

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 17. 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 device, the track pitch of a standard medium was measured to be between $0,73\ \mu\text{m}$ and $1,6\ \mu\text{m}$. 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, steigen 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. Dies ermöglicht es, signifikante Unterschiede diverser optischer Medien im Bezug auf die Datenkapazität, zu erklären. Durch diese Vorgehensweise ermittelte Werte für handelsübliche CDs und DVDs sollen als Referenz und Denkanstoß für die Entwicklung von innovativen Speicherlösungen von morgen dienen.

Technische Grundlagen der Methode

Bei diesem Verfahren werden die Effekte eines von elektromagnetischen Wellen bestrahlten Doppelspalts genutzt. Wird eine Lochplatte, beziehungsweise eine Spaltplatte, von einem Laserstrahl getroffen, so verteilt sich das Licht nahezu gleichmäßig hinter der Platte. Durch eine Mattscheibe hinter dem Doppelspalt, sind mehrere von der Mitte aus symmetrisch angeordnete Punkte in zunehmendem Abstand zur Mitte sichtbar. Dies scheint keiner gleichmäßigen Verteilung zu entsprechen, allerdings streuen zwei Spalten den Lichtstrahl. Wird ein Punkt in einem Abstand von beiden Löchern betrachtet, 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 unterschiedlichen 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 Binärdaten in Form von Vertiefungen eingepreßt bzw. mit einem Laser eingebrannt wurden. Die zweite Schicht ist eine Metallfolie, die zur Reflexion dient. Die dritte Schicht ist eine bedruckte Schutzfolie, welche die darunterliegende Metallfolie und Kunststoffscheibe schützt. Zum Lesen wird die Unterseite von einem Laserstrahl beleuchtet. Dabei wird der Strahl von der Metallfolie reflektiert und von einem Sensor erfasst. Trifft der Strahl auf eine Vertiefung, wird er reflektiert und trifft den Sensor mit geringerer Intensität. Durch Messung der Intensität können die Daten gelesen und weiterverarbeitet werden.

Exemplarische Durchführung

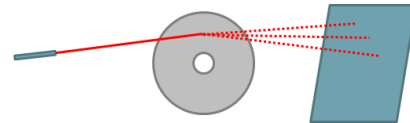


Fig. 1. exemplarischer Aufbau

Ein Laserstrahl wird auf den Datenträger gerichtet. Die durch den Datenträger abgelenkten und reflektierten Strahlen werden auf einer Mattscheibe visualisiert.

Aufgrund der Funktionsweise des Leseverfahrens, ist es naheliegend, ein ähnliches Verfahren zur Ermittlung des Spurabstandes von optischen Datenträgern zu nutzen. Dabei können die Vertiefungen in der Kunststoffscheibe als Doppelspalt genutzt werden. Um davon auf den Spurabstand schließen zu können, ist es erforderlich, dass mehrere Löcher auf mindestens zwei verschiedenen Spuren simultan bestrahlt werden. Wenn mehrere Spuren bestrahlt werden, treten keine für die Messung negativen Effekte auf KIT (2009b). Wegen des daraus resultierenden Größenverhältnisses zwischen Spurabstand und Strahlgröße ist es notwendig, einen Laserstrahl zu verwenden, der breit genug ist. Ein handelsüblicher Laserpointer erfüllt diese Voraussetzungen. Zur Erfassung der abgelenkten und reflektierten Strahlen wird eine Mattscheibe genutzt, auf welcher die Abstände der Strahlen zueinander gemessen werden können. Daraus ergibt sich der in Fig.1 vereinfacht dargestellte Aufbau.

Exemplarische Ergebnisse

Da die Vertiefungsabstände von CD und DVD sehr gering sind, kann man die vom Laserpointer beleuchtete Stelle als Doppelspalt betrachten (Siehe Fig.2). Es treten die oben genannten

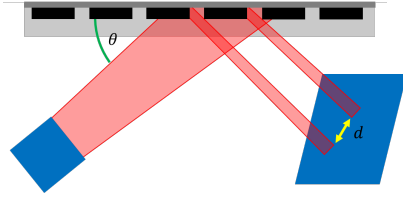


Fig. 2. Doppelspalteneffekt am vom Laser angestrahlten optischen Datenträger. Der auf den Datenträger flach auftreffende Laserstrahl wird abgelenkt und von Vertiefungen unterschiedlicher Spuren auf die Mattscheibe reflektiert. Der Abstand der Strahlen ist auf der Mattscheibe messbar.

Interferenzeffekte auf, anhand deren gemäß [KIT \(2009a\)](#) das Verhältnis aus der gegebenen Wellenlänge des Lasers λ [nm] und dem Vertiefungsabstand berechnet werden kann. Hierbei wird zuerst aus dem gemessenen Abstand der Interferenzmaxima d [cm] und dem Abstand zwischen Mattscheibe und Datenträger l [cm] der Austrittswinkel θ berechnet. Die Berechnung hierzu erfolgt über den Arkustangens:

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

Aus diesem Winkel lässt sich nun entsprechend [Fig.3](#) mit Hilfe des Gangunterschieds Δs [nm] der Spurbabstand g [μm] berechnen. Der Gangunterschied kann in diesem Fall gleich der Wellenlänge λ [nm] gesetzt werden, da ein Interferenzmaximum nur auftritt, wenn die beiden Wellen im gleichen Phasenabschnitt auftreten. Daraus wird nun die Berechnungsformel für den Spurbabstand abhängig von Wellenlänge und Winkel abgeleitet:

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

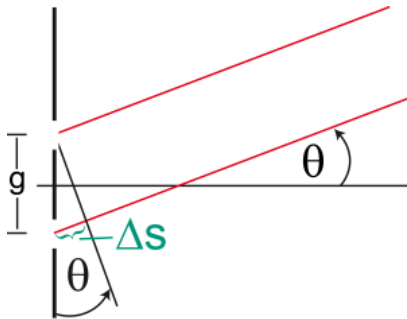


Fig. 3. Ablenkungsmodell am Doppelspalt. Der Winkel θ stellt die Ablenkung des Lichtstrahls gegenüber dem Doppelspalt dar. Δs ist der Gangunterschied. [KIT \(2009c\)](#)

Für den Spurbabstand einer CD ergibt sich dann mit [Eq. \(2\)](#) und der Wellenlänge des verwendeten Lasers(632nm) sowie einem exemplarischen Wert aus [Tabelle 1](#):

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

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

Gemessene Abstände für die CD und DVD sowie die daraus berechneten Ablenkungswinkeln

Analog dazu der Spurbabstand der DVD mit [Eq. \(2\)](#):

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

Interpretation der ermittelten Werte

Durch die gewonnen Messergebnisse konnten die Herstellerangaben von 0,73 μm (DVD) [ECMA \(1996\)](#) und 1,6 μm (CD) [ECMA \(2004\)](#) bestätigt werden.

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

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

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

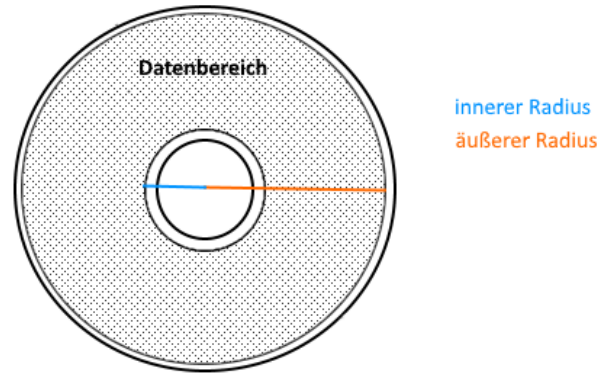


Fig. 4. Schematische Darstellung eines optischen Datenträgers. Ein typischer optischer Datenträger mit gekennzeichneten Radien zur Darstellung des Datenbereichs

Aus [Fig.4](#), das den schematischen Aufbau eines optischen Datenträgers zeigt, können zwei Radien entnommen werden, über die die Fläche des Datenbereichs berechnet werden kann. Für die folgenden Berechnungen gilt:

$$r_i = \text{innerer Radius und } r_a = \text{äußerer Radius}$$

Mit der Formel für die Fläche eines Kreisrings ([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

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

Die Anzahl der Bits im Datenbereich kann anschließend näherungsweise berechnet werden (unter Berücksichtigung des Spurabstandes)

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

Berechnung CD. Von einer CD konnten folgende Werte abgelesen werden:

$$r_{i_{cd}} = 2,3 \text{ cm und } r_{a_{cd}} = 5,8 \text{ cm}$$

Die Datenfläche errechnet sich aus Eq. (5):

$$\begin{aligned} A_{cd} &= \pi \cdot ((r_{a_{cd}})^2 - (r_{i_{cd}})^2) \\ &= \pi \cdot ((5,8 \text{ cm})^2 - (2,3 \text{ cm})^2) \\ &= \pi \cdot ((0,058 \text{ m})^2 - (0,023 \text{ m})^2) \\ &\approx 8,91 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2. \end{aligned}$$

Die Länge der Spur ergibt sich aus Eq. (5) mit Eq. (3):

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

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

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

Umgerechnet in MiB:

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

Die Größenordnung entspricht der einer handelsüblichen CD.

Berechnung DVD. Von einer DVD konnten die folgenden Werte abgelesen werden:

$$r_{i_{dvd}} = 2,3 \text{ cm und } r_{a_{dvd}} = 5,9 \text{ cm}$$

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

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

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

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

Umgerechnet in GiB:

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

Die Datenfläche errechnet sich aus Eq. (5):

$$\begin{aligned} A_{dvd} &= \pi \cdot ((r_{a_{dvd}})^2 - (r_{i_{dvd}})^2) \\ &= \pi \cdot ((5,9 \text{ cm})^2 - (2,3 \text{ cm})^2) \\ &= \pi \cdot ((0,059 \text{ m})^2 - (0,023 \text{ m})^2) \\ &\approx 9,27 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2. \end{aligned}$$

Auch diese Größenordnung 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. Heute sind bereits optische Datenträger mit bis zu 1 TB in Entwicklung [Sony-Corporation and Panasonic-Corporation \(2014\)](#).

- 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> abgerufen am 16.02.2017.
- 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> abgerufen am 16.02.2017.
- KIT (2009a). Der doppelspalt. <http://psi.physik.kit.edu/150.php> abgerufen am 16.02.2017.
- KIT (2009b). Der dreifachspalt. <http://psi.physik.kit.edu/155.php> abgerufen am 16.02.2017.
- KIT (2009c). Extrema-herleitung. <http://psi.physik.kit.edu/img/Extrema-Herleitung.png> abgerufen am 16.02.2017.
- Sony-Corporation and Panasonic-Corporation (2014). Archival disc standard formulated for professional-use next-generation optical discs. <http://www.sony.net/SonyInfo/News/Press/201403/14-0310E/index.html> abgerufen am 16.02.2017.