

Bestimmung der Spurabstände von optischen Datenträger

Armin Beck^a, André Berberich^a, and Fabian Konrad^a

^aStudent der DHBW Mosbach

This manuscript was compiled on 16. Februar 2017

This paper presents a revolutionary and repeatable method to prove the track pitch of an optical, laser based, data medium. Using a hand held light emitting pistol, the track pitch of a standard medium was measured to be between $0,73\text{ }\mu\text{m}$ and $1,6\text{ }\mu\text{m}$. Results show outstanding agreement with the provided, theoretical values of the manufacturers. The method presented has significant implications for future storage of big data in the cloud and may one day will be the contributing factor for the digitization of the industry.

Laser | CD | DVD | Storage

Die Forschung ist sich einig, dass es wichtig ist, bestehende Technologien zu reflektieren und daraus entsprechende Schlüsse für die Zukunft zu ziehen. Weiterentwicklungen im Speicherbereich dienen als Grundlage für den Weg der Digitalisierung, und der globalen Vernetzung. Die Anforderungen an Speicher, der jederzeit erreichbar, redundant ausgelegt und hochperformant sein muss, steigt mit jedem Tag. Auch Privatanwender sind von diesem „recht abrupte[n]“ Paradigmenwechsel betroffen (Ct, 1990, Heft 10/2012 S.102). Die in diesem Artikel vorgestellte Methode ermöglicht es Spurabstände auf optischen Datenträgern mit einfachsten Mitteln zu bestimmen und zu validieren ohne hierbei einen Computer oder ein Laufwerk zu verwenden. Dadurch wird man in die Lage versetzt, die signifikanten Unterschiede diverser optischer Medien im Bezug auf die Datenkapazität, zu erklären. Die mit dieser Vorgehensweise ermittelten Werte für handelsübliche CDs und DVDs, sollen als Referenz und Denkanstoß für die Entwicklung von innovativen Speicherlösungen von morgen dienen.

Technische Grundlagen für den Versuch

Bei diesem Versuch nimmt man sich die bei einem von elektromagnetischen Wellen bestrahlten Doppelspalt auftretenden Effekte zur Hilfe. Wird eine Lochplatte beziehungsweise eine Spaltplatte von einem Laserstrahl getroffen, so verteilt sich das Licht nahezu gleichmäßig hinter der Spaltplatte. Hält man eine Mattscheibe hinter den Doppelspalt, erscheinen mehrere von der Mitte aus in zunehmendem Abstand symmetrisch angeordnete Punkte. Dies würde eigentlich einer gleichmäßigen Verteilung widersprechen. Die Besonderheit ist jedoch, dass zwei Spalten verwendet werden und daher der Lichtstrahl an Beiden gestreut wird. Betrachtet man nun einen Punkt in einem Abstand von beiden Löchern, der sich um jeweils $n \cdot \lambda$ unterscheidet, ist an diesem die Bestrahlungsstärke höher, da die aus beiden Spalten austretenden Wellen an dieser Stelle nicht zueinander phasenverschoben sind. Ein sogenanntes Interferenzmaximum entsteht aus der Addition der Amplituden beider austretender Wellen. An anderen Stellen tritt eine Phasenverschiebung auf, da die Lichtstrahlen an unterschiedli-

chen Punkten der Periode zusammentreffen. Somit entsteht eine von der Position abhängige stehende Welle, die durch die Mattscheibe visualisiert wird.

Aufbau und Leseverfahren einer CD und einer DVD. CDs und DVDs bestehen grundsätzlich aus drei Schichten. Die Unterste Schicht ist eine Kunststoffscheibe, auf der die binären Daten in Form von Löchern im Mikrometerabstand eingepreßt, mit einem starken Laser eingebrannt oder eingezätzt wurden. Ein Loch steht für das Signal 1 und eben kein Loch stellt die 0 dar. Die zweite Schicht ist eine Aluminium- oder Goldfolie, die der Unterseite ihre typische Färbung verleiht. Als dritte Schicht wird eine bedruckte Schutzfolie oben aufgeklebt. Beim Lesen der CD, genauso wie beim Lesen einer DVD tritt keine Interferenz auf, da das Lasersignal so stark gebündelt ist, dass es nur ein einziges Loch auf einmal trifft. Bei diesen Disks wird das auftreffende Licht mit Hilfe der darüber liegenden Folie gespiegelt. An der Stelle, auf die das Licht zurückgestrahlt werden würde, wenn der aktuell bestrahlte Abschnitt der Disk nicht eingepreßt wäre, befindet sich ein Sensor, der seine Bestrahlungsstärke misst. Jedes mal, wenn der Laserstrahl auf ein Loch in der sich drehenden Disk trifft, wird dieses an eine andere als die ursprüngliche Stelle hin gespiegelt und es kommt kein Signal am Empfänger an. Dieser erzeugt somit eine 1 als Ausgangssignal. Anderenfalls erzeugt er eine 0.

Versuchsaufbau

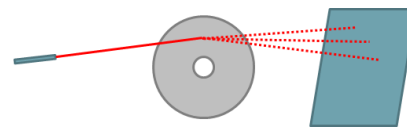


Fig. 1. vereinfachter Versuchsaufbau

Ein Laserstrahl wird auf den Datenträger gerichtet, die durch den Datenträger abgelenkt und reflektierten Strahlen werden auf einer Mattscheibe sichtbar gemacht.

Aufgrund der Funktionsweise des Leseverfahrens, ist es naheliegend, ein ähnliches Verfahren zur Ermittlung des Spurabstands von optischen Datenträgern zu nutzen. Dabei können die Vertiefungen in der Kunststoffschicht als Doppelspalt genutzt werden. Um davon auf den Spurabstand schließen zu können, ist es erforderlich dass von Löchern auf verschiedenen Spuren simultan bestrahlt werden. Wegen dem daraus resultierenden Größenverhältnis zwischen Spurabstand und Strahlgröße ist es notwendig, einen schwach gebündelten Laserstrahl zu verwenden. Zur Erfassung der abgelenkt und

reflektierten Strahlen wird eine Mattscheibe genutzt, auf welcher die Abstände der Strahlen zueinander gemessen werden können, woraus sich folgender vereinfachter Versuchsaufbau ergibt 1.

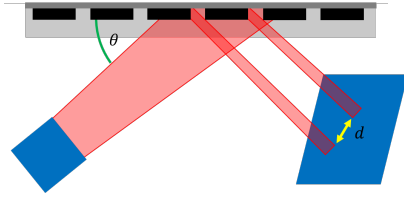


Fig. 2. Spalt

Der auf den Datenträger flach auftreffende Laserstrahl wird abgelenkt und von Vertiefungen unterschiedlicher Spuren auf die Mattscheibe reflektiert. Der Abstand der Strahlen ist auf der Mattscheibe messbar.

Versuchsergebnisse. Da der Lochabstand von CD und DVD extrem gering ist, kann man diese mit einem handelsüblichen Laserpointer durchleuchten und hierbei die Löcher als Doppelspalt verwenden. Es treten die oben genannten Interferenzeffekte auf, anhand deren das Verhältnis aus der gegebenen Wellenlänge des Lasers und dem Lochabstand berechnet werden kann. Hierbei wird zuerst aus dem gemessenen Abstand der Interferenzmaxima $d[\text{cm}]$ und dem Abstand zwischen Mattscheibe und Datenträger $l[\text{cm}]$ der Austrittswinkel θ berechnet. Die Berechnung hierzu erfolgt über den Arcustangens:

$$\theta = \arctan \frac{d}{l}. \quad [1]$$

Aus diesem Winkel lässt sich nun entsprechend der Grafik 3 mit Hilfe des Gangunterschieds $\Delta s[\text{nm}]$ der Spurbereich $g[\mu\text{m}]$ berechnen. Der Gangunterschied kann in diesem Fall gleich der Wellenlänge $\lambda[\text{nm}]$ gesetzt werden, da ein Interferenzmaximum nur auftritt, wenn die beiden Wellen im gleichen Phasenabschnitt auftreten. Daraus wird nun die Berechnungsformel für den Spurbereich abhängig von Wellenlänge und Winkel abgeleitet:

$$g = \frac{\Delta s}{\sin \theta} = \frac{\lambda}{\sin \theta}. \quad [2]$$

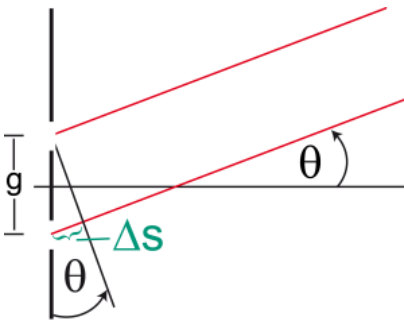


Fig. 3. Ablekungsmodell am Doppelspalt

Der Winkel θ stellt die Ablenkung des Lichtstrahls gegenüber dem Doppelspalt dar. Δs ist der Gangunterschied.

Tabelle 1. Messergebnisse in abhängigkeit verschiedener Abstände

l in cm	10	12	14	16	18	20
d_{cd} in cm	3,8	4,6	5,3	6,1	6,9	7,6
d_{dvd} in cm	17,3	20,8	24,1	27,7	31,1	34,6
θ_{cd} in Grad	20,8	21,0	20,7	20,9	21,0	20,8
θ_{dvd} in Grad	60,0	60,0	59,9	60,0	59,9	60,0

Die Tabelle stellt die Messergebnisse in Abhängigkeit des Abstands für die CD und DVD da

Für den Spurbereich einer CD ergibt sich dann mit Eq. (2):

$$g_{\text{cd}} = \frac{632 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2}{\sin 20,8} \approx 1,78 \cdot 10^{-9} \text{ m}$$

Analog dazu der Spurbereich der DVD mit Eq. (2):

$$g_{\text{dvd}} = \frac{632 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2}{\sin 60,0} \approx 0,73 \cdot 10^{-9} \text{ m}$$

Interpretation der ermittelten Werte

Durch die gewonnen Messergebnisse konnten die Hersteller Angaben von $0,73 \mu\text{m}$ (DVD) ECMA (1996) und $1,6 \mu\text{m}$ (CD) ECMA (2004) bestätigt werden.

$$S_{\text{cd}} = 1,78 \mu\text{m} \quad [3]$$

$$S_{\text{dvd}} = 0,73 \mu\text{m} \quad [4]$$

Vergleich Datenkapazität CD und DVD. Der geringere Spurbereich der DVD ist einer der Gründe, warum diese eine höhere Datenkapazität als CD hat, obwohl beide die gleiche Bauform haben.

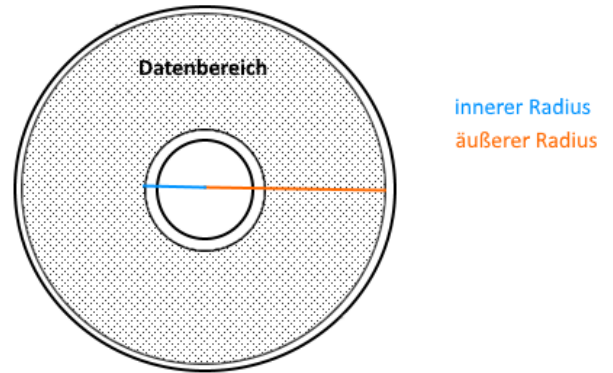


Fig. 4. Schematische Darstellung eines optischen Datenträgers

Ein typischer optischer Datenträger mit gekennzeichnetem Radien zur Darstellung des Datenbereichs

Aus 4, das den schematischen Aufbau einer CD oder DVD zeigt, können zwei Radien entnommen werden, über die die Fläche des Datenbereichs berechnet werden kann. Für die folgenden Berechnungen gilt:

r_i = innerer Radius und r_a = äußerer Radius
 Von einer CD konnten die folgenden Werte abgelesen werden:
 $r_{\text{inner}_{\text{cd}}} = 2,3 \text{ cm}$ und $r_{\text{outer}_{\text{cd}}} = 5,8 \text{ cm}$

Mit der Formel für die Fläche eines Kreises (Bartsch and Sachs, 2014, Seite 147) kann die Fläche für Daten berechnet werden:

$$A = \pi((r_a)^2 - (r_i)^2) \quad [5]$$

Die Gesamtlänge einer Spur kann folgendermaßen berechnet werden

$$L = \frac{\text{Fläche für Daten}}{\text{Spurbreite}} \quad [6]$$

Die Anzahl der Bits im Datenbereich kann dann anschließend ebenfalls berechnet werden

$$N_{\text{bits}} = \frac{L}{0,5 \cdot \text{Spurbreite}} \quad [7]$$

Berechnung CD. Für eine CD ergibt sich folgende Berechnung:

Für die genutzte Datenfläche aus Eq. (5)

$$\begin{aligned} A_{\text{cd}} &= \pi \cdot ((r_{\text{outer}_{\text{cd}}})^2 - (r_{\text{inner}_{\text{cd}}})^2) \\ &= \pi \cdot ((5,8 \text{ cm})^2 - (2,3 \text{ cm})^2) \\ &= \pi \cdot ((0,0058 \text{ m})^2 - (0,0023 \text{ m})^2) \approx 8,91 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2. \end{aligned}$$

Für die Gesamtlänge der Spur aus Eq. (5) ergibt sich mit Eq. (3)

$$\begin{aligned} L_{\text{cd}} &= \frac{\text{Fläche für Daten}}{\text{Spurbreite}} \\ &= \frac{A_{\text{cd}}}{S_{\text{cd}}} \\ &= \frac{8,91 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2}{1,78 \cdot 10^{-6} \text{ m}} \\ &= 5005 \text{ m}. \end{aligned}$$

Die Anzahl der Bits beträgt dann über Eq. (7)

$$\begin{aligned} N_{\text{cd-bits}} &= \frac{L_{\text{cd}}}{0,5 \cdot s_{\text{cd}}} \\ &= \frac{5005 \text{ m}}{0,5 \cdot 1,78 \cdot 10^{-6} \text{ m}} \\ &= 55623595506 \\ &\approx 5,6 \cdot 10^9. \end{aligned}$$

Umgerechnet in MByte

$$\begin{aligned} C_{\text{cd}} &= \frac{N_{\text{cd-bits}}}{8 \cdot 1024 \cdot 1024} \\ &= \frac{5,6 \cdot 10^9}{8 \cdot 1024 \cdot 1024} \\ &\approx 668 \text{ MB}. \end{aligned}$$

Die Größenordnung entspricht der einer handelsüblichen CD.

Berechnung DVD. Für eine DVD ergibt sich analog dazu die folgende Berechnung:

Von einer DVD konnten die folgenden Werte abgelesen werden: $r_{\text{inner}_{\text{dvd}}} = 2,3 \text{ cm}$ und $r_{\text{outer}_{\text{dvd}}} = 5,9 \text{ cm}$.

Für die genutzte Datenfläche aus Eq. (5)

$$\begin{aligned} A_{\text{dvd}} &= \pi \cdot ((r_{\text{outer}_{\text{dvd}}})^2 - (r_{\text{inner}_{\text{dvd}}})^2) \\ &= \pi \cdot ((5,9 \text{ cm})^2 - (2,3 \text{ cm})^2) \\ &= \pi \cdot ((0,0059 \text{ m})^2 - (0,0023 \text{ m})^2) \approx 9,27 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2. \end{aligned}$$

Für die Gesamtlänge der Spur aus Eq. (5) ergibt sich mit Eq. (4)

$$\begin{aligned} L_{\text{dvd}} &= \frac{\text{Fläche für Daten}}{\text{Spurbreite}} \\ &= \frac{A_{\text{dvd}}}{S_{\text{dvd}}} \\ &= \frac{9,27 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2}{0,73 \cdot 10^{-6} \text{ m}} \\ &\approx 12700 \text{ m}. \end{aligned}$$

Die Anzahl der Bits beträgt dann über Eq. (7)

$$\begin{aligned} N_{\text{dvd-bits}} &= \frac{L_{\text{dvd}}}{0,5 \cdot S_{\text{dvd}}} \\ &= \frac{12700 \text{ m}}{0,5 \cdot 0,73 \cdot 10^{-6} \text{ m}} \\ &\approx 3,48 \cdot 10^{10}. \end{aligned}$$

Umgerechnet in GiB:

$$\begin{aligned} C_{\text{dvd}} &= \frac{N_{\text{dvd-bits}}}{8 \cdot 1024 \cdot 1024} \\ &= \frac{3,48 \cdot 10^{10}}{8 \cdot 1024 \cdot 1024 \cdot 1024} \\ &\approx 4,05 \text{ GiB}. \end{aligned}$$

Auch diese Größenangabe entspricht der einer handelsüblichen DVD.

Mit dieser Methode ist es nun auch möglich, weitere optische Datenträger zu überprüfen. Aufgrund der erheblichen Daten sind Neuerungen in der Speichertechnik von optischen Medien denkbar, die in der Zukunft eine zentrale Rolle für Speicherlösungen spielen können. Denkbar sind extrem kleine Spurbstände oder Medien, die sehr viele verschiedene Datenspurabstände oder Medien, die sehr viele verschiedene Datenspurabstände enthalten.

Bartsch, H.-J. and Sachs, M. (2014). *Taschenbuch mathematischer Formeln für Ingenieure und Naturwissenschaftler*. Hanser Verlag, München, 23., überarbeitete Auflage edition.
 Ct (1990). Sturm in die Wolke. *Ct-Magazin*, pages Online-Ressource.
 ECMA (1996). Data interchange on read-only 120 mm optical data disks (cd-rom). <http://www.ecma-international.org/publications/files/ECMA-ST/ECma-130.pdf>.
 ECMA (2004). 80 mm (1,46 gbytes per side) and 120 mm (4,70 gbytes per side) dvd recordable disk (dvd-r). <http://www.ecma-international.org/publications/files/ECMA-ST/ECma-359.pdf>.