

Dr. Roland Pleger

Datenbits sichtbar machen

Mit ihren Nano-Partikeln können Ferrofluide magnetische Feldlinien viel feiner abbilden, als es mit Eisenspänen je möglich wäre. Auf diese Weise lassen sich sogar einzelne „Bits“ von Datenträgern sichtbar machen.



TIPP

Ferrofluide lassen sich auch als Dichtungen für Lager einsetzen. Ein Ringmagnet hält das Fluid an seinem Platz, sodass damit unter anderem wasser- und luftdichte Lager etwa für die Weltraumtechnik gebaut werden. Bei Hochleistungslautsprechern dient es als Kühlflüssigkeit, wo sonst nur Luft die Wärme ableiten könnte. Wird das Ferrofluid einem Elektromagneten ausgesetzt, lässt sich die Viskosität elektrisch steuern, um beispielsweise Stoßdämpfer lastabhängig zu steuern.



Der Magnetstreifen auf EC-, Kredit- und anderen Karten besteht in der Regel aus submikrometer-kleinen Eisenoxid- oder Chromoxidpartikeln, die mit einem Bindemittel vermischt sind. Zum Beschreiben des Streifens magnetisiert ein kleiner Elektromagnet Teile der Schicht: Eisenpartikel werden entweder entlang oder entgegen der Bewegungsrichtung magnetisiert, wobei die Informationen via Bi-Phase-Codierung abgelegt sind. Ein Bit wird durch einen Phasenübergang und nicht durch einen Phasenzustand codiert, ähnlich wie bei der Manchester-Codierung.

Beim Einlesen der Informationen induzieren die Magnetfelder einen Strom im Lesekopf, mit dem

Ferrofluid ist in der Regel in Tropfflaschen mit 10 ml erhältlich. Die Sicherheitshinweise sollte man ernst nehmen!

sich die Daten auslesen lassen. Genauso funktionieren auch die Magnetstreifen auf Wegwerfkarten aus Papier, wie sie in manchen Ländern für Bahntickets, Parktickets oder Eintrittskarten Einsatz finden.

Um die Magnetisierung auf einem Streifen sichtbar zu machen, setzt man normalerweise komplizierte magneto-optische Verfahren ein. Es geht aber auch viel einfacher mit sogenannten Ferrofluiden. Sie bestehen aus sehr feinem Pulver, nämlich Kristallite von weniger als 10 Nanometer Durchmesser. Zwei Effekte verhindern, dass die Teilchen zusammenklumpen und einen Ferromagneten bilden: Erstens werden sie in einer seifen-

artigen Öllösung aufgeschwemmt. Zweitens hält sie die Brownsche Molekularbewegung, also die thermische Bewegung der Flüssigkeit, in der Schwebe. Zudem sind die Teilchen so klein, dass sie nicht sedimentieren und sich am Boden der Flüssigkeit absetzen. Ähnlich wie bei einem Spülmittel verhindern oberflächenaktive Zusätze ein Zusammenbacken und Ausflocken. Ferrofluide gibt es im Handel für knapp fünf Euro zu kaufen, etwa bei Supermagnete.de oder bei GetDigital.

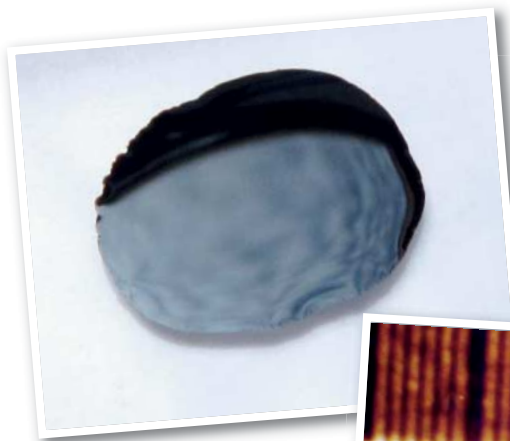
Der erste Praxistest: Wie verhält sich die magnetische Flüssigkeit auf einem Magnetstreifen eines Bahntickets aus Pappe? Schon beim Auftropfen der Flüssigkeit fällt auf, dass sie nicht gleichmäßig verläuft. Statt dessen bevorzugt sie vier Bahnen parallel zur Kante des Tickets. Nach dem Verteilen der Flüssigkeit wird klar, dass es sich um vier Magnet Spuren handelt, die jetzt sichtbar werden.

Mit dem bloßen Auge erkennt man ein feines Strichmuster. Aber erst unter dem Mikroskop kann man die Struktur genauer erkennen. Feine Linien mit einem Abstand von 30 µm bilden die gespeicherte Informationen ab. Jede Linie markiert den Wechsel der Magnetisierung von links nach rechts entlang der Leserichtung und umgekehrt. Zum Vergleich: ein Haar ist viermal dicker als ein Datenbit auf dem Magnetstreifen.

Auch andere Magnetdatenträger geben nach der Behandlung mit der magnetischen Flüssigkeit ihr Geheimnis preis. Auf der Kreditkarte im linken Bild unten sind zwei Spuren zu erkennen. Eine dritte Spur ist gemäß der technischen Spezifikation zwar vorgesehen, aber offenbar ungenutzt. Während die Spuren 1 und 2 bei der Ausgabe der Karte bereits beschrieben sind, könnte man auf die dritte Spur noch Daten schreiben. Bei der untersuchten Karte wurde davon aber kein Gebrauch gemacht. Eine Magnetbahn speichert bis zu 76 Zeichen, was bei einer beschreibbaren Länge von 7 Zentimeter Länge eine Informationsdichte von 130 µm pro Bit entspricht.

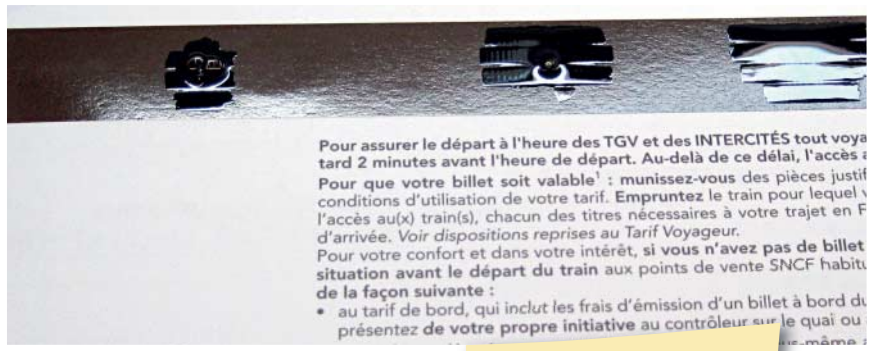
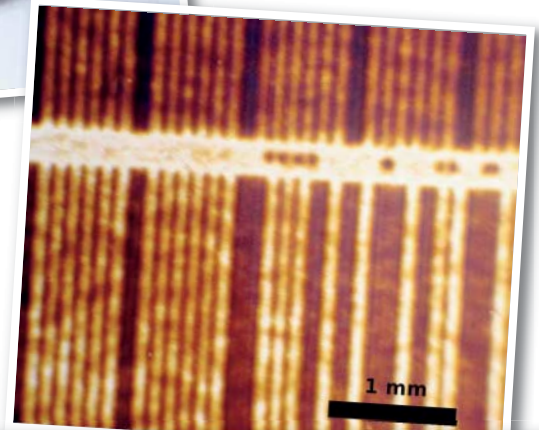
Bei einer Festplatte versagte die magnetische Flüssigkeit jedoch – zumindest in der Kombination mit einem Lichtmikroskop. Der Abstand der Bahnen liegt in der Größenordnung der Wellenlänge des Lichts und lässt sich nicht mehr auflösen. Die Speicherzellen innerhalb einer Bahn liegen sogar noch enger beieinander.

Die magnetische Struktur von Magnetbändern zur Aufzeichnung digitaler Informationen (wie bei alten Backup-System mit ZIP-Drive) schwankt zwischen den beiden Extremen „Magnetisierung links“ und „Magnetisierung rechts“ und ist daher relativ leicht zu erkennen. Schwieriger ist es, den magnetischen Kontrast von Bändern hervorzuheben, auf denen Audio- oder Videoinformationen gespeichert sind. Bei ihnen kodiert die Frequenz der Richtungsänderung die Frequenz des aufgenommenen Signals und der Magnetisierungsgrad die Lautstärke. Leise Bässe werden somit kaum zu erkennen sein, erst recht, wenn es sich um Töne mit wenigen Obertönen handelt. Die Behandlung eines Kassettenbands mit Ferrofluid macht zwei Magnet Spuren sichtbar. Darin sind die Informatio-



Schwarz wie die Nacht und mit hohem Fleckenpotenzial: ein Ferrofluidtropfen auf einem Objektträger

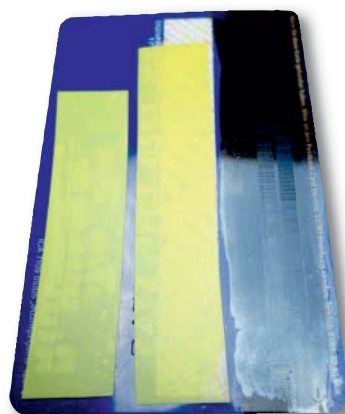
Makroaufnahme zweier Magnet Spuren auf einem Bahnticket



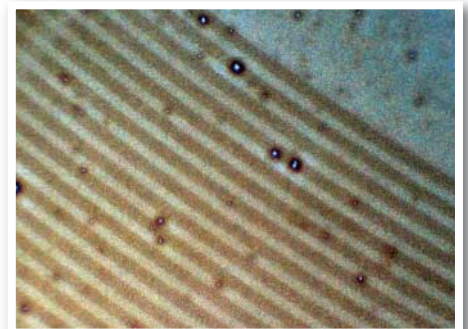
Drei Tropfen der magnetischen Flüssigkeit auf dem Magnetstreifen eines Bahntickets offenbaren mehrere Magnet Spuren.

TIPP

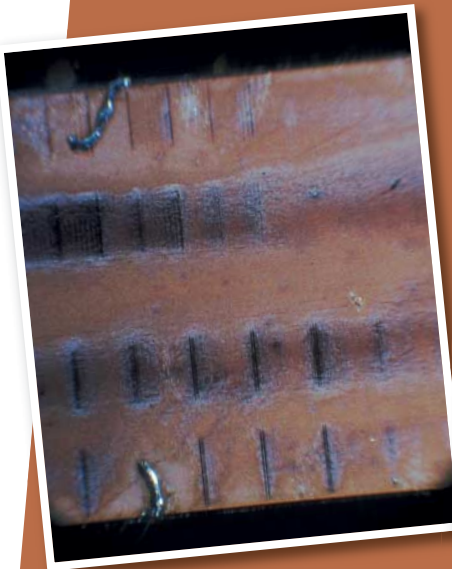
Weicheisenspäne sind mit ihrer Länge von 100 bis 500 Mikrometer viel zu groß, um auf die kleinen Strukturen zu reagieren.



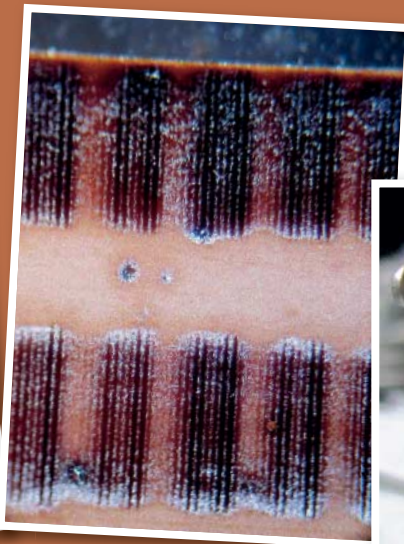
Auf dieser Kreditkarte sind nur zwei der drei vorhandenen Spuren beschrieben.



Auf einer Floppy-Disk sind die konzentrischen Kreise zu erkennen.



Auf dem Kassettenband sind vier Spuren zu sehen, zwei Stereo-Kanäle für die Hinspur und zwei Stereo-Kanäle für die Rückspur.



Die Stereotonspur eines Kassettenbandes im Detail



Der Luftspalt eines Schreib-Lesekopfs eines Stereo-Kassettenrekorders zum Beschreiben eines Magnetbandes ist nur wenige μm breit.



Zum Größenvergleich: übliche Eisenspäne und ein mit Ferrofluid sichtbarer Magnetstreifen

nen für den linken und rechten Stereokanal abgelegt. Ihre Breite und ihr Abstand entspricht genau den Ausmaßen der Eisenkerne im Lesekopfs eines Kassettenrekorders (oben im Bild).

Auch die Struktur eines VHS-Bandes eines Videorekorders wird mit der magnetischen Flüssigkeit sichtbar. Am Rand zeichnet sich das Stereotonpaar ab, jeweils $350\ \mu\text{m}$ breit. Die Modulation der Magnetisierung ist ebenfalls zu erkennen. Leicht geneigt in einem Winkel von 6° verlaufen die Videospuren. Die Spuren sind mit $50\ \mu\text{m}$ genauso breit wie die Zwischenräume.

Was früher die Eisenspäne waren, um die Feldlinien von Hufeisenmagneten sichtbar zu machen, ist heute eine Suspension aus Nano-Eisenoxid-Kristalliten. Ein Tropfen genügt, um die Struktur von Magnetdaten sichtbar zu machen. Theoretisch sollte es damit auch gelingen, die Information optisch auszulesen und zu einem Datensatz zu rekonstruieren – wenn man genügend viele Mikroskopaufnahmen zu einem Gesamtbild zusammenfügt.

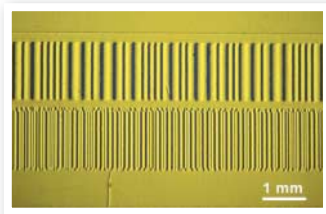
Wenn Sie eigene Versuche mit der magnetischen Flüssigkeit machen: im Prinzip bleiben die Karten nach dem Auftragen der magnetischen Flüssigkeit intakt. Sehr wahrscheinlich versagt eher der elektromagnetische Wiedergabekopf durch Verschmutzung. Darauf ankommen lassen sollte man es besser nicht. Damit sich etwa die Schranke an der Ausfahrt des Parkhauses weiterhin öffnet,

muss nämlich nicht nur die Karte funktionieren, sondern auch das Auslesegerät.

Selbermachen

Der wichtigste Bestandteil von Ferrofluiden sind Eisen- oder Nickeloxid-Kristallite, die sich im Magnetfeld ausrichten. Früher wurden die Nanokristallite in großen Mengen für die Herstellung von Magnetbändern verarbeitet. Dass aber ein Tonband kein Ferrofluid ist, liegt eigentlich nur am Trägermaterial. Die Teilchen sind auf ihm fixiert und können sich nicht verschieben. Auch wenn die Eisenpartikel die magnetischen Eigenschaften der Flüssigkeit prinzipiell bestimmen, machen sie doch nur ein Zehntel der Menge der Substanz aus. Den Hauptanteil bilden Öl und oberflächenaktive Substanzen. Sie sorgen dafür, dass die Nanopartikel Nanopartikel bleiben und nicht zu größeren Strukturen zusammenklumpen.

Daraus ergibt sich praktischere Weise auch das Rezept, um Ferrofluide selbst herzustellen. Zunächst löst man ein altes Tonband in Aceton auf (Sicherheitshinweise beachten). Anschließend steckt man einen Magneten in eine kleine Papiertüte und hält die Tüte in die Acetonlösung. Die Tüte sollte nicht aus Plastik sein, sonst erleidet sie nämlich das gleiche Schicksal wie die Trägerfolie. Die magnetischen Partikel bleiben an der Tüte haften, die man einfach in ein Gefäß abstreifen kann.



Magneto-optische Aufnahme der magnetischen Struktur eines Magnetstreifens auf einer EC-Karte (Aufnahme mit CMOS-MagView)

Quelle: Wikipedia, CC BY-SA 3.0

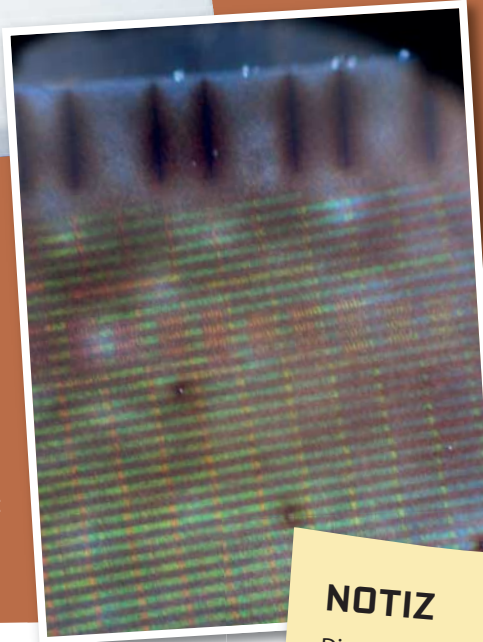


Bei einer magnetischen Schlüsselkarte, wie sie etwa in Hotels verwendet wird, ist nur eine Spur beschrieben.

Die Makroaufnahme des Magnetstreifens einer mit Ferrofluid behandelten Kreditkarte zeigt die „Bits“.



Auf dem VHS-Band sind gut die um sechs Grad versetzten Spuren zu erkennen. Oben ist die Kontrollspur zu sehen.



NOTIZ

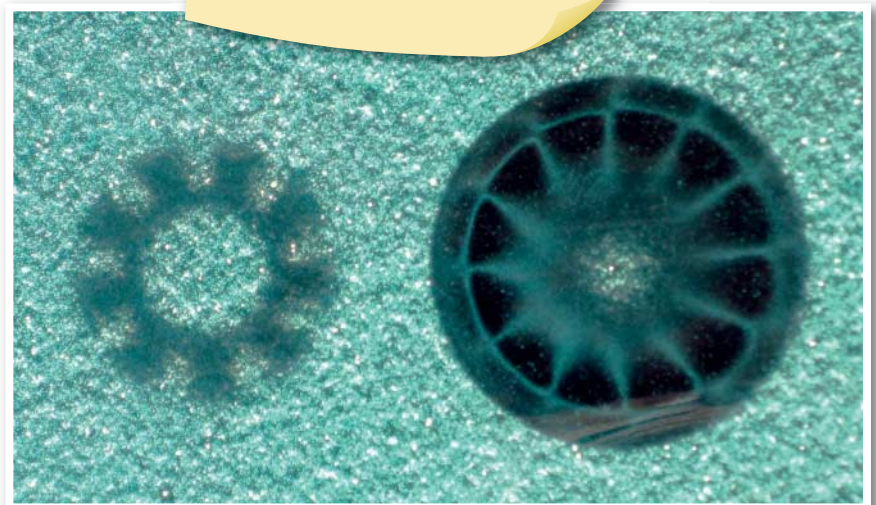
Die ersten Kassettenrekorder waren Einkanal-Geräte (Mono). Damit auch sie die neuen Stereokassetten abspielen konnten, sah die Norm zwei nebeneinander liegende Stereo-Spuren vor. Bei den sogenannten 4-Spur-Bandgeräten waren die Spuren hingegen verschachtelt, um das Übersprechen zu verringern. Zwischen den beiden Spuren einer Abspielrichtung lagen die beiden Spuren der anderen Laufrichtung, wenn die Bänder gedreht wurden.

Dabei sollte man sehr vorsichtig sein, der ganze Versuch kann in einer großen Sauerrei inklusive unwiederbringlich verschmutzter Textilien enden.

Der Löse- und Abstreifvorgang wird so lange wiederholt, bis man genügend Pulver geerntet hat. Das Pulver wird nun mit Öl (Nähmaschinenöl, Speiseöl funktioniert möglicherweise auch) und Spülmittel aufgeschwemmt. Kommerzielle Produkte enthalten 30 Prozent Öl und 60 Prozent Detergenzien mit Wasser.

Alternativ zum Ferrofluid kann man Magnetfelder auch mit einer magnetischen Detektorfolie (auch Fluxdetektor genannt) sichtbar machen. Sie bildet quasi ein Mittelding zwischen Magnetbändern, bei denen die Teilchen fixiert sind, und Ferrofluiden, in denen sich die Teilchen frei bewegen können. Auch wenn eine Detektorfolie nicht so empfindlich auf Magnetfelder reagiert wie Eisenspäne, ist die Handhabung einfacher und sauberer.

Die Folie umschließt Nickel- oder Eisenflocken in submillimetergroßen Bläschen. Liegt ein äußeres Magnetfeld an, orientieren sich die Flocken in einer Blase entlang der Feldlinien. Schaut man senkrecht auf die Feldlinien, zeigt ein Teil der Flächen in Richtung des Beobachters. Sie reflektieren Licht und erscheinen hell. Blickt man aber entlang der Feldlinien, sieht man nur die Kanten der Flocken. Ein Magnetfeld senkrecht zur Folie färbt die Folie deshalb dunkel. Verläuft es parallel, erscheint sie hell. (dab)



Erst die magnetische Detektorfolie lässt das Funktionsprinzip eines bürstenlosen Motors erkennen: Der Rotor enthält 12 unterschiedlich magnetisierte Bereiche, die ihn durch das Wechselfeld der 3×3 Magnetspulen in Drehung versetzen.