video Tape Recorder) basierendes Gerät mit einer Abtastrate von 47,25 kHz an. TEAC bevorzugte die Speicherung auf dem professionellen „U-matic“ Video-Cassettenrecorder (VCR, Video Cassette Recorder) mit einer Abtastrate von 46,08 kHz. Soundstream entwickelte einen Digitalrecorder auf der Basis eines Computer-Bandspeichers und berücksichtigte dabei die Möglichkeit der Wahl zwischen zwei Abtastraten, 37,5 oder 42,5 kHz. Nur 3M Mincom reagierte mit einem Multitrackrecorder, dessen Abtastrate zwischen 45 und 55 kHz einstellbar war, buchstäblich flexibel auf das sich anbahnende Dilemma. Obwohl diese Einrichtung eigentlich dazu dienen sollte, die bei analogen Aufzeichnungsgeräten übliche Veränderbarkeit der Wiedergabegeschwindigkeit („pitch-control“) auch auf einem digitalen Gerät zu ermöglichen, war man damit jedoch gleichzeitig vor dem drohenden Abtastwirrwarr gefeit. Nur auf dem Gebiet der semiprofessionellen, auf Heimvideorecordern basierenden digitalen Audiorecorder hatten sich einige japanische Hersteller auf eine gemeinsame Abtastrate geeinigt, die in der weiteren Diskussion noch von einiger Bedeutung sein sollte: 44,05594 kHz.

Manufacturer	Type of system	Sampling rate (kHz)	Encoding format	No. of channels
BBC	Microwave link	32	13-bit linear	13
Denon/Nippon Columbia	PCM on VTR	47.25	13-bit linear	2/4/8
Various	Betamax/VHS based	44.05594†	13-bit non-linear	2
Japanese	PCM adaptors			
TEAC	PCM adaptor U-matic	46.08	13-bit non-linear	4
Mitsubishi	fixed-head tape	48	14-bit linear	2
Mitsubishi	cassette tape	47.52	13-bit non-linear	2
TEAC/Mitsubishi/ Tokyo Denka	laser PCM disk	47†	13-bit non-linear	2
Soundstream	computer tape	37.5/42.5	16-bit linear	4
3M Mincom	fixed head tape	45-55	16-bit linear	32
*Hitachi	tape	35.7	12-bit	†
*Toshiba	tape	50	14-bit non-linear	†
*Technics	tape	49.2	15-bit non-linear	†

* These systems have been reported to me verbally as experimental but have not been confirmed by the manufacturers concerned, and are included only to show other possible divergences from any standards established.
† Information so marked has not been definitely confirmed as exact.

Willcocks' Übersicht der digitalen Audiotechnik (1978) – Wirrwarr der Abtastraten¹

¹ Willcocks, Martin. „A Review of Digital Audio Techniques.“ *JAES* 26(1/2), Jan./Feb. 1978, S.56-64

Standardisierungsstimmung

In dieser um den Jahreswechsel 1977/78 vorherrschenden Situation drängte sich die Notwendigkeit von Verhandlungen zur Harmonisierung von digitalen Parametern geradezu auf. Eines der wichtigsten Foren auf internationaler Ebene entwickelte sich dabei unter dem Dach der amerikanischen *Audio Engineering Society (AES)*. Unter dem Vorsitz von John G. McKnight vom Magnetic Reference Laboratory tagte bereits Anfang Dezember 1977 erstmals das „Digital Audio Standards Committee“, bestehend aus 16 Fachleuten, die hauptsächlich japanischen und amerikanischen Elektronik- und Medienkonzernen angehörten. Vordringlichstes Ziel dieses Treffens war es, sich über das größte Problem bei der Standardisierung digitaler Parameter auszutauschen, nämlich die Wahl der Abtastrate.¹

Dabei, so waren sich die meisten Teilnehmer einig², war es erstrebenswert, eine einzige Frequenz zu vereinbaren, um zusätzlichen Aufwand beim Datenaustausch zwischen verschiedenen digitalen Systemen zu vermeiden. Zwar ist es mit relativ geringen Mitteln möglich, Abtastraten, die in einem einfachen Zahlenverhältnis zueinander stehen (wie etwa 32 kHz und 48 kHz im Verhältnis von 2:3)³, auf rein digitalem Wege umzurechnen oder zu „transcodieren“. Bei komplizierteren Verhältnissen besteht jedoch die Gefahr, daß die stark rechenintensive und damit technisch aufwendige und teure Transcodierung zugunsten eines einfachen analogen Zwischenschritts aufgegeben wird — unter Inkaufnahme dadurch entstehender Qualitätseinbußen.⁴

¹ Minutes of the Meeting of the Digital Audio Standards Committee, *JAES* 26(1/2), Jan./Feb. 1978, S.52-54

² JVC hält allerdings verschiedene Samplingfrequenzen für einen abschreckenden Kopierschutz. Vgl. Fujimoto, Masahiro (JVC). Manuskript, April 29, 1978.

³ Bellis, F.A. and G.W. McNally (BBC). Brief an J.G. McKnight (Magn. Ref. Lab.), April 18, 1978

⁴ Minutes of the Meeting of the Digital Audio Standards Committee, *JAES* 26(1/2), Jan./Feb. 1978, S.52-54
Willcocks, Martin. „A Review of Digital Audio Techniques.“ *JAES* 26(1/2), Jan./Feb. 1978, S.60

Einer der ersten wichtigen Beiträge, der im Rahmen des Digital Audio Standards Committee geäußert wurde, kam von Alastair Heaslett, einem Mitarbeiter der Firma Ampex, die sich einst als Pionier in der Videoaufzeichnung einen Namen gemacht hatte¹. Sein wenig später veröffentlichter Artikel „Some Criteria for the Selection for Sampling Rates in Digital Audio Systems“² bildete ein solides Fundament für nachfolgende Argumentationen. Besonderen Wert legte Heaslett in seinen in der Fachwelt kurz als „Heaslett's Criteria“ bezeichneten Ausführungen auf die Feststellung, daß die Forderung nach der *Synchronisierbarkeit* der Abtastrate mit wichtigen Fernseh- und Filmmormen unzweifelhaft im Mittelpunkt aller Betrachtungen zu stehen habe.³

Dahinter verbarg sich der Wunsch des an professionelle Anwendungen denkenden Heaslett, Fernseh- und Kinofilme auf digitale Weise vertonen zu können. Denn nur durch die Schaffung einer dauernden zeitlichen Abgleichmöglichkeit zwischen Bild- und zugehörigen Tonsignalen könnten Unstimmigkeiten, etwa bei Schneidevorgängen, vermieden werden.⁴ Aus diesem Grund empfahl Heaslett, eine standardisierte Abtastrate so zu wählen, daß sie in einem einfachen Zahlenverhältnis zu den verschiedenen Bildwechselfrequenzen steht, mit denen einzelne Bilder (oder „Frames“) nacheinander auf den Bildschirm gebracht werden, um den Eindruck des bewegten Bildes zu erzeugen. Dies geschieht beim amerikanischen NTSC-Farbfernsehverfahren, angelehnt an die U.S.-Netzfrequenz von 60 Hz, mit knapp 30 Bildern pro Sekunde. Der europäische PAL-Farbfernsehstandard arbeitet dagegen, ebenso wie das französisch/russische SECAM-Verfahren, mit einer auf die Netzfrequenz von 50 Hz abgestimmten Bildwechselfrequenz von 25 Hz. Außerdem, so Heaslett, müsse auch noch die beim Film übliche Wechselfrequenz von nur 24 Bildern pro Sekunde bei der Wahl der Abtastrate berücksichtigt werden.

¹ vgl. Zielinski, Siegfried. *Zur Geschichte des Videorecorders*. Berlin 1986, S.103 ff.

² Heaslett, Alastair. „Some Criteria for the Selection for Sampling Rates in Digital Audio Systems.“ *JAES* 26(1/2), Jan./Feb. 1978, S.66-70

³ ebenda

⁴ vgl. Ampex. „Argument against 50.4 kHz as the Standard Sampling Frequency.“ Manuskript, July 10, 1978

Als Ergebnis seiner Überlegungen präsentierte Heaslett eine Liste von neun Abstraten, die sich als besonders günstig hinsichtlich ihrer Verträglichkeit mit vorgegebenen Video- und Filmfrequenzen herausgestellt hatten. Favorit seiner Untersuchungen war die Rate 54 kHz, gefolgt von 48 kHz auf Rang zwei und 60 kHz, 52,5 kHz und 45 kHz gemeinsam auf dem dritten Platz.¹

Verhältnis zur japanischen Videotechnik



Dr. Toshi T. Doi

Die von Heaslett geforderte allgemeine Synchronisierbarkeit war jedoch kein neues Argument. Bei einigen speziellen Entwicklungen hatten ähnliche Forderungen bereits zuvor zu Abstraten geführt, die ebenfalls durch die Abgleichmöglichkeit digitaler Audiosignale mit vorgegebenen Randbedingungen der Farbfernsehtechnik zustande gekommen waren. Hinter dieser Annäherung an die Videotechnik verbarg sich der pragmatische Gedanke, vorhandene Videorecorder auch zur digitalen Audioaufzeichnung nutzen zu wollen.

Zustimmung hatte diese Idee vor allem in Japan gefunden. Einer ihrer größten Verfechter war Dr. Toshi Tada Doi, Digital-Audio-Experte von Sony, der den Grund für die Zweckentfremdung von Videorecordern auf den Punkt brachte. Es sei notwendig, so Doi im Jahre 1977, die digitale Audiotechnik so billig wie möglich zu machen, um sie auf dem Markt durchzusetzen.² Dazu eigne sich in besonderem Maße die Verwendung konventioneller Videorecorder, auf denen, ohne jede Veränderung am Gerät, digitale Audiosignale aufgenommen werden könnten, wenn sie nur zuvor durch einen speziellen „PCM-Adapter“ in ein Pseudo-Videosignal überführt worden waren. Zwar sei dieses Verfahren aufwendiger als die digitale Audiospeicherung auf speziell zu entwickelnden Bandmaschinen — der mit den großen Stückzahlen verkaufter Video-

¹ Heaslett, Alastair. „Some Criteria for the Selection for Sampling Rates in Digital Audio Systems.“ *JAES* 26(1/2), Jan./Feb. 1978, S.66-70

² Doi, T.T. „On Several Standards of Forms for Converting PCM Signals into Video Signals.“ Vortragsmanuskript: IECE Japan, TG MR 77-24, on Nov. 28, 1977

„Pseudo-Videosignal“ von Willcocks, Martin. „Some Notes on Digital Audio Topics“ Manuskript, April 1978.

recorder (mehr als 1 Mio. im Jahr 1978) verknüpfte Preisvorteil rechtfertige jedoch diese Vorgehensweise.¹

Diese auch von Matsushita², JVC³ und Mitsubishi⁴ verfolgte Möglichkeit, vorhandene Videorecorder im Zusammenspiel mit PCM-Adaptoren als preiswerte digitale Tonaufzeichnungsmaschinen auf den Markt zu bringen, hatte einen technisch naheliegenden Grund. Dahinter verbarg sich das Problem, daß jede Digitalisierung von Audiosignalen mit einer erheblichen Vergrößerung der Frequenzbandbreite des Signals verbunden ist.⁵ Durch ein einfaches Rechenbeispiel läßt sich zeigen, daß die Vorgehensweise, Videorecorder zur digitalen Audiospeicherung zu verwenden, prinzipiell nachvollziehbar ist. Wird ein Tonsignal mit einer Bandbreite von 20 kHz nach dem Abtasttheorem mit einer mindestens doppelt so hohen Rate abgetastet, so ergeben sich pro Sekunde 40.000 Abtastwerte, denen im Zuge der Quantisierung jeweils ein Amplitudenwert zugeordnet werden muß, der etwa bei der CD auf einer Skala von 65.536 verschiedenen Stufen liegen kann. Da bei der elektronischen Datenverarbeitung üblicherweise das duale Zahlensystem Verwendung findet (bestehend aus „0“ und „1“), wird jeder Abtastwert durch eine 16-stellige Binärzahl ausgedrückt ($2^{16} = 65.536$). Ohne Berücksichtigung zusätzlicher Informationen, wie sie etwa durch Codier- oder Modulationsverfahren hinzukommen, bedeutet dies bereits eine notwendige Taktfrequenz von 16 mal 40.000 Hz, also 640 kHz für ein Monosignal, und 1,28 MHz für ein Stereosignal. Solche Frequenzen übersteigen bei weitem den Frequenzumfang üblicher analoger Tonspeichermedien, wie etwa den der Schallplatte oder Compact Cassette, die beide auf den menschlichen Hörumfang von maximal 20 kHz (pro Stereokanal) ausgelegt

¹ Doi, T.T. „Recommendation of 50.4 kHz as the Sampling Frequency of Digital Audio Systems.“ Manuskript, May 25, 1978

² Kosaka, M. „Sampling Frequency Considerations.“ Manuskript, vorgelegt zum: AES Digital-Audio Standard Committee Meeting, Feb. 1-2, 1978

³ Fujimoto, Masahiro (JVC). Manuskript, April 29, 1978

⁴ Tanaka, K.; Ishida, Y. „Sampling Frequency Considerations.“ Manuskript, Jan. 28, 1978

⁵ Sato, N. „PCM Recorder: A New Type of Audio Magnetic Tape Recorder.“ *JAES* 21(7), Sep. 1973, S.542-548

sind. Videorecorder dagegen standen zur Aufzeichnung von Fernsehsignalen im Megahertz-Bereich zur Verfügung.¹

So lag die Zweckentfremdung von Videorecordern gerade für japanische Firmen nahe, die einerseits solche Geräte in großen Stückzahlen herstellten und andererseits an einer raschen Erschließung des sich abzeichnenden Marktes der digitalen Tonaufzeichnung interessiert waren. Problematisch bei dieser Vorgehensweise war jedoch, daß Videorecorder in erster Linie für die Aufzeichnung von analogen Bildsignalen ausgelegt waren, die mit einer bestimmten Bildwechselfrequenz und einer bestimmten Zeilenauflosung auf einen Bildschirm projiziert werden sollten. Diese systembedingte Zerstückelung des Videosignals in zeitliche Abschnitte (Bildwechsel) und räumliche Abschnitte (Bildschirmzeilen) unterschied sich grundlegend von dem kontinuierlichen Strom seriell übertragener digitaler Audiodaten. Besonders die rotierenden Aufnahme- und Wiedergabeköpfe von Videorecordern, die bei normaler Verwendung keine Probleme bereiteten, erzeugten bei der Umwandlung digitaler Audiodaten in Videosignale eine wichtige Randbedingung. Die Rotation der Köpfe erlaubte es, eine hohe Relativgeschwindigkeit zwischen Kopf und Band (z.B. durch die diagonale Führung des Kopfes über das sich ebenfalls bewegende Band) zu erzeugen, ohne dabei entsprechend hohe Bandgeschwindigkeiten in Kauf nehmen zu müssen. Der Nachteil dieses auf hohe Frequenzbandbreiten abzielenden Verfahrens bestand jedoch darin, daß der Kopf nach Abfahren seiner diagonalen Spur über dem Band kurzzeitig „abtauchte“, um wieder an den Ausgangspunkt einer neuen Diagonalspur zu gelangen oder um zwischenzeitlich von anderen, phasenverschoben rotierenden Köpfen abgelöst zu werden. Diese Umschaltperiode („head switching point“) bringt Verzerrungen mit sich, die beim Fernsehen zwischen den nacheinander projizierten Bildern unsichtbar bleiben². Bei der Digitalaufzeichnung müssen diese Perioden jedoch zur Vermeidung von Fehlern ungenutzt bleiben.

¹ Iwamura, H. et al. „Pulse-Code-Modulation Recording System.“ *JAES* 21(7), Sep. 1973, S.535-541

² Jedes der 25 bzw. ca. 30 Fernsehbilder pro Sekunde besteht aus zwei Halbbildern, die nacheinander mit der doppelten Bildwechselfrequenz, also mit 50 Hz bzw. ca. 60 Hz auf den Schirm projiziert werden. Jeweils eines dieser Halbbilder ist auf dem Videoband auf einer diagonalen Spur aufgenommen, nach jedem Halbbild findet somit ein Kopfwechsel statt.

Für Sony nahm sich Toshi Doi, einer der Fürsprecher dieser Vorgehensweise, dieses Problems an und stellte Verfahren vor, um digitale Audiodaten mit Hilfe von PCM-Adaptoren in Einklang mit der Videotechnik zu bringen.¹ Ausgangspunkt seiner Überlegungen waren dabei Videorecorder des aus japanischer Sicht wichtigsten Farbfernsehsystems, nämlich des auch in Japan verwendeten amerikanischen NTSC-Verfahrens. Ein wichtiger NTSC-Parameter ist die Bildzeilenzahl, also die vertikale Auflösung eines jeden Fernsehbilds, von 525 Zeilen. Sowohl das französisch/russische SECAM-Verfahren als auch die europäische PAL-Norm arbeiten dagegen mit einer um 100 Zeilen höheren Zeilenzahl von 625.² Doi schlug vor, von den sich auf jeweils zwei Halbbilder verteilenden 525 NTSC-Zeilen nur 245 Zeilen pro Halbbild zu nutzen, um dem zwischenzeitlich stattfindenden Kopfwechselfvorgang auszuweichen.³ Weiterhin sollten in jeder Fernsehzeile eine *ganzzahlige* Anzahl von digitalen „Wörtern“ untergebracht werden, wobei jedes dieser Wörter aus Gründen der Stereophonie aus einem rechten und einem linken Abtastwert bestehen sollte. Jedes Wort selbst sollte dabei aus einer bestimmten Anzahl binärer „Bits“, also „1“en und „0“en, bestehen, wobei die Anzahl der Bits mit der Quantisierungseinheit der Digitalisierung korrespondierte.⁴

Ausgehend von der Frequenzbandbreite eines Videorecorders ergibt sich, abhängig von der Qualität des Gerätes, eine mögliche maximale Anzahl von abwechselnden *Einsen* und *Nullen* in jeder Zeile. Unter der Bedingung, nur eine ganzzahlige Anzahl digitaler Stereo-Wörter in jeder Zeile zu speichern, folgt daraus für Heimvideorecorder eine maximale Wortzahl von 3 (Stereo-)Wör-

¹ Doi, T.T. „On Several Standards of Forms for Converting PCM Signals into Video Signals.“ Vortragsmanuskript: IECE Japan, TG MR 77-24, on Nov. 28, 1977

² Willcocks, Martin. „Some Notes on Digital Audio Topics.“ Manuskript, April 1978

³ Doi, T.T. „On Several Standards of Forms for Converting PCM Signals into Video Signals.“ Vortragsmanuskript: IECE Japan, TG MR 77-24, on Nov. 28, 1977

⁴ Als Grundeinheit für das, was Shannon als *Information* bezeichnete, prägte J.W. Tukey bei den Bell Laboratories den Begriff „bit“ als Kurzform von „binary digit“. Vgl. Gilbert, E.N., C.L. Mallows, B. McMillan, and A.D. Wyner. „Mathematical Foundations of Communications.“ In: Millman, S. (ed.) *A History of Engineering and Science in the Bell System: Communication Sciences (1925-1980)*, AT&T Bell Laboratories, 1984, hier: S.48

tern pro Zeile. Wegen der relativ geringen Bandbreite solcher Geräte läßt sich dabei eine Quantisierungsauflösung von 13 bit erzielen (das sind $2^{13} = 8192$ Quantisierungsstufen). Auf professionellen Geräten, wie etwa der „U-matic“, ist aufgrund der höheren (Frequenz-) Bandbreite eine größere Anzahl von Bits pro Zeile möglich. Beschränkt man sich etwa auf die auch bei der Compact Disc verwandte Quantisierungsauflösung von 16 bit (also $2^{16} = 65536$ Quantisierungsstufen), so kann bei professionellen Geräten das verbleibende Drittel der Speicherkapazität pro Zeile mit fehlerkorrigierenden Redundanzinformationen aufgefüllt werden.¹

Die mögliche Abtastrate eines aus Videorecorder und PCM-Adapter bestehenden Systems war somit bedingt durch die Anzahl der Wörter pro Zeile, der nutzbaren Zeilen pro Halbbild vor dem Umschalten des Videokopfes und der Anzahl von Videobildern (also jeweils zwei Halbbildern) pro Sekunde. Da die Bildwechselfrequenz des NTSC-Farbfernsehverfahrens jedoch trotz ihrer Anlehnung an die U.S.-Netzfrequenz von 60 Hz nicht genau 30 Hz beträgt, sondern mit 29,97002996... Hz um 0,1% geringer ist², resultierte daraus eine ebenfalls „krumme“ Abtastfrequenz. Hierdurch läßt sich erklären, warum die Abtastrate, auf die sich neben Sony eine Reihe anderer japanischer Unternehmen geeinigt hatten, mehrere Nachkommastellen aufweist.³ Die „krumme“ Frequenz von **44,05594...kHz** ergibt sich nämlich als Produkt aus 3 digitalen Wörtern pro Fernsehzeile, 245 Zeilen pro Halbbild, zwei Halbbildern pro Fernsehzeile (oder „Frame“) und 29,97002996... Frames pro Sekunde.

¹ Doi, T.T. „On Several Standards of Forms for Converting PCM Signals into Video Signals.“ Vortragsmanuskript: IECE Japan, TG MR 77-24, on Nov. 28, 1977

² Heaslett, Alastair. „Some Criteria for the Selection for Sampling Rates in Digital Audio Systems.“ *JAES* 26(1/2), Jan./Feb. 1978, S.66-70

³ Fujimoto, Masahiro (JVC). Manuskript, April 29, 1978

Kosaka, M. (Matsushita). „Sampling Frequency Considerations.“ Manuskript, vorgelegt zum: AES Digital-Audio Standard Committee Meeting, Feb. 1-2, 1978

Ohkawa, Motokazu (Toshiba). Brief an John G. McKnight, April 14, 1978

Tanaka, K.; Ishida, Y. (Mitsubishi). „Sampling Frequency Considerations.“ Manuskript, Jan. 28, 1978

vgl. auch Willcocks, Martin. „A Review of Digital Audio Techniques.“ *JAES* 26(1/2): 56-64, Jan./Feb. 1978.

Durch diese exakte Anpassung der Abtastrate an NTSC-fähige Videorecorder ergab sich jedoch für die Welt des PAL/SECAM-Fernsehstandards ein Problem. Da ähnlich krumme Verhältnisse aufgrund der Bildwechselfrequenz von exakt 25 Hz nicht ohne weiters erzeugt werden konnten, bestand ein aus japanischer Sicht zufriedenstellender Kompromiß darin, PCM-Adapter für PAL/SECAM-Recorder mit einer lediglich *ähnlichen* Frequenz zu betreiben, nämlich mit **44,1 kHz**. Haftete dieser Frequenz zunächst noch der Makel an, als Alibifunktion für die Fernsehwelt jenseits des NTSC-Standards zu dienen, so sollte sich ihre Bedeutung später ins Gegenteil wandeln — als Abtastrate des Compact-Disc-Systems.¹

Westliche Fachwelt und Profifrequenz

Über den technischen Kleinkrieg mit „artfremden“ Videorecordern erhaben, widerstrebte es der westlichen Fachwelt, sich auf 44,05594...kHz (meistens aufgerundet auf **44,056 kHz**) als alleinigen Sampling-Weltstandard einzulassen. So war es das erklärte Ziel des AES Digital Audio Standards Committees, eine Abtastrate zu vereinbaren, die nicht nur auf vermarktbarere Massenprodukte zugeschnitten war, sondern ebenso die Erfordernisse des professionellen Studiobetriebs berücksichtigte.² Zwar hatte auch Heaslett (Ampex) die Synchronisierbarkeit mit Fernsehfrequenzen in den Mittelpunkt seiner Kriterien gestellt. Die Absicht, damit auf japanische Vorstellungen praktikabler Abtastfrequenzen einzugehen, verfolgte er jedoch keineswegs. Vielmehr dürfte seine Forderung nach deutlich höheren Abtastraten als 44,056 kHz aus japanischer Sicht als Affront aufgenommen worden sein. Denn bereits im ersten Satz seiner Untersuchungen wies Heaslett darauf hin, daß es sich *„aus guten Gründen sehr wohl erwiesen habe, daß die Sampling-rate eines professionellen digitalen Audiosystems, welches Ausgangspunkt weiterer Verarbeitungsschritte ist, im Bereich zwischen*

¹ Tanaka, K.; Ishida, Y. (Mitsubishi). „Sampling Frequency Considerations.“ paper of Jan. 28, 1978.
Willcocks, Martin. „Some Notes on Digital Audio Topics“ Manuskript o.J., ca. Anfang 1978

² Report of the AES Digital Audio Meeting (Feb 1/2, 1978). *JAES* 26(1/2), Jan./Feb. 1978, S.232

45 kHz [!] und 60 kHz liegen sollte“¹. Unterstützung fand Heaslett mit diesem Argument bei Robert J. Youngquist von 3M, der im Namen seiner Firma, die videounabhängige digitale Audiorecorder herstellte, einen Frequenzbereich zwischen 45 kHz und 55 kHz als professionell sinnvoll erachtete und generös für eine einfache Abtastrate von 50 kHz plädierte.

Durch diese diskriminierende Ausgrenzung aus einem willkürlich definierten „professionellen“ Bereich gereizt, holte Kunimaro Tanaka von Mitsubishi zum Gegenschlag aus und erklärte den Abtastfrequenzbereich zwischen 44,32565 kHz und 53,946044 kHz aufgrund der bereits angeklungenen Vorgehensweise, nur eine ganzzahlige Anzahl von digitalen Wörtern pro Bildschirmzeile unterbringen zu wollen, für technisch irrelevant.² Auch JVC wehrte sich gegen die drohende Degradierung von 44,056 kHz zum Amateurstatus und wies diplomatisch kurz darauf hin, eigene Überlegungen hätten ergeben, daß 45 kHz „zu hoch“ sei.³

Spätestens im Verlauf der zweiten Sitzung des AES Digital Audio Standards Committee im Februar 1978 wurde deutlich, daß die Kluft zwischen der krummen, aber praktikablen „Japanfrequenz“ und dem westlichen Wunsch nach einer höheren Frequenz nicht geschlossen werden konnte. Es entstand die Notwendigkeit, neben 44,056 kHz eine höhere, „professionelle“ Abtastrate zu vereinbaren. Einen pragmatischen Schluß aus dieser Situation zog Dr. Doi von Sony. Wenn schon keine Einigung auf 44,056 kHz möglich war, so wollte er sich bei der Vereinbarung einer weiteren Frequenz ein Mitspracherecht sichern.⁴ Der im Raum stehende Favorit für diese Profifrequenz war 50 kHz, gestützt von drei amerikanischen Herstellern spezieller digitaler Mehrspuraufzeichnungsmaschinen für den Studiogebrauch, Ampex, 3M-Mincom und Soundstream. Doi konnte sich jedoch mit dieser geraden Zahl nicht anfreunden, gestattete sie doch nicht die Verwendung herkömm-

¹ Heaslett, Alastair. „Some Criteria for the Selection for Sampling Rates in Digital Audio Systems.“ *JAES* 26(1/2), Jan./Feb. 1978, S.66-70

² Tanaka, K.; Ishida, Y. „Sampling Frequency Considerations.“ Manuskript, Jan. 28, 1978

³ JVC. „Sampling-frequency consideration in the Digital Audio Standard.“ Manuskript, Feb. 1978

⁴ Doi, Toshi T. „On the Selection of the Higher Sampling Frequency.“ Manuskript, April 29, 1978

licher, professioneller Videorecorder nach bewährtem Muster.¹ Daher schlug er vor, den anvisierten 50 kHz noch 0,4 kHz zuzuschlagen, um mit einer Frequenz von 50,4 kHz sowohl die Synchronisierbarkeit mit allen Fernseh- und Film-Bildwechselfrequenzen als auch den einfachen Datenaustausch zur Frequenz 44,056 kHz zu gewährleisten — sofern man diese um 0,1% auf 44,1 kHz aufrundete.² Da die auf Videorecordern basierenden Audiorecorder aufgrund des drastischen Preisvorteils große Teile des zukünftigen Marktes erobern würden und mit keiner anderen Frequenz als 44,056 kHz bzw. 44,1 kHz betrieben werden könnten, hielt Doi es für sinnvoll, die wenigen, teuren Studiogeräte nicht durch ihre inkompatible Abtastrate auszugrenzen. Da die Frequenz 50 kHz auch ansonsten keine Vorteile gegenüber der von ihm vorgeschlagenen Frequenz von 50,4 kHz biete, solle die einfachere und kostengünstigere Transcodierbarkeit zwischen 44,1 kHz und 50,4 kHz den Ausschlag geben.

Mit diesen Bemerkungen hatte Doi jedoch den Bogen aus Sicht der am Heimvideorecorderverkauf völlig uninteressierten nichtjapanischen Fachwelt überspannt. Förmlich mit einem Aufschrei reagierte Ampex auf Dois Forderung und machte mit ihren „Argumenten gegen 50,4 kHz als Standard-Samplingfrequenz“ ihrem aufgestauten Ärger Luft. So seien viele Außenstehende der Meinung, „die Vereinbarung einer standardisierten Samplingfrequenz sei ein einfacher Prozeß“³. Da es jedoch „ebenso viele Vorschläge für verschiedene Samplingfrequenzen wie spezielle Anwendungen“ gebe, stelle dies, so Ampex, alle Beteiligten vor „zunehmende Schwierigkeiten“. Zum einen seien die europäischen Rundfunkanstalten im Begriff, sich auf eine Abtastrate von 32 kHz zu einigen. Weiterhin gebe es professionelle Studios, die nach einer

¹ vgl. auch Willcocks, M. „Some Notes on Digital Audio Topics“ Manuskript, April 1978

² Doi, Toshi T. „On the Selection of the Higher Sampling Frequency.“ Manuskript, April 29, 1978

³ Ampex. „Argument Against 50,4 kHz as the Standard Sampling Frequency“ Manuskript, July 10, 1978; im Original:
„While many interested people believe the selection of a standard sampling frequency should be an easy process, those of us who are trying to arrive at a recommendation are finding it increasingly difficult. This is because there are presently as many suggested sampling frequencies as there are specific applications of digital audio. [...]“

nutzbaren Audiobandbreite von 25 bis 30 kHz, bzw. einer Abtastrate zwischen 55 und 65 kHz, verlangten. Und schließlich gebe es die Interessen von Herstellern, die ihre Videorecorder auf einem vermeintlichen Markt der Zukunft als semiprofessionelle digitale Audiorecorder verkaufen wollten. Statt jedoch weitreichende Entscheidungen von den technischen Problemen der Gegenwart abhängig zu machen, solle man, so Ampex weiter, zukünftige Entwicklungen, wie etwa das digitale Fernsehen, mit in Betracht ziehen. Dagegen würde die vorgeschlagene Abtastrate von 50,4 kHz noch nicht einmal dem angeblichen Anspruch der Praktikabilität gerecht. Denn abgesehen vom ohnehin äußerst ungünstigen Transcodierungsverhältnis zur Rundfunkfrequenz von 32 kHz könne noch nicht einmal von einer guten Verträglichkeit mit der auf 44,1 kHz aufgerundeten „Japanfrequenz“ die Rede sein. Immerhin führe dieser Rundungsfehler von 0,1% (auf NTSC-Recordern) nach einstündiger Laufzeit zu einem absoluten Laufzeitfehler von 3,6 Sekunden. Bei Filmvertonungen mit der Abtastrate von 50,4 kHz sei nach einer Transcodierung auf einen 44,056-kHz-Recorder bereits nach 30 Sekunden die Lippensynchronisation zwischen Bild und Ton nicht mehr gewährleistet — unter diesen Bedingungen, so Ampex, sei eine Vernachlässigbarkeit des Rundungsfehlers von 0,1% wohl kaum gegeben.

Im Zuge dieser Abrechnung ließ es sich Ampex schließlich auch nicht nehmen, die ehernen japanischen Gesetze, an die man sich bei der Verwendung von Videorecordern zu digitalen Tonaufzeichnung zu halten habe, grundsätzlich in Frage zu stellen. So sei es aus technischen Gründen überhaupt nicht notwendig, die Abtastrate auf Zeilenzahlen und Bildwechselfrequenzen auszuliegen. Ebenso unnötig sei es, pro Bildzeile nur eine ganzzahlige Anzahl von Abtastwerten zuzulassen. Der von japanischer Seite vorgebrachte Grund hierfür, nämlich die Möglichkeit, digitale Audiodaten ebenso wie Videodaten mit jedem einzelnen Videobild von Band zu Band schneiden zu können, sei irrelevant, da digitale Tonschnitte ohnehin mit Hilfe eines Zwischenspeichers vorgenommen würden.

Obwohl sich Ampex in dieser Abhandlung erneut für die bereits zuvor propagierte Frequenz von 50 kHz als professionelle Standard-Abtastrate einsetzte, war die Aussichtslosigkeit, in die sich die Samplingdebatten verfahren hatten, unübersehbar. Selbst der grund-

sätzliche Kompromiß, neben der von einer starken Japan-Lobby festgehaltenen Frequenz von 44,056 kHz eine zweite Profifrequenz zu etablieren, hatte nicht zu der erhofften Entspannung geführt — vielmehr entstand nur ein neuer Problempunkt, an dem sich die Gemüter erhitzten. Ein Konsens war in weite Ferne gerückt, die Debatte war wieder offen.

4.3 STAGNATION (1978-1981)

Nach der Konfrontation der verschiedenen Interessen von Sony und Ampex trat zwischen den beiden gewichtigen Kontrahenten eine Phase der gegenseitigen Ignoranz ein — Ampex zog den von Sony weiterhin aufrechterhaltenen Vorschlag von 50,4 kHz nicht weiter in Betracht, Sony ignorierte dagegen die amerikanischen Vorstellungen von 50 kHz.¹ Auf diese zur Vereinbarung eines globalen Abtastratenstandards denkbar ungeeignete Verstimmung reagierte das einst im Jahre 1977 unter dem Dach der AES in euphorischer Standardisierungsstimmung gegründete *Digital Audio Standards Committee*² resigniert. Da abstrakten Argumenten in den zurückliegenden Debatten stets geringere Bedeutung zugekommen war als den praktischen, auf vermeintliche Marktzwänge eingehenden Vorstellungen, beschloß man im November 1979, sich solange in *Digital Audio Technical Committee* umzubenennen, wie sich nicht auch „eine angemessene Zahl von Herstellern digitaler Audiogeräte auf dem Markt (vorzugsweise mehr als drei)“ befände.³ Obwohl sich durch die Namensänderung die Arbeitsweise des Komitees nicht ändern sollte, wollte man endgültige Entscheidungen solange zurückstellen, bis die Macht des Faktischen vor allem auch von amerikanischer Seite in die Standardisierungs-

¹ Busby, E.S. (Ampex). Brief an Peter K. Burkowitz (PolyGram), Feb. 9, 1979. Doi, T.T. (Sony). „On Sampling Rate for Digital Audio Recorders“ Vortragsmanuskript, AES Digital Audio Technical Committee Meeting on May 4, 1980; veröffentlicht: *JAES* 28(9), Sep. 1980, S.616-618

² vgl. S.178

³ Minutes of the Meeting of the Digital Audio Technical Committee. *JAES* 28(4), April 1980, S.259; im Original: „[...] until such time as there exists an adequate number [...]“

Waagschale geworfen werden könnte — eine Situation, die erst ein Jahr später, um 1980/81, wieder gegeben war.¹

Hörgrenze und Hörtests

Doch obwohl Samplingdebatten nun mit verringertem Eifer stattfanden, hatte die vorherrschende Phase der Stagnation zumindest den positiven Effekt, daß auch grundsätzlichere Überlegungen wieder zum Tragen kommen konnten. So sehr waren technische Fragestellungen in den Mittelpunkt der Argumentation gerückt, daß ein wesentlicher, die Abtastrate limitierender Faktor schlichtweg übergangen worden war, nämlich die menschliche Hörgrenze. Diese war bei der Entwicklung erster digitaler Audiogeräte, basierend auf Erfahrungen mit früheren, analogen Tonträgern, auf ca. 20 kHz festgesetzt worden, um darauf mit Abtastraten oberhalb von 40 kHz zu reagieren.² Daß aber dennoch Unsicherheit darüber bestand, ob bei einer hochwertigen Digitalisierung nicht auch höhere Frequenzen zu berücksichtigen seien, zeigte die selbst in Japan aufgegriffene Diskussion um die Vereinbarung einer „professionellen“ Abtastrate im Bereich von 50 kHz. Peter K. Burkowitz von PolyGram trieb dieses zuvor vernachlässigte Problem mit einiger Ironie auf die Spitze, als er darauf hinwies, daß ein Frequenzumfang von 50 kHz übliche Praxis eines jeden guten professionellen Verstärkers sei, und fragte, ob konsequenterweise nicht auch über eine professionelle Abtastrate von 100 kHz nachgedacht werden müsse.³

Zu den ersten Untersuchungen, die speziell auf die menschliche Wahrnehmung verschiedener Abtastraten abzielten, zählen die be-

¹ Minutes of the Meeting of the Digital Audio Technical Committee. *JAES* 29(1/2), Jan./Feb. 1981, S.56-58

² z.B. Doi, T.T. „On Several Standards of Forms for Converting PCM Signals into Video Signals.“ Vortragsmanuskript: IECE Japan, TG MR 77-24, on Nov. 28, 1977

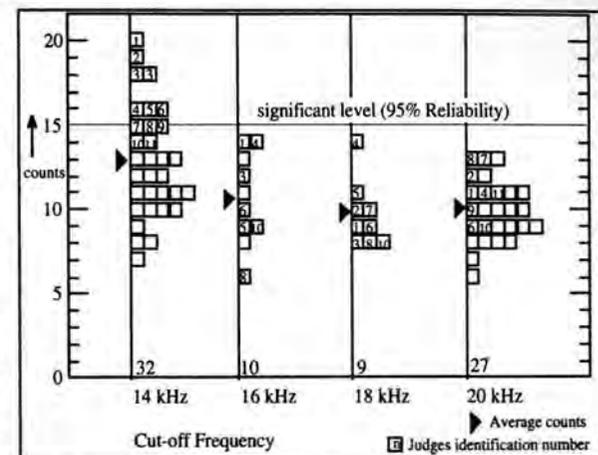
Youngquist, Robert J. „Sampling Frequency Considerations.“ *JAES* 26(1/2), Jan./Feb. 1978, S.54

Heaslett, Alastair. „Some Criteria for the Selection for Sampling Rates in Digital Audio Systems.“ *JAES* 26(1/2), Jan./Feb. 1978, s.66-70

³ Burkowitz, P.K. „User's Note on Digital Audio: Standard Code and Procedures, Operational Requirements.“ *JAES* 26(4), April 1978, S.242-246; im Original: „[...] 50 kHz (this ist 'common practice' today in any good professional amplifier) [...]“. (Der eigentl. Grund für 50 kHz: gutes Gruppenlaufzeitverhalten im hörbaren Bereich bis 20 kHz)

reits Anfang 1978 bei JVC in Japan durchgeführten Hörtests.¹ Dort wurden dreißig Audio-Ingenieure als Testhörer vor die Aufgabe gestellt, Tonsignale zu unterscheiden, die in zufälliger Reihenfolge entweder ungefiltert oder auf 14 kHz, 16 kHz, 18 kHz oder 20 kHz begrenzt waren. Interessant an diesen Tests ist die Tatsache, daß JVC besonderen Wert darauf legte, die Ergebnisse *statistisch* auszuwerten. Jede Testperson wurde bei jedem Filtertyp mit 20 zufälligen Kombinationen aus gefiltertem und ungefiltertem Signal konfrontiert und mußte sich entscheiden, ob es sich bei diesen Kombinationen um unterschiedliche oder gleiche Signale handelte.

Bei einem auf 14 kHz begrenzten Signal war immerhin eine Person in der Lage, alle 20 Kombinationen zu erkennen, 9 weitere Kandidaten lagen mehr als 15 mal richtig. Bei einer Begrenzung auf 16 kHz und 18 kHz erreichte niemand eine höhere Trefferquote als 14 richtige Entscheidungen bei 20 Versuchen.



Verteilung der richtigen Entscheidungen beim JVC-Hörtest²

Das eigentliche Fazit dieser Tests zog JVC jedoch aus der Testreihe, in der die Wahrnehmbarkeit einer Limitierung auf 20 kHz geprüft werden sollte. Daraus, daß sich die Anzahl der richtigen Entscheidungen *um* den statistischen Zufallswert von 10 richtig erkannten von 20 präsentierten Kombinationen herum gruppierten, schloß JVC, daß ein Tonumfang von 20 kHz „*durchaus*

¹ JVC. „Sampling-frequency consideration in the Digital Audio Standard.“ Paper of Feb. 1978; published as Muraoka, T., Y. Yamada and M. Yamazaki. „Sampling-Frequency Considerations in Digital Audio.“ *JAES* 26(4), April 1978, S.252-256

² Muraoka, T., Y. Yamada and M. Yamazaki. „Sampling-Frequency Considerations in Digital Audio.“ *JAES* 26(4), April 1978, S.252-256

ausreichend sei, um die Tonqualität nicht zu beeinträchtigen“. Der Tatsache, daß bei einer Begrenzung von 20 kHz immerhin drei Kandidaten in der Lage gewesen waren, in 13 von 20 Fällen richtig zu entscheiden, wurde aus statistischen Gründen keine weitere Beachtung geschenkt — es fand quasi eine Mittelwertbildung mit denjenigen statt, die nur 7 richtige Kombinationen erkannt hatten.¹ Gestützt wurde diese Interpretation noch durch die willkürliche Forderung, daß von einer verlässlichen Wahrnehmung nur dann die Rede sein könne, wenn 15 von 20 Entscheidungen richtig getroffen würden (dies entspricht einer über 95-prozentigen Verlässlichkeit). Das Ergebnis dieser Untersuchungen kam JVC jedenfalls nicht unangelegen, reihte es sich doch geradezu ideal in die von japanischer Seite vorgebrachten Argumente für die Abtastrate von 44,056 kHz ein.²

Trotz ähnlicher Ergebnisse verfolgten die kurze Zeit später im Mai 1978 in den Studios von PolyGram in Hannover durchgeführten Hörtests ein völlig anderes Ziel. Da PolyGram, für phonographische Produkte verantwortliche Tochter des Philips-Konzerns, zu diesem Zeitpunkt noch nicht in die gleichzeitig in Eindhoven betriebene Entwicklung des Compact-Disc-Projekts involviert war, stand es PolyGram zunächst frei, sich ohne Rücksicht auf Konzerninteressen ein möglichst objektives Bild vom menschlichen Hörumfang zu machen. Dabei war die Tatsache, daß solche Tests zu dieser Zeit ausgerechnet von einer Plattenfirma durchgeführt wurden, keine Selbstverständlichkeit, denn der durch die „Discowelle“ hervorgerufene rasante Anstieg der Verkaufszahlen deutete noch 1978 darauf hin, daß der Schallplatte die Zukunft gehören würde (erst ein Jahr später stagnierten die Verkaufszahlen und brachen bis 1984 ein).³ Obwohl PolyGram zur Frage der Beteiligung an der Entwicklung und Einführung des Compact-Disc-Systems lange Zeit eine abwartende Haltung vertrat⁴, war es die frühe Aufgeschlossenheit einiger Mitarbeiter, die

¹ Auch das Erkennen von 13 richtigen aus 20 Kombinationen bedeutet nach der gewählten Vorgehensweise eine Verlässlichkeit von knapp 90%.

² JVC. „Sampling-frequency consideration in the Digital Audio Standard.“ Paper of Feb. 1978; published as Muraoka, T., Y. Yamada and M. Yamazaki. „Sampling-Frequency Considerations in Digital Audio.“ *JAES* 26(4), April 1978, S.252-256

³ vgl. Diagramm S.79

⁴ vgl. Kap.2.6

dem Unternehmen später in Form eines Vorsprungs an Wissen und Erfahrung zugute kam und dazu führte, daß in Hannover weltweit die ersten Compact Discs gepreßt wurden.

Mitverantwortlich für dieses zunächst unerkannte Potential in Sachen digitaler Audiotechnik war der Organisator der Hörtests, Björn Blüthgen, der als gelernter Rundfunk- und Fernsehmechaniker zum Entwicklungsleiter des Audio Engineering Departments bei PolyGram aufstieg war.¹ Da Blüthgen, trotz leidenschaftlichen Interesses an der Amateurfunktechnik, nie die Zeit zum Erlernen des Morsecodes gefunden hatte, setzte er sich Anfang der 70er Jahre mit ersten alphanumerischen Displays auseinander, um Nachrichten auf digitale Weise — Buchstabe für Buchstabe — zu übertragen. Durch den Bau eines verbesserten Nachrichtenübertragungssystems, bestehend aus umgebauten alphanumerischen Taschenrechnern, zwischen denen über ein ebenfalls selbstgebautes Funkgerät eingetragene Nachrichten ausgetauscht werden konnten, eignete er sich auf privatem Wege weitere, praktische Erfahrungen in der Digitaltechnik an.² Die aus seiner beruflichen Tätigkeit auf dem Gebiet der analogen Studioteknik und seinem privaten Interesse an der Digitaltechnik entstehenden synergetischen Effekte führten 1975 zur Entwicklung des 16-spurigen Studioaufnahmegeäts „AMOR“ (Audio Multichannel Optical Recorder), welches auf digitaler Audiotechnik und optischer Bespielung bzw. Abtastung basieren sollte, jedoch aufgrund des gleichzeitig vom Nat.Lab. in Eindhoven verfolgten „DRAW“-Projekts³ nie realisiert wurde.

Wegen seiner Vorkenntnisse auf digitalem Gebiet und seinem Hang zu praktischen, umsetzbaren Lösungen waren Blüthgen die aus uneinheitlichen Digitalstandards resultierenden Probleme bewußt. Doch es widerstrebte ihm, aufgrund seines fehlenden Bezugs zur Videotechnik im allgemeinen und zum amerikanischen Fernsehstandard NTSC im besonderen, dem sich andeutenden, aus seiner Sicht äußerst unpraktikablen Abtastratenstandard von 44,056 kHz zuzustimmen. So war es Ziel seiner in den Studios von PolyGram durchgeführten Tests, eine objektive Vorstellung von der



Björn Blüthgen

¹ Blüthgen, Björn (PolyGram). Invitation to Listening Test, April 1978

² Blüthgen, Björn, Interview 3. Sep. 1993, 3A 343 - 3B 026

³ vgl. Kap.3.2

menschlichen Wahrnehmbarkeit bandbreitenbegrenzter Tonsignale bzw. verschiedener Abtastraten unter ansonsten idealen Studiobedingungen zu gewinnen. Dazu wurden eine Reihe von Tonmeistern mit besonders geschultem Gehör vor die Aufgabe gestellt, Tonsignale zu vergleichen, die in zufälliger Reihenfolge ungefiltert oder mit verschiedenen Güten bandpaßgefiltert wurden. Tonquellen waren dabei ein eigens aufgestelltes Harpsichord, vorhandene und von den Tonmeistern mitgebrachte Musikkassetten und eine Eisenstange, die sich — angeschlagen wie eine Triangel — bei den Hörtests als besonders aufschlußreich erwies.¹

Das Ergebnis dieser Tests war für alle Beteiligten überraschend und traf allenfalls auf unbeabsichtigte Zustimmung der europäischen Rundfunkunion. So stellte sich nämlich heraus, daß die Tonmeister nicht in der Lage gewesen waren, Tonfrequenzen oberhalb von 15 kHz wahrzunehmen — solange nur die aus der „Gruppenlaufzeit“ der verwendeten Filter herrührenden Verzerrungen ebenfalls im Bereich bis 15 kHz nicht wahrnehmbar waren.² Entsprechend hätte eine Abtastfrequenz von nur 32 kHz, wie sie bereits von der BBC in der European Broadcasting Union (EBU) als gemeinsame Abtastrate für Rundfunkanwendungen vorgeschlagen worden war, ausgereicht, um Musik von höchster Qualität zu digitalisieren.

Ähnliche Ergebnisse lieferte auch ein Hörtest, der im Münchener Institut für Rundfunktechnik durchgeführt wurde.³ Auch hier sollte festgestellt werden, ob eine Bandbreitenbegrenzung von 15 kHz bis 20 kHz wahrnehmbar ist. Doch obwohl die Testresultate praktisch mit denen von JVC und PolyGram übereinstimmten, unterschied sich das Fazit dieser Untersuchungen um eine Nuance. Zwar bestand die Hauptaussage aus einer grundsätzlichen Bestätigung des bereits von PolyGram ermittelten Ergebnisses, daß eine höhere Bandbreite als 15 kHz aus psychoakustischen Gründen nicht zu rechtfertigen sei. Andererseits wurde ausdrücklich darauf hinge-

¹ Blüthgen, Björn, Interview 3. Sep. 1993, 3B 363 - 4A 030 (Mit der Eisenstange konnte vor allem, wie bei einem Hörtest zusammen mit Dr. Doi herausgefunden wurde, die Qualität des Analog-Digitalumsetzers begutachtet werden.)

² Blüthgen, Björn, Interview 3. Sep. 1993, 4A 030 - 045

³ Plenge, G., H. Jakubowski, and P. Schöne. „Which Bandwidth is Necessary for Optimal Sound Transmission?“ *JAES* 28(3), March 1980, S.114-119

wiesen, daß es durchaus Testhörer gebe, die unter bestimmten Bedingungen in der Lage waren, einen erweiterten Frequenzumfang bis zu 20 kHz wahrzunehmen.

Diese in München durchgeführten Untersuchungen kamen JVC so gelegen, daß sich das japanische Unternehmen im Herbst 1979 erneut veranlaßt fühlte, die bereits knapp zwei Jahre zuvor durchgeführten Hörtests mit größerem Aufwand und unter erweiterten Testbedingungen zu wiederholen.¹ Doch abgesehen von einer aus marketingstrategischen Gründen nicht uninteressanten Aufschlüsselung nach verschiedenen Altersgruppen waren die Ergebnisse der nun mit 176 Kandidaten durchgeführten Tests mit den vorherigen identisch. Lediglich die von JVC gezogenen Schlußfolgerungen hatten sich aus taktischen Erwägungen geändert. Nicht nur aus Höflichkeit interpretierte JVC die Testergebnisse diesmal so, daß sie mit denen des Instituts für Rundfunktechnik übereinstimmten. Durch die Feststellung, daß eine Begrenzung auf 15 kHz für die „allgemeine Öffentlichkeit“ völlig ausreichend sei, setzte sich JVC nun ausdrücklich für die (tatsächlich nie anvisierte) Verwendung von 32 kHz (!) als Abtastrate für *Konsumgüter* ein. Durch diesen Schachzug war es möglich, eine mit der praktisch unhörbaren Bandbreitenbegrenzung auf 20 kHz einhergehende Abtastfrequenz „um 45 kHz“ (und somit die selbst favorisierten 44,056 kHz) als „professionell“ zu deklarieren.

Überlegungen zur Psychoakustik

Spätestens nach dieser Untersuchung war auch der Versuch, die festgefahrenen Samplingdebatten auf psychoakustischem Wege auf einen Kompromiß zuzusteuern, als gescheitert anzusehen. Zwar hatten die Tests ergeben, daß schon die mit der Rundfunk-Abtastrate von 32 kHz korrespondierende Bandbreite von nur 15 kHz zu hochwertigen Ergebnissen führen kann. Außerdem konnten die Testergebnisse von japanischen Befürwortern der Abtastfrequenz 44,056 kHz so interpretiert werden, daß eine Bandbreitenbegrenzung auf 20 kHz mehr als ausreichend sei, um höchste Ansprüche zu befriedigen. Und dennoch stand der brisanteste Punkt der stag-

¹ Muraoka, T., M. Iwahara, and Y. Yamada. „Examination of Audio-Bandwidth Requirements for Optimum Sound Signal Transmission.“ *JAES* 29(1/2), Jan./Feb. 1981, S.2-9

nierenden Samplingdiskussionen, nämlich die Frage nach einer zusätzlichen Abtastrate für professionelle Anwendungen, weiterhin zur Debatte. Solange es nämlich für nur einige wenige Testhörer möglich war, die Beschränkung auf 20 kHz wahrzunehmen, konnte von wahrhaft professionellen Umständen keine Rede sein, eine Einigung auf 44,056 kHz als alleinige Standard-Abtastrate war daher ausgeschlossen. Immerhin vertraten vor allem die amerikanischen Hersteller professioneller digitaler Audiotechnik nicht nur den Anspruch, die klanglichen Möglichkeiten der konventionellen Analogtechnik zu überbieten, sie verlangten für die Digitaltechnik auch den drei- bis sechsfachen Preis.¹ Unter solchen Bedingungen konnte eher auf die Vereinbarung einer unnötig niedrigen Abtastrate verzichtet werden als darauf, nicht auch höchsten Tonqualitätsanforderungen zu genügen.

Folgerichtig war es ein Verfechter deutlich höherer Abtastraten, nämlich der amerikanische Unternehmer Thomas G. Stockham Jr., der im Rahmen einer Sitzung des Digital Audio Technical Committee die von solchen Hörtests bzw. deren Auswertungen ausgehende Verwirrung bemängelte. Diese Rüge war nicht nur strategischer Natur, sondern war, da sich Stockham als theoretischer Kopf und Vordenker in der digitalen Audiotechnik betätigt hatte, auch von der Sache her ernst zu nehmen. Bereits 1972 hatte sich Stockham als Wissenschaftler der University of Utah mit seinen überarbeiteten Versionen von Enrico Carusos Grammophon-aufzeichnungen in der Fachwelt einen Namen gemacht. Mit Hilfe digitaler Filterung war es ihm gelungen, die bei der mechanischen Aufnahme durch den Aufnahmetrichter verursachten Verzerrungen rückgängig zu machen und sogar den auf den Schellackplatten vorhandenen Rauschpegel zu senken². Mit seiner im Jahre 1975 gegründeten Firma Soundstream verfolgte er das hochgesteckte Ziel, der neuartigen digitalen Audiotechnik mit Mitteln der artverwandten Computertechnik zu begegnen und vor allem digitale Mehrspuraufzeichnungsmaschinen für den Studiogebrauch zu ent-

¹ Miller, Thomas E. Comments on „Examination of Audio-Bandwidth Requirements for Optimum Sound Signal Transmission.“ Leserbrief *JAES* 30(9), Sep. 1982, S.621

² „Forty-Sixth Convention Program, Tagungsprogramm, September 10-13, 1973. Session H-1, H-9.“ *JAES* 21(9), Nov. 1973, S.755, 756
Peek, J.B.H. Interview 16.Juli 1993, 1B 110

wickeln, die *höchsten* Ansprüchen genügten.¹ Entsprechend ungehalten sprach Stockham 1980 im Rahmen der Sitzung des AES-Committees die an sich triviale Frage aus, die exakt das neuentstandene Kernproblem der stagnierenden Standardisierungsverhandlungen traf. In Anbetracht der Tatsache, so Stockham, daß einige Diskussionsteilnehmer das Gefühl hätten, eine Begrenzung auf 20 kHz sei *nicht* ausreichend, andere dagegen behaupteten, 15 kHz sei *mehr* als genug, erlaube er sich die Frage zu stellen, welche Frequenz denn nun wirklich für hochqualitative Aufnahmen verwendet werden müsse.²

Da Björn Blüthgen von PolyGram glaubte, eine wirklich unabhängige Studie sei nur mit erheblichem Kostenaufwand zu bewerkstelligen, einigte man sich darauf, erneut eigene Untersuchungen durchzuführen — diesmal jedoch in überparteilicher, internationaler Kooperation.³ Zwei Wege sollten dabei eingeschlagen werden, zum einen hatte sich Puddie Rodgers vom Auditory Research Lab der Northwestern University in Evanston, Illinois, bereit erklärt, Literaturquellen zu sammeln, um der Frage nach der psychoakustischen Wahrnehmbarkeit auf theoretischem Wege beizukommen. Außerdem sollten die an der Diskussion beteiligten Parteien mit identischen Probeständern versorgt werden, um die bereits bekannten Hörtests selbst durchführen und nachvollziehen zu können. PolyGram erklärte sich zu deren Herstellung und Versendung bereit.⁴ Doch auch die Ergebnisse dieser konzertierten Aktion führten nicht dazu, den Streit über die notwendige Höhe der Abtastrate endgültig beizulegen. Zwar konnte Puddie Rodgers eine Reihe von Veröffentlichungen präsentieren, die bis ins Jahr 1931 zurückreichten. Weil diese jedoch einerseits die Testergebnisse der von JVC und dem Institut für Rundfunktechnik durchgeführten Hörtests wie auch andererseits Untersuchungen über knochenbedingte Ultraschallwahrnehmungen umfaßten, war es erneut möglich, je nach Interessenlage zu unterschiedlichen Schlußfolgerungen

¹ vgl. Biography in: Blesser/Locanthi/Stockham (eds.). *Digital Audio. Collected Papers from the AES Premiere Conference*, Rye, N.Y. 1982 June 3-6. New York: AES 1983, S.21-22

² Minutes of the Meeting of the Digital Audio Technical Committee. Date: 1980 May 4 *JAES* 28(9), Sep. 1980, S.615-616

³ ebenda

⁴ Minutes of the Meeting of the Digital Audio Technical Committee. Date: 1980 Oct. 30 *JAES* 29(1/2), Jan./Feb. 1981, S.56-58

zu kommen.¹ Ebenso verhielt es sich mit den Testbändern, die Blüthgen an 24 verschiedene Gruppen mit der Bitte um Stellungnahme versandt hatte. Bezeichnend dafür, wie uneinheitlich dieser Test bewertet wurde, ist etwa die Reaktion der Mitglieder des Digital Audio Technical Committees, die gemeinsam in den Studios von Columbia Records am PolyGram-Hörtest teilnahmen. So behaupteten einige Teilnehmer, durchaus Unterschiede zwischen Referenz- und Testsignalen wahrgenommen zu haben, andere, befremdet von ihrer fehlenden Wahrnehmung einer Begrenzung auf 15 kHz, machten dafür die Enge verantwortlich, die während des Tests im Studio vorherrschte.²

Doch die Diskussion über die psychoakustisch notwendige Höhe der Abtastrate sollte sich im Nachhinein insgesamt als müßiges Unterfangen erweisen. Bei dem Versuch, sich der Fragestellung nach dem notwendigen Tonumfang auf theoretischem bzw. empirischem Wege zu nähern, hatte man nicht berücksichtigt, daß der Kernpunkt der Überlegungen einen wesentlichen Parameter späterer Konsumgüter darstellte, der wie kaum ein anderer subjektiven Vorurteilen ausgeliefert sein sollte. Selbst wenn sich in der Fachöffentlichkeit eine Bandbreite von 15 kHz als ausreichend erwiesen hätte, wäre dieses Ergebnis aus marktstrategischen Gründen nicht ohne weiteres umsetzbar gewesen.

20 kHz: Magie und Marketing

Daß bei der Entwicklung erster digitaler Audiogeräte zunächst intuitiv von einer menschlichen Hörgrenze von 20 kHz ausgegangen worden war, rührte von Erfahrungen mit der analogen Audiotechnik her. Denn auf dem Markt für nichtprofessionelle HiFi-Geräte zeichnete sich ein klarer Trend ab, hochwertige Komponenten auf einen möglichen Frequenzumfang von 20 kHz und mehr auszulegen. Die bei Plattenspielern, Tonbandgeräten, Verstärkern und Lautsprechern durchaus mögliche Bandbreite von 20 kHz konnte selbst bei der Compact Cassette — von Hause aus aufgrund ihrer ursprünglichen Auslegung als Diktiersystem hinsichtlich des

¹ vgl. Rodgers, Puddie. „Bibliography.“ *JAES* 29(1/2), Jan./Feb. 1981, S.66-68

² Minutes of the Meeting of the Digital Audio Technical Committee. Date: 1980 Oct. 30 *JAES* 29(1/2), Jan./Feb. 1981, S.56-58

möglichen Frequenzumfangs benachteiligt — durch die Verwendung von Bandmaterial in „Metall“-Qualität erreicht werden.¹

Somit war der leicht einprägsame Wert von 20 kHz aber nicht nur einer von vielen technischen Parametern, vielmehr verband sich mit ihm ein entscheidendes Werbeargument, stand er doch stellvertretend für die hohe Qualität der verwendeten Systemkomponente. Die aufkommende, als fortschrittlich geltende Digitaltechnik, mußte sich, sofern sie qualitativ als mindestens ebenbürtig gelten sollte, diesem vermeintlichen Zwang kommerzieller Akzeptanz beugen und ebenfalls die „magische“ Bandbreite von 20 kHz in digitalen Audiogeräten gewährleisten.² Obwohl etwa die von Blüthgen ermittelten Testergebnisse konzernintern durchaus anerkannt wurden³, herrschte auf der Ebene des Managements auch Einigkeit darüber, daß jede Unterschreitung von 20 kHz — „zu Unrecht“ — als technisch rückschrittlich gelten würde.⁴ Um keine werbetechnisch nur schwer beherrschbare Verwirrung zu stiften, war es geboten, auf die „reinen Gefühle oder die reine Engstirnigkeit“⁵ der Konsumenten Rücksicht zu nehmen und die „heilige Zahl des Marketings“⁶ im Sinne von „mehr ist besser“ zu respektieren⁷ — zumal auch namhafte Musiker verlauten ließen, daß Frequenzen oberhalb von 15 kHz zwar nicht „hörbar“ aber dennoch „wahrnehmbar“ seien.⁸

Eine logische Konsequenz der Hörtests, die etwa darin bestanden hätte, sich eingehender mit den Vorteilen einer Begrenzung der Bandbreite auf 15 kHz (einhergehend mit einer entsprechenden Abtastrate von etwa 32 kHz) auseinanderzusetzen, blieb daher aus Gründen des Marketings aus. Allein die europäische Rundfunk-

¹ Gall, A.A.M. (Philips). Manuskript, Dec. 8, 1980

² Tendeloo, H. (PolyGram). Brief an H. Franz (PolyGram), June 17, 1981

³ Gall, A.A.M. (Philips). Manuskript, Dec. 8, 1980

⁴ Franz, H. (PolyGram). Brief an C.J. van der Klugt (Philips), Feb. 3, 1981

⁵ Busby, E.S. (Ampex). Brief an P.K. Burkowitz (PolyGram), Feb. 9, 1979
im Original: „[...] pure emotion, or pure stubbornness [...]“

⁶ Tendeloo, H. (PolyGram). „Sampling rate CD and digital recording“
Manuskript, May 7, 1982; im Original: „20 kHz is a 'sacred' Marketing figure.“

⁷ Busby, E.S. (Ampex). Brief an P.K. Burkowitz (PolyGram), Feb. 9, 1979

⁸ Gall, A.A.M. (Philips). Manuskript, Dec. 8, 1980;
im Original: „Musici van naam en faam stellen evenwel dat audiofrequenties boven 15 kHz wel waarneembaar zijn.“

union (EBU) hielt, von den Problemen des Tonträgermarkts entkoppelt, weiterhin an der Verwendung der Abtastrate von 32 kHz fest und setzte damit einen wichtigen Fixpunkt für weitere Diskussionen.¹

Tatsachen als Argumente

Gleichzeitig mit den Bemühungen, der Wahrheitsfindung in Sachen Abtastrate auf psychoakustischem Wege zu begegnen, waren konkrete Produktentwicklungen in ein Stadium der Marktreife getreten. Die inzwischen von der japanischen Industrie für die auf Heimvideorecorder basierenden Audiorecorder nun fest vereinbarte Abtastfrequenz von 44,056 kHz² engte den Verhandlungsspielraum der ohnehin verfahrenen Standardisierungsdiskussionen zunehmend ein. Neben der EBU-Frequenz von 32 kHz hatte sich damit die krumme „Japanfrequenz“ endgültig zum De-facto-Standard entwickelt. Entsprechend naheliegend war es nun für Sony, einem der wichtigsten Befürworter dieser Frequenz, dieselbe auch in die zusammen mit Philips betriebene Entwicklung des Compact-Disc-Systems einzubringen. Da Philips selbst aufgrund fehlender Vorbelastung im digitalen Audiobereich keine Sonderwünsche in Sachen Abtastrate verfolgte und sich eine Frequenz im Bereich von 44 kHz problemlos mit der für die CD anvisierten Vorgaben vereinbaren ließ³, stand einer Berücksichtigung der Vorlieben des Kooperationspartners Sony nichts entgegen.

Diese Vorstellung widerstrebte jedoch besonders Björn Blüthgen, der befürchten mußte, daß all seine Bemühungen, auf internationaler Ebene einen simplen Standard zu vereinbaren, vergebens waren. Im Alleingang versuchte er daher, unter Umgehung der offiziellen Beziehungen zwischen Philips und Sony das drohende Übel der völlig unpraktikablen krummen Abtastfrequenz von 44,056 kHz wenigstens abzumildern. Beste Voraussetzungen für dieses ungewöhnliche Vorgehen bestanden durch Blüthgens

¹ Bellis, F.A. and G.W. McNally (BBC). Brief an J.G. McKnight (Magn. Ref. Lab.), April 18, 1978

European Broadcasting Union. „Multiplexing Methods for the Emission of Digital Sound Signals in Broadcasting“, Manuskript, Feb. 1981.

² Electronic Industries Association of Japan. Technical File of the Stereo Technical Committee and the Video Technical Committee STC-007 (1979)

³ Gall, A.A.M. (Philips). Manuskript, Dec. 8, 1980

persönliche Kontakte zu einer Person, die sowohl Sonys Interessen hinsichtlich der Abtastrate auf internationaler Bühne vertrat als auch gleichzeitig Schlüsselfigur bei den Compact-Disc-Verhandlungen zwischen Philips und Sony war, nämlich Dr. Toshi T. Doi.

Als Blüthgen am Rande eines AES-Konvents und einer Versammlung des Digital Audio Technical Committees in Los Angeles im Frühjahr 1980 seine Bedenken Doi gegenüber zur Sprache brachte, wußte er, daß er nicht zwangsläufig auf taube Ohren stoßen mußte. Zwar repräsentierte Doi in erster Linie die Interessen von Sony, als versierter Ingenieur war er sich aber dennoch der möglichen Schwächen seiner offiziell vorgetragenen Argumente bewußt. Eine optimale Gelegenheit, mit Doi unter vier Augen über die Abtastfrequenz zu debattieren, bot sich gleich im Anschluß an den Aufenthalt in L.A., hatte Blüthgen doch ohnehin einen Abstecher nach Japan fest eingeplant. Schon während des Fluges brachte er nochmals energisch alle nur denkbaren Argumente gegen die Abtastrate von 44,056 kHz vor und wies vor allem auf die unnötigen Komplikationen hin, die wegen einer solch krummen Frequenz dem Compact-Disc-System aufgebürdet würden.¹ Sein Plädoyer erwies sich als eindrucksvoll, so daß sich noch während Blüthgens Aufenthalt in Japan eine Entscheidung abzeichnete, die weitreichende Folgen haben sollte. Mit Blick auf das Zukunftsprodukt CD willigte Doi plötzlich nach jahrelangem Zetern ein, seinen eindeutigen Favoriten 44,056 kHz zugunsten dessen Zwillingsspartners 44,1 kHz aufzugeben, der bis dahin als Alibi-Frequenz für das Verbreitungsgebiet von PAL-/SECAM-Video recordern ein Schattendasein geführt hatte. Für diese aus japanischer Sicht erhebliche Kursänderung wollte sich Doi jedoch nur unter einer Bedingung einsetzen; um sein Gesicht in der Öffentlichkeit nicht zu verlieren, war er nur bereit, sich *konzernintern* für die Umdeutung des japanischen De-facto-Standards von 44,056 kHz auf 44,1 kHz stark zu machen. Auf internationaler Ebene, insbesondere aber beim CD-Labor von Philips, mußte sich Blüthgen für die Vereinfachung einsetzen. Würde Blüthgen es schaffen, noch kurz vor der endgültigen Festlegung der CD-Spezi-

¹ Blüthgen, Björn, Interview 3. Sep. 1993, 3B 321 - 330

fikationen im Juni 1980¹ auch Philips auf 44,1 kHz einzustimmen, so könnte er Sony dazu bringen, darauf diplomatisch mit Einverständnis zu reagieren.

Abtastrate der Compact Disc: 44,1 kHz

Nur wenig Überzeugungsarbeit war von PolyGram zu leisten, um den Mitarbeitern des CD-Labors von Philips die Vorzüge dieser einfacheren Abtastrate zu verdeutlichen.² Der vertrauliche Hinweis darauf, daß Sony sich mit einem Übergang auf die PAL-Variante der „Japanfrequenz“ einverstanden erklären würde, genügte, um Philips auf den bevorstehenden Kurswechsel in den gleichzeitig stattfindenden CD-Standardisierungsverhandlungen mit Sony vorzubereiten. Da einem solchen Schritt seitens des niederländischen Konzerns nach wie vor keine eigenen Interessen entgegenstanden, wurde in den nachfolgenden technischen Verhandlungen die Abtastrate des Compact-Disc-Systems endgültig auf 44,1 kHz festgelegt.

Mit dieser Vereinbarung im Jahre 1980 war ein für Sony gelungener Kompromiß zustande gekommen. Einerseits konnte der japanische Konzern nun Vorwürfe von sich weisen, in Sachen Abtastrate nicht verhandlungs- und kompromißbereit gewesen zu sein. Andererseits wußte Sony, daß im Falle einer weltweiten Durchsetzung des CD-Systems gleichzeitig auch der ursprünglich favorisierte Zwillingspartner von 44,1 kHz, nämlich 44,056 kHz, aufgrund des aus japanischer Sicht stets vernachlässigten Unterschieds von nur 0,1 % eine massive Stützung erfahren würde. Im Windschatten eines erfolgreichen Compact-Disc-Systems würde sich auch aufgrund der großen Ähnlichkeit die Abtastrate der auf Heimvideorecordern basierenden Digitalrecorder verfestigen. Außerdem hatte dieser Kompromiß den nicht unerwünschten Nebeneffekt, daß auch die von Doi gegen die Interessen der amerikanischen Audioindustrie vorgeschlagene professionelle Abtastrate von 50,4 kHz einen erneuten Aufschwung erlebte. Da sinnvolle Einsatzmöglich-

¹ Dierckx, F.J. „Compact Disc: A Unique Achievement.“ Maplezingen CD, 1985, S.2

Sinjou, J.P. „Compact Disc 1982-1992“ Speech, May 1991

² Peter K. Burkowitz (PolyGram) reichte diesen Vorschlag an Philips weiter. vgl.: Blüthgen, Björn (PolyGram) Interview 3. Sep. 1993, 3B 328

keiten professioneller Audiogeräte gerade im Vorfeld von CD-Produktionen bestehen, war wegen des einfachen Transcodierungsverhältnisses zwischen 44,1 kHz und 50,4 kHz im Verhältnis 7:8 mit einer deutlichen Stärkung der von Sony favorisierten professionellen Abtastrate zu rechnen.¹

4.4 KRISENSTIMMUNG (1981)

Als Dr. Doi von Sony im März 1981 anlässlich einer Sitzung des AES Digital Audio Technical Committees in Hamburg einen Vortrag über Abtastraten hielt, begründete er sein erneutes Engagement in dieser ansonsten zum Erliegen gekommenen Debatte damit, daß „sich herausgestellt hat, daß noch immer, trotz der langen und schweren Diskussionen seit 1978, selbst unter Experten einige Mißverständnisse bestehen“.² Was daraufhin folgte, war jedoch weniger die Bereinigung von „Mißverständnissen“, als vielmehr eine diplomatisch feinfühlig eingefädelte Maßnahme zur Abwendung einer drohenden Krise um die Abtastrate. Diese hatte sich drei Wochen zuvor in Gesprächen angebahnt, die im Rahmen der Tagung der International Electrotechnical Commission (IEC) in Prag geführt worden waren.

Der Prager Kompromiß: 48 kHz

Am Rande der Veranstaltung des IEC-Meetings in Prag im Februar 1981 hatte Björn Blüthgen von PolyGram anlässlich seines Geburtstags einige seiner Fachkollegen, darunter Alastair Heaslett von Ampex und Robert J. Youngquist von 3M, an die Hotelbar geladen. In intimer Runde steuerten die Gespräche erneut auf das Reizthema Abtastrate zu. Dabei wurde den Teilnehmern bewußt, daß nur eine rasche Wiederbelebung der festgefahrenen Samplingdebatten ein neues Ergebnis liefern könnte, da ansonsten japanische Fakten jede

¹ Doi, T.T. (Sony). „On Sampling Rate for Digital Audio Recorders.“ Vortragsmanuskript: AES Digital Audio Technical Committee Meeting on May 4, 1980; veröffentlicht: *JAES* 28(9), Sep. 1980, S.616-618

² Doi, T.T. (Sony). „On Sampling Rate Considerations.“ Vortragsmanuskript: AES Digital Audio Technical Committee Meeting on March 16, 1981; im Original: „[...] it was found that there are still some misunderstandings even among experts [...]“

weitere Diskussion erübrigen würden.¹ Problematisch bei diesem Unterfangen war jedoch, daß in den Gesprächen ein japanischer Gegenpol fehlte, der etwa durch die Anwesenheit des verhinderten Dr. Doi gegeben gewesen wäre. Da Blüthgen jedoch, obwohl er sich noch ein Jahr zuvor bei Doi für die Anhebung und Vereinfachung der Abtastrate von 44,056 kHz auf 44,1 kHz eingesetzt hatte, an technisch optimalen Lösungen stets mehr interessiert war als an prinzipieller Linientreue, übernahm auch er diesen „japanischen“ Part nicht. Die zuvor ausgehandelten 44,1 kHz hatten aus Blüthgens Sicht noch immer einen unnötig engen Bezug zur semiprofessionellen Videotechnik, dagegen war ihre eigentlich wichtige Verträglichkeit mit der professionellen Audiotechnik, zum Beispiel mit der im Studiobetrieb üblichen „Masterclock“, einer Frequenz (etwa 2,25 MHz), über die alle Studiogeräte synchronisiert werden, eher unklar.²

Diese Mischung aus Unzufriedenheit über die technische Unzulänglichkeit der Abtastrate 44,1 kHz, ihrer bevorstehenden Verfestigung durch die fortschreitende CD-Entwicklung und des Fehlens eines japanischen Gegenpols bewirkte in der Prager Barrunde eine ungewöhnliche Verhandlungs- und Kompromißbereitschaft. So kam es, daß sich im Laufe des Abends ein aus westlicher Sicht bestechender Kompromiß entwickeln konnte, der umgekehrt jedoch eine krisenhafte Stimmung zwischen Sony und Philips erzeugte.³ Dieser Kompromiß beinhaltete den Vorschlag, sich auf das ursprüngliche Ziel aller Samplingdebatten zurückzubesinnen und (neben der Abtastfrequenz für den Rundfunkgebrauch von 32 kHz) nur *eine einzige* Abtastrate für alle HiFi-Anwendungen international zu standardisieren. Die Rolle dieses globalen Abtaststandards sollte danach die Frequenz **48 kHz** einnehmen, eine Frequenz

¹ Schon im Rahmen der offiziellen Verhandlungen in Prag hatte Blüthgen nach Alternativen zu 44,1 und 50,4 kHz gesucht.

vgl.: Blüthgen, B. (PolyGram). „Professional Recorder Sampling Rate.“ Manuskript, vorgelegt zum: IEC SC 60A Working Group 16 meeting in March 1981

² Blüthgen, B. (PolyGram). Telex an T.T. Doi (Sony), March 2, 1981

Doi, T.T. (Sony). Telex an B. Blüthgen (PolyGram), March 9, 1981

Blüthgen, B. (PolyGram). Telex an T.T. Doi (Sony), March 9, 1981

³ Die Krise hätte beinahe auch Blüthgens Kündigung zur Folge gehabt. Vgl. Blüthgen, Björn, Interview 3. Sep. 1993, 4A 090

also, die in den zurückliegenden Diskussionen nur eine untergeordnete Rolle eingenommen hatte.

Die Vorteile einer Abtastrate von 48 kHz lagen auf der Hand. Zum einen war aufgrund des einfachen Zahlenverhältnisses zur EBU-Rundfunkfrequenz von 32 kHz eine digitale Transcodierung denkbar unproblematisch. Obwohl sich mit 48 kHz die Speicherung auf Heimvideorecordern im Vergleich zur dazu genau angepaßten Abtastrate von 44,056 kHz als weniger einfach erwies, waren die Synchronisationseigenschaften von 48 kHz mit Rundfunk- und Fernsehfrequenzen durchaus positiv — schon drei Jahre zuvor hatten Martin Willcocks und auch die BBC auf die technischen Vorteile von 48 kHz hingewiesen.¹ Der eigentliche Vorzug dieses Vorschlags bestand jedoch darin, daß er buchstäblich in der Lage zu sein schien, die entstandene Kluft zwischen professioneller und Konsumgüteranwendung zu schließen und die damit verbundene Frontenbildung aufzuheben. Die zuvor auf 50 kHz eingestimmte USA-Fraktion war einerseits bereit, sich auf nur 48 kHz als professionelle Abtastfrequenz einzulassen, im Gegenzug erwartete man, daß auch (japanische) Konsumgüter mit einer Abtastrate von 48 kHz statt 44,1 kHz betrieben werden sollten. Aufgrund dieses relativ geringen Unterschiedes sollte es sogar möglich sein, vorhandene japanische Digitalrecorder mit einer Abtastrate von etwa 44,1 kHz, lediglich durch Austausch der taktgebenden Quarze, auf 48 kHz „aufzurüsten“, da eine knapp neunprozentige Schaltraten-erhöhung in den Toleranzgrenzen integrierter Schaltkreise liege.²

Sonys Abneigung

Als nun Blüthgen, kurz nach seiner Rückkehr aus Prag, den auch von anderen Konferenzteilnehmern vermißten Dr. Doi in einer „dringlichen Nachricht“ per Telex über den neuerlichen Kompro-

¹ Willcocks, Martin. „A Review of Digital Audio Techniques.“ *JAES* 26(1/2), Jan./Feb. 1978, S.56-64

Bellis, F.A. and G.W. McNally (BBC). Brief an J.G. McKnight (Magn. Ref. Lab.), April 18, 1978

² Blüthgen, Björn, Interview 3. Sep. 1993, 3B 340

Blüthgen, B. (PolyGram) and F.A. Griffiths (Decca). „PolyGram Observations to EBU“, Manuskript, June 1981

miß informieren wollte¹, reagierte dieser zunächst verduzt². Durch die Aufzählung der aus westlicher Sicht bestechenden Argumente fühlte sich Doi um drei Jahre in die Anfänge der Diskussion zurückversetzt.³ Schließlich ließen diese mehr auf professionelle Anwendung abzielenden Erwägungen die handfesten Bestrebungen Japans, möglichst preiswerte digitale Aufzeichnungsgeräte auf der Basis von Heimvideorecordern anzubieten, völlig unberücksichtigt. In der Befürchtung, daß alle in den letzten drei Jahren geführten Samplingdiskussionen vergeblich waren und der für Sonys Entwicklungen so grundlegende De-facto-Abtaststandard von 44,056 kHz bzw. 44,1 kHz Gefahr lief, durch einen neuerlichen internationalen Kompromiß überrollt zu werden, zog Dr. Doi daher alle Register des diplomatischen Krisenmanagements. In der Öffentlichkeit, wie etwa anlässlich der Sitzung des AES Digital Audio Technical Committees im März 1981 in Hamburg, bezog er nun eine äußerst wohlwollende und ausgewogene Position. Auch andere als die selbst favorisierten Frequenzen 44,1 kHz und 50,4 kHz wurden von ihm außergewöhnlich kritiklos bewertet.⁴ Ihm gelang es nun, selbst den Abtastraten der größten Konkurrenten des CD-Systems, nämlich der des AHD Systems von JVC (47,25 kHz) und der des Mini-Disk-Systems von AEG-Telefunken (48 kHz), Vorzüge abzugewinnen. Außerdem nannte er den ehemals ungeliebten amerikanischen Profifrequenz-Vorschlag von 50 kHz im gleichen Atemzug mit seinem Favoriten 50,4 kHz als gleich verträglich hinsichtlich der Synchronisierbarkeit zu Fernseh- und Filmmormen.

Der Grund für die neuerliche Toleranz, die Doi auch bei späteren Anlässen konkurrierenden Frequenzvorschlägen entgegenbrachte⁵, spiegelte sich bereits in den ersten Worten seines Hamburger Vortrags, mit denen er nun darauf hinwies, daß er *nicht* glaube, „daß die Harmonisierung der Samplingrate [...] eine dring-

¹ Blüthgen, B. (PolyGram). Telex an T.T. Doi (Sony), March 2, 1981

² Doi, T.T. (Sony). Telex an B. Blüthgen (PolyGram), March 9, 1981

³ ebenda

⁴ Doi, T.T. (Sony). „On Sampling Rate Considerations.“ Vortragsmanuskript: AES Digital Audio Technical Committee Meeting on March 16, 1981.

⁵ z.B. auch am 5. Juni bei der EBU Digital Audio Committee Sitzung in Montreux:
Griffiths, F.A. (Decca). Visit Report EBU Digital Audio Committee Meeting in Montreux, June 5, 1981.

liche Angelegenheit“ sei. Im Gegensatz zu anderen Teilnehmern der Diskussionen war Doi zu diesem Zeitpunkt bewußt, daß das Compact-Disc-System, dessen Abtastrate auf 44,1 kHz festgelegt worden war, mit großer Wahrscheinlichkeit erfolgreich in den Markt eingeführt werden könnte. Bereits wenige Wochen zuvor, am 19. Januar 1981, war der weltweit größte Unterhaltungselektronikkonzern Matsushita — trotz des von der Konzerntochter weiterhin verfolgten Konkurrenzsystems AHD — in die Reihe der Lizenznehmer für das Compact-Disc-System aufgenommen worden.² Die sich daraus ableitende Etablierung der CD-Abtastrate 44,1 kHz war unter diesen Vorzeichen lediglich eine Frage der Zeit.

Doi sah es deshalb als seine wesentliche Aufgabe an, Tumulte um die CD-Abtastrate zu vermeiden, um andere CD-Lizenznehmer nicht zu verunsichern. Da die eingeschlafenen Samplingdiskussionen mit dem 48 kHz-Kompromiß wiederaufzuleben drohten, war es notwendig, die Fronten frühzeitig zu entschärfen und einer Zuspitzung auf wenige konkurrierende Abtastraten auszuweichen.

PolyGrams Mobilmachung

Da Dr. Doi von Sony signalisiert hatte, eher die De-facto-Standardisierung von 44,1 kHz aussitzen zu wollen als sich auf 48 kHz-Diskussionen einzulassen, versuchte Björn Blüthgen nun, sich firmenintern bei PolyGram für eine globale Abtastrate von 48 kHz einzusetzen.³ Dabei fand er spontane Unterstützung bei Peter K. Burkowitz, einem Mann, ohne dessen Rückendeckung Blüthgens Engagement bald zum Erliegen gekommen wäre. Denn Burkowitz hatte als erfahrener Praktiker nicht nur Interesse an technisch sinnvollen Lösungen, er war vor allem Vizepräsident von PolyGram und hatte 1980/81 den Vorsitz der Audio Engineering Society inne.⁴ Mit einem in Kreisen professioneller Studiobetreiber zugkräftigen Argument, nämlich der mangelnden Verträglichkeit von 44,1 kHz mit der im Studiobetrieb üblichen Masterclock, konnte er die Auf-

¹ Doi, T.T. (Sony). „On Sampling Rate Considerations.“ Vortragsmanuskript: AES Digital Audio Technical Committee Meeting on March 16, 1981.

² vgl. Kap.2.6

³ Dierckx, F.J. „CD Development“ S.7

⁴ Blüthgen, B. (PolyGram). Brief an Burkowitz/Dr. Franz/Immelmann/Tendeloo, March 23, 1981

⁵ „About People...“ *JAES* 31(10), Oct. 1983, S.791-793

merksamkeit von Han Tendeloo, Direktor von PolyGrams Studiobereich und des technischen Stabs¹, gewinnen. Obwohl Tendeloo — stets bemüht um ein reibungsfreies Verhältnis zur Konzernmutter Philips — Blüthgens Tatendrang mit gemischten Gefühlen zur Kenntnis nahm², überzeugte ihn ein Argument, das Ampex in ähnlicher Weise bereits drei Jahre zuvor angeführt hatte.³ Werden nämlich Videofilme mit digitalen Audiosignalen vertont, so entstehen genau dann Probleme der Lippensynchronisation, wenn unter den zeitsynchronen Bedingungen der Masterclock gleichzeitig Kopien im NTSC- und im PAL- oder SECAM-Format erstellt werden.⁴ Diese für PolyGram aufgrund internationaler Ausrichtung nicht ungewöhnliche Aufgabe veranlaßte Tendeloo, sich erneut mit dem Thema der Abtastraten zu befassen, obwohl dies in seinen Augen „Territorium der Freunde bei Philips“ war.⁵ Da jeder offizielle Vorschlag einer Kursänderung bezüglich der schon festgelegten CD-Spezifikationen gut begründet werden mußte, bevor ihn Tendeloo der Konzernmutter Philips „injizieren“ wollte⁶, beschloß er, daß Blüthgen PolyGrams Standpunkt zu dieser Frage sorgfältig ausformulieren sollte. Anlässlich internationaler Treffen sollte sich Blüthgen jedoch keineswegs in diesbezügliche Diskussionen verwickeln lassen.⁷

¹ „About People...“ *JAES* 31(10), Oct. 1983, S.793 („dir. of rec. services and techn. staff“)

² Tendeloo, H. (PolyGram). Brief an Dr. Franz/Burkowitz/Blüthgen/Immelmann, March 26, 1981

³ Lipsync-Probleme unter zeitsynchronen Bedingungen bei der Überspielung zwischen NTSC- und PAL/SECAM-Formaten:

Ampex. „Argument Against 50,4 kHz as the Standard Sampling Frequency“ Manuskript, July 10, 1978.

⁴ Blüthgen, B. (PolyGram). Telex an T.T. Doi (Sony), March 2, 1981

Blüthgen, B. (PolyGram). Brief an Burkowitz/Dr. Franz/Immelmann/Tendeloo, March 23, 1981

T.T. Doi entkräftete dieses Argument später durch die Behauptung, die Lipsync-Probleme könnten in diesem Falle automatisch durch eine Verzögerungsleitung behoben werden. Vgl. Doi, T.T. (Sony). „On Digital Audio Sampling Rate.“ Vortragsmanuskript (EBU, Montreux) of June 5, 1981

⁵ Tendeloo, H. (PolyGram). Brief an Dr. Franz/Burkowitz/Blüthgen/Immelmann, March 26, 1981

⁶ Tendeloo, H. (PolyGram) „Conclusions meeting in Hannover, 1981-04-09. on audio sampling rate“, April 10, 1981

⁷ ebenda

Doch obwohl Han Tendeloo Philips schonend darauf hinwies, daß sich PolyGram eine andere CD-Abtastfrequenz als 44,1 vorstellen könnte¹, stießen diese Vorschläge in Eindhoven nicht auf Resonanz. Neben der Abtastrate 44,1 kHz war nämlich auch die Spieldauer der Compact Disc auf mehr als 74 Minuten festgelegt worden², um Sonys Wunsch nachzukommen, Beethovens neunte Symphonie auf einer CD speichern zu können.³ Außerdem sollte die Option offengehalten werden, Auto-CD-Player zu konstruieren, deren Abmessungen denen genormter Autoradios entsprachen — jede weitere Erhöhung des bereits auf 120mm vergrößerten Durchmessers der CD engte jedoch den Realisierungsspielraum solcher Geräte weiter ein.⁴ Da aber eine Anhebung der Abtastfrequenz, aufgrund der bereits physikalisch ausgereizten Speicherdichte⁵, entweder mit einer Verringerung der Spielzeit oder aber mit einer Vergrößerung der Speicherfläche verbunden war⁶, konnte die Frage, die CD-Abtastrate auf 48 kHz zu erhöhen, bei Philips zu diesem Zeitpunkt nicht mehr ernsthaft zur Debatte stehen.⁷

Sonys Protest

Nur wenige Tage dauerte es, bis die Information, daß Björn Blüthgen nun auch PolyGram mobilisierte, um bei Philips für eine einheitliche Abtastrate von 48 kHz zu werben, nach Japan zu Dr. Doi durchgedrungen war. Weniger sanft als bei seinen öffentlichen Auftritten antwortete dieser nun verärgert mit einer vierseitigen Grundsatzklärung, die er per Telex an Blüthgen (und als Kopie an alle Verantwortlichen bei PolyGram und Sony) schickte.⁸ Bereits

¹ Etwa durch den Hinweis auf den möglichen zukünftigen Bedarf eines Dreikanal-Tonträgers, der sich für den Fall einer mit 48 kHz gesampelten Stereo- (also Zweikanal-) CD immerhin mit einer Samplingfrequenz von 32 kHz realisieren ließe (2x48 = 3x32) — vgl: Tendeloo, H. (PolyGram). Brief an J.B.S.M. Kerstens (Philips), April 13, 1981

² Bögels, P.W. (Philips). Brief an J.F. Brouwer, April 14, 1981

³ vgl. Kap.2.4

⁴ Ottens, L.F. „CD Development“ S.11

Blüthgen, Björn (PolyGram). Interview 3. Sep. 1993, 4A 160

⁵ Carasso, M.G., J.B.H. Peek and J.P. Sinjou. „The Compact Disc Digital Audio System.“ *Philips Technical Review* 40(6), 1982, S.151-156

⁶ Bögels, P.W. (Philips). Brief an J.F. Brouwer, April 14, 1981

⁷ Mons, J.J. (Philips). Interview 25. November 1993, 5B 352

⁸ Doi, T.T. (Sony). Telex an B. Blüthgen (PolyGram), April 14, 1981

im ersten der zwölf Punkte seiner Erklärung machte Doi deutlich, daß er sich nicht auf weitere Diskussionen um die bereits festgelegte CD-Frequenz von 44,1 kHz einlassen werde:

„Es gibt nicht die geringste Chance, die Samplingrate der Compact Disc, 44,1 kHz, zu ändern. Sony und Philips haben diese von zahlreichen Blickwinkeln aus untersucht und sie für die beste Wahl erachtet.“¹

Im weiteren Verlauf der Erklärung gab er Blüthgen „als Freund“² den Rat, die Richtung des „großen Rades“, das er, Doi, zwei Jahre zuvor angeworfen habe und das von Tag zu Tag an Schwung zugelegt habe, nicht mehr zu ändern.³ Ein solcher Versuch sei nämlich zum Scheitern verurteilt⁴, da es „japanischer Methode“ entspreche, Schritt für Schritt auf das angestrebte Ziel zuzugehen und nicht plötzlich auf halbem Wege die Meinung zu ändern⁵ — ansonsten büße man mit Sicherheit an Glaubwürdigkeit ein.⁶ Statt das Ziel aus den Augen zu verlieren, solle sich Blüthgen vielmehr glücklich schätzen, zu den wenigen Menschen zu gehören, die die Richtung des Rades kennen und sich vor allen anderen auf den Umschwung vorbereiten könnten.⁷ Halte er sich jedoch nicht an Doi's Rat, so werde PolyGram finanzielle Einbußen erleiden⁸, für die Blüthgen vom Management verantwortlich gemacht werden würde.⁹

¹ im Original: „1) there is not 'any' chance to change the sampling rate, 44.1khz, of compact disc. sony and philips have studied from various points of view, and concluded this is the best choice.“

² vgl. Punkt 11) der Erklärung

³ vgl. Punkt 11) der Erklärung: „a big wheel [...] which has been accelerating day by day“

⁴ vgl. Punkt 11) der Erklärung: „vain attempt“

⁵ vgl. Punkt 10) der Erklärung: „japanese method is to move gradually toward the target which is promised [...] we will be very much confused if you suddenly change your mind on the half way“

⁶ vgl. Punkt 10) der Erklärung: „otherwise we will surely lose our credibility“

⁷ vgl. Punkt 11) der Erklärung: „you are at the very good position to contribute to polygram because you are one of those several people who can know the exact destination of the wheel, and as far as you advise to your top management of the right direction, polygram can prepare for the revolution before everyone can notice it.“

⁸ vgl. Punkt 11) der Erklärung: „otherwise i am afraid but say it will be 'polygram' who will lose money“

⁹ vgl. Punkt 11) der Erklärung: „your top management will blame you because other company will surely follow the right direction but polygram is apart from the main stream even though you knew all the information prior to the others“

Spätestens nach dieser Drohung des CD-Kooperationspartners Sony sah sich auch Philips veranlaßt, Blüthgens Elan zu bremsen. Entsprechend unmißverständlich war daher auch Philips' offizielle Weisung an das PolyGram-Management:

„Wir möchten Sie bitten, Ihre Mitarbeiter zu beauftragen, während Versammlungen wie A.E.S. in Los Angeles und so weiter, keine Missverständnisse über unseren festliegenden C.D. Standard entstehen zu lassen. Es ist in diesem Stadium sehr gefährlich, Verwirrungen zu verursachen.“¹

Konfrontation

Trotz der eindeutigen politischen Signale, die sowohl von Sony als auch von Philips ausgegangen waren, dachten Björn Blüthgen und Peter K. Burkowitz von PolyGram nicht daran, nur aus atmosphärischen Gründen von ihrer technisch fundierten 48-kHz-Kampagne abzulassen. Da Blüthgen es sich — trotz der angeordneten Zurückhaltung in Sachen Abtastfrequenz — nicht nehmen ließ, auf internationaler Bühne für einen Abtastraten-Weltstandard von 48 kHz zu werben², handelte er sich sogar eine Strafmaßnahme ein. Um nämlich zu verhindern, daß Blüthgens konstruktive Kritik an der fest vereinbarten CD-Abtastrate in der Öffentlichkeit als mangelnde Linientreue des Philips-Konzerns angesehen werden könnte, wurde ihm untersagt, am Treffen des Digital Audio Committees der EBU (European Broadcasting Union) im Juni 1981 in Montreux teilzunehmen.³

¹ Bögels, P.W. (Philips). Brief an Dr. H. Franz (PolyGram), April 23, 1981

² Tendeloo, H. (PolyGram). Brief an Dr. H. Franz/P.K. Burkowitz (Polygram), June 17, 1981

Weiterführung der Propaganda, obwohl Blüthgen Doi gegenüber Zurückhaltung versichert hatte:

Blüthgen, B. (PolyGram). Telex an T.T. Doi (Sony), April 15, 1981;

im Original: „please let me inform you polygram will not discuss the compact disc sampling rate in the public. the complete responsibility ist at philips/sony side.“

Doi, T.T. (Sony). Telex an B. Blüthgen (PolyGram), April 16, 1981;

im Original: „now i feel much more relieved after learning that yr intention is not forcing c.d. to change fs, which ist absolutely impossible even by people of sony or philips.“

³ Blüthgen, B., Pers. Comm.

vgl.: Doi, T.T. (Sony). Telex an B. Blüthgen (PolyGram), June 12, 1981

Doch auch ohne Blüthgen fand der nun seit vier Monaten existierende 48-kHz-Kompromiß zum Ärger von Sony gerade beim EBU-Treffen in Montreux zunehmend Anklang.¹ Trotz Dr. Dois energischer Verteidigung von 44,1 kHz zog F.A. „Tony“ Griffiths von Decca, ebenfalls von 48 kHz überzeugt, aus dem Treffen in Montreux folgenden Schluß:

*„ES BESTEHT KEIN ZWEIFEL, DASS, WENN DIE COMPACT DISC AUF 48 KHz GINGE, DIE WELT MORGEN ZUSTIMMEN WÜRDE UND DIE EVOLUTION DES VOLL DIGITALEN STUDIOS AUF ELEGANTE WEISE BEGINNEN WÜRDE.“
(Hervorhebung im Original) ²*

Angesichts einer stetig anwachsenden internationalen 48-kHz-Lobby wurde es für Dr. Doi schwierig, sachlichen Diskussionen bezüglich anderer Frequenzen als 44,1 kHz diplomatisch aus dem Wege zu gehen.³ Die zunehmende Spannung im Verhältnis zwischen Sony und den Befürwortern von 48 kHz entlud sich kurz nach dem Treffen in Montreux in einzelnen verbalen Attacken. So wies Doi die Initiatoren der 48-kHz-Kampagne von PolyGram darauf hin, daß Sony „niemals“ die Abtaststrategie der CD ändern werde.⁴ Außerdem sei Sony gegenüber einer weltweiten Harmonisierung der Abtastfrequenz sehr „aggressiv“ eingestellt; wenn schon eine Standardisierung notwendig würde, dann wäre 44,1 kHz die einzige Chance.⁵

¹ vgl. Griffiths, F.A. (Decca). Visit Report EBU Digital Audio Committee Meeting in Montreux, June 5, 1981

² Griffiths, F.A. (Decca). Visit Report EBU Digital Audio Committee Meeting in Montreux, June 5, 1981;
im Original: „THERE CAN BE NO DOUBT THAT IF COMPACT DISC MOVED TO 48 KHz THE WORLD WOULD AGREE TOMORROW AND THE EVOLUTION OF THE ALL DIGITAL STUDIO WOULD BEGIN IN A TIDY FASHION.“

³ Schon in Montreux war Dr. Doi dadurch aufgefallen, daß er, statt neue technische Fakten zu präsentieren, auf die standardisierende Wirkung existierender digitaler Geräte hinwies und deshalb vom Vorsitzenden mehrmals unterbrochen wurde.

vgl: Griffiths, F.A. (Decca). Visit Report EBU Digital Audio Committee Meeting in Montreux, June 5, 1981

⁴ Doi, T.T. (Sony). Telex an Blüthgen, B. (PolyGram), June 12, 1981;
im Original: „the rate for compact disc 44.1 khz will never be changed.“

⁵ ebenda. im Original: „sony is quite aggressive to harmonize world wide sampling rate, but only chance is 44.1 khz of above reason.“

Doch auch Burkowitz wollte Sony an Aggressivität nicht nachstehen und bemühte sich nun auch um eine härtere Gangart. Verärgert darüber, daß Doi „reine Politik“¹ betreibe und sogar Philips als CD-Eigner dazu gebracht habe, 44,1 kHz zu übernehmen, ohne dazu jemals „wirklich überzeugende technische Fakten“² geliefert zu haben, bezog Burkowitz Doi gegenüber unmißverständlich Position:

„Wir haben mit besonderer Aufmerksamkeit beobachtet, daß die Mehrheit [der Fachwelt] keine ungeraden Zahlenverhältnisse, Kompromisse bei der Lippensynchronisation, aufwendiges Transcodieren und andere kostspielige Eskapaden hinnehmen wird.“³

In Anspielung auf die Zurückhaltung, die von der Konzernmutter Philips bezüglich des in greifbare Nähe gerückten globalen Abtaststandards ausgegangen war, brachte er die „seltsame Situation“, in der sich die professionelle Welt nun befinde⁴, dem PolyGram-Management gegenüber auf den Punkt:

„Diejenigen, die die technischen Fakten kennen, sind noch nicht im Spiel und diejenigen, die schon im Spiel sind, halten nichts von technischen Fakten.“⁵

Aufgeschreckt durch den Elan, den seine Kollegen Burkowitz und Blüthgen trotz der verordneten Zurückhaltung selbst gegenüber der Konzernmutter Philips entwickelt hatten, versuchte nun Han Tendeloo, eine Samplingkrise zwischen Sony, Philips und PolyGram durch eine scharfe Kurskorrektur abzuwenden. In blumig-diplomatischer Ausdrucksweise wies er eindringlich darauf hin, daß

¹ Burkowitz, P.K. (PolyGram). Brief an Dr. Franz (PolyGram), June 16, 1981;
im Original: „sheer policy“

² ebenda; im Original: „As for his choice of 44,1 kHz Doi, so far, has never presented truly cogent technical facts, and as Philips as CD-system owner have never proven such facts either [...]“

³ Burkowitz, P.K. (PolyGram). Telex an Dr. Doi (Sony), June 16, 1981;
im Original: „We have noticed with particular attention that the majority will not accept non-integer relationships, lip-sync compromises, sophisticated transcoding and other costly escapes [...]“

⁴ Burkowitz, P.K. (PolyGram). Brief an Dr. Franz (PolyGram), June 16, 1981;
im Original: „it must be concluded that the professional world is now confronted with another strange situation:“

⁵ ebenda; im Original: „those who acknowledge the technical facts are not yet in the game and those who already are in the game disregard the technical facts.“

von nun an Zurückhaltung angebracht sei; nur so könne verhindert werden, daß „der Schwanz mit dem Hund wedele“.¹

Da die von PolyGram ausgehende 48-kHz-Kampagne nur von technischen Argumenten bestimmt war, sah sich Tendeloo gezwungen, seinen Mitarbeitern die zugrundeliegenden konzernpolitischen Zusammenhänge zu erläutern:

„Philips hat sich für die Compact Disc mit Sony zusammengetan. Dies war ein sehr guter Schritt, weil die Compact Disc sonst niemals den Schwung aufgenommen hätte, den sie benötigt, um ein potentiell erfolgreiches Produkt zu werden. Wir kennen die Argumente, die Sony benutzt, um ihre Wahl von 44,1 kHz zu verteidigen. Ob diese stark oder schwach sind, ist nicht relevant. [...]“²

Doch Tendeloo's Aufruf zur Mäßigung kam zu spät. Die von PolyGram ausgehenden Wellen der 48-kHz-Kampagne waren nicht unbeachtet geblieben. So wandte sich J.J.G.Ch. van Tilburg, Leiter der Hauptindustriegruppe Audio des Philips-Konzerns, nach einer Japanreise im Juni 1981 sichtlich verunsichert mit einer „dringenden“ Anfrage an das PolyGram-Management.³ Matsushita, bedeutendster Lizenznehmer des CD-Systems, war nämlich verärgert mit der Frage an ihn herangetreten, ob Philips tatsächlich beabsichtige, unter anderem die Abtastrate des CD-Systems zu ändern, und hatte ihn eindringlich auf die damit verbundenen finanziellen Konsequenzen hingewiesen. Außerdem hatte er erfahren, daß ein Reporter der japanischen Nihon Keizai Shimbun von Philips' Tokioter Außenstelle bestätigt wissen wollte, daß PolyGram große japanische Firmen bezüglich einer Änderung der CD-Abtastrate angesprochen habe. Zwar könne er, van Tilburg, sich eine derartige Einmischung durch PolyGram nicht vorstellen, dennoch bitte er um Bestätigung, daß dieses Gerücht nicht zutreffend sei.

¹ Tendeloo, H. (PolyGram). Brief an Dr.H. Franz/P.K. Burkowitz (PolyGram), June 17, 1981; im Original: „By doing so we prevent that the tail wags the dog.“

² Tendeloo, H. (PolyGram). Brief an Dr.H. Franz (PolyGram), June 17, 1981; im Original:

„Philips has tied themselves to Sony for Compact disc. This was a very good move as otherwise the Compact Disc would never have got the momentum it badly needs to become a potentially successful new product. We know the arguments Sony uses to defend the choice of 44,1 kHz. Whether they are strong or weak is not relevant.“

³ van Tilburg, J.J.G.Ch. (Philips). Telex an Dr.H. Franz (PolyGram), June 22, 1981

Spätestens mit dieser Reaktion von oberster Stelle hatte auch Philips gegenüber den unliebsamen Aktivitäten des Tochterunternehmens PolyGram eindeutig Stellung bezogen. Eine weitere massive Propagierung von 48 kHz hätte damit ein jähes Ende gefunden, wenn sich Blüthgen und Burkowitz nicht von vornherein einen Rettungsanker für ihre Kampagne zurechtgelegt gehabt hätten. Zwar hatte sich PolyGram tatsächlich bei japanischen Firmen, wie etwa bei der Matsushita-Tochter JVC¹, für die alleinige Verwendung von 48 kHz eingesetzt, dabei jedoch stets darauf geachtet, diese Frequenz als „professionell“ zu bezeichnen. Obwohl die 48-kHz-Propaganda unzweifelhaft auf die Änderung der CD-Frequenz abzielte, konnte Burkowitz nun die krisenhaft zugespitzte Situation durch die Bemerkung entschärfen, daß die von PolyGram geführten Diskussionen lediglich die professionelle Welt beträfen — ob sich daraus auch Konsequenzen für Heimgeräte ergäben, sei dagegen nicht seine Sache.²

Mit diesem Befreiungsschlag gelang es PolyGram, sich weiterem Druck der Konzernmutter Philips zu entziehen. Da eine weitreichendere Kompetenz in Sachen professioneller digitaler Studioteknik vom auf Konsumgüter ausgerichteten Mutterhaus nicht angezweifelt werden konnte, war unter dem Vorzeichen der „professionellen“ Erörterung nicht nur eine Fortsetzung, sondern sogar eine Intensivierung der 48-kHz-Kampagne möglich. Nachdem die Hersteller nicht-professioneller Geräte als Zielgruppe ausgeschieden waren, wandte sich Peter K. Burkowitz nun an zahlreiche Studios, Fernseh- und Radioanstalten, Hersteller professioneller Audiotechnik und an Fachverbände³, um diese anhand eines von Björn Blüthgen und Tony Griffiths (Decca) ausgearbeiteten

¹ Fujimoto, M. (JVC). Brief an B. Blüthgen (PolyGram), June 26, 1981

² Burkowitz, P.K. (PolyGram). Handschriftliche Bemerkung, June 25, auf van Tilburg's telex an Dr.H. Franz (PolyGram), June 22, 1981

³ u.a.: Association of Professional Recording Studios Ltd. (APRS), cts Studios Ltd., Denmarks Radio, International Electrotechnical Commission (IEC), EMI, nederlandse omroep stichting (nos), RCA, Siemens, Soundstream, Willi Studer, Studio Hamburg, TéléDiffusion de France (TDF)

23-Punkte-Katalog¹ von den Vorzügen eines „professionellen“ 48-kHz-Weltstandards zu überzeugen.²

Tripellösung — Einigung ohne Gewinner

Konnte die sich im Aufwind befindliche 48-kHz-Lobby von Sony und Philips noch mit Mißachtung gestraft werden, so geriet doch eine Firma zunehmend zwischen die Fronten der Samplingkrise, nämlich der schweizerische Hersteller professioneller Studiogeräte Willi Studer. Einerseits kooperierte Studer nämlich mit Sony und hatte sich daher in der zurückliegenden Diskussion Dr. Dois Argumenten angeschlossen.³ Andererseits konnte Studer nicht ignorieren, daß die von PolyGram mobilisierte professionelle Fachwelt — Studers potentielle Kunden also — gerade im Begriff war, sich auf einen 48-kHz-Standard zuzubewegen. Um weder Sony untreu zu werden noch PolyGrams Standpunkt unbeachtet zu lassen (schließlich war man am bevorstehenden PolyGram-Auftrag für digitale Masteringmaschinen zur CD-Produktion interessiert)⁴, eröffnete Studer einen *technischen* Ausweg aus der verfahrenen Samplingkrise. So schlug Dr. Roger Lagadec, Product Manager von Studer, einen Kompromiß vor, der alle Interessen gleichermaßen berücksichtigte: Studer sei, „ohne einseitige Maßnahmen zu treffen, die der Standardisierung ohnehin nicht förderlich wären, [...] gerne bereit, soweit möglich für ein neues Format mit 32, 44.1 und 48 kHz zu plädieren.“⁵ Mit dem bestechend einfachen Vorschlag, die konkurrierenden Abtastraten nicht weiterhin gegeneinander auszuspielen, sondern die drei wichtigsten Kandidaten gleichberechtigt nebeneinanderzustellen, entzog Studer der Samplingdebatte den

¹ Entstanden aus einem Fragebogen von B. Blüthgen (PolyGram), vgl.: Blüthgen, B. (PolyGram). Telex an Mr. Burkowitz, May 22, 1981; ausformuliert zusammen mit F.A. Griffiths (Decca), vgl.: Blüthgen, B. (PolyGram) and F.A. Griffiths (Decca). „PolyGram Observations to EBU“, June 1981
... in ähnlicher Weise im Juni 1981 auch als „Polygram observations on technical matters related to the professional digital audio sample rate(s)“ verteilt.
² Burkowitz, P.K. (PolyGram). „Professional Digital Audio Sampling Rate.“, July 31, 1981
³ Studer, W./Lagadec, R. (Studer). Brief an P.K. Burkowitz (PolyGram), September 16, 1981
⁴ ebenda
⁵ ebenda

eigentlichen Streitpunkt. Praktisch bedeutete dies, daß Studer seine Digitalrecorder mit *allen drei* Frequenzen ausstattete¹ und außerdem entsprechende Abtastratenkonverter zur Verfügung stellte². Obwohl diese Lösung der friedlichen Koexistenz nicht sonderlich elegant war, da die Qual der Frequenzwahl lediglich von der Ebene der Fachdiskussionen auf die Ebene der Anwender verlagert wurde, ermöglichte sie doch vor allem den zerstrittenen Parteien, weiterhin an den späteren Sieg des eigenen Favoriten zu glauben, ohne damit den Gegner zu verärgern.

Während Lagadec und Tendeloo nun versuchten, auch Dr. Doi vom Kompromiß des Frequenztripels zu überzeugen³, beschloß Peter K. Burkowitz, Sonys Einwilligung durch diplomatischen „Poker“ zu beschleunigen. So ließ er über Sonys Fernschreiber ein in Englisch verfaßtes, nicht verschlüsseltes Telex an Han Tendeloo genau zu dem Zeitpunkt einlaufen, als dieser sich dort bei Dr. Doi zu Besuch aufhielt. Die Möglichkeit bewußt in Kauf nehmend, daß auch Sony-Mitarbeiter den Inhalt des Telex zur Kenntnis nehmen und als offene Provokation empfinden könnten, zählte er eine Liste all derjenigen Studios, Firmen und Institutionen auf, die sich positiv zu PolyGrams neuerlicher 48-kHz-Kampagne geäußert hatten. Nach diesem potentiellen Affront gegen Sony bemerkte er jedoch großmütig, daß trotz der starken Zustimmung, die 48 kHz fände, „diejenigen, die besser über Audio-/Video-Beziehungen Bescheid wüßten, [...] einen ebenbürtigen Vorschlag von 48, 44.1 und 32 kHz unterstützen.“⁴

Obwohl sich Dr. Doi, um seiner bisherigen Argumentationslinie nicht untreu zu werden, nur dazu bereit erklärte, die Tripel-Lösung

¹ Burkowitz, P.K. (PolyGram). Telex an H. Tendeloo (PolyGram), Oct. 14, 1981
² Studer, W./Lagadec, R. (Studer). Brief an P.K. Burkowitz (PolyGram), September 16, 1981
³ Burkowitz, P.K. (PolyGram). Telex an H. Tendeloo (PolyGram), Oct. 14, 1981
Burkowitz, P.K. (PolyGram). Telex an Dr. T. Doi (Sony), Oct. 14, 1981
Burkowitz, P.K. (PolyGram). Telex an H. Tendeloo (PolyGram), Oct. 15, 1981
Tendeloo, H. (PolyGram). Telex an P.K. Burkowitz (PolyGram), Oct. 15, 1981
Burkowitz, P.K. (PolyGram). Telegramm an Dr. T. Doi (Sony), Oct. 16, 1981
⁴ Burkowitz, P.K. (PolyGram). Telex an H. Tendeloo (PolyGram), Oct. 20, 1981; im Original: „those who better know about audio-video interrelation, and are aware of network distribution technology will support an equivalent proposal for 48, 44.1 and 32 khz.“

zu tolerieren, sie aber nicht in der Öffentlichkeit zu propagieren¹, war seine Einwilligung lediglich eine Formsache.² Mit diesem Frequenztripel, in dem sich alle Parteien der Samplingdiskussionen wiederfinden konnten, war zwar keine Standardisierung im eigentlichen Sinne erfolgt, dafür jedoch eine weitgehende Einengung auf zu benutzende Abtastraten. Glücklicherweise über die nun endlich beigelegte Krise und andererseits über PolyGrams Erfolg, auf internationaler Ebene die „*sinnvolle weltweite Samplingrate*“ von 48 kHz durchgefochten zu haben, sprach Han Tendeloo nun von „Erntezeit“ für die Anstrengungen so „vieler Menschen“.³

Während des 70. Konvents der Audio Engineering Society (AES) wurden, neben der digitalen Rundfunkfrequenz von 32 kHz, die beiden Abtastraten 44,1 kHz und 48 kHz vorerst mündlich zu internationalen Standards erklärt — unter anderem mit der Unterstützung von Sony, Soundstream, PolyGram, 3M, Ampex, Studer, der European Broadcasting Union (EBU) und der Society of Motion Picture and Television Engineers (SMPTE).⁴

4.5 NACHSPIEL (1982-1983)

Zusammen mit seinen Weihnachtsgrüßen für das Jahr 1981 bedankte sich Dr. Toshi Doi von Sony bei seinem ehemaligen Gegenspieler Peter K. Burkowitz von PolyGram für dessen letztendliche Unterstützung bei der Standardisierung des Frequenztripels.⁵ Die von Sony so hartnäckig verfochtene Abtastrate von 44,1 kHz war im Zuge dieser Einigung endgültig international abgesegnet worden — Grund genug für Dr. Doi, vom „*wirklichen*

¹ Wohl war Doi aber bereit, diesen Vorschlag Mitsubishi und Matsushita zu unterbreiten. vgl.: Tendeloo, H. (PolyGram). Telex an P.K. Burkowitz (PolyGram), Oct. 22, 1981

² Tendeloo, H. (PolyGram). Telex an P.K. Burkowitz (PolyGram), Oct. 22, 1981

³ Tendeloo, H. (PolyGram). „Professional digital audio sampling rate standardization of 48 and 44,1 kHz“, Mitteilung an beteiligte PolyGram-Mitarbeiter, Nov. 12, 1981
im Original: „Harvest time for all the efforts of many people“

⁴ Penchansky, Alan. „Agreement Reached On Digital Standards.“ *Billboard*, Nov. 14, 1981, S.1,4,112

⁵ Doi, T. (Sony). Telex an P.K. Burkowitz (PolyGram), Dec. 15, 1981

Beginn des digitalen Audio-Zeitalters“¹ zu sprechen. Doch einmal mehr stellte der Sony-Konzern auch seine Flexibilität unter Beweis, hatte man doch unverzüglich begonnen, Sonys professionellen Digitalrecorder PCM-3324 derart zu modifizieren, daß dieser auch mit 48 kHz betrieben werden konnte.²

Nachbeben

Matsushita, Sonys großem japanischen Gegenspieler und wichtigem Lizenznehmer der Compact Disc, war nicht verborgen geblieben, daß Sony nach langer Ablehnung von 48 kHz nun plötzlich auch eigene Recorder mit dieser zuvor als ungünstig erachteten Frequenz ausstattete. Nachdem Matsushita bei der Compact Disc nur die Rolle des Lizenznehmers eingenommen hatte, war die Eigenentwicklung eines speziellen digitalen Audiorecorders vorangetrieben worden, dessen Bedarf man im Windschatten der CD annahm.³ Dieser kurz als „DAT“ (Digital Audio Tape) bezeichnete Recorder sollte genau die Rolle übernehmen, für die zuvor die improvisierte Kombination aus Heimvideorecorder und PCM-Adapter vorgesehen worden war, nämlich die semiprofessionelle digitale Zweikanalaufnahme. Im Gegensatz zur Situation, in der die Spezifikationen der CD festgelegt worden waren, konnte nun aufgrund der weitgehend abgeschlossenen Samplingdiskussionen auf internationaler Ebene problemlos ein Standard für die aufkommende DAT-Technik vereinbart werden. Da man sich mit den relativ preiswerten DAT-Geräten nicht dem potenten professionellen Markt verschließen wollte, hatte auch der japanische Zweig der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) keine Bedenken, im Februar 1982 die neue professionelle Abtastrate von 48 kHz auch für das zukünftige DAT-System festzulegen.⁴ Bemerkenswert ist, daß mit diesem Schritt der

¹ Penchansky, Alan. „Agreement Reached On Digital Standards.“ *Billboard*, Nov. 14, 1981, S.1,4,112; Doi im Original: „I believe this is the real start of the digital audio age.“

² Doi, T. (Sony). Telex an P.K. Burkowitz (PolyGram), Dec. 15, 1981

³ Sakamoto, N., T. Kogure, M. Shimbo, H. Komae (Matsushita). „Signal Processing of the Compact Cassette Digital Recorder.“ *JAES* 32(9), September 1984, S.647-658

⁴ Nagaoka, T. (Matsushita). Telex an J. Timmer (PolyGram), April 9, 1982
Gelijns (Philips). Telex an T. Nagaoka (Matsushita), April 1, 1982

ursprüngliche Rechtfertigungsgrund für 44,1 kHz, nämlich die einfache Verwendbarkeit für die nun überflüssig werdende Zweckentfremdung von Heimvideorecordern, endgültig entfiel. Die Abtastrate der CD war somit bereits vor der Markteinführung des CD-Systems nur noch aus technikhistorischen Gründen zu rechtfertigen.

Obwohl sich Matsushita noch zehn Monate zuvor massiv gegen jede Veränderung der CD-Abtastrate ausgesprochen hatte¹, war man sich nun der Schizophrenie der Situation bewußt. Um die Abtastfrequenz des Compact-Disc-Systems doch noch auf 48 kHz anzuheben, wandte sich Matsushita in der Hoffnung, dort Unterstützung zu finden, an die Philips-Tochter PolyGram. Doch diesmal entpuppte sich die sofort alarmierte Konzernmutter als entschiedener Verfechter des festgelegten CD-Standards und wies das Matsushita-Management — „um keine Mißverständnisse entstehen zu lassen“ — „ohne Umschweife“ auf die eigene Sicht der Dinge hin:²

„Wir denken, daß die Samplingfrequenz für die digitale Audio-technik insgesamt, für professionelle und Konsumgüteranwendungen, 44,1 kHz betragen sollte, und wir haben nicht die Intention, den Standard der Compact Disc zu ändern.“³

Trotz dieser unmißverständlichen Antwort aus Eindhoven wagte Matsushita — nur ein halbes Jahr vor der für Oktober 1982 geplanten Markteinführung der Compact Disc — einen weiteren Versuch, PolyGram für sich zu gewinnen und eine Änderung in letzter Sekunde herbeizuführen.⁴ Zwar ließe sich die pünktliche Einführung der CD wohl kaum einhalten, der zukünftige Nutzen jedoch, der sich durch die Verwendung der „führenden“ Abtastrate 48 kHz ergebe, rechtfertige selbst eine solch einschneidende Maßnahme. Technisch seien auch keine Probleme zu erwarten, da man

¹ van Tilburg, J.J.G.Ch. (Philips). Telex an Dr.H. Franz (PolyGram), June 22, 1981

² Gelijns (Philips). Telex an T. Nagaoka (Matsushita), April 1, 1982 im Original: „in order to avoid any misunderstanding i would like to give you our point of view directly.“

³ ebenda, im Original: „we think that the sampling frequency for digital audio at large, professional and consumer should be 44.1 khz and we have no intention to change the standard of the compact disc.“

⁴ Nagaoka, T. (Matsushita). Telex an J. Timmer (PolyGram), April 9, 1982

bereits bei einem Prototyp die Erhöhung der CD-Abtastrate auf 48 kHz erfolgreich getestet habe.

Da Philips jedoch keineswegs bereit war, den CD-Standard zu ändern¹, zog Matsushita — diplomatisch korrekt — diesen Vorschlag im Mai 1982 wieder zurück.²

44,1 kHz als weltweiter Standard

Parallel zur Markteinführung der Compact Disc erarbeitete die Audio Engineering Society eine „Empfehlung“ zur Verwendung von Abtastraten, in der 48 kHz als „primäre“ Abtastfrequenz, 44,1 kHz als „weitere“ Frequenz für „bestimmte Konsumgüter“ und 32 kHz für *Rundfunkanwendungen* endgültig manifestiert wurden.³

Im Zuge des Erfolgs des Compact-Disc-Systems wurde die CD-Abtastrate von 44,1 kHz wegen ihrer weiten Verbreitung zur wichtigsten der drei Abtastfrequenzen. Später realisierte DAT-Recorder fügten sich dieser Tatsache und wurden, ganz im Sinne des entscheidenden Vorschlags von Studer, mit umschaltbaren Abtastfrequenzen ausgestattet. Neben der für DAT-Recorder vereinbarten Abtastrate von 48 kHz kann damit, zur Erstellung von digitalen Masterbändern (wie auch zur Erstellung von digitalen CD-Kopien), die CD-Abtastrate von 44,1 kHz verwendet werden. Da jede Transcodierung zwischen verschiedenen Abtastfrequenzen mit Qualitätseinbußen verbunden ist, konnten sich 48 kHz, mit Blick auf die CD-Produktion, auch im professionellen Bereich noch nicht durchsetzen. So findet in den Studios von PolyGram, einem der ehemaligen Hauptverfechter von 48 kHz, im Vorfeld der CD-Produktion nunmehr lediglich eine Abtastrate Verwendung, nämlich 44,1 kHz.⁴

„Es gibt gute Chancen, daß 44,1 kHz eine wirklich weltweite Frequenz wird.“⁵

— Dr. Toshi Doi (Sony), Juni 1981

¹ Gelijns (Philips). Telex an T. Nagaoka (Matsushita), April 23, 1982

² Nagaoka, T. (Matsushita). Telex an J. Timmer (PolyGram), May 8, 1982

³ Torick, Emil L. (AES). „Draft AES Recommended Practice: Preferred Sampling Frequencies for Professional Digital Audio Applications.“ drei Manuskripte: June 1982, Jan. 1983, March 1983

⁴ Stand 1993, Blüthgen, B., Pers. Comm.

⁵ Doi, T.T. (Sony). Telex an P.K. Burkowitz (PolyGram), June 17, 1981; im Original: „there is some chances to have real universal frequency of 44.1 kHz [...]“

Impulsgebende CD

5.1 DER IMPULS — Theorie des „Technological Momentum“

Die erfolgreiche Markteinführung des *Compact Disc Digital Audio Systems* kann auf eine unauffällige, aber wirkungsvolle Strategie zurückgeführt werden. Durch breite Lizenzvergabe wurde am Markt eine Allgegenwärtigkeit der CD geschaffen, die den Stand der Konsumtechnik neu definierte und dem Konsumenten den Eindruck der „Normalität“ dieser Technologie vermittelte.¹

Um durch eigene CD-Spieler konkurrenzfähig zu sein, bestand für alle großen Unternehmen der Unterhaltungselektronikindustrie die Notwendigkeit, Lizenzen zu erwerben, sich intensiv mit der Technik des Compact-Disc-Systems auseinanderzusetzen und erhebliche Investitionen in Entwicklung und Produktion fließen zu lassen. Diese auf ein einziges Produkt zugespitze Ballung von technischem Know-how und eingesetztem Kapital führte zur Bildung eines massiven technisch-wirtschaftlichen „Impulses“.

Die Übertragung des aus der Physik entlehnten Impulsbegriffs auf die Technikhistoriographie geht auf den US-amerikanischen Technikhistoriker Thomas P. Hughes zurück. Hughes zeigt am Beispiel der deutschen Hochdruckchemie, daß die Intensität, mit der die großindustrielle Umsetzung der katalytischen Ammoniak-Hochdrucksynthese im Zuge des ersten Weltkriegs betrieben worden war, sich dahingehend auswirkte, daß nachfolgend auch die

¹ vgl. Kap.2

technologisch verwandte Kohlehydrierung durch das bestehende wissenschaftlich-technische Potential aus ihrem Schattendasein in den großindustriellen Maßstab mitgerissen wurde.¹ In seiner aus diesem Beispiel abgeleiteten Theorie des „*Technological Momentum*“ wählte Hughes bewußt die Analogie zum physikalischen Impuls — im Englischen als „momentum“ bezeichnet. Wie beim Impuls sind auch die Auswirkungen, die von großen technischen Entwicklungen ausgehen, gleichermaßen durch Masse und Geschwindigkeit gekennzeichnet. Als „Masse“ im übertragenen Sinn kann der Umfang des finanziellen und geistigen Aufwands angesehen werden, der zur Verfolgung eines Ziels getrieben wird; „Geschwindigkeit“ bezeichnet die Dynamik, die sich im Zuge der Zuspitzung der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten entwickelt und auch nach Erreichen des Ziels fortbestehen kann.

Trotz diametral verschiedener Rahmenbedingungen kann das Bild des „*Technological Momentum*“ gleich in mehrfacher Hinsicht auf den vorliegenden Fall der CD-Entwicklung angewandt werden. Zum einen entstand ein unmittelbarer „Mitreiß“-Effekt, der zu einer weitreichenden Digitalisierung vor allem der professionellen Audiotechnik führte (Kap.5.2). Außerdem entstand durch die weite Verbreitung der CD die Möglichkeit, die billig verfügbare CD-Technik zur Speicherung anderer digitaler Daten heranzuziehen (Kap.5.3). Schließlich wirkte sich die Durchsetzung der Compact Disc dahingehend aus, daß zwar eine Demokratisierung hoher Audioqualität eingeleitet wurde, diese jedoch mit dem Verlust von Authentizität erkauft werden mußte (Kap.5.4).

5.2 DIE DIGITALISIERUNG DER AUDIOTECHNIK

In den 1970er Jahren setzte ein Trend zur digitalen Verarbeitung und Speicherung von Tonsignalen ein, der zu einer fast vollständigen technologischen Umwälzung der Audiotechnik führte. Gefördert wurde die Bearbeitung extrem großer Zahlenmengen durch

¹ vgl. Hughes, Thomas P. „Das ‚technologische Momentum‘ in der Geschichte. Zur Entwicklung des Hydrierverfahrens in Deutschland 1898-1933.“ In: Hausen, Karin und Reinhard Rürup. *Moderne Technikgeschichte*. Kiepenheuer & Witsch 1975, S.359-383; zuerst erschienen unter dem Titel: „Technological Momentum in History: Hydrogenation in Germany 1898-1933.“ *Past and Present* 44, 1969, S.106-132

die Möglichkeiten, die die hochintegrierte Mikroelektronik hinsichtlich des günstigen Verhältnisses zwischen der erreichbaren Komplexität elektronischer Schaltungen und der Kosten für ihre Vervielfältigung bei großen Stückzahlen mit sich brachte.

Waren es zunächst professionell genutzte Bandgeräte für hochwertige Tonaufzeichnungen, in denen die neuartigen digitalen Verfahren zum Einsatz kamen, so hielt die digitale Audiotechnik mit dem Markterfolg der Compact Disc Einzug in den Heimbereich und ebnete der Digitalisierung von Rundfunk, Telefon und Fernsehen den Weg. Für die technischen Auswirkungen, die die CD auf andere Bereiche der Audiotechnik hatte, waren zwei Aspekte wesentlich.

Zum einen führte alleine das Ausmaß der Verbreitung von CD-Technik dazu, daß einige universell verwendbare digitale Schaltungskomponenten wie z.B. Digital-Analogumsetzer preiswert verfügbar wurden (Hardware-Aspekt). Zum anderen war es gerade die CD-Technik, mit der erstmals eine systemorientierte digitale Anwendung Fuß faßte (System- bzw. Software-Aspekt). Beide Aspekte zusammen bewirkten, daß eine massive, auf der CD-Codierung beruhende Welle der Digitalisierung ausgelöst wurde.

Die Phase digitaler Einzelgeräte

Der Einzug der Digitaltechnik in den professionellen Audiobereich begann Anfang der 1970er Jahre in Form einer Substitution konventioneller Einzelgeräte. Frühen digitalen Studiogeräten war gemein, daß sie sich in die vorherrschende analoge Technik einpassen mußten. Ob die Digitaltechnik dazu genutzt wurde, um Tonsignale zum Ausgleich verschiedener Signallaufzeiten zu verzögern¹, um akustische Halleffekte zu erzeugen oder um Tonsignale auf Band zu speichern, nach außen hin mußten alle digitalen Geräte so gestaltet sein, daß sie als Ersatz herkömmlicher analoger Geräte eingesetzt werden konnten.²

Sinnvoll war der Einsatz dort, wo durch Digitalisierung ein qualitativer Fortschritt gegenüber der konventionellen Technik er-

¹ „Midwest Acoustics Conference 1975: A Long Look at Digital Processing.“ *JAES* 23(6) July/August 1975

² Blesser, Barry. „Introduction.“ In: Blesser/Locanthi/Stockham (eds.) *Digital Audio*. Collected Papers from the AES Premiere Conference, Rye, N.Y., 1982 June 3-6. New York: AES 1983, S.1-2

zielt werden konnte. Da Verbesserungsbedarf vor allem bei Tonaufzeichnungen höchster Qualität bestand¹, verbreitete sich im Verlauf der 1970er Jahre die Digitaltechnik zunächst in Form digitaler Bandmaschinen. Der weltweit erste für den praktischen Einsatz vorgesehene PCM-Recorder wurde 1972 vom japanischen Unternehmen Denon entwickelt (Typ DN-023R). Das Gerät war bewußt so konstruiert worden, daß die Handhabung der eines entsprechenden analogen Recorders entsprach.²

Bevor durch die Verwendung von speziellen, in größeren Stückzahlen hergestellten integrierten Schaltkreisen sowohl die Kosten als auch die Größe von Recorder-Konstruktionen reduziert werden konnten³, wurde die damals „exotische“ und kostspielige digitale Tonaufzeichnung zunächst dort eingesetzt, wo ein Bedarf an hoher Audioqualität bestand, der Nachbearbeitungsaufwand sich jedoch in Grenzen hielt. Insbesondere bei Aufnahmen „klassischer“ Musik war die Anwendung digitaler Tonaufzeichnung aus diesen Gründen zweckdienlich.

Bereits vor dem Aufkommen digitaler Recorder war die analoge Bandmaschine teilweise durch das direkte Schneiden der Schallplattenmatrize („direct-to-disc“ — eigentlich das Ur-Verfahren der Schallplattenherstellung) umgangen worden.⁴ Die bei diesem Verfahren entfallene Möglichkeit der Nachbearbeitung und die damit einhergehende Gefahr der Unbrauchbarkeit der Tonaufnahme durch nicht zu beseitigende klangliche Störungen konnte durch das Zwischenschalten einer digitalen Aufzeichnungsmaschine abgemildert werden. Somit wurde die Digitalaufzeichnung — trotz ähnlicher

¹ Anazawa, Takeaki et Hideaki Hayashi, Keizo Inokuchi, Kouichi Oshinden, Yukio Takahashi, Akihiko Takasu, Kaoru Yamamoto, Shigeo Todoroki, Hiroyuki Yazawa (Nippon Columbia) and Almon H. Clegg (Denon America). „An Historical Overview of the Development of PCM/Digital Recording Technology at Denon.“ *Proceedings of the AES 7th International Conference*, 1989, New York: Audio Engineering Society, S.13-18

² ebenda

³ Jung, Walter G. „Application Considerations for IC Data Converters Useful in Audio Signal Processing.“ *JAES* 25(12), December 1977, S.1033-1038

⁴ Anazawa, Takeaki et Hideaki Hayashi, Keizo Inokuchi, Kouichi Oshinden, Yukio Takahashi, Akihiko Takasu, Kaoru Yamamoto, Shigeo Todoroki, Hiroyuki Yazawa (Nippon Columbia) and Almon H. Clegg (Denon America). „An Historical Overview of the Development of PCM/Digital Recording Technology at Denon.“ *Proceedings of the AES 7th International Conference*, 1989, New York: Audio Engineering Society, S.13-18

Handhabung — zunächst nicht zur Substitution analoger Geräte eingesetzt, sondern kam aus praktischen Erwägungen dort zum Einsatz, wo die analoge Bandaufzeichnungstechnik an ihre Qualitätsgrenzen stieß.

Aus der Reihe der bis 1977 entwickelten digitalen Studio-bandmaschinen von 3M Mincom, Denon, Matsushita, Mitsubishi, Sony und Soundstream hob sich das vom letztgenannten Hersteller gewählte Konstruktionsprinzip von denen aller anderen ab. Der von dem US-amerikanischen Wissenschaftler Thomas G. Stockham, Jr., in seinem 1975 gegründeten Unternehmen Soundstream entwickelte Digitalrecorder wies eine deutliche Nähe zur Computer-technik auf.¹ Das technologisch anspruchsvolle und innovative Konzept eines offenen digitalen Datenspeicherungs- und -verarbeitungssystems eröffnete besonders in Bezug auf die Nachbearbeitung (Editing) von Tonaufnahmen neuartige Möglichkeiten.² So konnten Schnitte und Überblendungen *testweise* im flüchtigen Arbeitsspeicher des Computers (RAM, Random Access Memory) durchgeführt und überprüft werden, ohne dabei das Ausgangsmaterial verändern oder zerstören zu müssen. Eine Nachbearbeitung von Musikstücken, die selbst bei nachbearbeitungsextensiven „klassischen“ Programmen an etwa 100 Stellen üblich ist, konnte bei diesem System auch dadurch vereinfacht und verbessert werden, daß zu bearbeitende Stellen (z.B. zur Vorbereitung von Schnitten) sehr präzise bis auf einzelne Samples genau durch sogenannte „Edit-Punkte“ markiert werden konnten.³

¹ vgl. Biography In: Blesser/Locanthi/Stockham (eds.) *Digital Audio. Collected Papers from the AES Premiere Conference*, Rye, N.Y., 1982 June 3-6. New York: AES 1983, S.21-22

² Blüthgen, Björn (PolyGram). „Travel Report (New York / October 29 - November 15, 1980).“ S.4. Im Original: „Editing with Soundstream is outstanding [...]“

vgl. Soundstream, Inc. „Recording, Editing, and Mastering Systems: Features and Specifications.“ Informationsblätter, ohne Datierung, ca. Frühjahr 1980

³ Anazawa, Takeaki et Hideaki Hayashi, Keizo Inokuchi, Kouichi Oshinden, Yukio Takahashi, Akihiko Takasu, Kaoru Yamamoto, Shigeo Todoroki, Hiroyuki Yazawa (Nippon Columbia) and Almon H. Clegg (Denon America). „An Historical Overview of the Development of PCM/Digital Recording Technology at Denon.“ *Proceedings of the AES 7th International Conference*, 1989, New York: Audio Engineering Society, S.13-18

Stockham wertete die prinzipielle Möglichkeit, Tonsignale zwischen digitalen Geräten völlig verlustfrei zu überspielen bzw. zu kopieren, als einen entscheidenden Vorteil der Digitaltechnik.¹ Da bei Verwendung analoger Technik mit jeder weiteren Kopie oder „Generation“, die von einer Originalaufnahme erstellt wird, die Qualität des Tonsignals verringert wird, kam dem Argument der unbeschränkten verlustfreien Kopierbarkeit eine besondere Bedeutung zu. Mit seiner Forderung, den digitalen Bereich über das nach außen hin analog wirkende Einzelgerät auszudehnen, läutete Stockham eine Entwicklung ein, die mit zunehmendem Aufkommen digitaler Audiogeräte an Bedeutung gewann: die *Systematisierung* der digitalen Audiotechnik.

Vordenker der digitalen Systematisierung

Zeitgleich mit der Durchsetzung digitaler Aufzeichnungsmaschinen Ende der 1970er Jahre wurde auf der Anwendungsseite das gesamte Spektrum der sich eröffnenden Möglichkeiten der neuartigen Technik — mit seinen positiven und negativen Auswirkungen — erkannt. Als positiv wurde die Möglichkeit bewertet, den digitalen Bereich auf mehrere, numerisch miteinander kommunizierende Geräte auszudehnen.² Da unabdingbare Voraussetzung für eine derartige Verknüpfung jedoch die Vereinbarung eines gemeinsamen Datenformats war, entstand die Notwendigkeit internationaler Standardisierungen.³

War es für den Benutzer professioneller Audiotechnik noch problemlos möglich gewesen, digitale Einzelgeräte im Studiobetrieb einzusetzen, die ähnlich analoger Geräte bedient werden konnten, so verlangte die Einführung der digitalen Datenübertragung in den Studiobereich den Tontechnikern Kenntnisse über die zugrundeliegenden Prinzipien der Digitaltechnik ab. Für die englischsprachige Fachwelt geht ein erhebliches Maß an Aufklärungsarbeit in diesem Bereich auf den US-amerikanischen Wissenschaftler Barry A. Blesser zurück. Als aktiver Fürsprecher

¹ „Midwest Acoustics Conference 1975: A Long Look at Digital Processing.“ *JAES* 23(6) July/August 1975

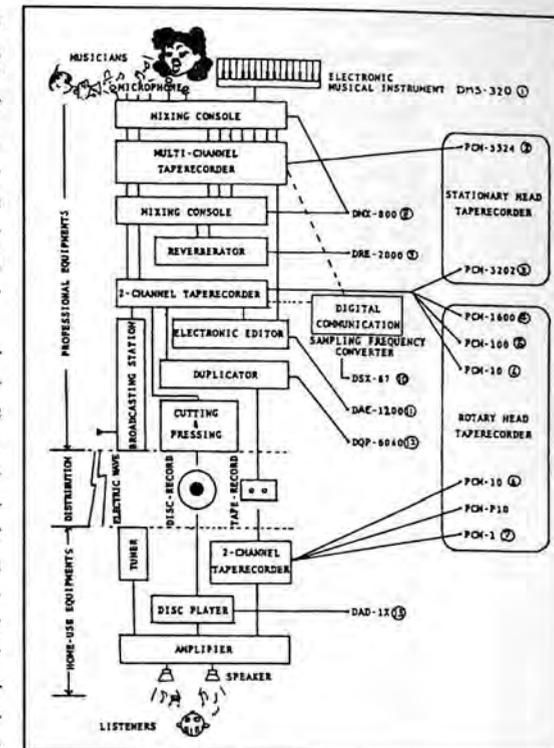
² Blesser, Barry. „Introduction.“ In: Blesser/Locanthi/Stockham (eds.) *Digital Audio*. Collected Papers from the AES Premiere Conference, Rye, N.Y., 1982 June 3-6. New York: AES 1983, S.1-2

³ vgl. Kap.4.2

der Digitalisierung machte Blesser sich neben seinen Forschungen am MIT (Massachusetts Institute of Technology) zur Aufgabe, durch zahlreiche Veröffentlichungen die Grundlagen der Digitaltechnik verständlich darzustellen und ihre zukünftigen Möglichkeiten aufzuzeigen.¹

Auf der Seite der Hersteller digitaler Audiotechnik war es der japanische Unterhaltungselektronikkonzern Sony, der die Möglichkeiten der digitalen Systematisierung Ende der 1970er Jahre einzuschätzen wußte. Seine breite Produktpalette, die von der Ausstattung professioneller Studios bis zur Massenfertigung von Konsumelektronik reichte, bildete die Grundlage für Überlegungen, die auf die vollständige

Digitalisierung der Audiotechnik abzielten. Unter dem Stichwort „Audio Chain“ sollte es möglich werden, die gesamte „Kette“ der



digitale Audio-Übertragungskette (Sony)²

¹ „Midwest Acoustics Conference 1975: A Long Look at Digital Processing.“ *JAES* 23(6) July/August 1975

Blesser, Barry A. „Digitization of Audio: A Comprehensive Examination of Theory, Implementation, and Current Practice.“ *JAES* 26(10), October 1978, S.739-771

Blesser, Barry. „Elementary and Basic Aspects of Digital Audio.“ In: Blesser/Locanthi/Stockham (eds.) *Digital Audio*. Collected Papers from the AES Premiere Conference, Rye, N.Y., 1982 June 3-6. New York: AES 1983, S.5-11

² Doi, T. und H. Nakajima. „Digital Audio Formats for Recording and Digital Communication.“ *SMPTE Journal*, August 1981, S.669-677

Erzeugung, Aufnahme und Verarbeitung von Musiksignalen — angefangen beim Synthesizer als Klangerzeuger über Mischpulte, Mehrspurrecorder, kompakte Zweispurrecorder bis hin zum Massen-Tonträger — auf digitaler Basis zu konstruieren.¹

Obwohl es Sony tatsächlich gelang, auch bei der Herstellung digitaler Audiogeräte eine der führenden Marktpositionen einzunehmen, kann dies allerdings nur bedingt auf den erklärten Wunsch der Systematisierung und Vereinheitlichung der Digitaltechnik zurückgeführt werden. Bei der Bereitschaft, auf internationaler Ebene einen systemübergreifenden digitalen Datenstandard auszuhandeln, standen bei Sony wirtschaftliche Gesichtspunkte im Vordergrund, der technische Aspekt war von Pragmatismus geprägt. Um Digitalrecorder trotz der Annahme eines begrenzten potentiellen Marktvolumens preisgünstig anbieten zu können, wurde auf vorhandene Videorecordertechnik zurückgegriffen. Die Datenformate wurden dabei so gewählt, daß sie sich in das vorgegebene Raster modifizierter analoger Videotechnik einfügten.² Selbst innerhalb der eigenen Produktpalette von Sony trugen unterschiedliche digitale Parameter bei verschiedenen Geräten zunächst mehr zur Verwirrung denn zur Vereinheitlichung bei.³

Allerdings gelang es Sony, die eigene technologische Kompetenz (die sich etwa darin äußerte, daß 1981 derjenige digitale Mehrspurrecorder mit der größten Spurenzahl (48) angeboten werden konnte) dahingehend auszuspielen, daß eigene Vorstellungen hinsichtlich eines zweckmäßigen digitalen Datenformats die Spezifikationen der von Sony mit entwickelten Compact Disc prägten und somit doch zur internationalen Vereinheitlichung beitrugen.⁴

¹ Doi, T. und H. Nakajima „Digital Audio Formats for Recording and Digital Communication.“ SMPTE Journal, August 1981, S.669-677

² vgl. Kap.4.2

³ Woram, John M. „The Digital Format Dilemma.“ *db*, February 1980, S.46-48

⁴ vgl. „A Guide to Digital Tape Recorder Specification (and a PCM Picture Book as well).“ *db*, January 1981, S.46-49; vgl. Kap.4

Bedeutung der CD für die professionelle Systematisierung

Die von den CD-Entwicklern Philips und Sony geführten Verhandlungen zur Festlegung der digitalen Spezifikationen wurden zwar auf internationaler Ebene kommentiert, die Möglichkeit der Einflußnahme durch die Fachöffentlichkeit bestand jedoch praktisch nicht, so daß das Compact-Disc-Format weitgehend auf den von Sony eingebrachten Wunschvorgaben beruht.¹ Im Zuge der von zahlreichen Lizenznehmern getragenen weltweiten Durchsetzung der Compact Disc ab 1983 gewann das von Sony geprägte digitale Audioformat der CD erheblich an Bedeutung. Neben dem Aspekt, daß eine große Verbreitung von CD-Abspielgeräten mit der massenhaften Herstellung und Weiterentwicklung der dazu erforderlichen Integrierten Schaltkreise einherging, war es vor allem der Systemaspekt, unter dem die CD-Spezifikation zum internationalen Standard erhoben wurde.

Bei Compact-Disc-Spielern handelte es sich zwar üblicherweise um isolierte Einzelgeräte, die bei der privaten Nutzung wie normale analoge Geräte verschaltet wurden. Digitale Technik kam also — wie zehn Jahre zuvor bei digitalen Studiogeräten — nach außen hin nicht zum Vorschein und der Systemaspekt beim typischen Einsatz als Konsumgut nicht zum Tragen. Sehr wohl fand allerdings eine Einbindung der Compact Disc in ein digitales System auf der Seite der Herstellung statt. Um nämlich Musiktitel in angemessener Weise auf CD veröffentlichen zu können, war im Studiobereich eine Anpassung der erzielbaren Aufnahmequalität erforderlich. Spätestens mit der Durchsetzung der CD als allgemein üblicher Tonträger entstand auch für kleinere Aufnahmestudios die Notwendigkeit, technisch derart nachzurüsten, daß zumindest das zur Veröffentlichung vorgesehene Masterband in „CD-Qualität“ erstellt werden konnte.

Konkret bildete sich ein digitales System genau dort aus, wo sich Digitaltechnik — zunächst ausschließlich im professionellen Bereich — an den Massenartikel CD ankristallisieren konnte. Wie

¹ vgl. Kap.4.3, 4.4

groß der (selbst auferlegte) Zugzwang war, dem sich die Audiobranche aussetzte, verdeutlicht die lange Zeit auf jeder Audio-CD — teilweise mit ausschweifenden Erklärungen — vermerkte Kategorisierung durch die Kürzel „AAD“, „ADD“ und „DDD“. Der erste Buchstabe stand für die Aufnahme, der zweite für die Nachbearbeitung und der dritte für den Tonträger (CD) und gab jeweils Auskunft darüber, ob analoge oder digitale Technik zur Anwendung gekommen war.¹ Diese als Qualitätsmerkmal für den Kunden gedachte Kennzeichnung führte zur Diskriminierung analoger Studioteknik und förderte über Jahre hinweg die Verbreitung digitaler Geräte zur Tonaufzeichnung und -nachbearbeitung. Erst das spätere Eindringen digitaler Aufzeichnungsgeräte in den Amateurbereich machte die Kennzeichnung obsolet. In dem Maße, wie die ersten beiden „D“s nicht mehr Synonyme für teure digitale Studioteknik waren, entfiel die Berechtigung, hochwertige Analogtechnik gegenüber digitaler Massenware mit einem Makel zu behaften.

Entsprechend der Theorie des technologischen Impulses war es die weite Verbreitung von CD-Spielern, die für entsprechende „Masse“ (an Digitaltechnik und Know-how) sorgte. Die Dynamik kam dagegen durch den Druck zur systematischen Ausweitung des digitalen Bereichs zustande, der auf dem professionellen Bereich lastete. Beides zusammen schuf einen sich selbst verstärkenden Impuls, der sich in der Folgezeit dahingehend auswirkte, daß die gesamte Audiotechnik bis hinab in den Heimbereich von einer Welle der Digitalisierung im Sinne des CD-Standards erfaßt wurde.

¹ Bei PolyGram-Veröffentlichungen etwa wurde die Kategorisierung im CD-Begleitheft folgendermaßen erläutert:

„[...] Auf der Rückseite der Verpackung kennzeichnet ein Code aus drei Buchstaben die Technik, die bei den drei Stationen Aufnahme, Schnitt/Abmischung und Überspielung zum Einsatz gekommen ist:

DDD Digitales Tonbandgerät bei der Aufnahme, bei Schnitt und/oder Abmischung, bei der Überspielung.

ADD Analoges Tonbandgerät bei der Aufnahme; digitales Tonbandgerät bei Schnitt und/oder Abmischung und bei der Überspielung.

AAD Analoges Tonbandgerät bei der Aufnahme und bei Schnitt und/oder Abmischung; digitales Tonbandgerät bei der Überspielung.

[...]“

Ausbleiben der digitalen Systematisierung der „Stereoanlage“

Anders als in der professionellen Audiotechnik entstand zunächst im Amateurbereich kein Zwang zur Umstellung auf digitale Audiosysteme. Solange Compact-Disc-Spieler die einzige digitale Komponente in einer typischen „Stereoanlage“ — bestehend aus Tonwiedergabe-, Tonaufzeichnungs-, Rundfunkempfangs-, Verstärker- und Lautsprecherkomponenten — darstellten, bestand für eine Datenübertragung auf digitalem Wege kein Anlaß. Zwar wurde in Analogie zur professionellen Technik versucht, auch digitale Aufzeichnungsgeräte (PCM-Kassetendecks¹, DAT, MiniDisc und DCC) für den Hausgebrauch zu etablieren. Mit Blick auf Ottens' zweites Gesetz der Konsumelektronik² war dies jedoch zum Scheitern verurteilt, da alle Digitalrecorder — abgesehen von verbesserter Aufnahmequalität, die jedoch für den breiten Konsumbereich von eher untergeordneter Bedeutung ist — nur Nachteile gegenüber der verbreiteten analogen Aufzeichnung auf Compact Cassette mit sich brachten. Außerdem konnte es nicht im Interesse der Tonträgerindustrie liegen, die digitale Systemausbildung im Konsumbereich zu fördern, da zu befürchten stand, daß mit jeder rein digital erstellten und damit klanglich hochwertigen (Raub-) Kopie der Absatz digitaler Originaltonträger noch mehr beschnitten würde, als dies schon bei Verwendung weniger hochwertiger Analog-Kassetten der Fall war.³

Obwohl sich an das mit der CD-Einführung anziehende HiFi-Geschäft eine Welle von (analogen) „digitalfesten“ Verstärkern und Lautsprechern anschloß⁴, hatte dies keine Auswirkungen auf die systematische Ausdehnung der Digitaltechnik in konventionellen Stereoanlagen, solange keine Substitution analoger durch digitale Komponenten erfolgte.

¹ Neils, J. „PCM-Kassetendeck mit Compactcassette.“ *Funkschau* 19/1982, S.67-68

² vgl. Kap.2.4

³ vgl. Csampai, Attila. „Musikalische Begegnung der dritten Art.“ S.93. In: Jungheinrich, Hans-Klaus (Hg.) *Ästhetik der Compact Disc*. Kassel/Basel/London: Bärenreiter 1985

Auf die Problematik des Raubkopierens wird im weiteren Verlauf des Kapitels eingegangen (Kap.5.4).

⁴ Knapp, K.H. „Von der Freiheit eines HiFi-Menschen.“ *Funkschau* 21/14.Oktober 1983, S.3

Eine deutliche Systematisierung im Sinne des CD-Standards ist dagegen in drei anderen Bereichen der Konsumelektronik zu finden. Zwei dieser Bereiche zeichnen sich dadurch aus, daß der Wunsch nach möglichst hoher Tonqualität von wesentlicher Bedeutung ist; dabei handelt es sich um den von Qualitätsenthusiasmus getragenen Bereich der „High-End“-Audiotechnik und den der semiprofessionellen Musikerzeugung/-bearbeitung. Von wachsender Bedeutung ist die Digitalisierung der Audio-technik auch dort, wo sich zur digitalen Tonverarbeitung keine Alternative bietet, nämlich im Zusammenhang mit (digitalen) Personalcomputern.

Akzeptanz der CD-Technik durch Musikliebhaber und Musiker

Obwohl die hohe Tonqualität, die mit Hilfe digitaler Audiotechnik erzielbar ist, geradezu prädestiniert für den Käuferkreis „audiophiler“¹ Musikliebhaber erscheint, ist in dieser Gruppe — zumindest in der Einführungsphase der Compact Disc — eine deutliche Polarisierung zu erkennen. Einerseits wurde die gesamte Frühphase der Digitalisierung vor allem von musikbegeisterten Käufern getragen. So zielte die erste Vermarktung digitaler Tonqualität in Form von Schallplattenveröffentlichungen „klassischer“ Werke, die in den 1970er Jahren auf frühen Digitalrecordern aufgenommen worden und mit dem Qualitätsmerkmal „Digital to Disc“, „Digital Recording“ oder „PCM-Recording“ gekennzeichnet waren², auf Audiophile ab, die bereit waren, für hochwertige Auf-

¹ Die Bezeichnung „audiophil“ reicht allerdings nicht aus, um die Gruppe derer einzugrenzen, die besonders hohe Ansprüche an Qualität, Preiskategorie und Prestigegehalt ihrer Musikreproduktionsanlage stellen. Sogenannte „High-End“ Anlagen unterscheiden sich nämlich von „audiophilen Anlagen“ darin, daß letztere *gut* klingen, während „High-End“-Anlagen *nicht* klingen, also durch fehlenden Eigenklang eine originalgetreue Wiedergabe ermöglichen.

vgl. Knerr, Ingo Wulf. „Was ist High End?“ *HIFI exklusiv* 3/89, S.114-117

² „Digital Disc Released.“ *JAES* 26(10), October 1978, S.798; „PCM-Audioadapter Sharp RX-1 mit Videorecorder Sharp VC-6300.“ *HIFI* 9/80, S.1144-1148; Anazawa, Takeaki et Hideaki Hayashi, Keizo Inokuchi, Kouichi Oshinden, Yukio Takahashi, Akihiko Takasu, Kaoru Yamamoto, Shigeo Todoroki, Hiroyuki Yazawa (Nippon Columbia) and Almon H. Clegg (Denon America). „An Historical Overview of the Development of PCM/Digital Recording Technology at Denon.“ *Proceedings of the AES 7th International Conference*, 1989, New York: Audio Engineering Society, S.13-18.

nahmen höhere Preise zu zahlen. Ebenso wurde die Markteinführung des anfänglich vergleichsweise teuren Compact-Disc-Systems durch die Ausrichtung des Startrepertoires auf anspruchsvolle „klassische“ Musikwerke so gestaltet, daß vor allem dort Kaufbereitschaft geweckt wurde, wo hohe Investitionen in Tonwiedergabesysteme nicht unüblich waren.

Andererseits waren es ebenfalls Audio-Enthusiasten, aus deren Reihen eine demonstrativ abschätzige Abwehrhaltung zu vernehmen war.¹ Dabei spielte die drohende „Demokratisierung“ hoher Musikqualität durch billige Digitaltechnik ebenso eine Rolle wie die Äußerung kulturkritischen Unmuts über die vehemente Lancierung der CD als „firmenstrategisch und kapitallogisch“ plausible Erscheinung, die „mehr oder weniger modellhaft auch auf generelle Rezeptionsprobleme im Zeitalter forciertes ökonomisch-technologischer Musikverwertung“ einer konsumorientierten Mediengesellschaft verweise.² Während die letztgenannte Kritik über die technische Ebene hinausging und die CD lediglich zum Anlaß nahm, gesellschaftliche Tendenzen in Frage zu stellen, war die konkrete Sorge vor der Entwertung analoger High-End-Anlagen im Gegenschluß ein Indiz für die mit digitalen Verfahren erzielbare Tonqualität:

„Das Vorurteil gegen die CD aus Kreisen von HiFi-Freaks ist aus der Eigendynamik des Kinder trotzes zu erklären, der durch die negative ‚Besetzung‘ des Lieblingsspielzeugs entsteht. Wer bisher seine ‚Black Discs‘ mittels Vakuumpumpe und/oder bedämpfem Tonarm [...] plan machte, [...] wer mit Kapazitätsumwandlern, Abschlußwiderständen und Transformatoren experimentierte, um seinen Scheiben ein Maximum an Qualität zu entlocken, der ist begreiflicherweise frustriert, daß nun Hinz und Kunz ohne jahrelanges Eintauchen in die tieferen HiFi-Mysterien mindestens die gleiche Abspielqualität per CD und CD-Player erzielen kann [...]“³

¹ Schöler, Franz. „Die Kardinalfrage: Woher kommen Klangunterschiede zwischen CD und LP?“ *HIFI exklusiv* 4/87, S.84-92

² Jungheinrich, Hans-Klaus. „Falscher Hase — zur Strecke gebracht?“ S.7,10. In: Jungheinrich, Hans-Klaus (Hg.) *Ästhetik der Compact Disc*. Kassel/Basel/London: Bärenreiter 1985

³ Schreiber, Ulrich. „Vom Fortschritt der Afterkunst: Plädoyer für die Wertfreiheit eines technischen Mittlers.“ S.77. In: Jungheinrich, Hans-Klaus (Hg.) *Ästhetik der Compact Disc*. Kassel/Basel/London: Bärenreiter 1985

Keine fünf Jahre nach Einführung der Compact Disc mußte schließlich auch im High-End-Bereich, lange Zeit eine Domäne der analogen Schallplattenabtastung, ein „Strukturwandel“, hin zur Digitaltechnik, insbesondere zur CD, hingenommen werden.¹ Da auf der professionellen Studioseite praktisch ein vollständiger Übergang zur digitalen Aufzeichnung erfolgte, alle erhältlichen Aufnahmen also ohnehin an mindestens einer Stelle der Audio-Übertragungskette digitalisiert wurden, wurden auch Abneigungen gegenüber Digitaltechnik in der eigenen HiFi-Anlage müßig.² Vielmehr war es sinnvoll, das einmal im Aufnahmestudio entstandene digitale Format möglichst lange in der Audio-Übertragungskette zu bewahren, wodurch eine digitale Systematisierung, insbesondere die Etablierung von DAT-Aufnahmegeräten und die Auslagerung der Digital-/Analogumsetzer als eigene Komponenten einer High-End-Anlage gefördert wurde.³

Noch ausgeprägter fand eine systematische Ausdehnung der Digitaltechnik im Heimstudio-Bereich statt, die jedoch nur teilweise auf den konkreten Spezifikationen der CD basierte. Die bei Popmusik-Produktionen übliche Vorgehensweise der (sequentiellen) Mehrspuraufzeichnung brachte vor allem im nicht-professionellen Bereich bei Verwendung einfacher analoger Band- oder Kassettengeräte schon deshalb erhebliches Störrauschen mit sich, weil die zahlreichen analogen Kopierschritte — von der Aufnahme einzelner Spuren über das Zusammenkopieren mehrerer Spuren bis hin zur endgültigen Abmischung des Stereo-Masterbandes und der Erstellung von Kopien dieses Masterbandes —

¹ Renner, K. „Stirbt Analog?“ *Das Ohr, Zeitschrift für High-Fideles Hören*, Heft 21, Dez. 1987, S.3-4

² Eine zumindest technisch beispielhafte Digitalproduktion im Bereich der Popmusik, die mit Blick auf eine CD-Veröffentlichung bereits digital (auf einem Sony-Recorder PCM-3324) aufgenommen wurde, war das Album „Brothers in Arms“ der Gruppe Dire Straits. Schöler hält es für widersinnig zu behaupten, eine analoge LP-Pressung vom digitalen Masterband klinge „musikalischer“ als das „eins zu eins“ auf CD übertragene Original.

vgl. Schöler, Franz. „Die Kardinalfrage: Woher kommen Klangunterschiede zwischen CD und LP?“ *HIFI exklusiv* 4/87, S.84-92

vgl. auch Renner, K. „Stirbt Analog?“ *Das Ohr, Zeitschrift für High-Fideles Hören*, Heft 21, Dez. 1987, S.3-4

³ vgl. Wendemuth, Reinhard. „Wegweiser: Digital/Analogwandler Wadia Digital 200.“ *HIFI exklusiv* 2/89, S.28-33; vgl. Wendemuth, Reinhard. „Tie-Break: Digital-Analogwandler Theta DSP Generation II.“ *HIFI exklusiv* 1/91, S.20-25

jeweils mit einer Erhöhung des Rauschpegels einhergingen. Als Einzelkomponente etablierte sich daher zunächst der DAT-Recorder, der es als Zweikanal-Aufnahmemedium erlaubte, zumindest am Ende der Produktionskette das Rauschproblem zu eliminieren und Kopien vom Masterband (mit Hilfe von zwei digital verbundenen DAT-Recordern¹) ohne weitere Qualitätsverluste zu erstellen.

Weitreichendere Folgen in Bezug auf die systematische Digitalisierung hatte die Entwicklung von (im Verhältnis zu professionellen Geräten) preiswerten digitalen *Mehrspur*recordern. Waren es bereits in den 1970er Jahren Heim-*Videorecorder* gewesen, auf deren Basis die digitale Tonaufzeichnung (mit Hilfe von sog. PCM-Adaptoren) Verbreitung gefunden hatte und war es auch das vom Videorecorder stammende Konzept der Schrägspuraufzeichnung, das bei DAT-Geräten Anwendung gefunden hatte, so profitierte die preiswerte digitale Mehrspuraufzeichnung ebenfalls von Weiterentwicklungen in der Videorecordertechnik. Von besonderer Bedeutung im Hinblick auf eine digitale Vernetzung im Heimstudio-Bereich erwies sich das „ADAT“-System des US-amerikanischen Herstellers Alesis. Auf der Basis der „S-VHS“-Videoaufzeichnungstechnik war die Aufzeichnung von acht unabhängigen Tonspuren (auch im CD-Format) möglich.² Im Zuge der Etablierung des ADAT-Systems gelang es Alesis auch, einen weiteren Engpaß im Rahmen der Digitalisierung des Studiobereichs zu durchbrechen, indem mit dem „ADAT MultiChannel Optical Digital Interface“ ein digitales Format für die gleichzeitige Übertragung von acht digitalen Tonspuren (über einen Lichtwellenleiter) ermöglicht wurde. Da von Alesis entwickelte Synthesizer (Klang-erzeuger) und Effektgeräte ebenfalls mit der achtkanaligen digitalen Schnittstelle ausgestattet wurden, konnte eine systematische Aus-

¹ Zur digitalen Zweikanal-Verknüpfung dient entweder der für den professionellen Bereich vereinbarte „AES/EBU“-Übertragungsstandard oder der davon für den Konsumbereich abgeleitete S/PDIF-Standard (Sony/Philips Digital Interface Format).

² Von besonderem Interesse ist die Tatsache, daß zwar die nominelle Samplingfrequenz des ADAT-Systems bei 48 kHz liegt (vgl. Kap.4), eine Veränderung im Bereich von 40,36 kHz bis 50,8 kHz jedoch möglich ist, womit auch die Samplingfrequenz der CD (44,1 kHz) abgedeckt wird.

Alesis Corporation. Produktinformationen ADAT, 1992.

Alesis Corporation. Product Line 1995.

dehnung der digitalen Audiotechnik im Heimstudiobereich erzielt werden¹, wobei aufgrund der klanglichen Annäherung an den professionellen Bereich der Begriff „Heimstudio“ selbst zunehmend aufgeweicht wurde.

Parallel zur Substitution konventioneller analoger Studiogeräte durch digitalisierte Versionen gewinnt gegenwärtig — in Form der Konvergenz von digitaler Audiotechnik und Computertechnik — gerade im Bereich der Studioteknik eine weitere Entwicklungslinie an Bedeutung. Wurden Heim- und Personalcomputer zunächst nur zur *Steuerung* von Musikinstrumenten benutzt (via MIDI = *Musical Instrument Digital Interface*), so erlaubt die Steigerung der Leistungsfähigkeit von Mikroprozessoren auch die beliebige Verarbeitung großer Mengen digitaler Audiodaten. Die Palette der möglichen Verarbeitungsschritte reicht von der reinen (Mehrspur-) Aufzeichnung von Tonsignalen auf ein Computerspeichermedium (z.B. Festplatte, sog. „Harddisc-Recording“) über die Hinzufügung von Klangeffekten und die konventionelle Nachbearbeitung bis hin zur Abmischung und Speicherung des Endresultats. Zumindest theoretisch wäre damit ein vollständiges professionelles Tonstudio mit Hilfe eines leistungsfähigen PCs ersetzbar. Vorreiter in dieser gerade erst begonnenen Entwicklung, die als letzte Konsequenz der Digitalisierung der Audiotechnik im Heimstudiobereich aufgefaßt werden kann, ist das kalifornische Unternehmen Digidesign.² Auf der Basis geeigneter Personalcomputer (Apple Macintosh) stellte Digidesign 1994 — allerdings unter Hinzuziehung zusätzlicher Signalprozessoren auf Steckkarten (sog. DSP-FARM) und ausgelagerter Digital-Analogumsetzer — ein vollständiges, professionellen Ansprüchen genügendes „Desktop“-Tonstudio vor.³

¹ Konkret handelt es sich dabei um die Alesis-Produkte „QuadraSynth“ bzw. „S4“ und „QuadraVerb“, die über ein ADAT MultiChannel Optical Digital Interface verfügen.

Theoretisch ist es damit möglich, von der Klangerzeugung per Synthesizer bis zur gepreßten CD den digitalen Bereich nicht zu verlassen.

² Wehrhan, Walter. „Digidesign Pro Tools III: Integriertes Audio-Mehrspur-Produktionssystem.“ *Production Partner* 2/1995 (März/April), S. 54-59 vgl. auch digidesign, „Produktführer“, 1993

³ Die Steckkarten werden über ein eigenes standardisiertes Bus-System (TDM-Bus; *Time Division Multiplexing*) miteinander verbunden. Es handelt sich somit quasi (zur Zeit noch) um eigene Computer im Computer.

Kohärenz von Audio und Computer

Aufgrund innerer technischer Verwandtschaft ist eine Konvergenz von digitaler Audiotechnik und Computertechnik, wie sie etwa im Bereich der Musikproduktion vorzufinden ist, naheliegend. Pionierarbeit bei der flexiblen und präzisen Bearbeitung digitalen Tondatenmaterials leistete der amerikanische Wissenschaftler Thomas G. Stockham, Jr., mit entsprechenden Systemen seines Unternehmens Soundstream.¹ Spektakuläre Toneffekte gelangen der kalifornischen Produktionsgesellschaft Lucasfilm durch die Entwicklung eines computerbasierten digitalen Signalprozessors.² Das 1982 vorgestellte System ging auf Arbeiten zurück, die in den 1970er Jahren am Stanford Center for Computer Research in Music and Acoustics (CCRMA) durchgeführt worden waren³ und erlaubte — auch durch die Möglichkeit des beliebig häufigen digitalen Kopierens einzelner Passagen — die Zusammenstellung von Ton- und Geräuschkulissen, die bei der Vertonung von Kinofilmen zu eindrucksvollen Effekten führten.

Neben der klassischen Nachbearbeitung (Effekte, Mischung, Schnitt) bot sich der Computer auch dazu an, digitale Audiosignale in beliebiger Weise zu manipulieren. Ein eindrucksvolles Beispiel für den Einsatz von Computern zur algorithmischen Nachbehandlung vorhandener Toninformationen lieferte ebenfalls Thomas G. Stockham. Im Jahre 1976 veröffentlichte er zusammen mit RCA Records 16 Arien des italienischen Tenors Enrico Caruso (1873-1921), bei denen er die Verzerrungen, die bei Grammophon-

vgl. Brüse, Claudius und Ralf Kleinermanns. „Mixdown im Cyberspace: Was ist der Digidesign TDM-Bus?“ *Keyboards* 10/1994, S.54-69

Selbst der digitale Brückenschlag zwischen den verschiedenen Entwicklungslinien ist möglich, so ist mit Hilfe eines Interface die Integration von ADAT- und Digidesign-Systemen möglich.

vgl. „Digidesign ADAT-Interface: Digitale Systemverbindung.“ *Keyboards* (dt.) Dezember 1994, S.132-155

¹ Ingebretsen, R.B. and T.G. Stockham, Jr. „Random Access Editing of Digital Audio.“ *JAES* 32, March 1984, S.114-122; vgl. auch Kap.4.3

² Moor, James A. „The Audio Signal Processor: The Next Step in Digital Audio.“ In: Blesser/Locanthi/Stockham (eds.) *Digital Audio*. Collected Papers from the AES Premiere Conference, Rye, N.Y., 1982 June 3-6. New York: AES 1983, S.205-215

³ Abbott, Curtis (Lucasfilm). „Efficient Editing of Digital Sound on Disk.“ *JAES* 32(6), June 1984, S.394-402

aufnahmen entstanden waren, über Computeralgorithmen teilweise rückgängig machen konnte.¹ Hohe Rechengeschwindigkeiten und entsprechende Software erlauben es zunehmend auch mit Hilfe von PCs, typische Störungen der analogen Tontechnik wie Knistern, Knacken und Pegelschwankungen „herauszurechnen“.² Mit der Wiederveröffentlichung von alten Analogaufzeichnungen in einer Tonqualität, die über die der eigentlichen Originalaufnahme hinausgeht, entsteht jedoch eine Problematik, die noch an Bedeutung gewinnen wird: Durch die beliebige Manipulierbarkeit digitaler Audiodaten über die Beseitigung vermeintlicher analoger Störfaktoren hinaus könnten Ton-„Dokumente“ ihren Anspruch auf Authentizität verlieren.

Auch im Konsumbereich fand eine gegenseitige Befruchtung von digitaler Audio- und Computertechnik statt. Zum einen wirkten die digitalen CD-Spezifikationen auch hier prägend und ebneten einer digitalen Signalverarbeitung von Audiosignalen mit PCs den Weg. Außerdem bot sich die etablierte CD-Technologie in zweckentfremdeter Form als Speichermedium für digitale Computerdaten an.

Vorreiter der sogenannten „Medienintegration“, also der Bearbeitung von Symbolen, Bildern und Tönen am Computer, war die 1984 vorgestellte Computerserie „Macintosh“ von Apple Computer, Inc.³ Nach der zuvor notwendigen Erweiterung durch Steckkarten wurde 1993 mit den „AV“- (Audio/Video-) Macintosh-Modellen die Verarbeitungsmöglichkeit von Audiodaten im rechenintensiven CD-Format serienmäßig integriert, die im gleichen Jahr neu eingeführte Generation von „PowerPC“-Mikroprozessoren (entwickelt von Apple, IBM und Motorola⁴) etablierte das CD-Audioformat endgültig im PC-Bereich. Der Wunsch nach einer

¹ vgl. Biography In: Blesser/Locanthi/Stockham (eds.) *Digital Audio*. Collected Papers from the AES Premiere Conference, Rye, N.Y., 1982 June 3-6. New York: AES 1983, S.21-22

² Schöler, Franz. „Nur eine Illusionsmaschine? Was tut die Plattenindustrie für die Qualität ihrer Erzeugnisse?“ *HIFI exklusiv* 1/91, S.96-103.

³ Elmer-Dewitt, Philip. „How Mac Changed the World.“ *TIME*, Jan. 31, 1994, S.57-58

vgl. Apple Computer. „Vorsprung durch Medienintegration: Multimedia mit dem Apple Macintosh.“ Broschüre o.J., um 1991.

⁴ vgl. Themenheft „The Making of the PowerPC“ *Communications of the ACM* 37(6), June 1994.

derartigen Medienintegration übertrug sich selbst auf „geklonte“ Nachfahren des in die Tage gekommenen Ur-Personal-Computer-Konzepts von IBM. Die durch verbesserte Integrationstechniken ermöglichte Leistungssteigerung der immer noch auf den ersten ihrer Art zurückgehenden Mikroprozessoren¹ erlaubte nicht nur das Aufsetzen einer grafischen Benutzeroberfläche, sondern auch die Verarbeitung von Audiodaten im CD-Format durch die Implantation von sogenannten „Soundkarten“, mit denen der über große Marktrelevanz verfügende „IBM-kompatible“ PC gleichfalls von der Welle der Systematisierung im Sinne der Compact Disc erfaßt wurde.

5.3 MEDIENVIELFALT

Compact Disc als Datenträger

Der mit der massenhaften Verbreitung von Compact-Disc-Tonwiedergabesystemen verbundene Technologische Impuls führte dazu, daß die sich etablierende CD-Technik auch für andere Verwendungszwecke herangezogen wurde. Da auf der ursprünglich als Tonträger konzipierten Compact Disc faktisch nichts anderes als serielle Binärzustände eingepreßt sind, die eine Reihe von Dualzahlen repräsentieren², war es naheliegend, Compact Discs neben der Speicherung digitaler Tonsignale auch zur Speicherung großer

¹ Die verwendeten Mikroprozessoren der Typen Intel 80386, Intel 80486, Intel Pentium basieren immer noch auf dem weltweit ersten realisierten Mikroprozessor Intel 4004 von 1971 und sind weitgehend abwärtskompatibel zu den Nachfolgemodellen ab Intel 8088.

vgl. Wenzek, Hagen Roland. „Die Karriere des Mikroprozessors: Divergenz und Konvergenz wesentlicher Entwicklungslinien.“ Diplomarbeit am Lehrstuhl für Geschichte der Technik der RWTH Aachen, Mai 1995.

² Die sequentielle Struktur der Compact Disc ist übrigens ein wesentlicher Grund dafür, daß sich Compact Discs nicht als wiederbespielbare Tonträger eignen (obwohl dies technologisch machbar wäre). Beim Löschen von Stücken würden sich freie Gebiete ergeben, die nur in der passenden Länge wiederbespielbar wären. Im Gegensatz dazu bietet die MiniDisc eine fragmentierte Struktur, die es erlaubt, Musikstücke bei der Aufnahme auf unzusammenhängende Speicherbereiche zu verteilen.

vgl. „Sony Deutschland klärt auf, warum die MD, nicht jedoch die CD wiederbespielbar ist.“ *Der Musikmarkt*, Jg. 36 (Heft 15), 1. August 1994, S.42

digitaler Datenmengen *beliebiger Art* zu nutzen. Sowohl die mit der Verbreitung von CD-Spielern einhergehende Kostensenkung der technischen Komponenten als auch das Vorhandensein einer funktionierenden Infrastruktur zur Vervielfältigung der Datenträger im industriellen Maßstab erlaubte es, im Schatten der Marktakzeptanz der Audio-CD andere „CD-Formate“ einzuführen.

Grundsätzlich geeignet war die CD zur Aufnahme digitaler Daten aller Art, die aufgrund der technischen Konzeptionierung des CD-Systems lediglich ausgelesen, jedoch nicht verändert werden konnten, zur Ausnutzung der Speicherkapazität von CDs verhältnismäßig umfangreich waren und außerdem für einen großen Käuferkreis bestimmt sein sollten. Trotz der fehlenden Möglichkeit der Veränderung von Daten traf dieses in erster Linie auf den Computerbereich zu, wo die Arbeit mit größeren Mengen digitaler Daten erforderlich ist und im Rahmen der massenhaften Benutzung von PCs auch von einer entsprechend großen Nachfrage nach gleichartigen Datensätzen ausgegangen werden kann.

Das Multimedia-Dreieck – Techniken der Informationsübermittlung

Betrachtet man, welche Arten von Information sich konkret zur Digitalisierung eignen, so läßt sich — auch im Hinblick auf die Einsatzmöglichkeiten von Computern — eine Dreiteilung feststellen:¹

- 1) Codierte Informationen (Buchstaben, Zahlen, Symbole)
- 2) Visuelle Informationen (Bilder, bewegte Bilder)
- 3) Auditive Informationen (Töne, Geräusche)

Erstaunlicherweise ist diese Palette digitalisierbarer Informationen deckungsgleich mit den Inhalten, die bereits lange vor der Digitaltechnik zur Überlieferung und Übermittlung von Informationen herangezogen wurden. Zur Veranschaulichung dient das Modell des

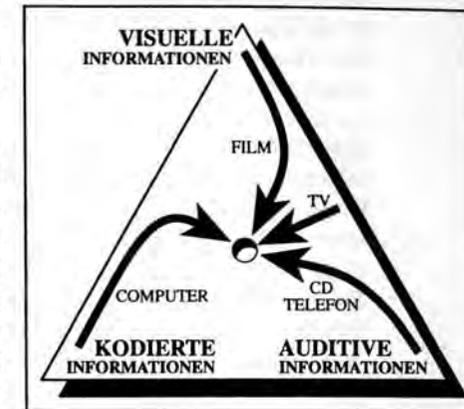
¹ Friedewald, Michael und Jürgen Lang. „Why New Technologies are Old.“ Zusammenfassung der Ergebnisse des Seminars *Gutenberg und Cyberspace. Neue Medien: Spielzeug oder Werkzeug?* im SS 1994 an der RWTH Aachen. Zugänglich via World Wide Web: <http://www.histech.rwth-aachen.de/www/paper/Multimedium.html>

Diese Quellenangabe bezieht sich auf das gesamte Unterkapitel „Das Multimedia-Dreieck – Techniken der Informationsübermittlung“.

„Multimedia-Dreiecks“, mit dem die nachfolgend beschriebenen Entwicklungen nachvollzogen werden können.

Seit der Erfindung des Buchdrucks durch Johannes Gutenberg in den 1440er Jahren haben sich drei Arten von technischen „Medien“ entwickelt, die geeignet sind, Informationen, die zwischen Urheber und Rezipient ausgetauscht werden sollen, zu transportieren und zu speichern. Da die Schrift selbst eine Technologie zur Codierung komplexer Informationen darstellt, reichte die Erfindung einer mechanischen Vervielfältigungsmethode aus, um ihr die Qualität eines neuen (Massen-) Informationsmediums zu verleihen. Auch später bei der Einführung neuer Kommunikationsmedien nahm die codierte, symbolische Information eine Vorreiterrolle ein: Sowohl bei der optischen als auch bei der elektrischen Telegraphie erfolgte die Informationsübermittlung über Symbole, mit denen abstrakte Informationen wie Buchstaben, Zahlen, Wörter und Satzzusammenhänge nochmals codiert wurden. Bei Digitalcomputern spiegelt sich die Verarbeitung von symbolischen Binärzahlen im Inneren („1“ und „0“) auch in der Art und Weise, wie der Computer durch den Menschen „bedient“ wird. Alle frühen PC-Betriebssysteme mit „Kommandosprache“, wie etwa das zusammen mit geklonten „IBM-kompatiblen“ Personal-Computern bis in die 1990er Jahre weite Verbreitung gefundene Betriebssystem „DOS“ des US-amerikanischen Software-Herstellers Microsoft, verlangt vom Benutzer bei der Interaktion präzise kryptische Informationsangaben.¹

Der zweite Eckpunkt des „Multimedia-Dreiecks“ (visuelle Information) entstand durch die Entwicklung der dauerhaften photographischen Speicherung bildhafter Informationen in den 1840er Jahren. Fünfzig Jahre später wurde diese Art der Information durch



Multimedia-Dreieck

¹ z.B. „C:\UTIL\EDIT \BIN\WORD\TO_DO\BUY_MAC.TXT“

die Zusammenfügung zahlreicher Einzelbilder zu einem bewegten Bild, dem Film, erweitert. Der dritte Medien-Typ (auditive Information) geht schließlich auf die späten 1870er Jahren zurück: Als technisches Medium zum Austausch von Toninformationen wurde das Telephon und als Medium zur Schallaufzeichnung der Phonograph erfunden.

Nachdem das „Multimedia-Dreieck“ noch im 19. Jahrhundert vollständig aufgespannt worden war, fanden alle weiteren Entwicklungen im Bereich der Medientechnologien *innerhalb* dieses Dreiecks statt. Dies geschah entgegen dem ersten Anschein nicht zwangsläufig, da ein „sinnvoller“ Informationsaustausch grundsätzlich auf der Basis aller menschlichen Sinne stattfinden könnte: Neben den im „Multimedia-Dreieck“ vertretenen „audio-visuellen“ Informationen (auch Symbole werden meistens visuell wahrgenommen) wäre es zumindest theoretisch möglich, technische Austausch- und Speicherungsverfahren für Informationen zu entwickeln, die den Geruchs-, den Geschmacks- oder den Tastsinn¹ betreffen. Da zur technischen Speicherung und Übertragung jedoch nur solche Informationen in Betracht kommen, die mit Hilfe mechanischer, chemischer oder elektrischer Verfahren technisch *erfaßbar* und wieder *darstellbar* sind, definiert das „Multimedia-Dreieck“ auch den Rahmen für alle neueren elektronischen Informations- und Kommunikationstechnologien. Denn nur technisch *erfaßbare* Eigenschaften können *gemessen* werden und sind damit letztlich auch *digitalisierbar*.

Das Multimedia-„Syndrom“

Als „Multimedia-Syndrom“ kann ein Trend bezeichnet werden, der das ständige Streben neuer Medientechnologien hin zum Zentrum des Dreiecks beschreibt.² So wurde der Film in den 1920er Jahren

¹ Den Tastsinn betreffende Informationen bilden eine Ausnahme. Zwar können „ertastbare“ Oberflächenstrukturen durchaus technisch erfaßt werden, eine Darstellung gespeicherter oder übertragener Tastinformationen in einer Art, daß auf der Empfängerseite wiederum ertastbare Strukturen entstehen, ist (noch) nicht durchgängig erreichbar.

² Friedewald, Michael und Jürgen Lang. „Why New Technologies are Old.“ Zusammenfassung der Ergebnisse des Seminars *Gutenberg und Cyberspace. Neue Medien: Spielzeug oder Werkzeug?* im SS 1994 an der RWTH Aachen. Zugänglich via World Wide Web: <http://www.histech.rwth-aachen.de/www/paper/Multimedium.html>

durch die Erweiterung um Tonsignale zu einem gemischten audiovisuellen Medium. Bei zukünftigen interaktiven Filmen treten abstrakte symbolische Informationen hinzu, die es dem Zuschauer erlauben sollen, den Fortgang der Handlungen zu beeinflussen. Als Informations- und Kommunikationsinstrument spielt der (Personal-) Computer eine bedeutende Rolle. Ausgehend von seiner Verwendung zur Verarbeitung abstrakter, symbolischer Informationen (wissenschaftliche Berechnungen, Datenbanken etc.) wurde der Computer zunehmend zu visuellen Anwendungen (Computergraphik, Desktop-Publishing etc.) herangezogen und seine Benutzung selbst durch eine graphische Bedienung vereinfacht (Apple Macintosh, 1984). Größere Leistungsfähigkeit von Mikroprozessoren erlaubte auch die Verarbeitung von auditiven Informationen, so daß auch der Computer ins Zentrum des „Multimedia-Dreiecks“ strebt.

Im Rahmen der CD-Geschichte ist von besonderer Bedeutung, daß auch Tonträger vom „Multimedia-Syndrom“ nicht verschont blieben. War die Schallplatte noch ein reines Audio-Medium, so wurden in den 1970er Jahren in Analogie zur etablierten Tonträger-technik Bildplatten entwickelt, auf denen sowohl Video- als auch Audioinformationen gespeichert wurden. Auch seitens der Urheber der auf Schallplatten gespeicherten Klänge setzte in Form von Musikvideos ein Trend zur Visualisierung von konservierten Musikdarbietungen ein. Trotz ihrer technischen Verwandtschaft zur „VLP“-Bildplatte von Philips etablierte sich die Compact Disc zunächst als (nahezu) reiner Tonträger. Zwar weist auch die Audio-CD eine deutliche Nähe zu codierten Informationen auf, da sich im sogenannten „Subcode“ eine Reihe von Zusatzinformationen befindet, die von Titelnummer und Spielzeit bis zum Liedtext reichen kann. Endgültig in das Zentrum des „Multimedia-Dreiecks“ geriet die CD jedoch aufgrund ihrer technischen Eigenschaft, als digitaler Datenträger für alle drei Informationstypen geeignet zu sein. So war es lediglich eine Frage der Abänderung des Datenformats, um den digitalen Tonträger CD zum „Multimedium“ weiterzuentwickeln.

Diese Quellenangabe bezieht sich auf das gesamte Unterkapitel „Das Multimedia-„Syndrom““

CD-ROM als Datenträger

Noch im Dezember 1983, im Jahr der europäischen Markteinführung der Audio-CD, wurde von den Systementwicklern Philips und Sony in Form eines „Gelben Buches“¹ ein Standard festgelegt, mit dem die Compact Disc für beliebige Speicheranwendungen geöffnet wurde.² Angelehnt an die Bezeichnung von Computerspeichern, die nur ausgelesen, nicht jedoch verändert werden können, wurde für das neue Speichermedium der Begriff „CD-ROM“ (Compact Disc Read Only Memory) vereinbart.

Bemerkenswert am CD-ROM-Standard ist die Art und Weise, wie die zu speichernden Binärzahlen auf dem Datenträger niedergelegt werden sollten. Obwohl es möglich und unter dem Gesichtspunkt einer effektiven Ausnutzung des Speicherplatzes sinnvoll gewesen wäre, zwar alle technischen Komponenten des CD-Systems (Hardware) zu übernehmen, die Daten jedoch in einer dem jeweiligen Anwendungszweck angepaßten Weise zu strukturieren, wurde die Datenorganisation der Audio-CD vollständig übernommen. Zunächst bestand die Formatöffnung also lediglich darin, die das Tonsignal repräsentierenden PCM-Daten durch beliebige Dualzahlen zu substituieren, Computerdaten also in das Audio-CD-Format zu transformieren. Daß diese Vorgehensweise — zumindest aus innertechnischer Sicht — nicht optimal ist, hängt mit der Länge der sogenannten „Frames“ zusammen, den strukturellen Grundeinheiten von Audio-CDs.³ Da in Frames jeweils sechs codierte und mit Zusatzinformationen versehene Stereo-Samples (2 x 16 bit) zusammengefaßt sind,⁴ beträgt der von reinen Audiodaten belegte Speicherplatz lediglich 24 byte à 8 bit, wodurch gleich zwei Probleme aufgeworfen werden: Einerseits ist die Zusammenfassung derart kleiner Gruppen von Bytes unpraktisch (bei Texten etwa ergäben sich relativ kurze Verwaltungseinheiten von nur 24 Buchstaben), während andererseits eine genaue Adressierung eines

¹ im Unterschied zum „Roten Buch“, in dem die Spezifikationen der Audio-CD niedergelegt wurden

² Dierckx, F.J. „Compact Disc: A Unique Achievement.“ Maplezingen CD, 1985, S.5

³ Pohlmann, Ken C. *The Compact Disc Handbook*. Oxford University Press 1992, S.215

⁴ ebenda, S.78

jeden Bytes (also die zielgenaue Zugriffsmöglichkeit), die bei sequentiell abgespielter Musik keine Rolle spielt, nicht gewährleistet wäre. Abhilfe schaffte die logische Zusammenfassung von jeweils 98 Frames zu Organisationseinheiten von 2352 byte, die mit Hilfe der ersten 16 byte einer jeden Organisationseinheit synchronisiert und adressiert werden konnten.¹

Ein weiteres Problem warf die Zweckentfremdung des Audio-Datenformats dadurch auf, daß die in erster Linie auf die Anforderungen der digitalen Audiotechnik zugeschnittenen Fehlerkorrekturverfahren für CD-ROM-Anwendungen nicht ausreichend waren. Zwar konnten selbst zusammenhängende Fehler bis zu einer Länge von 4000 bit, das entspricht einem 2,47 mm langen Defekt auf der Informationsspur in Ausleserichtung, vollständig rekonstruiert werden.² Konnte jedoch ein noch größerer Bereich nicht fehlerfrei ausgelesen werden, so war eine vollständige Wiederherstellung prinzipiell nicht möglich; je nach Ausmaß des Fehlers erfolgte bei Audio-CDs entweder der Versuch einer Nachbildung des fehlenden Signalsstücks oder aber die kurzzeitige Stummschaltung des Tonsignals. Bei CD-ROMs machen die beiden letzten Maßnahmen allerdings keinerlei Sinn, da beim Verlust beliebiger digitaler Daten (wie z.B. Text) weder Annäherung noch Ausblendung zu einer Minderung des Fehlers führen. Während das Fehlerkorrekturpotential der Audio-CD zur Speicherung von Ton- und Bilddaten (auf CD-ROM) ausreichte, mußte für kritische Anwendungen, bei denen die Datensicherheit eine entscheidende Rolle spielt, ein zusätzliches Fehlerkorrekturverfahren eingeführt werden, das den frei verfügbaren Speicherplatz innerhalb der 98 zusammengefaßten Frames (2336 byte) nochmals um 288 byte minderte.³ Die theoretische Fehlerrate ließ sich damit allerdings derart verringern, daß mit einem einzigen nicht korrigierbaren Bitfehler nur alle 10^{16} bis

¹ Pohlmann, Ken C. *The Compact Disc Handbook*. Oxford University Press 1992, S.215

² Hoeve, H., J. Timmermans and L.B. Vries. „Error correction and concealment in the Compact Disc system.“ *Philips tech. Rev.* 40 (6), 1982, S.166-172

Pohlmann, Ken C. *The Compact Disc Handbook*. Oxford University Press 1992, S.73

³ ebenda, S.217

10¹⁷ bit — d.h. etwa ein Fehler auf 100 Millionen CD-ROMs (!) — zu rechnen war.¹

Normative Konkretisierung des CD-ROM-Standards

Für die praktische Anwendung entpuppte sich dieser im „Gelben Buch“ festgelegte CD-ROM-Standard als zu wenig spezifiziert, weil keinerlei Festlegungen über Art und Anordnung der digitalen Daten innerhalb des frei nutzbaren Speicherbereichs getroffen worden waren. Zur Vereinbarung einer einheitlichen logischen Strukturierung von Dateien auf dem Speichermedium CD-ROM hat unter anderem die High-Sierra Group (HS), eine Gruppe von CD-ROM-Anbietern, beigetragen.² Um auf verschiedenen Computerplattformen (also Computer mit unterschiedlichen Betriebssystemen und Mikroprozessoren) eine zumindest prinzipielle Lesbarkeit der Daten zu gewährleisten, wurden Ort und logischer Aufbau des Inhaltsverzeichnisses und die Identifizierbarkeit von Dateienanfang und -ende festgelegt. Der Strukturierungsvorschlag der High-Sierra-Gruppe wurde von der International Standards Organization (ISO) als ISO/DIS 9660 normiert.

Eine weitergehende Spezifizierung der CD-ROM, nun aber mit deutlicher Ausrichtung auf die Anwendung als Speichermedium für alle drei Datentypen des „Multimedia-Dreiecks“, erfolgte in Form der CD-ROM XA (extended architecture). Als Brücke zum „CD-I“-Format (s.u.) wurden ein genormter Buchstabensatz³ (symbolische Information) und bestimmte Arten der Speicherung von Tonsignalen (auditive Information) und Bildschirmgrafiken (visuelle Information) festgelegt. Neben einem normierenden Effekt hatte dies für entsprechende „Multimedia“-Anwendungen die Vergrößerung der effektiven Speicherkapazität der CD zur Folge, weil

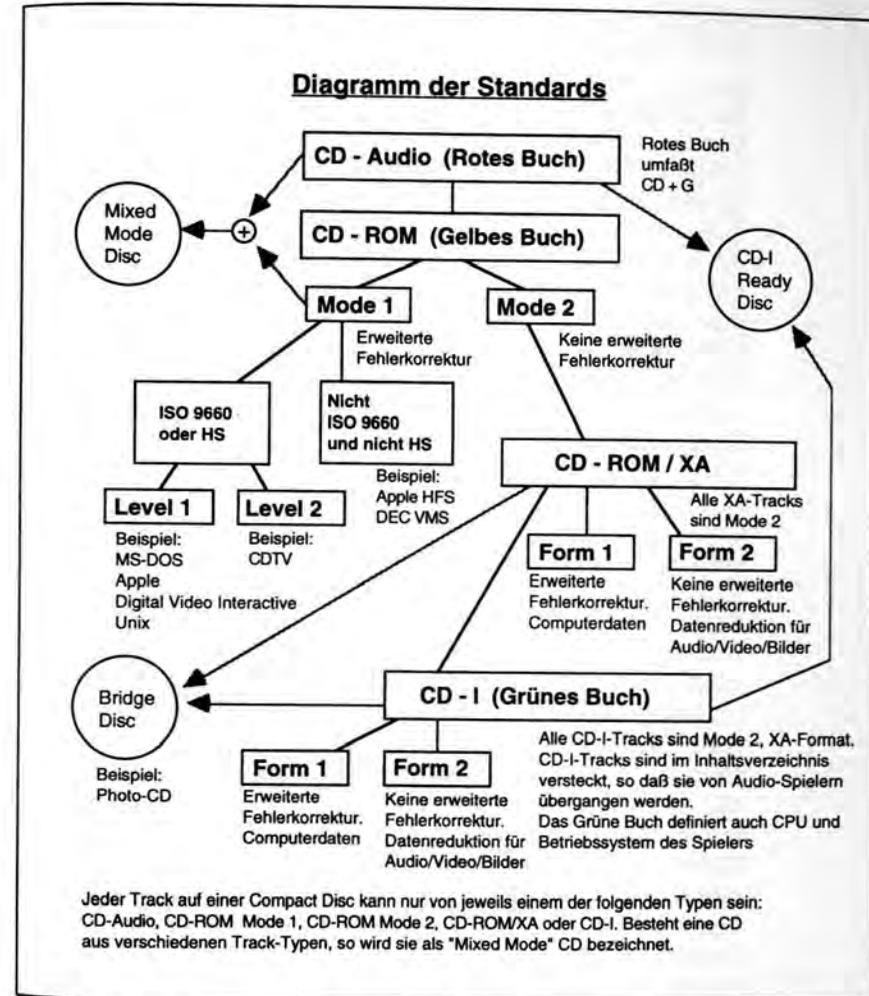
¹ Mit „Mode 1“ wird die Benutzung der zusätzlichen Fehlerkorrektur innerhalb eines Sektors von 98 Frames bezeichnet, „Mode 2“ kennzeichnet die Beschränkung auf die Fehlerkorrektur der Audio-CD. Zwischen beiden Modi kann gewechselt werden.

vgl. van Luyt, B.A.G. and L.E. Zegers. „The Compact Disc Interactive system.“ *Philips tech. Rev.* 44(11/12), Nov. 1989, S.326-333

² Pohlmann, Ken C. *The Compact Disc Handbook*. Oxford University Press 1992, S.220

³ gem. ISO 8859/1

Informationen, die im Standard festgelegt waren, nicht noch auf dem Datenträger selbst gespeichert werden mußten.



¹ Diagramm entnommen aus: Fricks, James R. (Disc Manufacturing, Inc.) „Compact Disc Terminology.“ Broschüre 1992, Texte übersetzt

Das CD-I-Format

Während die CD-ROM zunächst als Speichermedium für existierende Datenverarbeitungssysteme (z.B. Computer) konzipiert worden war, stellte Philips 1986 mit dem „CD-I“-Format (das „I“ steht für „Interactive“) eine Spezialform¹ der CD-ROM XA vor, mit der einer breiten Käuferschicht der Zugang zu einer Welt aus Bildern, Tönen und Texten ermöglicht werden sollte, die nicht auf Datenverarbeitungssysteme wie PCs zurückgreifen kann oder will. Die namensgebende Interaktivität des Systems besteht darin, daß sich der Benutzer — etwa im Rahmen von Spielen und Lehrgängen — mit Hilfe eines „Joysticks“ und weniger Tasten nach Belieben durch verschiedene Sequenzen von Tönen, Bildern und Texten fortbewegen kann. War die CD-ROM eine Erweiterung des im Mittelpunkt stehenden Computers, so stand bei der CD-I-Technik, wie auch zuvor bei der Audio-CD, das Speichermedium im Vordergrund. Um den konstruktiven Aufwand für entsprechende CD-I-Abspielgeräte auf das Notwendigste zu begrenzen und zum PC abzugrenzen, war es erforderlich, nicht nur die Art und Weise der Datenspeicherung auf CD-I, sondern auch das im Abspielgerät verwendete Mikroprozessorsystem genau zu spezifizieren. Damit ist die CD-I letztlich nichts anderes als eine hoch spezifizierte CD-ROM zur Text-, Ton- und Bildspeicherung, die auf (vermeintliche) Konsumentanforderungen abgestimmt ist und somit gleichzeitig das konsequente „Multimedia“-Pendant zur Audio-CD darstellt.

Anhand der praktischen Benutzbarkeit des CD-I-Abspielgerätes wird allerdings der Grund für die Beibehaltung der für andere Datenspeicherungszwecke ungünstigen Strukturierung der Audio-CD deutlich. Neben CD-I-Medien können nämlich nicht nur reine Audio-CDs abgespielt werden, auch selbst aufgenommene Photos lassen sich auf dem Fernseher sichtbar machen, falls sie — in digitalisierter Form — auf einzeln angefertigte „Photo-CDs“ überspielt wurden. Außerdem können CD-I-Spieler so ausgestattet werden, daß auch „Digital Video-CDs“, also Filmprogramme, über das an-

¹ Tatsächlich handelt es sich bei der CD-ROM XA um eine „abgespeckte“ CD-I. Eingeführt wurde die CD-I im Herbst 1991 (USA), im Frühjahr 1992 (Japan, Großbritannien) und im September 1992 in allen anderen westeuropäischen Staaten. vgl. Philips „CD-I: A dream coming through“, Presseinformationen, S.2

geschlossene Fernsehgerät abspielbar sind. Insgesamt zeigt sich anhand der Einsatzmöglichkeiten des CD-I-Systems, daß verschiedene CD-Typen aufgrund der Kompatibilität ihrer Datenstrukturen mit vergleichsweise geringem apparativen Aufwand ausgelesen werden können.

Die Beibehaltung der Struktur der Audio-CD kann somit auf zwei Gründe zurückgeführt werden. Zum einen ermöglicht die bloße Substitution der Audiodaten durch beliebige andere digitale Daten die Verwendung der ausgereiften und preiswert verfügbaren Auslesetechnik der Audio-CD auch für andere CD-Typen (*Hardware*-Argument). Zum anderen existiert sowohl seitens der Konsumelektronik- als auch seitens der Softwareindustrie das Argument der *Multifunktionalität*. Das Beispiel CD-I verdeutlicht, daß es im Interesse von Philips lag, eine *multifunktionale* Abspieleinheit anzubieten, deren Auslese- und Steuerungsaufwand mit zunehmender Kompatibilität der verschiedenen CD-Strukturen gering gehalten werden konnte.¹ Außerdem lag es ebenfalls im Interesse der systematisch ausgerichteten Softwareindustrie, die Einheitlichkeit der Datenstruktur dahingehend zu nutzen, kombinierte Datenträger (z.B. „Mixed Mode CDs“ oder „CD-I Ready Discs“) anzubieten, deren unterschiedliche Datenarten (z.B. reine Audio-Daten und CD-ROM-Daten) auf verschiedenen Abspielgeräten ausgelesen werden können.

Breitenwirkung durch Diversifikation

Auch das Aufkommen diverser CD-Formate stützt die These des von der Compact Disc ausgehenden Technologischen Impulses. Die Ausdehnung auf andere Anwendungsbereiche erforderte zunächst die Entwicklung und Herstellung spezieller CD-Spieler, da sich „normale“ Audio-CD-Spieler in der Regel nicht zur Wiedergabe anderer CD-Formate eigneten. Außerdem war im Falle der CD-ROM ein physischer Anschluß an Computersysteme sowohl auf der „Hardware“-Ebene als auch die Einbindung in Datenverwaltungsstrukturen auf der „Software“-Ebene erforderlich. Dies führte zu einer Auseinandersetzung mit der CD-Technologie im Umfeld der Computerindustrie. Insbesondere mit Blick auf „Multimedia“-An-

¹ vgl. van Luyt, B.A.G. and L.E. Zegers. „The Compact Disc Interactive system.“ *Philips tech. Rev.* 44(11/12), Nov. 1989, S.326-333

wendungen, wie sie durch die Formate CD-ROM XA und CD-I nahegelegt wurden, mußten schließlich sinnvolle Inhalte für die neuen CD-Typen produziert bzw. programmiert werden.

Gerade letzteres erwies sich jedoch in mehrfacher Hinsicht als problematisch. Einerseits mußten im Gegensatz zum Audio-Bereich, in dem die Produktion von „Software“ — in Form von Notensätzen oder Tonkonserven — eine lange Tradition besitzt, „Multimedia“-Programme meist völlig neu erstellt werden. Häufig gelang es dabei nicht, durch die Kombination der drei verschiedenen Medientypen eine wirklich neue Qualität zu erzeugen, die über die reine Wiedergabe von audiovisuellen Sequenzen und den sinnvollen Einsatz von Interaktivität auch abseits von Spielzwecken hinausging.¹ Andererseits erschwerte die von der Audio-CD übernommene sequentielle Struktur der Compact Disc schon auf technischer Seite den raschen Wechsel zwischen Dateien und beschnitt somit die mögliche Interaktivität einer audiovisuellen Gesamtproduktion.²

Entsprechend der Theorie des technologischen Impulses spiegelte sich der Faktor der „Masse“ darin, daß die Gruppe derer, die sich sowohl auf der Hersteller- als auch auf der Benutzerseite mit CD-Technik auseinandersetzten, durch die Schaffung neuer Anwendungsmöglichkeiten nochmals vergrößert wurde. Der Faktor der „Geschwindigkeit“ bestand darin, daß es sich bei diesen Anwendungen teilweise um Neuland handelte. Das Fehlen entsprechender Multimedia-Software rief einen Entwicklungs-Sog hervor, der Produzenten allerdings auch dazu verleitete, die hohe Speicherkapazität der CD übereilt zu füllen.

5.4 PROBLEMATIK DER AUTHENTIZITÄT

Abgesehen von zahlreichen technischen Auswirkungen beeinflusste die Verbreitung der Compact Disc auch den Umgang mit dieser Technik. Die Vergleichbarkeit mit der analogen Schallplattentechnik bringt es mit sich, daß sich derartige Einflüsse insbesondere

¹ Gerdes, Claudia. „Click & Wait: Die CD-ROM boomt. Doch die meisten der silbernen Scheiben sind bloß Schrott.“ *DIE WOCHE*, 5. Januar 1996, S.15

² Dieses Problem wurde durch die Einführung spezieller CD-ROM-Laufwerke mit höherer Auslesegeschwindigkeit abgemildert.

für die Audio-CD nachvollziehen lassen. Bei der Verwendung des digitalen Tonträgers läßt sich eine deutliche Polarisierung erkennen, in der sich die tiefe Kluft spiegelt, die auf technischer Seite zwischen der eigentlich zugrundeliegenden Technologie und der benutzbaren Oberfläche der Technik besteht.¹

Mißbrauch liegt dort vor, wo die in unverfälscht offener Weise vorliegenden (Musik-) Informationen unberechtigt weiterverwertet werden (z.B. „Tonträgerpiraterie“). Mißtrauen ist dort zu beobachten, wo in Ignoranz naturwissenschaftlicher Theorien die Frage gestellt wird, ob eine Digitalisierung von Tonsignalen im Sinne einer Deckungsgleichheit von digitalen Informationen und analogen Signalen überhaupt möglich und für den Zuhörer verträglich ist. Letztlich ist es jedoch Gleichgültigkeit, die den allgemeinen Umgang mit der Compact Disc trotz aller durch sie hervorgerufenen Veränderungen bestimmt.

Tonträgerpiraterie

Die digitale Speicherung von Audiodaten auf Compact Discs bietet grundsätzlich die Möglichkeit, Tonsignale in unverfälscht hoher Qualität reproduzieren zu können. Im „Idealfall“ ist der Informationsgehalt des digitalen „Masterbandes“ eines fertig produzierten und zur Veröffentlichung freigegebenen Musikstücks *völlig identisch* mit dem der daraus vervielfältigten Compact Discs. In letzter Konsequenz erhält jeder Käufer einer CD somit nur physisch einen *kopierten* Tonträger, inhaltlich handelt es sich nicht um eine Kopie, sondern um das Original selbst.

Diese vorteilhafte Eigenschaft der digitalen Audiotechnik ist allerdings mit einer Schattenseite behaftet. Da mit jeder verkauften CD das digitale Masterband des Musikstücks quasi mit ausgehändigt wird, ist der Schutz der mit den Originalaufnahmen verbundenen Rechte potentiell gefährdet. Mehr noch als bei analogen Tonträgern (Schallplatte, Compact Cassette) besteht bei digitalen Tonträgern die Gefahr, daß rechtswidrig Kopien erstellt und vertrieben werden, da bei digitaler Überspielung eine Unterscheidbarkeit zwischen Original und Fälschung nicht mehr ohne weiteres gegeben ist.

¹ vgl. Kap.1

Angesichts der Tatsache, daß die phonographische Industrie mehr als 95% ihrer Umsätze aus dem physischen Vertrieb von Tonträgern erzielt und diese Umsätze weltweit in der Größenordnung von 35,5 Mrd. US-Dollar (1994) liegen¹, ist eine derartige „Tonträgerpiraterie“² gleichermaßen schädlich und lukrativ. Im Jahre 1994 lag der Anteil der Piraterieprodukte weltweit bei 6,3 Prozent, wobei der Tonträgermarkt in Ländern mit (in urheberrechtlicher Hinsicht) geringer ausgeprägtem Rechtsnormensystem und weniger effektiver Strafverfolgung sogar von illegalen Tonträgern beherrscht wurde (Rußland: 79% Piraterieprodukte, China: 60%, Polen: 47%, Türkei: 34% — zum Vergleich Deutschland: 2,6%).³

Bereits 1978 war seitens der Gerätehersteller die Problematik erkannt worden, daß gleiche digitale Datenformate im professionellen wie im privaten Bereich die Gefahr des digitalen Kopierens mit sich bringen würden.⁴ Als Gegenmaßnahme wurde die Einführung eines Kopierschutzes für vorbespielte digitale Tonträger vorgeschlagen.⁵ Eine Codierung der Audiodaten sollte lediglich ihre Wiedergabe durch spezielle Abspielgeräte erlauben, die digitale Überspielung sollte dagegen nicht möglich sein. Während sich dieses Problem beim später realisierten CD-System zumindest im privaten Bereich solange erübrigte, wie CD-Spieler nicht mit digitalen Ausgängen versehen waren, verfolgten Philips und Sony bei der Entwicklung eines digitalen Austauschformats für den Heimbereich tatsächlich diesen technischen Weg — in Form einer (allerdings sehr einfachen) Codierung. Um einerseits einen Datenaustausch zwischen CD-Spielern und anderen digitalen Geräten zu ermöglichen und andererseits in bestimmten Fällen die Erstellung

¹ Zombik, Peter (Bundesverband der Phonographischen Wirtschaft). „Tonträger im Markt der Zukunft.“ *Media Perspektiven* 10/95, S.499, 506

² vgl. Schaefer, Martin. „Tonträgerpiraterie.“ In: Moser, Rolf, Andreas Scheuermann (Hg.) *Handbuch der Musikwirtschaft*. Starnberg: Josef Keller Verlag 1992, S.516-533.

Der Begriff „Tonträgerpiraterie“ wird hier in einem engeren Sinne verwendet als bei Schaefer und entspricht seinem Begriff der (klassischen) Raubkopie.

³ Zombik, Peter (Bundesverband der Phonographischen Wirtschaft). „Tonträger im Markt der Zukunft.“ *Media Perspektiven* 10/95, S.506

⁴ Ohkawa, M. (Toshiba). Letter to J.G. McKnight (Magnetic Reference Laboratory), 14 April 1978.

⁵ Fujimoto, M. (JVC). „Some considerations of sampling frequency for Digital Audio.“ Manuskript, April 29, 1978

von Kopien im Heimbereich zu unterbinden, enthielt das für Konsumanwendungen vom professionellen „AES/EBU“-Format¹ abgeleitete digitale Datenaustauschformat S/PDIF (Sony/Philips Digital Interface Format) ein „Statusbit“, mit dem angezeigt wurde, ob digitales Kopieren erlaubt oder verboten war.² Digitale Aufnahme-geräte sollten den vom CD-Spieler ausgehenden Datenstrom so interpretieren, daß die Erstellung digitaler Kopien von CDs entweder grundsätzlich oder erst von der zweiten Generation an unmöglich war.³

Doch schon im Vorfeld der Digitalpiraterie war der Fachwelt bewußt geworden, daß jede Bemühung, auf technischem Wege digitales Raubkopieren zu verhindern — insbesondere durch das simple Hinzufügen eines Statusbits zu ansonsten uncodierten Audiodaten —, zum Scheitern verurteilt war. Einerseits wurde im professionellen Bereich nicht mit Kopiersperren gearbeitet, so daß digitale Raubkopien mit Hilfe entsprechender professioneller Geräte problemlos erstellt werden konnten. Aber auch im Konsumbereich sollte sich die Befürchtung bewahrheiten, daß technische Vorrichtungen hergestellt würden, mit denen der digitale Kopierschutz ausgeschaltet werden kann.⁴

Zwar erscheint es zunächst paradox, daß sich das Eingeständnis der Sinnlosigkeit technischer Kopiersperren gerade daran ablesen

¹ Von der *Audio Engineering Society* (AES) und der *European Broadcasting Union* (EBU) wurde ein digitales Austauschformat für den professionellen Bereich erarbeitet, das u.a. vom *American National Standards Institute* standardisiert wurde (ANSI S4.40-1985).

vgl. Pohlmann, Ken C. *Principles of Digital Audio*. Sams, 2nd ed. 1989. S.168

² Locanthi, Bart. „Minutes of the Meeting of the Digital Audio Technical Committee: 1982 October 22.“ *JAES* 31(1/2), January/February 1983, S.37-39

³ 1988 wurde zwischen Unterhaltungselektronik- und Tonträgerindustrie ein Verfahren vereinbart (SCMS = *Serial Copy Management System* oder *Solo Copy Management System*), das digitales Kopieren von bereits erstellten digitalen Kopien verhindern soll. Das SCMS-Verfahren wurde vom japanischen MITI im Mai 1990 für alle in Japan hergestellten DAT-Recorder verpflichtend vorgeschrieben. Vgl. Zombik, P. „Tonträger im Markt der Zukunft.“ *Media Perspektiven* 10/95, S.507; vgl. Timmer, J.D. „Windows of Opportunity for the Music Industry.“ Rede vor der International Federation of the Phonographic Industry IFPI Conference, January 23, 1991.

⁴ Locanthi, Bart. „Minutes of the Meeting of the Digital Audio Technical Committee: 1982 October 22.“ *JAES* 31(1/2), January/February 1983, S.37-39

läßt, daß seitens der Unterhaltungselektronikindustrie immer bequemere Möglichkeiten zur digitalen Überspielung angeboten werden.¹ Letztlich war jedoch bereits zur Markteinführung der CD bekannt, daß eine Unterbindung von Tonträgerpiraterie nicht durch technische, sondern allenfalls durch wirtschaftliche und gesetzliche Maßnahmen erreicht werden kann. Zum einen sollte das digitale Kopieren im privaten Bereich durch vergleichsweise hohe Preise für beispielbare digitale Medien (z.B. DAT-Leerkassetten) unattraktiv gestaltet werden.² Zur Verhinderung gewerblicher Piraterie wurde dagegen auf die Notwendigkeit gesetzlicher Regelungen des Urheberrechts verwiesen.³

Obwohl das Phänomen der Tonträgerpiraterie nicht durch die Entwicklung der digitalen Audiotechnik hervorgerufen worden ist, so eröffnete doch die Einführung der Compact Disc eine neue Qualität des Mißbrauchs. Abgesehen davon, daß die hohe Tonqualität der CD die Herstellung hochwertiger analoger Raubkopien (z.B. Compact Cassetten) vereinfachte, brachte die digitale Speicherung der Audiodaten ein neuartiges Problem hervor. Der mit der digitalen Überspielung einhergehende Wegfall der Unterscheidbarkeit zwischen Original und Fälschung schuf einen inhärenten Konflikt zwischen digitalen Medien und zu schützenden Inhalten. Die Compact Disc lieferte somit Anlaß, den Mißbrauch von Digitaltechnik zur Verletzung von (wirtschaftlich bedeutenden) Schutzrechten grundsätzlich zu vergegenwärtigen und — auch mit Blick auf zukünftige digitale Medien — Maßnahmen zu deren Bekämpfung einzuleiten.⁴

¹ Heister, Hanns-Werner. „Die Compact Disc: Ökonomische, technische und ästhetisch-soziale Bedingungen einer Innovation.“ S.56. In: Jungheinrich, Hans-Klaus (Hg.) *Ästhetik der Compact Disc*. Kassel/Basel/London: Bärenreiter 1985

² Locanthi, Bart. „Minutes of the Meeting of the Digital Audio Technical Committee: 1982 October 22.“ *JAES* 31(1/2), January/February 1983, S.37-39

³ Locanthi, Bart. „Minutes of the Meeting of the Digital Audio Technical Committee: 1983 March 13.“ *JAES* 31(7), July/August 1983, S.538-542

⁴ Die Europäische Union bemüht sich um eine Vereinheitlichung der Urhebergesetzgebungen und schuf 1995 mit dem „Grünbuch zum Urheberrecht und zu verwandten Schutzrechten in der Informationsgesellschaft“ eine Diskussionsgrundlage für die Wahrung von Schutzrechten im Zeitalter digitaler Datenübertragung.

vgl. Zombik, Peter (Bundesverband der Phonographischen Wirtschaft). „Tonträger im Markt der Zukunft.“ *Media Perspektiven* 10/95, S.510

Mißtrauen gegenüber der Authentizität der Tonübertragung

Bei der Digitalisierung der Audiotechnik handelt es sich zunächst um eine rein technische Maßnahme zur Verringerung der Störanfälligkeit bei der Übertragung und Speicherung von Tonsignalen. Charakteristisch ist dabei das Verhältnis zwischen dem erforderlichen Aufwand und der erzielten Wirkung. Um dem Ziel nahe-zukommen, analoge Audiosignale möglichst wenig zu verfälschen, wird auf technischer Seite das genaue Gegenteil betrieben: Mit erheblichem Schaltungsaufwand werden kontinuierliche Signale bei der Digitalisierung in regelmäßigen Zeitintervallen abgetastet und quantisiert, um bei der späteren Wiedergabe rekonstruiert zu werden. Der Wunsch nach Klangtreue erfordert unterhalb der hörbaren Oberfläche ein massives Aufgebot an Technik.

Schon vor der Einführung der Compact Disc wurde Kritik laut, daß ein derart drastischer Eingriff zu wahrnehmbaren Konsequenzen führen müsse. Zwar besagt das der Digitalisierung zugrundeliegende Abtasttheorem¹, daß Tonsignale, deren höchste Frequenzanteile niedriger sind als die Hälfte der verwendeten Abtastfrequenz, prinzipiell *fehlerfrei* rekonstruiert werden können. Doch schon die Tatsache, daß es sich überhaupt um eine *Rekonstruktion* (und nicht mehr um das Original) handelte, warf die Frage auf, ob die Digitalisierung grundsätzlich eine geeignete Form der Tonbearbeitung sei und ob dem Hörer ein derartiger Zwischenschritt zugemutet werden könne.

Ein Beispiel für das vehemente Vorbringen der These, digitalisierte Musik sei für den Menschen unverträglich, lieferte der amerikanische Mediziner John Diamond. Vor der 66. Versammlung der *Audio Engineering Society* (!) im Mai 1980 in Los Angeles behauptete er, daß von digital codierter Musik Stress auf den Zuhörer ausgeübt würde.² In einer eindrucksvollen Vorführung versuchte Diamond zu demonstrieren, daß sich die ausgestreckten Arme von Freiwilligen während des Abspielens digital codierter Musik leichter als sonst herabdrücken ließen. Zwar blieb die von ihm angeregte Diskussion folgenlos, da er einerseits darauf ver-

¹ vgl. Kap.4

² Morgan, Nelson. „Comments on „Human Stress Provoked by Digitalized Recordings.“ *JAES* 28(9), September 1980, S.613

zichtete, auch anerkannte Methoden zur Stress-Messung heranzuziehen¹, und andererseits das Ergebnis des von ihm praktizierten Tests ohne seine Anwesenheit nicht reproduziert werden konnte.² Doch schon die Tatsache, daß sich die Audio-Fachwelt mit dieser Thematik befaßte, zeigt, daß auch hier — trotz Kenntnis der mathematisch-technischen Grundlagen — Mißtrauen gegenüber der Digitaltechnik vorhanden war.

Scharfe Kritik rief die sich am Markt etablierende CD seitens kulturkritisch engagierter Audiophiler hervor. In Sorge weniger um die konkrete Gesundheit der Zuhörer als um drohende kulturelle Veränderungen wurde basierend auf eigenen subjektiven Empfindungen eine Diffamierung der Compact-Disc-Technik und ihrer Benutzung betrieben. Unter bewußter Inkaufnahme des Vorwurfs, als rückschrittlich und technikfeindlich zu gelten, wertete ein sich selbst als „Analog-Neurotiker“ bezeichnender Kritiker den CD-Klang als steril, kalt, eng, leblos und flach und verglich das Verhältnis zwischen CD und Schallplatte mit der sterilen Kälte von Pulver-Kaffee, H-Milch oder Preßholz.³ Das „philosophisch-ästhetische Grundproblem“ der Digitaltechnik umriß er mit der Frage, ob „ein Ton, den ich in 40.000 Teile aufspalte und pulverisiere und anschließend wieder zusammensetze — ob ein solches Signal mit dem ursprünglichen Ton überhaupt identisch ist oder sein kann“.⁴ Diskussionsstoff lieferte das Phänomen der „Kälte“ der Digitaltechnik aber vor allem auf einer weniger philosophischen Ebene. Während einerseits gemutmaßt wurde, daß das menschliche Gehör deshalb empfindlich auf Digitalsysteme

¹ Morgan, Nelson. „Comments on „Human Stress Provoked by Digitalized Recordings.“ *JAES* 28(9), September 1980, S.613.

Diamond erwiderte, daß wissenschaftliche Methoden wie die Messung der galvanischen Hautreaktion (GSR = Galvanic Skin Response) oder die Erstellung eines Elektroenzephalogramms (EEG) die Stesswirkung digitaler Musik nicht zutage bringen würden. Deshalb habe er sich für den Arm-drücktest entschieden, den er seit Jahren praktiziere.

vgl. Diamond, John. „Comments on Stress Test.“ *JAES* 29(19), October 1981, S.749

² „Detroit tries digital test.“ in: „News of the Sections.“ *JAES* 29(5), May 1981, S.374-376

³ Csampai, Attila. „Musikalische Begegnung der dritten Art: Technische, ästhetische und ökonomische Aspekte des ‚compact disc digital audio system‘.“ S.87,88. In: Jungheinrich, Hans-Klaus (Hg.) *Ästhetik der Compact Disc*. Kassel/Basel/London: Bärenreiter 1985

⁴ ebenda

reagiere, weil mechanische Verzerrungseffekte, wie sie etwa bei natürlichen Instrumenten auftreten, weniger auffällig seien als elektrische Verzerrungseffekte¹, mußte bei sachlicher Betrachtung eingeräumt werden, daß der als „digitale Kälte“ empfundene Effekt lediglich daher rühre, daß sich Audiophile angewöhnt hätten, „die vergleichsweise starken harmonischen Verzerrungen, die bei analogen Speicherungen auftreten, [...] als ‚Wärme‘ und ‚Natürlichkeit‘ des Klangbilds zu bezeichnen“.²

Auch gesellschaftliche Folgeerscheinungen der Compact Disc wurden befürchtet. Unter dem Aspekt der Verselbständigung des apparativen Aufwandes wurde der Trend zur Vergrößerung des Grabens zwischen bedienbarer Oberfläche und zugrundeliegender Technologie kritisiert, die den ursprünglichen Zusammenhang von „Handgriff und Begreifen, von Anfassen und Erfassen“ zersetze.³ Konkretere Schilderungen der drohenden gesellschaftlichen Effekte reichten von dem Hinweis, die CD wirke sich zerstörerisch auf die menschliche Sinnlichkeit aus⁴, bis hin zu ausfallenden Bemerkungen über die Benutzer der neuen, ungeliebten Technik:

„Die Musik aus dem CD-Player hat in der Tat den Endpunkt musikalischer Entfremdung erreicht: Es ist die ‚digitale Vollendung‘ des puren, optimierten, toten Schönklangs, der musikalischen Klangfassade. Das adäquate akustische Korrelat zum künstlichen Leben in der hochindustrialisierten Gesellschaft. [...] Der Ton ist pfelegeleicht, antiseptisch, kybernetisch, meßbar und tot. Für tote Menschen. Und wie geschaffen für den kybernetischen, sportlich-narzistischen Typus des Nekrophilen [...] oder auch für den depressiven, den ‚analytischen‘ Hörer.“⁵

¹ Heister, Hanns-Werner. „Die Compact Disc: Ökonomische, technische und ästhetisch-soziale Bedingungen einer Innovation.“ S.34. In: Jungheinrich, Hans-Klaus (Hg.) *Ästhetik der Compact Disc*. Kassel/Basel/London: Bärenreiter 1985

² Schreiber, Ulrich. „Vom Fortschritt der Afterkunst: Plädoyer für die Wertfreiheit eines technischen Mittlers.“ S.80. In: Jungheinrich, Hans-Klaus (Hg.) *Ästhetik der Compact Disc*. Kassel/Basel/London: Bärenreiter 1985

³ Heister, Hanns-Werner. „Die Compact Disc: Ökonomische, technische und ästhetisch-soziale Bedingungen einer Innovation.“ S.49. In: Jungheinrich, Hans-Klaus (Hg.) *Ästhetik der Compact Disc*. Kassel/Basel/London: Bärenreiter 1985

⁴ ebenda

⁵ Csampai, Attila. „Musikalische Begegnung der dritten Art: Technische, ästhetische und ökonomische Aspekte des ‚compact disc digital audio system‘.“ S.88. In: Jungheinrich, Hans-Klaus (Hg.) *Ästhetik der Compact Disc*. Kassel/Basel/London: Bärenreiter 1985

5.5 REVOLUTION IM VERBORGENEN

Findet ein komplexes technisches System als Konsumgut weite Verbreitung, so deutet dies darauf hin, daß neben innertechnischen Merkmalen der *Benutzbarkeit* wesentliche Bedeutung zukommt. Im Falle der ursprünglichen Audio-CD bestand diese zum einen darin, daß ihr Verwendungszweck mit dem der etablierten Schallplattentechnik übereinstimmte. Außerdem wurde eine konkrete Benutzbarkeit durch die Minimierung der zum Abspielen von Tonträgern erforderlichen Operationen erzielt. Im Gegensatz zur Nutzung des technologisch verwandten Computers erforderte der vollständige, sinnvolle Gebrauch von CD-Spielern keinerlei Spezialkenntnisse, vielmehr war dazu das Wissen um wenige, mit einfachen Symbolen¹ gekennzeichnete Funktionstasten ausreichend.

Obwohl ein derart vereinfachter Zugang zur Technik schon aus Gründen der Ergonomie als vorteilhaft gewertet werden kann, zieht die Vereinfachung selbst Konsequenzen nach sich. Die Leichtigkeit des Umgangs mit anspruchsvoller Technik verleitet einerseits zum spielerischen Gebrauch. Die gezielte Zugriffsmöglichkeit auf bestimmte Musikstücke und -passagen einer Compact Disc legt eine Benutzungsform nahe, die von der Intention des Urhebers abweichen kann. Der schnelle Wechsel zwischen Musikstücken („Song-Surfing“) und das Herauspicken von Lieblingspassagen sind zumindest aus musikalischer Sicht kritisch zu bewerten.² Vergleichbar mit dem Springen zwischen Fernsehkanälen („Zapping“) ermöglichte auch die CD eine neue Qualität der Medienrezeption, die im Kontext der zunehmenden Informationsdichte im Zeitalter elektronischer Medien zu sehen ist.

Außerdem birgt die Leichtfertigkeit im Umgang mit praktisch unbekannter Technik auch Gefahren. Daß dies auch in Bezug auf

¹ Die wichtigsten dieser Symbole (für „Start“ und „Stopp“) waren ohnehin von Kassettenabspielgeräten her bekannt.

² vgl. Heister, Hanns-Werner. „Die Compact Disc: Ökonomische, technische und ästhetisch-soziale Bedingungen einer Innovation.“ S.48. In: Jungheinrich, Hans-Klaus (Hg.) *Ästhetik der Compact Disc*. Kassel/Basel/London: Bärenreiter 1985

Der amerikanische Musiker „Prince“ ging gegen Song-Surfing vor, indem er sein gesamtes, aus mehreren Stücken bestehendes Album „Lovesexy“ (1988) mit nur einer einzigen CD-Tracknummer versah, so daß ein gezieltes Springen zwischen den einzelnen Stücken nicht möglich ist.

die Compact Disc nicht trivial ist, zeigt das drastische Beispiel des Beinaheabsturzes eines Verkehrsflugzeugs (des Typs DC-10) im Anflug auf den Kennedy-Flughafen in New York im Februar 1993.¹ Wie später ermittelt wurde, war die kurzzeitige Störung der Navigationsinstrumente auf das Einschalten eines portablen CD-Spielers in der ersten Klasse nahe des Cockpits zurückzuführen.

Mit dem *Compact Disc Digital Audio System* ist hochentwickelte Mikroelektronik erstmals in großem Umfang in den Alltag und das individuelle Leben eingedrungen.² Der niedrige Preis und die durch unempfindliche Tonträger und einfache Bedienbarkeit erreichte Benutzerfreundlichkeit machte das System breiten Bevölkerungsschichten zugänglich und führte zu einer Demokratisierung klanglich hochwertiger Tonwiedergabesysteme. Die Kombination aus vorhandenem Marktpotential, gelungener Konzeptionierung als Konsumgut und fortschrittlicher Hochtechnologie verhalf der *Compact Disc* zu einer Verbreitung, deren prägende gesellschaftliche und technische Auswirkungen zu den wesentlichsten technologischen Impulsen des 20. Jahrhunderts gezählt werden können. Ihre Herkunft aus dem Videobereich (Bildplatte), die Überlappung mit der Videorecorderentwicklung in der Samplingdebatte sowie ihre Ausstrahlung in den professionellen Audiobereich und als CD-ROM in den EDV- bzw. Multimediabereich führten deutlich über die Ebene des Konsum-Tonträgerprodukts hinaus.

¹ Elmer-Dewitt, Philip. „Hazards Aloft.“ *TIME Magazine*, February 22, 1993, S.45

² vgl. Kaiser, Walter. „Technisierung des Lebens seit 1945.“ In: Braun, Hans-Joachim und Walter Kaiser. „Energiewirtschaft, Automatisierung, Information seit 1914“. Bd.5 der Reihe *Propyläen Technikgeschichte*, hrsg. von Wolfgang König. Berlin: Propyläen Verlag 1992, S.283

Akronyme

ADAT	<u>A</u> lesis <u>D</u> igital <u>A</u> udio <u>T</u> ape; digitales, S-VHS-basiertes Aufzeichnungssystem für acht Tonspuren, Hersteller: Alesis Corp.
AES	<u>A</u> udio <u>E</u> ngineering <u>S</u> ociety, internationale Fachvereinigung der Audio-Ingenieure
AHD	<u>A</u> udio <u>H</u> igh <u>D</u> ensity; Tonträgersystem von JVC
ALP	<u>A</u> udio <u>L</u> ong <u>P</u> lay; Vorläufige Bezeichnung des Compact-Disc-Systems in der Frühphase der Entwicklung
AMOR	<u>A</u> udio <u>M</u> ultichannel <u>O</u> ptical <u>R</u> ecorder; optisches Mehrspuraufnahmesystem von PolyGram/Philips
BCH	<u>B</u> ose/ <u>C</u> haudhuri/ <u>H</u> oquenghem-Code; Fehlerkorrekturcodierung
Bit	<u>B</u> inary <u>D</u> igit; digitaler Binärzustand „1“ oder „0“
CBAC	<u>C</u> ross <u>B</u> - <u>A</u> djacent <u>C</u> ode; Fehlerkorrekturverfahren von Sony
CD	<u>C</u> ompact <u>D</u> isc (Digital Audio System)
CD-ROM	<u>C</u> ompact <u>D</u> isc <u>R</u> ead <u>O</u> nly <u>M</u> emory; CD-Derivat zur Datenspeicherung
CIRC	<u>C</u> ross- <u>I</u> nterleaved <u>R</u> eed- <u>S</u> olomon <u>C</u> ode; Fehlerkorrekturverfahren der CD
DAD	<u>D</u> igital <u>A</u> udio <u>D</u> isk; zur Standardisierung eines digitalen Tonträgers wurde vom japanischen MITI eine gleichlautende Konferenz einberufen
DCC	<u>D</u> igital <u>C</u> ompact <u>C</u> assette; digitales Audiocassettsystem von Philips
DRAW	<u>D</u> irect <u>R</u> ead <u>A</u> fter <u>W</u> rite; optisches Speichersystem von Philips
EBU	<u>E</u> uropean <u>B</u> roadcasting <u>U</u> nion; europäische Vereinigung der Rundfunkanstalten
EFM	<u>E</u> ight-to- <u>F</u> ourteen <u>M</u> odulation; Kanalkodierungsverfahren der CD
ELA	Hauptindustriegruppe <u>E</u> lektro- <u>A</u> kustik des Philips-Konzerns

IC	<u>I</u> n <u>t</u> e <u>g</u> r <u>a</u> t <u>e</u> d <u>C</u> ir <u>c</u> u <u>i</u> t; Integrierter Schaltkreis (oft: „Microchip“)
JAES	<u>J</u> ournal of the <u>A</u> udio <u>E</u> ngineering <u>S</u> ociety; monatl. Zeitschrift der AES
JVC	<u>V</u> ictor <u>C</u> ompany of <u>J</u> apan; Tochterunternehmen von Matsushita
kHz	<u>K</u> ilo <u>h</u> ertz; Frequenzmaß (tausende Schwingungen pro Sekunde)
LOCOS	<u>L</u> ocal <u>O</u> xidation of <u>S</u> ilicon; von Philips entwickelter Prozeßschritt in der IC-Herstellung
LSI	<u>L</u> arge <u>S</u> cale <u>I</u> ntegration; ICs mit hoher Integrationsdichte
MD	1) <u>M</u> ini- <u>D</u> isk; digitales Tonträgersystem von AEG-Telefunken (um 1980) 2) <u>M</u> ini <u>D</u> isc; digitales Tonträgersystem von Sony (1992)
MEI	<u>M</u> atsushita <u>E</u> lectric <u>I</u> ndustrial Co. Ltd., weltweit größter Hersteller von Haushaltsgeräten und Unterhaltungselektronik mit Sitz in Osaka, Japan. Markennamen: u.a. JVC, National, Panasonic, Quasar, Seiko, Technics
MIT	<u>M</u> assachusetts <u>I</u> nstitute of <u>T</u> echnology; technische Hochschule in Cambridge, USA
MITI	<u>M</u> inistry of <u>I</u> nternational <u>T</u> rade and <u>I</u> ndustry; japanisches Außenhandels- und Industrieministerium
µm	<u>M</u> ikrometer; Maßeinheit (10 ⁻⁶ m)
MOS	<u>M</u> etal <u>O</u> xide <u>S</u> emiconductor; Verfahren zur Herstellung von Halbleiterbauelementen, insbes. Feldeffekttransistoren
MSI	<u>M</u> edium <u>S</u> cale <u>I</u> ntegration; ICs mit mittlerer Integrationsdichte
Nat.Lab.	<u>N</u> aturkundig <u>L</u> aboratorium; Eindhovener Forschungslabor des Philips-Konzerns
NTSC	<u>N</u> ational <u>T</u> elevision <u>S</u> ystem <u>C</u> ommittee, hiernach benanntes Farbfernsehverfahren der USA (auch Japan)
OEM	<u>O</u> riginal <u>E</u> quipment <u>M</u> anufacturer; Hersteller von Geräten/Bauteilen, die unter anderem Namen vermarktet werden
PAL	<u>P</u> hase <u>A</u> lternating <u>L</u> ine; europäisches Farbfernsehverfahren
PC	<u>P</u> ersonal <u>C</u> omputer
PCM	<u>P</u> uls <u>c</u> ode <u>m</u> odulation; digitales Codierungsverfahren
SECAM	<u>S</u> ystème en <u>C</u> ouleur avec <u>M</u> émoire, oder <u>S</u> équentiel à <u>M</u> émoire; französisch/russisches Farbfernsehverfahren
SPDIF	<u>S</u> ony/ <u>P</u> hilips <u>D</u> igital <u>I</u> nterface <u>F</u> ormat, Austauschformat für Audiodaten

SSI	<u>S</u> mall <u>S</u> cale <u>I</u> ntegration; ICs mit niedriger Integrationsdichte
S-VHS	<u>S</u> uper- <u>V</u> HS (vgl. VHS), Videoaufzeichnungssystem
VCR	<u>V</u> ideo <u>C</u> assette <u>R</u> ecorder; engl. für Videorecorder (mit Cassetten)
VHD	<u>V</u> ideo <u>H</u> igh <u>D</u> ensity; Bildplattensystem von JVC
VHS	<u>V</u> ideo <u>H</u> ome <u>S</u> ystem, Videocassetten-system von JVC
VLP	<u>V</u> ideo <u>L</u> ong <u>P</u> lay; Bildplattensystem von Philips (später: „LaserVision“)
VLSI	<u>V</u> ery <u>L</u> arge <u>S</u> cale <u>I</u> ntegration; ICs mit sehr hoher Integrationsdichte
VTR	<u>V</u> ideo <u>T</u> ape <u>R</u> ecorder; engl. für Video-Bandrecorder

Literatur- und Quellenverzeichnis

VERÖFFENTLICHTE LITERATUR*:

- Abbott, Curtis „Efficient Editing of Digital Sound on Disk“
Journal of the Audio Engineering Society (JAES) 32(6), June 1984,
S.394-402
- Acket, G.A „Halbleiterlaser für optische Kommunikation“
J.J. Daniele
W. Nijman
R.P. Tijburg
P.J. de Waard
Philips technische Rundschau 36(7), 1976/77, S.204-215
- Allan, Roger „Electronics: experts probe world outlook“
IEEE Spectrum 16(7), July 1979, S.56-59
- Anazawa, Takeaki „An Historical Overview of the Development of PCM/Digital Recording
Technology at Denon“
Hideaki Hayashi
Keizo Inokuchi
Kouichi Oshinden
Yukio Takahashi
Akihiko Takasu
Kaoru Yamamoto
Shigeo Todoroki
Hiroyuki Yazawa
Almon H. Clegg
Proceedings of the AES 7th International Conference
New York: Audio Engineering Society 1990, S.13-18
- Anderson, L.K. „Holographic Optical Memory For Bulk Data Storage“
Bell Laboratories Record 46, Murray Hill 1968, S. 319-326

* Erläuterung zur Angabe von Band/Jahrgangs- und Nummernzählung bei Zeitschriften:
Beispiel: „*IEEE Spectrum* 16(7)“
bezeichnet die 7. Ausgabe (hier also Juli) des 16. Jahrgangs (hier also 1979) der Zeitschrift „*IEEE Spectrum*“.

- Appels, J.A.
E. Kooi
M.M. Paffen
J.J.H. Schatorjé
W.H.C.G. Verkuylen
„Local oxidation of silicon and its application in semiconductor-device technology“
Philips Research Reports 25, 1970, S.118-132
- Barrekette, E.S.
„Trends in Storage of Digital Data“
Applied Optics 13(4), April 1974, S.749-754
- Bashe, C.J.
W. Buchholz
G.V. Hawkins
J.J. Ingram
N. Rochester
„The Architecture of IBM's Early Computers“
IBM Journal of Research and Development 25(5), September 1981
S.363-375
- Beenker, G.F.M.
K.A. Schouhamer Immink
„A Generalized Method for Encoding and Decoding Run-Length-Limited Binary Sequences“
IEEE Transactions on Information Theory 29(5), Sept. 1983, S.751-754
- Berlekamp, Elwyn R.
„Note on Recurrent Codes“ (Correspondence)
IEEE Transactions on Information Theory 10(3), July 1964, S.257-258
- Berlekamp, Elwyn R.
„Error-Correcting Codes for Digital Audio“
In: Blesser, Barry, Bart Locanthi and Thomas G. Stockham, Jr. (Eds.)
Digital Audio: Collected Papers from the AES Premiere Conference, Rye, New York, 1982 June 3-6. Audio Engineering Society 1983, S.127-138
- Berth, Michel
Camille Venger
„Photodétecteurs rapides à état solide“
Acta Electronica 15(4), 1972, S.281-308
- Blesser, Barry
„An Investigation of Quantization Noise“
Journal of the Audio Engineering Society 22(1), Jan./Feb. 1974, S.20-22
- Blesser, Barry A.
„Digitization of Audio: A Comprehensive Examination of Theory, Implementation, and Current Practice.“
Journal of the Audio Engineering Society (JAES) 26(10), October 1978, S.739-771
- Blesser, Barry
Bart Locanthi
T.G. Stockham, Jr.
(Eds.)
Digital Audio: Collected Papers from the AES Premiere Conference Rye, New York, 1982 June 3-6
Audio Engineering Society 1983
- Blesser, Barry
„Introduction“
In: Blesser, Barry, Bart Locanthi and Thomas G. Stockham, Jr. (Eds.)
Digital Audio: Collected Papers from the AES Premiere Conference, Rye, New York, 1982 June 3-6. Audio Engineering Society 1983, S.1-2
- Blesser, Barry
„Elementary and Basic Aspects of Digital Audio“
In: Blesser, Barry, Bart Locanthi and Thomas G. Stockham, Jr. (Eds.)
Digital Audio: Collected Papers from the AES Premiere Conference, Rye, New York, 1982 June 3-6. Audio Engineering Society 1983, S.5-11
- Blüthgen, Björn
„Questionnaire Prior to Digital Audio Standardization“
Journal of the Audio Engineering Society (JAES) 28(4), April 1980, S.267-269
- Bollen, L.J.M.
J.J. Goedbloed
E.T.J.M. Smeets
„Die Avalanche-Fotodiode“
Philips technische Rundschau 36(7), 1976/77, S.220-226

- Boonstra, Loek
C.W. Lambrechtse
R.H.W. Salters
„A 4096-b One-Transistor Per Bit Random-Access Memory with Internal Timing and Low Dissipation“
IEEE Journal of Solid-State Circuits SC-8(5), October 1973, S.305-310
- Bose, R.C.
D.K. Ray-Chaudhury
„On A Class of Error Correcting Binary Group Codes“
Information and Control 3, 1960, S.68-79
- Bose, R.C.
D.K. Ray-Chaudhury
„Further Results on Error Correcting Binary Group Codes“
Information and Control 3, 1960, S.279-290
- Bosma, H.
W.C. Gelling
„LSI, eine Revolution in der Elektronik“
Philips technische Rundschau 37(11/12), 1977/78, S.291-300
- Boucher, A.
B.C. Easton
„Epitaktisches Züchten von Galliumarsenid“
Philips technische Rundschau 32(9/10/11/12), 1971/72, S.405-410
- Boutry, Georges-Albert
„Brève histoire de la photoémission“
Acta Electronica 16(2) 1973, S.127-136
- Bouwuis, Gijs
P. Burgstede
„The optical scanning system of the Philips 'VLP' record player“
Philips technical Review 33(7), 1973, S.186-189
- Bouwuis, Gijs
J.J.M. Braat
„Video disk player optics“
Applied Optics, 17(3), 1 July 1978, S.1993-2000
- Bouwuis, Gijs
Jozef Braat
Ad Huijser
Jan Pasman
Gerard van Rosmalen
Kees Schouhamer Immink
Principles of Optical Disc Systems
Bristol/Boston: Adam Hilger 1985
- Bouwuis, Gijs
„Introduction“
In: Bouwuis, G., J. Braat, A. Huijser, J. Pasman, G. van Rosmalen and K. Schouhamer Immink. *Principles of Optical Disc Systems*. Bristol/Boston: Adam Hilger 1985, S.1-7
- Braat, Jozef J.M.
„Aspheric surfaces: design and optical advantages“
Philips technical Review 41(10), 1983/84, S.289-295
- Brandt, B.B.M.
W. Steinmaier
A.J. Strachan
„LOCOS, eine neue Technologie für komplementäre MOS-Schaltungen“
Philips technische Rundschau 33, 1973/74.S.343-347
- Braun, Ernest
Stuart Macdonald
Revolution in Miniature. The history and impact of semiconductor electronics. Cambridge University Press, 2. Aufl. 1982
- Brouwer, J.F.
„Half a century of 'electronification' in telephony systems“
Philips technical Review 42 (10/11/12), Sept. 1986, S.361-373
- Brown, W.S
B.D. Holbrook
M.D. McIlroy
AT&T Bell Laboratories, 1984, S.351-398
- Brüse, Claudius
Ralf Kleineremanns
„Mixdown im Cyberspace: Was ist der Digidesign TDM-Bus?“
Keyboards 10/1994, S.54-69
- Bucy, J. Fred
„For semiconductors: growth, not maturity“
IEEE Spectrum 9(4), April 1972, S.55-58

- Bulthuis, Kees „Ten billion bits on a disk“
Marino G. Carasso *IEEE Spectrum* 16(8), August 1979, S.26-33
Jaques P.J. Heemskerck
Peter J. Kivits
Wilhelm J. Kleuters
Pieter Zalm
- Bulthuis, Kees „A farewell message“ *Philips technical Review* 44(11/12), Nov. 1989
(Abschiedswort zur letzten Ausgabe der Zeitschrift)
- Burkowitz, Peter K. „User's Note on Digital Audio: Standard Code and Procedures,
Operational Requirements“, *Journal of the Audio Engineering Society*
(*JAES*) 26(4), April 1978, S.242-246
- van den Bussche, W. „Signal processing in the Philips 'VLP' system“
A.H. Hoogendijk
J.H. Wessels
Philips technical Review 33 (7), 1973, S.181-185
- Carasso, Marino G. „The Compact Disc Digital Audio System“
J.B.H. Peek
J.P. Sinjou
Philips technical Review 40(6), 1982, S.151-156
- Casimir, H.B.G. „G. Holst and his ideas of industrial research“
Philips Research Reports 24, 1969, S.161-167
- Casimir, H.B.G. „Theoretische Physik und industrielle Forschung“
Philips technische Rundschau 32(6/7/8), 1971/72, S.157-162
- Casimir, H.B.G. „G. Holst, pioneer of industrial research in the Netherlands“
Philips technical Review 40, 1982, S.121-128
- Casimir, H.B.G. „Marginal notes for an anniversary“
(anlässlich des fünfzigjährigen Bestehens der Zeitschrift)
Philips technical Review 42(10/11/12), Sept. 1986, S.295-296
- Chen, Di „An Overview of Optical Data Storage Technology“
J. David Zook
Proceeding of the IEEE 63(8), August 1975, S.1207-1230
- Chien, Robert Tienwen „Memory error control: beyond parity“
IEEE Spectrum 10(7), July 1973, S.18-23
- Compaan, Klaas „The Philips 'VLP' system“
Piet Kramer
Philips technical Review 33(7), 1973, S.178-180
- Compaan, Klaas „Das Philips 'VLP' System“ (identisch mit o.g. engl. Artikel)
Piet Kramer
Philips technische Rundschau 33(7), 1973/74, S.190-192
- Csampa, Attila „Musikalische Begegnung der dritten Art: Technische, ästhetische
und ökonomische Aspekte des 'compact disc digital audio system'.“
In: Jungheinrich, Hans-Klaus (Hg.) *Ästhetik der Compact Disc*.
Kassel/Basel/London: Bärenreiter 1985, S.84-100
- Dekker, W. „Bright spots and bottlenecks in Europe's future industrial
development“ *Philips technical Review* 43(4), Feb. 1987, S.77-85
- Deloraine, E. Maurice „25 Jahre Pulsmodulation“
Alec H. Reeves
Elektrisches Nachrichtenwesen 40(4), 1965, S.434-447;
Originalveröffentlichung unter dem Titel:
„The 25th anniversary of pulse code modulation“
IEEE Spectrum 2(5), May 1965, S.56-63
- Diamond, John „Comments on Stress Test“
Journal of the Audio Engineering Society 29(19), Oct. 1981, S.749

- Dickopp, Gerhard „Die Bildplatte System TED“
Horst Redlich
Technische Mitteilungen AEG-Telefunken 63(7), 1973, S.288ff.
- Doi, Toshitada „On Several Standards for Converting PCM Signals into Video Signals“
Yoshikazu Tsuchiya
Akira Iga
Journal of the Audio Engineering Society (JAES) 26(9), Sept. 1978
S.641-649
- Doi, Toshi T. „A Long-Play Digital Audio Disk System“
Takashi Itoh
Hiroshi Ogawa
Journal of the Audio Engineering Society (JAES) 27(12), Dec. 1979,
S.975-981
- Doi, Toshi T. „On Sampling Rate for Digital Audio Recorders“
Vortragsmanuskript, AES Digital Audio Technical Committee Meeting
May 4, 1980; veröffentlicht: *Journal of the Audio Engineering Society*
(*JAES*) 28(9), Sep. 1980, S.616-618
- Doi, Toshi T. „General Information on a Compact Digital Audio Disk“
Journal of the Audio Engineering Society (JAES) 29(1/2),
Jan./Feb. 1981, S.60-66
- Doi, Toshi T. „Digital Audio Formats for Recording and Digital Communication“
Heitaro Nakajima
SMPTE Journal, August 1981, S.669-677
- Doi, Toshi T. „Error Correction for Digital Audio Recordings“
In: Blesser, Barry, Bart Locanthi and Thomas G. Stockham, Jr. (Eds.)
*Digital Audio: Collected Papers from the AES Premiere Conference, Rye,
New York, 1982 June 3-6*. Audio Engineering Society 1983, S.147-177
- Doi, Toshi T. „Channel Codings for Digital Audio Recordings“
Journal of the Audio Engineering Society 31(4), April 1983, S.224-238
- Dupuis, Russell D. „An introduction to the development of the semiconductor laser“
IEEE Journal of Quantum Electronics QE-23, June 1987, S.651-657
- Electronic Industries „Technical File of the Stereo Technical Committee
Association of Japan and the Video Technical Committee STC-007, 1979
- Elmer-Dewitt, Philip „Hazards Aloft“ *TIME Magazine*, February 22, 1993, S.45
- Elmer-Dewitt, Philip. „How Mac Changed the World“ *TIME Magazine*, Jan. 31, 1994, S.57f.
- Feld, Wolfgang „Laser-Sieg?“ *Audio*, Dezember 1981, S.146f.
- Fessler, Hans-Ulrich. „Die richtige Zeit“ *Stereoplay*, Januar 1988, S.28ff.
- Finck, J.C.J. „Ein Halbleiterlaser zum Auslesen von Information“
H.J.M. van der Laak
J.T. Schrama
Philips technische Rundschau 39 (4), 1980/81, S.101-111
- Flcury, P.A. „Quantum Electronics - The Laser“
A.G. Fox
J.A. Giordmaine
B.F. Levine
R.C. Miller
M.B. Panish
C.K.N. Patel
P.W. Smith
In: Millman, S. (ed.) *A History of Engineering and Science in the Bell
System: Physical Sciences (1925-1980)*, AT&T Bell Laboratories, 1983,
S.151-210
- Frank, Günter „Photoemission of GaAs in the reflection and transmission mode“
Siegfried Garbe
Acta Electronica 16(3), 1973, S.237-244
- Fu, Nobuyuki *Hear the Light* (engl. Übersetzung des japanischen Titels)
Bungei Shunju K.K. 1987, S.57

- Gabor, Dennis. "Holography, 1948-1971"
Proceedings of the IEEE 60(6), June 1972, S.655-668
- Gerdes, Claudia. „Click & Wait: Die CD-ROM boomt. Doch die meisten der silbernen Scheiben sind bloß Schrott“ *DieWoche*, 5. Januar 1996, S.15
- Gijsbers, T.G. „COLATH, a numerically controlled lathe for very high precision.“
Philips technical Review 39, 1980, S.229-244
- Gilbert, E.N. „Mathematical Foundations of Communications“
C.L. Mallows
B. McMillan
A.D. Wyner
In: Millman, S. (ed.) *A History of Engineering and Science in the Bell System: Communication Sciences (1925-1980)*
AT&T Bell Laboratories, 1984, S.1-92
- Goedhart, D. „Digital-to-analog conversion in playing a Compact Disc“
R.J. van de Plassche
E.F. Stikvoort
Philips technical Review 40(6), 1982, S.174-179
- Golay, Marcel J.E. „Notes on Digital Coding“
Proceedings of the I.R.E. 37(6), June 1949, S.657
- Gray, Edward E. „Laser Mass Memory System“
IEEE Transactions on Magnetics, 1972 Internag Conference, S.416-420
- Greefkes, J.A.
K. Riemens „Codemodulation mit digital gesteuerter Kompanierung für Sprachübertragung“
Philips technische Rundschau 31(11/12), 1970/71, S.351-370
- Guterl, Fred „Compact Disc“ *IEEE Spectrum* 25(11), 1988, S.102-108
(Jubiläumsausgabe 25 Jahre IEEE Spectrum, darin: 8 Fallbeispiele)
- Haisma, J.
T.G. Gijsbers „Optomechanics, an ultra-high-precision machining technique“
Philips technical Review 41(10), 1983/84, S.285-289
- Haisma, J.
W. Mesman
J.M. Oomen
J.C. Wijn „Fabrication, testing and application of highly accurate aspheric optical elements.“
Philips technical Review 41(10), 1983/84, S.296-303
- Hamming, Richard W. „Error Detecting and Error Correcting Codes.“
The Bell System Technical Journal 26 (2), April 1950, S.147-160
- Heaslett, Alastair „Some Criteria for the Selection for Sampling Rates in Digital Audio Systems“
Journal of the Audio Engineering Society 26(1/2), Jan/Feb 1978, S.66-70
- Hecht, Jeff *Laser Pioneers*. London: Academic Press 1992
- Heemskerk, J.P.J.
K.A. Schouhamer Immink „Compact Disc: system aspects and modulation.“
Philips technical Review 40(6), 1982, S.157-164
- Heerding, A. *The History of N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken*
Cambridge University Press, 1986, Vol.1
- Heerding, A. *The History of N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken*
Cambridge University Press, 1988, Vol.2
- Heister, Hanns-Werner „Die Compact Disc: Ökonomische, technische und ästhetisch-soziale Bedingungen einer Innovation“
In: Jungheinrich, Hans-Klaus (Hg.) *Ästhetik der Compact Disc*.
Kassel/Basel/London: Bärenreiter 1985, S.13-66
- Hidaka, T. „JVC AHD Digital Audio Disk System“
Journal of the Audio Engineering Society 29(1/2), Jan/Feb 1981, S.68-70

- Hoagland, Albert S. „Mass Storage — Past, present and future“
American Federation of Information Processing Societies (AFIPS)
Proceedings of the Fall Joint Computer Conference, 1972
Vol. 41, S.985-991
- Hodges, David A.
Paul R Gray „Enhancing MOS/LSI's role in analog design“
IEEE Spectrum 16(2), February 1979, S.24-32
Robert W. Broderson
- Hoeve, H. „Error correction and concealment in the Compact Disc system“
J. Timmermans
L.B. Vries
Philips technical Review 40(6), 1982, S.166-172
- Hoogendoorn, A. „Digital Compact Cassette“
Proceedings of the IEEE 82(10), October 1994, S.1479-1489
- van Houten, S. „Applied research — the source of innovation in consumer electronics“
Philips technical Review 44(6), Dec. 1988, S.180-189
- Hughes, Thomas P. „Das ‚technologische Momentum‘ in der Geschichte. Zur Entwicklung des Hydrierverfahrens in Deutschland 1898-1933.“
In: Hausen, Karin und Reinhard Rürup
Moderne Technikgeschichte. Kiepenheuer & Witsch 1975, S.359-383
- Hummel, Marlies „Volkswirtschaftlicher Stellenwert: Musikwirtschaft in Deutschland.“
In: Moser, Rolf und Andreas Scheuermann (Hg.) *Handbuch der Musikwirtschaft*. Starnberg: Josef Keller Verlag 1992, S.37-54
- Hurault, Jean-Paul „Problèmes théoriques en photoémission“
Acta Electronica 16(2), 1973, S.173-180
- Immink, K.A Schouhamer „Comments on ‚Channel Codings for Digital Audio Recordings‘“
Journal of the Audio Engineering Society (JAES) 31(12), Dec. 1983, S.939-940
- Immink, K.A Schouhamer „Channel Coding for Optical Disc Systems“
In: Bouwhuis, G., J. Braat, A. Huijser, J. Pasman, G. van Rosmalen and K. Schouhamer Immink. *Principles of Optical Disc Systems*.
Bristol/Boston: Adam Hilger 1985, S.228-256
- Ingebretsen, Robert B. „Random-Access Editing of Digital Audio“
T.G. Stockham, Jr. *Journal of the Audio Engineering Society (JAES)* 32(3), March 1984, S.114-122
- Inoue, T. „A Discrete Four-Channel Disc and Its Reproducing System (CD-4 System)“ *Journal of the Audio Engineering Society (JAES)* 19(7/8), July/Aug. 1971, S.576-583
N. Takahashi
I. Owak
- IEC International
Electrotechnical Commission
Technical Committee 60 „Report of Subcommittee 60A, Working Group 15, Digital Audio Recording“
Journal of the Audio Engineering Society (JAES) 28(4), April 1980, S.265-267
- Iwamura, Hiroshi „Pulse-Code-Modulation Recording System“
Hideaki Hayashi
Atsushi Miyashita
Takeaki Anazawa
Journal of the Audio Engineering Society (JAES) 21(7), Sep. 1973, S.535-541
- Janssen, P.J.M.
P.E. Day „Control mechanisms in the Philips ‚VLP‘ record player“
Philips technical Review 33(7), 1973, S.190-193
- Joyce, W.B. „Statistical characterization of the lifetimes of continuously operated (Al,Ga)As double-heterostructure lasers“
R.W. Dixon
R.L. Hartman
Applied Physics Letters 28(11), Juni 1, 1976, S.684-686

- Jung, Walter G. „Application Considerations for IC Data Converters Useful in Audio Signal Processing.“ *Journal of the Audio Engineering Society (JAES)* 25(12), December 1977, S.1033-1038
- Jungheinrich, Hans-Klaus (Hg.) *Ästhetik der Compact Disc.* Kassel/Basel/London: Bärenreiter 1985, Reihe *Musikalische Zeitfragen* 15
- Jungheinrich, H.-K. „Falscher Hase — zur Strecke gebracht?“ In: Jungheinrich, Hans-Klaus (Hg.) *Ästhetik der Compact Disc.* Kassel/Basel/London: Bärenreiter 1985, S.7-12
- Kaiser, Walter „Technisierung des Lebens seit 1945“ In: Braun, Hans-Joachim und Walter Kaiser „Energiewirtschaft, Automatisierung, Information seit 1914“ Bd.5 der Reihe *Propyläen Technikgeschichte*, hrsg. von Wolfgang König Berlin: Propyläen Verlag 1992
- Kato, T. „Digital Audio Activities in Japan.“ *Journal of the Audio Engineering Society* 29(1/2), Jan/Feb 1981, S.58-60
- Keizer, E.O.
D.S. McCoy „The Evolution of the RCA ‚SelectaVision‘ VideoDisc System— A Historical Perspective“ *RCA Review* 39(1), März 1978, S.14-32
- Kenney, George C.
David Y.K. Lou
Robert McFarlane
Albert Y. Chang
Joseph S. Nadan
Thomas R. Kohler
John G. Wagner
Frits Zernike „An optical disk replaces 25 mag tapes“ *IEEE Spectrum* 16(2), February 1979, S.33-38
- Khoe, G.D.
L.J. Meuleman „Lichtmodulation und -einkopplung bei Faserübertragungssystemen mit Halbleiterlasern“ *Philips technische Rundschau* 36 (7), 1976/77, S.216-219
- Kloosterboer, J.G.
G.J.M. Lippits
H.C. Meinders „Photopolymerizable lacquers for LaserVision video discs“ *Philips technical Review* 40(10), 1982, S.298-309
- Knapp, Klaus H. „Von der Freiheit eines HiFi-Menschen“ *Funkschau* 21, 14.Oktober 1983, S.3
- Knerr, Ingo Wulf „Was ist High End?“ *HIFI exklusiv* 3/89, S.114-117
- Kneubühl, F.K.
M.W. Sigrist *Laser.* Stuttgart: B.G. Teubner, 1991
- Kosaka, Masahiro „Sampling Frequency Considerations.“ *Journal of the Audio Engineering Society (JAES)* 26(4), April 1978, S.234-240
- Kramer, P. „75 years of research: from lamps to integrated circuits“ *Philips technical Review* 44(8/9/10) 239-240, May. 1989
- Kuchling, Horst *Taschenbuch der Physik* Thun/Frankfurt a.M.: Verlag Harri Deutsch 5.-9. Aufl., 1987
- Kurzweil, Raymond *Künstliche Intelligenz* München/Wien: Carl Hanser 1993
- van Laar, J.
J.J. Scheer „Photoemission von Halbleitern“ *Philips technische Rundschau* 29(1/2), 1968, S.34-46 1968

- Locanthi, Bart „Minutes of the Meeting of the Digital Audio Technical Committee: 1982 October 22“ *Journal of the Audio Engineering Society (JAES)* 31(1/2), January/February 1983, S.37-39
- Locanthi, Bart „Minutes of the Meeting of the Digital Audio Technical Committee: 1983 March 13“ *Journal of the Audio Engineering Society (JAES)* 31(7), July/August 1983, S.538-542
- Lucky, R.W.
W.R. Bennett „Digital Communications“ In: Millman, S. (ed.) *A History of Engineering and Science in the Bell System: Communication Sciences (1925-1980)*, AT&T Bell Laboratories, 1984, S.399-430
- Lüftner, Monti „Wirtschaftsfaktor Musikindustrie: Volkswirtschaftlicher Stellenwert: Weltmusikmarkt.“ In: Moser, Rolf und Andreas Scheuermann (Hg.) *Handbuch der Musikwirtschaft.* Starnberg: Josef Keller Verlag 1992, S.17-26
- Lüke, Hans Dieter „Zur Entstehung des Abtasttheorems“ *Nachrichtentechnische Zeitschrift (ntz)* 31(4), 1978, S.271-274
- Lüke, Hans Dieter *Signalübertragung: Grundlagen der digitalen und analogen Nachrichtenübertragungssysteme.* Springer-Verlag, 4.Aufl, 1990
- van Luyt, B.A.G.
L.E. Zegers „The Compact Disc Interactive system“ *Philips technical Review* 44(11/12), Nov. 1989, S.326-333
- Mahlmann, Carl „Tonträgerindustrie: Struktur des Deutschen Tonträgermarktes.“ In: Moser, Rolf und Andreas Scheuermann (Hg.) *Handbuch der Musikwirtschaft.* Starnberg: Josef Keller Verlag 1992, S.79-102
- Maiman, T.H. „Stimulated Optical Radiation in Ruby.“ *Nature* 187, Aug. 6, 1960, S.493f.
- Marrison, Warren A. „The Evolution of the Quartz Crystal Clock“ *The Bell System Technical Journal* 27, 1948, S.510-588
- Matick, Richard E. „Review of Current Proposed Technologies for Mass Storage Systems“ *Proceedings of the IEEE* 60(3), March 1972, S.266-289
- Mattson, R.L. „Role of Optical Memories in Computer Storage“ *Applied Optics* 13(4), April 1974, S.755-760
- Miller, Thomas E. Leserbrief zum Artikel „Examination of Audio-Bandwidth Requirements for Optimum Sound Signal Transmission“ *Journal of the Audio Engineering Society* 30(9), September 1982, S.621
- Moore, Gordon „VLSI: some fundamental challenges“ *IEEE Spectrum* 16(4), April 1979, S.30-37
- Moorer, James A. „The Audio Signal Processor: The Next Step in Digital Audio.“ In: Blesser, Barry, Bart Locanthi and Thomas G. Stockham, Jr. (Eds.) *Digital Audio: Collected Papers from the AES Premiere Conference, Rye, New York, 1982 June 3-6.* Audio Engineering Society 1983, S.205-215
- Morgan, Nelson „Comments on ‚Human Stress Provoked by Digitalized Recordings““ *Journal of the Audio Engineering Society* 28(9), Sep. 1980, S.613
- Morita, Akio *Made in Japan.* New York: Penguin/Signet 1988
- Morris, P.R. *A History of the World Semiconductor Industry* London: Peter Peregrinus 1990
- Moser, Rolf
Andreas Scheuermann (Hg.) *Handbuch der Musikwirtschaft.* Starnberg: Josef Keller Verlag 1992

- Muraoka, Teruo
Yoshihiko Yamada
Masami Yamazaki
„Sampling-Frequency Considerations in Digital Audio“
Journal of the Audio Engineering Society (JAES) 26(4), April 1978, S.252-256
- Muraoka, Teruo
Makoto Iwahara
Yasuhiro Yamada
„Examination of Audio-Bandwidth Requirements for Optimum Sound Signal Transmission“
Journal of the Audio Engineering Society 29(1/2), Jan./Feb 1981, S.2-9
- Nayak, P.Ranganath
J.M. Ketteringham
Breakthroughs! (Kapitel 15)
San Diego: Pfeiffer & Co. 1994
- Neils, J.
„PCM-Kassetendeck mit Compactcassette“
Funkschau 19/1982, S.67-68
- Niggemeier, Horst
„Vergleichstest: sieben CD-Spieler“ *Audio* (dt.), Juli 1983, S.9
- Noyce, Robert N.
„Microelectronics“ *Scientific American*, September 1977
- Nyquist, H.
„Certain Factors Affecting Telegraph Speed“
The Bell System Technical Journal 3(2), April 1924, S.324-346
- Nyquist, H.
„Certain Topics in Telegraph Transmission Theory“
Transactions of the American Institute of Electrical Engineers 47(2), Feb.1928, S.617-644
- Ogawa, Hiroshi
K.A. Schouhamer Immink
„EFM—The Modulation Method for the Compact Disc Digital Audio System“
In: Blesser, Barry, Bart Locanthi and Thomas G. Stockham, Jr. (Eds.)
Digital Audio: Collected Papers from the AES Premiere Conference, Rye, New York, 1982 June 3-6. Audio Engineering Society 1983, S.117-124
- Ottens, Lou F.
„The Compact Cassette for Audio Tape Recorders“
Journal of the Audio Engineering Society 15(1), January 1967, S.26-28
- Pannenberg, A.E.
„Technology push versus market pull — the designer's dilemma“
Electronics & Power (IEE publ.) 21(No.9), May 15, 1975, S.563-566
- Paul, Reinhold
Einführung in die Mikroelektronik. Heidelberg 1985
- Peek, J.B.H.
„Communications Aspects of the Compact Disc Digital Audio System“
IEEE Communications Magazine 23(2), Feb. 1985, S.7-15
- Peek, J.B.H.
„Digital signal processing — growth of a technology“
Philips technical Review 42(4), December 1985, S.103-109
- Penchansky, Alan
„Agreement Reached On Digital Standards“
Billboard, November 14, 1981, S.1, 4, 112
- Pepperl, R.
I. Sander
„High density direct read after write (DRAW) recording“
Optica Acta 24(4), 1977, S.427-431
- Peterson, W. Wesley
„Error-correcting Codes“ *Scientific American*, 206, Feb. 1962, S.96-108
- Piétri, Georges
„Photoélectronique rapide.“ *Acta Electronica* 15(4), 1972, S.261-262
- Piret, Ph.
„Structure and Error Probability of Burst-Correcting Convolutional Codes“ *Philips Research Reports* 27, 1972, S.244-256
- Piret, Ph.
„Convolutional Codes and Irreducible Ideals“
Philips Research Reports 27, 1972, S.257-271
- Plenge, G.
H. Jakubowski
P. Schöne
„Which Bandwidth is Necessary for Optimal Sound Transmission?“
Journal of the Audio Engineering Society (JAES) 28(3), March 1980, S.114-119
- Pohlmann, Ken C.
Principles of Digital Audio. Sams, 2.Aufl. 1989.

- Pohlmann, Ken C.
The Compact Disc Handbook. Oxford University Press 1992
- Preparata, F.P.
„Systematic Construction of Optimal Linear Recurrent Codes for Burst Error Correction.“ *Calcolo* 1964, S.147-153
- Rajchman, Jan A.
„Promise of Optical Memories“
Journal of Applied Physics 41(3), 1 March 1970, S.1376-1383
- Reed, I.S.
G. Solomon
„Polynomial Codes over Certain Finite Fields“
Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics 8(2), June 1960, S.300-304
- Renner, K.
„Stirbt Analog?“
Das Ohr, Zeitschrift für High-Fideles Hören, Heft 21, Dez.1987, S.3-4
- Rice, S.O.
„Communication in the Presence of Noise—Probability of Error for Two Encoding Schemes“
The Bell System Technical Journal 29(1), Jan. 1950, S.60-93
- Rodgers, Puddie
„Bibliography“ *Journal of the Audio Engineering Society (JAES)* 29(1/2), Jan./Feb. 1981, S.66-68
- van Rosmalen, G.
„Control Mechanics“
In: Bouwhuis, G., J. Braat, A. Huijser, J. Pasma, G. van Rosmalen and K. Schouhamer Immink. *Principles of Optical Disc Systems.* Bristol/Boston: Adam Hilger 1985, S.125-188
- Sakamoto, N.
T. Kogure
M. Shimbo
H. Komae
„Signal Processing of the Compact Cassette Digital Recorder“
Journal of the Audio Engineering Society (JAES) 32(9), September 1984, S.647-658
- Sato, N.
„PCM Recorder: A New Type of Audio Magnetic Tape Recorder“
Journal of the Audio Engineering Society 21(7), Sep. 1973, S.542-548
- Schaefer, Martin
„Tonträgerpiraterie“
In: Moser, Rolf und Andreas Scheuermann (Hg.) *Handbuch der Musikwirtschaft.* Starnberg: Josef Keller Verlag 1992, S.516-533.
- Schild
Weihönig
Wienforth
„Die Klang-Elite: Neun aktuelle Compact-Disc-Player im Test“
Stereo 6/1983, S.16ff.
- Schmidt, Christoph
„Tonträgerindustrie: Organisation der Majors“
In: Moser, Rolf und Andreas Scheuermann (Hg.) *Handbuch der Musikwirtschaft.* Starnberg: Josef Keller Verlag 1992, S.103-110
- Schmidt-Tiedemann, K.J.
„Aktuelle Probleme des Managements industrieller Forschung.“
In: Philips. *Unsere Forschung in Deutschland.* Bd.II, Aachen/Hamburg 1972
- Schöler, Franz
„Die Kardinalfrage: Woher kommen Klangunterschiede zwischen CD und LP?“ *HIFI exklusiv* 4/87, S.84-92
- Schöler, Franz
„Nur eine Illusionsmaschine? Was tut die Plattenindustrie für die Qualität ihrer Erzeugnisse?“ *HIFI exklusiv* 1/91, S.96-103
- Schouten, J.F.
F. de Jager
J.A. Greefkes
„Deltamodulation, ein neues Modulationssystem für die Fernmeldetechnik“
Philips technische Rundschau 13 (9), März 1952, S.257-266

- Schreiber, Ulrich „Vom Fortschritt der Afterkunst: Plädoyer für die Wertfreiheit eines technischen Mittlers“
In: Jungheinrich, Hans-Klaus (Hg.) *Ästhetik der Compact Disc*. Kassel/Basel/London: Bärenreiter 1985, S.75-83
- Scott, R.M. „Optical manufacturing“
In: Kingslake (ed.) *Applied optics and optical engineering*. Vol.III, Academic Press, New York 1965, S.43-95.
- Shannon, Claude E. „A Mathematical Theory of Communication“
The Bell System Technical Journal 27(3,4), 1948, S.379-423 u. 623-656
- Tanaka, Kunimaro
Yoshinobu Ishida „Sampling Frequency Consideration“
Journal of the Audio Engineering Society 26(4), April 1978, S.248-250
- Thomas, G.E. „Future trends in optical recording“
Philips technical Review 44(2), April 1988, S.51-57
- Torrero, Edward A. „VLSI and other solid-state devices: New fabrication technologies put us on the threshold of a quantum jump in IC complexity“
IEEE Spectrum 16(1), January 1979, S.43-47
- de Troye, Nico C. „Integrated Injection Logic — Present and Future“
IEEE Journal of Solid-State Circuits SC-9(5), 1974, S.206-211
- de Troye, Nico C. „Digitale integrierte Schaltungen mit geringer Verlustleistung“
Philips technische Rundschau 35 (7/8), 1975/76, S.230-239
- Tufte, O.N.
D. Chen „Optical techniques for data storage“
IEEE Spectrum 10(2), February 1973, S.26-32
- van Vessem, J.C. „From transistor to IC: a long road?“
Philips technical Review 42 (10/11/12), Sept. 1986, S.326-334
- Vries, Lodewijk B. „The Error Control System of Philips Compact Disc“
Vortragsmanuskript, 64th Convention of the Audio Engineering Society, Nov. 2-5, 1979, New York, Preprint 1548 (G-8)
- Vries, Lodewijk B.
Kentaro Odaka „CIRC — The Error-Correcting Code for the Compact Disc Digital Audio System“ In: Blesser, Barry, Bart Locanthi and Thomas G. Stockham, Jr. (Eds.) *Digital Audio: Collected Papers from the AES Premiere Conference, Rye, New York, 1982 June 3-6*. Audio Engineering Society 1983, S.178-186
- de Vrijer, F.W. „Modulation“
Philips technische Rundschau 36 (11/12), 1976/77, S.327-384
- Wehrhan, Walter „Digidesign Pro Tools III: Integriertes Audio-Mehrspur-Produktionssystem.“ *Production Partner* 2/1995 (März/April), S. 54-59
- Welland, Klaus
Horst Redlich „Entwicklungstendenzen in der Phontechnik“
Technische Mitteilungen PTT 2/1980, S.77-81
- Welland, Klaus
Horst Redlich „The MD (Minidisk) System: A Contribution to the Digital Audio Disk Standard“
Journal of the Audio Engineering Society 28(7/8), July/August 1980, S.510-514
- Wendemuth, Reinhard „Wegweiser: Digital/Analogwandler Wadia Digital 200“
HIFI exklusiv 2/89, S.28-33
- Wendemuth, Reinhard „Tie-Break: Digital-Analogwandler Theta DSPPro Generation II“
HIFI exklusiv 1/91, S.20-25

- Willcocks, Martin „A Review of Digital Audio Techniques“
Journal of the Audio Engineering Society 26(1/2), Jan/Feb 1978, S.56-64
- Wise, George „Science and Technology“
OSIRIS, 2nd series, 1985, 1, S.229-246
- Woodward, J.G. „Quadrophony — A Review“ *Journal of the Audio Engineering Society (JAES)* 25(10/11), Oct./Nov. 1977, S.843-854
- Woram, John M. „The Digital Format Dilemma.“ *db*, February 1980, S.46-48
- Wyner, A.D. „The Capacity of the Band-Limited Gaussian Channel“
The Bell System Technical Journal 45 (3), March 1966, S.359-395
- Yoshida, Tadao „The Rewritable MiniDisc System“
Proceedings of the IEEE 82(10), October 1994, S.1492-1500
- Youngquist, Robert J. „Sampling Frequency Considerations“
Journal of the Audio Engineering Society 26(1/2), Jan./Feb. 1978, S.54
- Zielinski, Siegfried *Zur Geschichte des Videorecorders*
Berlin: Wissenschaftsverlag Volker Spiess 1986
- Zombik, Peter „Tonträger im Markt der Zukunft“
Media Perspektiven 10/1995, S.496-511
- anonym „75 years of Philips Research“ (Geleitwort der Herausgeber)
Philips technical Review 44(8/9/10), May 1989
- „A Guide to Digital Tape Recorder Specification (and a PCM Picture Book as well).“ *db*, January 1981, S.46-49
- „About People...“
Journal of the Audio Engineering Society 31(10), Oct. 1983, S.791-793
- „Alle aktuellen CD-Player auf einen Blick“
Stereo, März 1983, S.84,85
- „Äußerst kompakter optischer Abtaster für ‚VLP‘ Spieler“
Philips technische Rundschau 37(4), 1977/78, S.98
- „CD-Spieler: Japaner führen den deutschen Markt an“
Funkschau 26/ 23.Dez.1983, S.20
- „Compact Disc Digital Audio“ Themenheft mit Artikeln und Abbildungen anlässlich der Ankündigung des CD-Systems
Philips technical Review 40(6), September 10, 1982, S.149-180
- „Detroit tries digital test“ in der Rubrik: „News of the Sections“
Journal of the Audio Engineering Society 29(5), May 1981, S.374-376
- „Digidesign ADAT-Interface: Digitale Systemverbindung“
Keyboards, Dezember 1994, S.132-155
- „Digital Audio Disk Standardization Conference: Status of the Digital Audio Disk (DAD) Study Meeting Activity“
Journal of the Audio Engineering Society (JAES) 28(7/8), July/August 1980, S.525-527
- „Digital Audio Technical Committee Report. Appendix 2“
Journal of the Audio Engineering Society 29(9), Sep. 1981, S.620-624

- „Digital Disc Released“
Journal of the Audio Engineering Society 26(10), October 1978, S.798
- „Forty-Sixth Convention Program, Week of September 10-13, 1973. Session H-1, H-9.“
Journal of the Audio Engineering Society 21(9), Nov. 1973, S.755,756
- „LSI“ Einleitung zum Themenheft
Philips technische Rundschau 37(11/12), 1977/78, S.289
- „Midwest Acoustics Conference 1975: A Long Look at Digital Processing.“
Journal of the Audio Engineering Society 23(6), July/August 1975, S.500-509
- „Minutes of the Meeting of the Digital Audio Standards Committee“
Journal of the Audio Engineering Society 26(1/2), Jan/Feb 1978, S.52-54
- „Minutes of the Meeting of the Digital Audio Technical Committee“
Datum: 1979 November 4, *Journal of the Audio Engineering Society* 28(4), April 1980, S.259
- „Minutes of the Meeting of the Digital Audio Technical Committee“
Datum: 1980 May 4, *Journal of the Audio Engineering Society (JAES)* 28(9), September 1980, S.615-616
- „Minutes of the Meeting of the Digital Audio Technical Committee“
Datum: 1980 Oct. 30, *Journal of the Audio Engineering Society (JAES)* 29(1/2), Jan./Feb. 1981, S.56-58
- „Minutes of the Meeting of the Digital Audio Technical Committee“
Datum: 1981 May 10, *Journal of the Audio Engineering Society (JAES)* 29(9), Sept. 1981, S.620-624
- „Minutes of the Meeting of the Digital Audio Technical Committee“
Datum: 1981 November 2, *Journal of the Audio Engineering Society* 30 (1/2), Jan./Feb. 1982, S.40-46
- „National Panasonic über VHS-Video-Movie: Lösung auf Zeit?“
Funkschau 25/9.Dez.1983, S.14
- „PCM-Audioadapter Sharp RX-1 mit Videorecorder Sharp VC-6300“
HiFi 9/80, S.1144-1148
- „Rauschen in Digital-Qualität“
Stereo, März 1983, S. 74
- „Report of the AES Digital Audio Meeting (Feb 1+2, 1978)“
Journal of the Audio Engineering Society 26(1/2), Jan./Feb. 1978, S.232
- „So entwickelten sich die Preise“
Audio März 1984, S.26
- „Sony Deutschland klärt auf, warum die MD, nicht jedoch die CD wiederbespielbar ist“
Der Musikmarkt, 36 (15), 1.August 1994, S.42
- „Digital Audio Disk Standardization Conference: Status of the Digital Audio Disk (DAD) Study Meeting Activity“, *Journal of the Audio Engineering Society (JAES)* 28(7/8), July/Aug. 1980, S.525-527
- „The Making of the PowerPC“, Themenheft,
Communications of the ACM 37(6), June 1994

- „The software of the Compact Disc system. Interview with Dr. Hermann Franz of PolyGram“ *Philips News* 12(5), 4/1983
- „Zur Diskussion über die Preise von CD: Eine Kostenrechnung gibt Aufschluß“
Der Musikmarkt 36(16), 15. August 1994, S.22

... sowie weitere anonyme Berichte und Anzeigen in den (deutschen) Zeitschriften *Audio*, *Stereo* und *Funkschau*

UNVERÖFFENTLICHTE LITERATUR, QUELLEN*:

- | | |
|-----------------------------------|--|
| Alesis Corporation | Produktinformationen ADAT, 1992 |
| Alesis Corporation | Product Line 1995 |
| Ampex | „Argument Against 50,4 kHz as the Standard Sampling Frequency“
Manuskript, July 10, 1978 |
| Apple Computer | „Vorsprung durch Medienintegration: Multimedia mit dem Apple Macintosh“ Broschüre o.J., um 1991 |
| Bellis, F.A.
G.W. McNally | Brief an J.G. McKnight (Magn. Ref. Lab.), 18. April 1978 |
| Blüthgen, Björn | Invitation to Listening Test, April 1978 |
| Blüthgen, Björn | „Travel Report (New York / October 29 - November 15, 1980).“ |
| Blüthgen, Björn | „Professional Recorder Sampling Rate.“
Manuskript, vorgelegt zum: IEC SC 60A Working Group 16 meeting, March 1981 |
| Blüthgen, Björn | Telex an T.T. Doi, March 2, 1981 |
| Blüthgen, Björn | Telex an T.T. Doi, March 9, 1981 |
| Blüthgen, Björn | Brief an Burkowitz/Dr. Franz/Immelmann/Tendeloo, March 23, 1981 |
| Blüthgen, Björn | Telex an T.T. Doi, April 15, 1981. |
| Blüthgen, Björn | Telex an Mr. Burkowitz, May 22, 1981 |
| Blüthgen, Björn
F.A. Griffiths | „PolyGram Observations to EBU“, Manuskript, June 1981 |
| Blüthgen, Björn | Interview 3. September 1993 |
| Bögels, P.W. | Brief an J.F. Brouwer, April 14, 1981 |
| Bögels, P.W. | Brief an Dr. H. Franz (PolyGram), April 23, 1981 |

* Erläuterung zur Zitierweise von protokollierten (mitgeschnittenen) Interviews:

Beispiel: „Ottens, L.F. Interview 12. Okt. 1993, **2B 387**“

weist darauf hin, daß die Zitatstelle auf Tonband Nr.2, Seite B, Zählwerkstand 387 zu finden ist.

- Bugos, Glenn
Thomas P. Hughes „Systems Engineering and Program Management: Post-Scientific Management“
Draft prepared for the Rathenau „Human Built World“ Summer Academy, Berlin, Germany 18-30 July 1993
- Burkowitz, Peter K. Brief an Dr. Franz (PolyGram), June 16, 1981
- Burkowitz, Peter K. Telex an Dr. Doi (Sony), June 16, 1981
- Burkowitz, Peter K. Handschriftliche Bemerkung, June 25, auf van Tilburgs Telex an Dr.H. Franz (PolyGram), June 22, 1981
- Burkowitz, Peter K. „Professional Digital Audio Sampling Rate“, July 31, 1981
- Burkowitz, Peter K. Telex an Dr. T. Doi (Sony), Oct. 14, 1981
- Burkowitz, Peter K. Telex an H. Tendeloo (PolyGram), Oct. 14, 1981
- Burkowitz, Peter K. Telex an H. Tendeloo (PolyGram), Oct. 15, 1981
- Burkowitz, Peter K. Telegramm an Dr. T. Doi (Sony), Oct. 16, 1981
- Burkowitz, Peter K. Telex an H. Tendeloo (PolyGram), Oct. 20, 1981
- Busby, E.S. Brief an Peter K. Burkowitz (PolyGram), Feb. 9, 1979
- Dierckx, François J. *CD Development*, Kurzberichte von Dierckx, Ottens und Sinjou, o.J.
- Dierckx, François J. „Compact Disc“ The Ouchy Speech, May 1978
- Dierckx, François J. „Compact Disc: A Unique Achievement.“ Maplezingen CD, 1985
- digidesign *Produktführer*, 1993
- Doi, Toshi T. „On Several Standards of Forms for Converting PCM Signals into Video Signals“
Vortragsmanuskript: IECE Japan, TG MR 77-24, on Nov. 28, 1977
- Doi, Toshi T. „On the Selection of the Higher Sampling Frequency“
Manuskript, April 29, 1978
- Doi, Toshi T. „Recommendation of 50.4 kHz as the Sampling Frequency of Digital Audio Systems“, Manuskript, May 25, 1978
- Doi, Toshi T. Telex an B. Blüthgen (PolyGram), March 9, 1981
- Doi, Toshi T. „On Sampling Rate Considerations“
Vortragsmanuskript, AES Digital Audio Technical Committee Meeting, March 16, 1981
- Doi, Toshi T. Telex an B. Blüthgen (PolyGram), April 14, 1981
- Doi, Toshi T. Telex an B. Blüthgen (PolyGram), April 16, 1981
- Doi, Toshi T. „On Digital Audio Sampling Rate“ Vortragsmanuskript (EBU, Montreux), June 5, 1981
- Doi, Toshi T. Telex an B. Blüthgen (PolyGram), June 12, 1981
- Doi, Toshi T. Telex an P.K. Burkowitz (PolyGram), June 17, 1981
- Doi, Toshi T. Telex an P.K. Burkowitz (PolyGram), Dec. 15, 1981
- European Broadcasting Union (EBU) „Multiplexing Methods for the Emission of Digital Sound Signals in Broadcasting“, Manuskript, Feb. 1981
- Feuersenger, C. (Sony Europe, Abt.: Publ. Communication, CCE), Pers. Comm., Fax vom 20. Juni 1994
- Franz, Hermann Brief an C.J. van der Klugt (Philips), Feb. 3, 1981

- Franz, Hermann Interview 7. Juli 1994
- Franz, Hermann „Hannover Tales: The Compact Disc Story.“
timetable, 1983-06-02
- Fricks, James R. „Compact Disc Terminology“ Broschüre, Disc Manufacturing, Inc, 1992
- Friedewald, Michael
Jürgen Lang „Why New Technologies are Old.“
Zusammenfassung der Ergebnisse des Seminars
Gutenberg und Cyberspace. Neue Medien: Spielzeug oder Werkzeug?
im SS 1994 an der RWTH Aachen. Zugänglich via World Wide Web:
<http://www.histech.rwth-aachen.de/www/paper/Multimedium.html>
- Fujimoto, Masahiro „Some considerations of sampling frequency for Digital Audio.“
Manuskript, April 29, 1978
- Fujimoto, Masahiro Brief an B. Blüthgen (PolyGram), June 26, 1981
- Gall, A.A.M. „Waarom een Sampling Frequentie van 44.1 kHz in het Compact Disc Digital Audio Systeem?“, Manuskript, Dec. 8, 1980
- Gelijns Telex an T. Nagaoka (Matsushita), April 1, 1982
- Gelijns Telex an T. Nagaoka (Matsushita), April 23, 1982
- Griffiths, F.A. Visit Report EBU Digital Audio Committee Meeting in Montreux, June 5, 1981
- Harada, M. „The Target Specifications of the DAD System. Requirements form WG-1“, publiziert und besser lesbar („recycling“ statt „reproduction“) in: „Digital Audio Disk Standardization Conference: Status of the Digital Audio Disk (DAD) Study Meeting Activity“, *Journal of the Audio Engineering Society (JAES)* 28(7/8), July/Aug. 1980, S.525-527
- JVC „Sampling-frequency consideration in the Digital Audio Standard“
Manuskript, Feb. 1978
- Kosaka, Masahiro „Sampling Frequency Considerations.“ Manuskript, vorgelegt zum: AES Digital-Audio Standard Committee Meeting, Feb. 1-2, 1978 (auch veröffentlicht)
- Mons, J.J. Interview 25. November 1993
- Mons, J.J. Pers. Comm, schriftliche Bemerkungen vom 4. Juli 1995
- Nagaoka, T. Telex an J. Timmer (PolyGram), April 9, 1982
- Nagaoka, T. Telex an J. Timmer (PolyGram), May 8, 1982
- Ohkawa, Motokazu Brief an John G. McKnight (Magnetic Reference Lab.), April 14, 1978
- Ottens, Lou F. *CD Development*, Kurzberichte von Dierckx, Ottens und Sinjou, o.J.
- Ottens, Lou F. Interview 12. Okt. 1993
- Ottens, Lou F. Pers. Comm., Fax vom 22. April 1996
- Peek, J.B.H. Progress Report, Natuurkundig Laboratorium, Group: Distribution systems and fundamental aspects, Dr.Ir. J.B.H. Peek, Period: April - June 1976
- Peek, J.B.H. — " — Period: July - September 1976
- Peek, J.B.H. — " — Period: October - December 1976
- Peek, J.B.H. — " — Period: October - December 1977

- Peek, J.B.H. Progress Report, Natuurkundig Laboratorium, Group: Signal Processing, Dr.Ir. J.B.H. Peek, Period: January - March 1978
- Peek, J.B.H. Progress Report, Natuurkundig Laboratorium, Group: Digital signal processing techniques for electronic systems, Dr.Ir. J.B.H. Peek, Period: April - June 1978
- Peek, J.B.H. — " — Period: July - September 1978
- Peek, J.B.H. — " — Period: October - December 1978
- Peek, J.B.H. — " — Period: April - June 1979
- Peek, J.B.H. — " — Period: July - September 1979
- Peek, J.B.H. — " — Period: October - December 1979
- Peek, J.B.H. — " — Period: January - June 1980
- Peek, J.B.H. Interview 16. Juli 1993
- Peek, J.B.H. Interview 17. April 1996
- Philips *Jaarverslag 1972 bis Jaarverslag 1977 (Jahresberichte)*
- Philips Produkt-Katalog 1983/84
- Philips „A dream coming through“, Presseinformationen o.J.
- Sinjou, Joop P. „List of Proposal for DAD Signal Format“, Übersicht, o.J.
- Sinjou, Joop P. *CD Development*, Kurzberichte von Dierckx, Ottens und Sinjou, o.J.
- Sinjou, Joop P. „Compact Disc“ Eine schriftliche Zusammenstellung für Piet Kramer
- Sinjou, Joop P. „Terugblik op Compact Disc“
Zeittafel der CD-Entwicklung, erstellt anlässlich der Verleihung des Eduard-Rhein-Preises am 9. Okt. 1981.
- Sinjou, Joop P. „Compact Disc 1982-1992“ Vortragsmanuskript, May 1991
- Sinjou, Joop P. Interview 28. Okt. 1993
- Sinjou, Joop P. Pers. Comm. 24. Aug. 1994
- Sinjou, Joop P. Pers. Comm., Brief vom 24. Juli 1995
- Soundstream, Inc. „Recording, Editing, and Mastering Systems: Features and Specifications“
Informationsblätter, ohne Datierung, ca. Frühjahr 1980
- Studer, W.
Lagadec, R. Brief an P.K. Burkowitz (PolyGram), September 16, 1981
- Sugimura, T. „Programme Visit Audio Management. Accompanied by VLP/ALP Delegations. 14th - 23rd March 1979“ datiert: 1979-03-14,
Manuskript des geplanten Reiseablaufs
- Tanaka, Kunimaro
Yoshinobu Ishida „Sampling Frequency Considerations.“
Manuskript, Jan. 28, 1978 (auch veröffentlicht, s.o.)
- Telefunken Fernseh- und Rundfunk GmbH
Abt. Presse und Information „Digitale Tonaufzeichnung: Die Vorteile des MD-Systems von TELEFUNKEN/TELDEC“ o.J.
- Tendeloo, Han Brief an Dr. Franz/Burkowitz/Blüthgen/Immelmann, March 26, 1981

- Tendeloo, Han „Conclusions meeting in Hannover, 1981-04-09, on audio sampling rate“, Manuskript, April 10, 1981
- Tendeloo, Han Brief an J.B.S.M. Kerstens (Philips), April 13, 1981
- Tendeloo, Han Brief an Dr.H. Franz (PolyGram), June 17, 1981
- Tendeloo, Han Brief an Dr. H. Franz und P.K. Burkowitz (Polygram), June 17, 1981
- Tendeloo, Han Brief an P.K. Burkowitz (PolyGram), Oct. 15, 1981
- Tendeloo, Han Telex an P.K. Burkowitz (PolyGram), Oct. 22, 1981
- Tendeloo, Han „Professional digital audio sampling rate standardisation of 48 and 44,1 kHz“, Mitteilung an beteiligte PolyGram-Mitarbeiter, Nov. 12, 1981
- Tendeloo, Han „Sampling rate CD and digital recording“ Manuskript, May 7, 1982
- van Tilburg, J.J.G.Ch. Telex an Dr.H. Franz (PolyGram), June 22, 1981
- van Tilburg, J.J.G.Ch. Interview 2. Dez. 1993
- Timmer, J.D. „Windows of Opportunity for the Music Industry“
Rede vor der International Federation of the Phonographic Industry IFPI Conference, Cannes, January 23, 1991
- Torick, Emil L. „Draft AES Recommended Practice: Preferred Sampling Frequencies for Professional Digital Audio Applications.“
drei Manuskripte: June 4, 1982, Jan. 1983, March 1983
- Wenzek, Hagen „Der Weg zum Mikroprozessor“
Studienarbeit am Lehrstuhl für Geschichte der Technik an der RWTH Aachen, September 1994
- Wenzek, Hagen „Die Karriere des Mikroprozessors: Divergenz und Konvergenz wesentlicher Entwicklungslinien“, Diplomarbeit am Lehrstuhl für Geschichte der Technik der RWTH Aachen, Mai 1995
- Willcocks, Martin „Some Notes on Digital Audio Topics“ Manuskript o.J., ca. Anfang 1978 (nicht identisch mit folgendem Manuskript:)
- Willcocks, Martin „Some Notes on Digital Audio Topics“ Manuskript, April 1978
- anonym „Apparaten voor demo reis“ Aufstellung vom 28.2.1979
- anonym „project planning. Compact Disc. 80-01-28. TEO-AUDIO“, Zeitplan

Alle Abbildungen und Fotos ohne Quellenangabe wurden vom Autor angefertigt oder bearbeitet.

- 3M Mincom 177, 186, 203, 218, 227
 500-Tage-Programm 72
 AAD/ADD/DDD 232
 Abtastrate 171-221
 32 kHz 176, 187, 194, 200, 218, 221
 44,05594 177, **184**, 188, 193, 195, 200
 44,1 kHz 174, **185**, **202**, 207-221
 48 kHz 180, **204**, 207-221
 50 kHz 186
 50,4 kHz **187**, 202
 Synchronisierbarkeit 179, 185, 204-206
 Tripellösung 216
 Abtasttheorem 172, 173, 257
 ADAT-System 237
 AEG-Telefunken 41, 47, 56, 111, 206
 AES 178, 189, 201-218, 257
 AHD 41, 47, 56, 71, 206, 207
 Aldi 89
 Alem, Toon van 17-19
 Alesis 237
 Aliasing 174
 ALP 17-35, 67, 95
 AMOR 193
 Ampex 179, 186-189, 203, 208, 218
 Amsterdam, Concertgebouw 69
 Apple Macintosh 238, 240, 245
 asphärische Linsen 31, 93, **123**, 129
 „Audio Chain“ 229
 Audio Engineering Society *siehe* AES
 Audio Long Play *siehe* ALP
 Audiophile 234
 Bastiaens, Gaston 91
 BBC 176, 205
 BCH-Code 150
 Beethoven, neunte Symphonie 53, 209
 Berlekamp, Elwyn R. 152
 Berliner Philharmoniker 53, 65
 Betamax 42, 46
 Billboard 74
 „bit“ 183n
 Blesser, Barry A. 228
 Block-Code 148
 Blüthgen, Björn **193**, 197-215
 Boegels, P.W. 44n
 Boonstra, Loek 17, 18, 19, 44n
 Bouwhuis, Gijs 97
 Burkowitz, Peter K. 190, 207, 211-218
 Carasso, Marino 152
 Caruso, Enrico 239
 Casimir, H.B.G. 107
 CBAC 156
 CCRMA 239
 CD-I 248, **250**
 CD-Kritik 258
 CD-Lab 32, 42, 62
 CD-Präsentationen 36-45, 68
 CD-Projektplan 58
 CD-ROM 82, 246-252

- CD-Spieler
 Auto- 63
 Marktanteile 90n
 OEM-Geräte 87
 Philips-Geräte 62, 77, 84-92
 Preisentwicklung 88
 Senkrechtspieler 86
 Sony-Geräte 85, 88
- CD-Tonträger 35
 Achsloch 35, 126
 Durchmesser 16, 20-22, 52-55, 209
 Herstellung 72
 Herstellungsfehler 24, 145, 153
 phonogr. Industrie 66-81
 Piraterie/Raubkopien 253
 Spielzeit 15, 20, 34, 48, 52, 209
 verfügbare Titel 76
 Verkaufszahlen 78-80
- CIRC-Verfahren 50, 156
- COLATH 125
- Compaan, Klaas 93, 110, 127
- Compact Cassette 14, 22, 32-38, 91n, 198
- Compagnie Intern. pour l'Informatique 161
- Convolutional Code 49, 151-156
- Cross-Interleaving 155
- DAD Conference 42-59, 71
- DASH-Recorder 155
- DAT-Recorder 219, 221, 233, 237
- DCC 12n, 38n, 233
- DDD/ADD/AAD 232
- Dekker, Wisse 75n
- Deltamodulation 26, 142
- Denon 176, 226
- Deutsche Grammophon 65
- Diamond, John 257
- Diepeveen, Theo 37
- Dierckx, F.J.A.M.C. 44n, 63, 83
- Digidesign 238
- Digital Audio...
 ... Standards Committee 178, 189
 ... Technical Committee 189, 201-206
- Digitalisierung 20, 25, 139-144, 172, 181, 224
 Kritik 257
- Discowelle 78, 80
- Doi, Toshi Tada 48, 155, 180-186, 201-221
- DRAW-System 116, 121, 193
- EBU 194, 199, 211, 218
- EFM 157-160
- elektromagnetische Störungen 261
- Fehlerkorrektur 48, 60, 86, 117, 144-157, 247
- Forschungsbudgets 102
- Forschungsinhalte, Philips 107, 121, 160
- Forschungslaboratorien 107
siehe auch Nat.Lab.
- Forschungspolitik, Philips 101-105, 160-167
- Franz, Hermann 70, 72
- Funktionelle Musik 15n
- Furtwängler, Wilhelm 54n
- Gesetz der Konsumelektronik
 erstes 29, 92
 zweites 39, 233
- Glühlampen 98, 108, 160
- Glasfaser 122
- Griffiths, F.A. 212, 215
- Halbleiterlaser 28, 30, 51, 119, 128
- Halbwatt-Lampen 98
- Hamming, Richard W. 148
- Heaslett, Alastair 179, 185, 203
- Heimstudio 238
- Henne/Ei-Dilemma 64, 83
- High Sierra Group 248
- Hix, Wolfgang 69
- Holographie 115
- Holst, Gilles 98-101
- Hörumfang, menschlicher 172, 190-199
- Hospitantenprinzip 104, 128, 164, 167
- Hughes Thomas P. 59n, 223
- IBM 113, 149, 240
- ICs 30, 58, 82, 108, 130-139
- ICIC 156
- IEC 203
- Immink, Kees A. Schouhamer 157

- Innovation-Chain-Modell 103, 104, 167
- Institut für Rundfunktechnik, München 194
- Integrierte Schaltkreise *siehe* ICs
- Interleaving 151, 152, 154
 Cross- 155
- Japanreise 41
- Jewel Box 54
- JVC 37, 41-47, 56, 71, 191, 195, 206, 215
- Kamerlingh Onnes, Heike 100
- Karajan, Herbert von 53, 65
- Karaoke 11n
- Klugt, Cor J. van der 74n
- Kotel'nikov, V.A. 173
- Kramer, Piet 93, 110, 127
- Lagadec, Roger 216
- Langmuir, Irving 98
- Laser 117-121
vgl. auch Halbleiterlaser
- LaserVision 17
- Lizenzen 63-75, 83-94, 207, 214, 218, 223
- LOCOS-Verfahren 135
- Löwenbändiger-Modell 168
- Lucasfilm 239
- magneto-optische Speicher 113
- Maiman, Theodore H. 118
- Majors 67, 74
- Marantz 77, 85, 87
- Masterclock 204, 207
- Matsushita Electric Industrial Co *siehe* MEI
- Matsushita, Konosuke 37 f.
- McKnight, John G. 178
- MEI 37-44, 56, 71, 74, 207, 214-221, 227
- MIDI 238
- Mignon 22
- MiniDisc (Sony) 12n, 38n
- Mini-Disk (AEG) 41, 47, 56, 206, 233
- MITI 42
- Modulation 18, 25, 26, 139-144
- Mons, J.J. 22, 41, 43, 62
- Moore's law 131, 132n
- Morita, Akio 45, 46, 53, 65, 74n
- Multimedia-Dreieck 242
- Multimedia-Syndrom 244
- Namensgebung ALP/CD 18, 23, 32
- Nat.Lab. 14, 17-26, 31, 95-107n-169
- Nihon Keizai Shimbun 214
- Noise-Shaping 61n
- NTSC 179, 183, 208
 -Bildwechselfrequenz 184
- Nyquist, Harry 173
- OEM 77, 86
- Ohga, Norio 45, 48, 52, 53, 65, 74n
- Optik 109-129
- optische Dichtspeicher 112-117
- Ottens, Lou F. 9, 14-43, 63, 68, 89-95, 165
- Ouchy 40
- Oversampling 60, 85
- PAL 179, 183, 201, 208
- Pannenberg, A.E. 103, 104, 167
- PCM 27, 28, 144
- PCM-Adapter 180, 183, 219, 237
- Peek, J.B.H. 20, 25, 151
- Philips, Frederik 98
- Philips, Gerard 98
- PHILIPS Gloeilampen N.V. 9-97-163, 200-221
- Photo-CD 250
- Photo-Digital Cypress 114
- Pick-up, optischer 123
- „Pinkeltje“ 33, 36-40, 44, 68, 84, 130
- Pioneer 42, 44
- Piret, Ph. 153
- „Pit“ 109, 112
- PolyGram 35, 40, 53, 65-68, 190-221
- Polykarbonat 35
- Polymethacrylat 35
- PowerPC 240
- Prag, Kompromißfindung in 203
- Preparata, Franco P. 153
- „Profifrequenz“ 186, 195, 202, 205, 215
- Programme Committee 29, 31
- Projektplan CD-Entwicklung 58
- Psychoakustik *siehe* Hörumfang
- Pulsmodulation *siehe* PCM
- Quadrophonie 19, 20, 28

- Quantisierung 50, 60, 144, 176, 181
Raabe, H. 173
Raubkopie 233, 253
RCA 111
Reed-Solomon-Code 156
Rodenburg, Nico 37, 41
Rodenstock 31
Rodgers, Puddie 197
Rotes Buch 54, 64
Salzburger Osterfestspiele 65
Samplingfrequenz *siehe* Abtastrate
Schouhamer *siehe* Immink
Schrägspuraufzeichnung 182
SECAM 179, 183, 201, 208
SelectaVision 111
Servomechanik 51, 64, 125, 159
Shannon, Claude E. 116, 146, 172, 183n
Siemens 41, 67, 70, 99, 132
Sinjou, Joop P. 33-43, 58, 65
SMPTE 218
SONY Corp. 42-46-94, 154-157, 171-229
SoPhi-Lösung 62
Soundstream 177, 186, 196, 218, 227, 239
Spielzeit einer ALP/CD 15, 20, 34, 48, 52
Stretch-Projekt 149
Stockham, Thomas G. 196, 227, 239
Studer, Willi 216, 218, 221
Tanaka, Kunimaro 186
TEAC 177
Technological Momentum 223
TED-Bildplatte 47, 111
Tendeloo, Han 208, 213, 217, 218
Tilburg, J.J.G.Ch. 21-53, 95, 214
Timmer, Jan D. 69, 70, 72
Timmermans, Jos 62
Tokyo Audio Fair 73
Tonträgerpiraterie 253
Tracking 23-25
Tripellösung 216
U-matic 46, 177, 184
Unicon-System 114
Umsetzer D/A 50, 60, 85-87, 139, 225, 236
Valvo 87
Veerdonk, Jan van der 20
VHD 37, 47
VHS 42
Video Long Play *siehe* VLP
Videorecorder 42, 46, 177-188, 206, 230
 Schrägspuraufzeichnung 182
VLP 12-35, 51, 64, 93, 105-127, 166
 Frequenzspektrum 18
 Modulation 141
Vos, Cor 20
Vries, Lorend 25, 37, 151-154
West Palm Beach, Florida 67
Willcocks, Martin 176, 177, 205
Youngquist, Robert J. 186, 203
Zeiss, W. 44n
Zoll-Deklaration Japan 44