

Fast mehr als Innovationen im Bereich der Hardware entscheidet heute die Durchsetzung industrieller Normen und Standards über den wirtschaftlichen Ertrag einer neuen Technik. Jüngstes Beispiel ist der durchschlagende Erfolg des GSM-Mobilfunkstandards. Betrachtet man die Entwicklung der Informations- und Kommunikationstechniken einmal unter dem Gesichtspunkt der industriellen Standards, so wird man feststellen, dass hier vielfach sehr komplizierte historische Pfade durchlaufen wurden. Oder auch: dass die moderne Technik fast unmerklich in beachtlichem Umfang vergangene Technik aufgesogen hat. Kompatibilität mit dem existierenden ISDN-Standard des Festnetzes war nämlich ein wichtiges Argument bei der Etablierung des Mobilfunkstandards GSM.

Deutlich größere historische Tiefe besitzt hingegen das digitale Audiosystem der Compact Disc: Aufgrund der optimalen Auslegung großer elektrischer Maschinen und der Wahl geeigneter Übertragungssysteme schälten sich zunächst am Ende des 19. Jahrhunderts die Netzfrequenzen unserer Stromversorgungssysteme heraus. Diese Netzfrequenzen wurden um 1940 in die Bildwechselfrequenzen der Fernsehnormen getragen. Die Normen des Farbfernsehens beeinflussten wiederum entscheidend die merkwürdige „krumme“ Größe der Abtastrate des digitalen Audiosystems der Compact Disc.

Die Geschichte beginnt also am Ende des 19. Jahrhunderts. Zu dieser Zeit war in der Elektrotechnik eine heftige Auseinandersetzung darüber entbrannt, welche Stromart am besten für die Fernübertragung elektrischer Energie geeignet ist, nämlich Gleichstrom, Einphasenwechselstrom oder Drei-beziehungsweise Mehrphasenwechselstrom. Der um 1890 einsetzende Prozess der Einigung wurde ganz wesentlich dadurch gefördert, dass man sich – so Thomas P. Hughes – auf Elemente eines technischen Standards für Hochspannungsnetze verständigen konnte.

In den USA setzte sich die Westinghouse Electric Corporation damit durch, dass aus der enormen Vielzahl von Wechsel-

strom-Frequenzen, nämlich $133 \frac{1}{3}$, 125, $83 \frac{1}{3}$, $66 \frac{2}{3}$, 60, 50, 40, 30 und 25 Hertz, die bis heute in den USA geläufigen 60 Hertz gewählt wurden. In einem Zielkonflikt von möglichen periodischen Helligkeitsschwankungen von Glühlampen und Einfachheit langsam laufender und direkt an die Dampfmaschine gekuppelter Generatoren (mit geringer Polzahl) sowie mit Blick auf eine Verschmelzung mit bestehenden Gleichstrom- und Einphasenwechselstromsystemen (mit 60 Hertz) erwies sich diese Frequenz als der ideale Kompromiss bei der Einführung der neuen Mehrphasenwechselstromsysteme.

In Deutschland verlief der Einigungsprozess in Richtung auf eine Netzfrequenz von 50 Hertz sogar noch zügiger: Die Allgemeine Elektrizitätsgesellschaft (AEG), die Emil Rathenau innerhalb von zwanzig Jahren zum führenden deutschen Elektrounternehmen im Anlagenbau gemacht hatte, favorisierte klar die Verwendung langsam laufender, direkt gekuppelter Schwungradgeneratoren, die eine hohe Frequenz wie $133 \frac{1}{3}$ Hertz im Grunde ausschlossen. Da andererseits Umformer, für die zum Beispiel die Frequenz von 25 Hertz ideal gewesen wäre, wenig verbreitet waren, wurde eine Netzfrequenz von 50 Hertz gewählt.

Neben der prägenden Funktion der führenden Unternehmen gab es allerdings eine große Zahl „objektiver“ elektrotechnischer Argumente. Der Zielkonflikt umfasste zum Beispiel Bemessungsleistung sowie Hysterese- und Wirbelstromverluste elektrischer Maschinen, Spannungsabfall aufgrund des induktiven Wechselstromwiderstandes bei Maschinen und Leitungen wie auch mögliche Störungen von Fernmeldeleitungen. Jedenfalls stellten sich Netzfrequenzen um 50 oder 60 Hertz als optimale Werte heraus.

Wie erwähnt: Vierzig Jahre später wurden die Netzfrequenzen der Stromversorgungssysteme in die Normen des Fernsehens getragen. Der Grund ist eine wesentliche Innovation des elektronischen Fernsehens, nämlich das 1930 patentierte Zeilensprungverfahren. Aufgrund der beschränkten Bandbreiten konnte ein verbessertes Fernsehbild

mit reduziertem Flimmern nur so erzielt werden, dass man nacheinander zwei Halbbilder mit höherer Frequenz (als der aus der Kinetotechnik geläufigen 25 Hertz) schrieb, und zwar im ersten Halbbild die „ungeraden“ Zeilen und im zweiten Halbbild die geradzahigen Zeilen. Wird nun jedes Halbbild zum Beispiel mit einer Wechselfrequenz von 50 Hertz geschrieben, bedeutet dies etwa für zwei eng beieinander liegende, aber unterschiedlichen Zeilen beziehungsweise Halbbildern zugehörige Bildpunkte, dass sie entsprechend dem 50 Hertz-Rhythmus kurz hintereinander aufleuchten. Das Auge ist jedoch nicht in der Lage, die beiden benachbarten Bildpunkte geometrisch zu trennen. Obwohl das Gesamtbild faktisch nur 25 mal in der Sekunde wechselt, scheint aufgrund der geometrischen Integrationswirkung der (in der Wahrnehmung einheitliche!) Bildpunkt 50 mal in der Sekunde aufzuleuchten. Die Folge ist eine deutliche Reduktion des Flimmerns.

Das Zeilensprungverfahren stellte nun insofern ein Problem dar, als es empfindlich gegenüber Störungen aus dem normalen Stromversorgungsnetz war. Oder anders ausgedrückt: Um Störungen durch mangelhaft ausgefilterte „Brummspannungen“ zu vermeiden, erwies es sich als günstig, die Wechselfrequenzen der Halbbilder als ganzzahlige Vielfache der Netzfrequenz zu wählen, im einfachsten Fall also 50 Hertz in Deutschland oder 60 Hertz in den USA. Die Ende der dreißiger Jahre einsetzende Normung spiegelt dies sehr deutlich: 1937 setzte der Reichspostminister die „endgültige“ deutsche Fernsehnorm fest, nämlich 441 Zeilen bei 50 Halbbildern in der Sekunde. Entsprechend der höheren Netzfrequenz wurde 1941 die amerikanische Fernsehnorm mit 525 Zeilen bei 60 Halbbildern in der Sekunde festgesetzt.

Verglichen mit den Bildwechselfrequenzen des Fernsehens ist die weitgehend im Sinne eines Standards benutzte Abtastrate für digitale Tonaufzeichnung die erstaunlich unschöne Zahl von 44,1 Kilohertz. Eine Abtastrate von 44,1 Kilohertz bedeutet, dass ein Abtastschaltkreis 44.100 mal in der Sekunde das analoge Audiosignal zahlenmä-

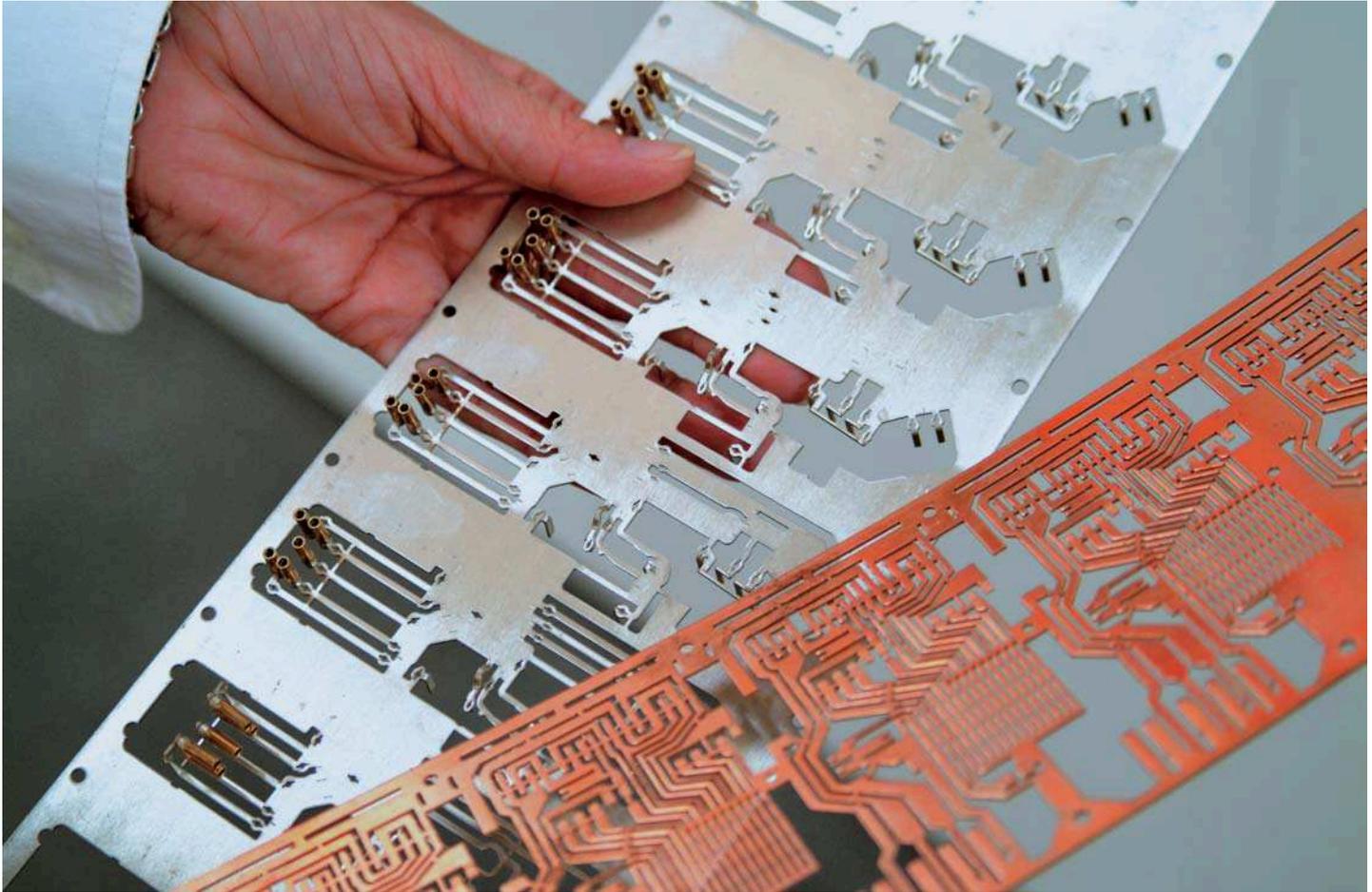
ßig erfasst, bevor es in die Mühle der Digitalisierung geschickt wird (also in die Quantisierung und binäre Codierung). Seitdem Philips und Sony bei ihrer Kooperation zur Entwicklung der Compact Disc (CD) diesen Wert als den kritischen Parameter der CD-Spezifikationen fixiert haben, insbesondere nachdem seit der Markteinführung 1982/83 die CD zum überragenden Erfolg geworden ist, wurde das ganze Feld der digitalen Tonaufzeichnung von diesem Zahlenwert bestimmt.

Der für die CD festgelegte Wert war aber keinesfalls der von der internationalen Community der in der Tonaufzeichnung tätigen Ingenieure ins Auge gefasste Wunschkandidat. Man war sich hier schon vor Einführung der CD darüber im klaren, dass man für die aufkommende Digitaltechnik im Audiobereich einen international standardisierten Wert für die Abtastrate braucht, um zum Beispiel digitale Audiodaten im Rundfunkbereich leichter austauschen zu können. Nach langen und heftigen Debatten schien es so, als ob man sich 1981 auf einen Kompromiss, nämlich 48 Kilohertz, würde einigen können. Mit der genannten Festlegung auf 44,1 Kilohertz unterliefen Philips und Sony jedoch 1980 diese internationale Einigung.

Dass Philips und Sony den dadurch verursachten Aufruhr in der Industrie in Kauf nahmen, hat nun aus heutiger Sicht klare historische Gründe. Der Grund war der „versuchte Missbrauch“ eines anderen erfolgreichen, japanischen Massenprodukts der Konsumelektronik. Einige führende japanische Hersteller planten nämlich, den Videorecorder auch als preiswertes Gerät zur Aufzeichnung digitaler Audiosignale zu benutzen. Man machte deshalb Anstrengungen, die Abtastrate eines zukünftigen digitalen Audiosystems an die Frequenzparameter der bestehenden Videoaufzeichnungssysteme anzupassen.

Der herausragende Verfechter diese Vorgehens war Toshi T. Doi von Sony. Dabei konzentrierte sich Doi zunächst auf das US-amerikanische Farbfernsehsystem NTSC, was 1960 auch in Japan eingeführt worden war. Er konnte zeigen, dass digitale Audiosignale in Standard-NTSC-Vi-

Anlaufbänder für elektronische Bauteile aus dem Jahr 2003 im Zinkhuetter Hof e.V.- Museum für Industrie-, Wirtschafts- und Sozialgeschichte in Stolberg/ Rheinland.
Bild: Peter Winandy



designale, die für eine Speicherung mit einem Videorecorder geeignet waren, zu konvertieren waren. Die Voraussetzung war, dass eine Abtastfrequenz von 44,05594... Kilohertz gewählt wurde. Diese Zahl kam zustande, indem man drei Größen multiplizierte, nämlich drei digitale Worte pro Fernseh-Zeile (die jeweils aus einem Stereo-Paar eines 16-Bit-Samples bestanden und insofern ausreichend feine Quantisierungsstufen erlaubten) mit 490 Zeilen pro Fernsehbild (wobei, um Störungen beim Umschalten des rotierenden Lesekopfes zu vermeiden, nur 490 der 525 bei NTSC pro Bild geschriebenen Zeilen genutzt wurden) sowie mit der NTSC-Bildwechselfrequenz von 29.97002996... Hertz (die Bildwechselfrequenz bei NTSC ist nicht exakt 30 Hertz, sondern 0,1 Prozent weniger).

Da die PAL- und SECAM-Videorecorder auf dem europäischen Markt, sollten sie auch zur digitalen Tonaufzeichnung dienen, schlecht mit einer solch problematischen Abtastfrequenz betrie-

ben werden konnten (in Europa ist die Bildwechselfrequenz exakt 25 Hertz), schien aus japanischer Sicht die aufgerundete Abtastfrequenz von 44,1 Kilohertz ein geeigneter Kompromiss für die CD. Obwohl also die internationale Community der Audio-Ingenieure sich 1981 auf 48 Kilohertz als globalen Standard für die Abtastfrequenz einigen wollte, setzte sich der komplizierte japanische Wert in der Konsumelektronik durch. Er ist historisch voll beladen mit den unterschiedlichen Netzfrequenzen in den USA und Europa und mit den in Europa und USA entstandenen unterschiedlichen Fernsehnormen. Trotzdem entwickelte sich dieser Standard über die CD hinaus zum weltweiten Standard.

Die miteinander verwobenen Standardisierungsprozesse sind damit auch ein Paradebeispiel dafür, wie verschlungen die Pfade wichtiger Innovationsprozesse sein können. In der Tat haben sich die Wirtschaftswissenschaften in den letzten Jahren vermehrt den realen Abläufen der Technikentwicklung zugewandt.

So wiesen die Wirtschaftshistoriker Nathan Rosenberg, Paul David und Douglass C. North vielfach auf die Wegabhängigkeit der technischen Entwicklung hin. Sie betonten – was für die Wirtschaftswissenschaften nicht unbedingt selbstverständlich war –, dass die Richtung, die die Technik einschlägt und der Weg, den sie beschreitet, nicht einfach aus gewissen Anfangsbedingungen abgeleitet werden kann, sondern nur im historischen Kontext, als jeweils konkrete zeitliche Folge von Ereignissen entlang dieses Weges, zu verstehen ist. ●

Literatur:

- Jürgen K. Lang: Das Compact Disc Digital Audio System. Ein Beispiel für die Entwicklung hochtechnologischer Konsumelektronik. Ingenieurwiss. Diss. RWTH Aachen 1996, Aachen 1996.
Thomas P. Hughes: Networks of Power, Electrification in Western Society, 1880-1930; Baltimore und London 1983.
Helmut Schönfelder: Fernsehtechnik im Wandel. Technologische Fortschritte verändern die Fernsehwelt; Berlin, Heidelberg, New York 1996.
Wilhelm Keller: Hundert Jahre Fernsehen, 1883-1983, Berlin, Offenbach 1983.
Vladimir K. Zworykin, G. A. Morton: Television. The Electronics of Image Transmission in Color and Monochrome, 2nd edition, New York, London, 1954.

Autor:

Univ.-Prof. Dr. phil. Walter Kaiser ist Inhaber des Lehrstuhls für Geschichte der Technik.