

Die Geburt der CD

Ihr Erfolg war überwältigend: Die CD verdrängte die bewährte Vinylplatte innert kürzester Zeit. Ebenso faszinierend war ihre Entwicklung zur Marktreife in den 1980er-Jahren.

In der «Funkschau» erschien 1931 ein Artikel zur optischen Aufzeichnung von Musik und Sprache. Eine Anordnung von Linsen, die der Optik eines CD-Players recht ähnlich sieht, sollte das Licht einer Glühlampe auf eine rotierende Fotoplatte fokussieren. Zwei gekreuzte Polarisatoren mit dazwischenliegender Kerrzelle im Strahlengang sollten den Spannungsverlauf der aufzuzeichnenden Signale in Helligkeitsschwankungen umwandeln, die danach auf der Fotoplatte festgehalten werden. Beim Abspielen sollte ein Selen-Fotodetektor die variierende Reflektivität der Tonspur in den ursprünglichen Spannungsverlauf umwandeln. Dieser kann dann verstärkt und via einen Lautsprecher hörbar gemacht werden. Wegen der schlechten Klangqualität konnte sich die Idee der optischen Schallplatte allerdings nie durchsetzen. Einzig bei Tonfilmen kam ein ähnliches Verfahren zum Zug.

Der Laser revolutioniert die alte Idee

Eine Renaissance erlebte die Idee mit dem Aufkommen des Lasers. Dieser entspricht einer echten Punktquelle und vermag deshalb einen Schreibpunkt zu

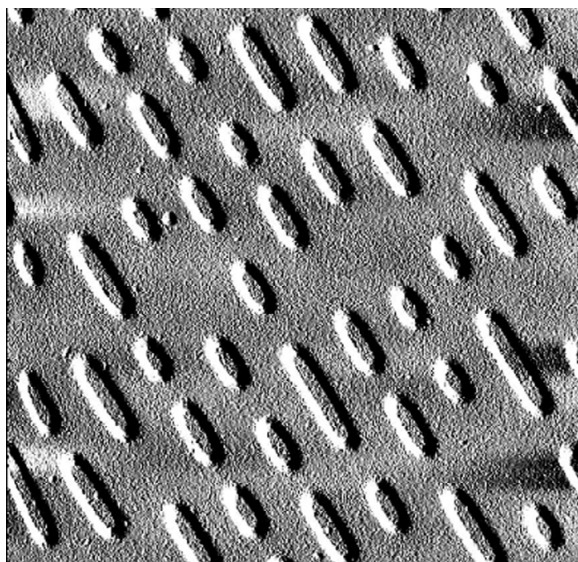
erzeugen, dessen Durchmesser etwa so klein ist wie die Wellenlänge des erzeugten Lichts. Mit rotem Licht (Wellenlänge = 0,78 Mikrometer) lassen sich deshalb Informationen in Spuren mit nur 1,6 Mikrometern Abstand abspeichern. Bei einer Standard-CD mit 12 cm Durchmesser finden so rund 23 000 Spuren Platz, die eine Spieldauer von 74 Minuten erlauben.

Versprechen an Herbert von Karajan

Die CD entstand aus einer 1979 begonnenen Zusammenarbeit von Philips (Holland) und Sony (Japan). In vielen Arbeitssitzungen kristallisierten sich die Eckdaten heraus und man einigte sich auf eine Spieldauer von einer Stunde – bis schliesslich der Präsident von Sony 74 Minuten verlangte. Mr. Ohga war ein ehemaliger Opernsänger und, was niemand wusste, er hatte seinem Freund Herbert von Karajan versprochen, dass Beethovens 9. Symphonie auf einer CD Platz finden wird. Keine Diskussion: Versprochen ist versprochen. Und so musste das Layout der CD trotz Vorbehalten der Ingenieure überarbeitet werden.

Digitalisierung ergibt Geräuschfreiheit

Die neben dem Laser zweite revolutionäre Neuerung, die es für die Entwicklung der CD brauchte, ist die digitale Speicherung der Information, die erst mit schnellen Mikroprozessoren möglich wurde. Tastet man die 5,4 km lange Tonspur in 74 Minuten ab, ergibt sich eine konstante Abtastgeschwindigkeit von 1,2 m/s. Damit diese eingehalten werden kann, reduziert ein Controller die Umlaufgeschwindigkeit kontinuierlich von 7,6 auf 3,3 Umdrehungen pro Sekunde – denn eine CD wird von innen nach aussen abgespielt. (Dies hat übrigens den Vorteil, dass Fingerabdrücke, die sich meistens aussen befinden, bei nicht voll bespielten CDs nicht stören.)



← Elektronenmikroskopische Aufnahme einer CD. Die «pits» sind 0,125 µm hohe Kreten (von der reflektierenden Seite her betrachtet), die ähnlich wie Blindenschrift von der Rückseite her eingepresst wurden. Sie haben neun verschiedene Längen zwischen 0,9 bis 3,3 µm, haben ebensolche Abstände («lands») und bilden die Tonspur. Ihr Querabstand beträgt 1,6 µm. Insgesamt sind auf dem Bildausschnitt Teile von 12 Spuren mit rund 50 «pits» und «lands» sichtbar. Diese codieren rund 0,17 Tausendstelsekunden Musik.



Eine CD zerlegt weisses Licht in Spektralfarben durch Interferenz des an den Spuren reflektierten Lichtes. Deutlich erkennt man die helle Zone ab einem Radius von 25 mm bis knapp in die Mitte, in der Musik aufgezeichnet wurde. Die innersten etwas dunkleren 2,5 mm enthalten technische Zusatzinformationen. Die maximal mögliche Aufzeichnung endet bei 58 mm.

Zur digitalen Aufzeichnung werden die von Mikrofonen abgegebenen zwei Spannungen (Stereo) zuerst in ganze Zahlen von 0 (Stille) bis 65 535 (maximaler Schallpegel) umgewandelt. Um durch Staubteilchen oder Fingerabdrücke erzeugte Fehler korrigieren zu können, wird die Informationsmenge noch um einen Drittel mit redundanter Information erhöht. Schliesslich werden die Zahlen mit einem recht komplizierten mathematischen Verfahren in sogenannte «pits» und «lands» umgerechnet. Auf diese Weise lassen sich Töne mit einer oberen Grenzfrequenz von 22 050 Hertz aufzeichnen, was sehr guter Hi-Fi-Qualität entspricht, hört doch selbst ein junger Mensch nur Frequenzen bis maximal etwa 20 000 Hertz.

Abtasten der CD

Eine Frage ist noch offen: Die «pits» und «lands» reflektieren das Laserlicht beide gleich gut. Wie also kann die Information dennoch abgetastet werden? Die Hauptmasse der CD besteht aus einer 1,2 mm

dicken Polykarbonatscheibe. Durch deren Brechungsindex von 1,55 wird die Wellenlänge des roten Laserlichtes auf 0,5 Mikrometer verkürzt. Dieses Licht trifft auf die aufgedampfte Aluminiumschicht, an der es reflektiert wird. Die «pits» sind genau $\frac{1}{4}$ Wellenlänge hoch: Ist die eine Hälfte des Abtaststrahls auf einem «pit» und die andere auf dem «land», sind die beiden Hälften nach der Reflexion um eine halbe Wellenlänge gegeneinander verschoben und löschen sich durch Interferenz aus. Dadurch entstehen beim Abspielen kurze Dunkelphasen, welche die Übergänge zwischen «pits» und «lands» markieren. Auf diese Weise lässt sich aus dem reflektierten Laserlicht die ursprüngliche Information wieder rekonstruieren.

Fritz Gassmann

LITERATUR

Heemskerk J. 2013. How the CD came about. *europhysicsnews* 44 (6): 21-24.