

# Die Festplatte



# Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung
  
2. Technik und Aufbau
  - 2.1 Physikalischer Aufbau
  - 2.2 Logischer Aufbau
  
3. Schreib-/Leseverfahren
  
4. Kodierung
  - 4.1 Technische Notwendigkeit der Kodierung
  - 4.2 FM (Frequency Modulation)
  - 4.3 MFM (Modified Frequency Modulation)
  - 4.4 RLL (Run Length Limited)

# 1. Einleitung

Wer heutzutage mit einem handelsüblichen Computer arbeitet, verwendet meistens automatisch auch eine Festplatte (*hard disk drive* = **HDD**), welche neben der CPU oder der Grafikkarte ebenfalls eine wichtige Rolle in der Rechnertechnik einnimmt.

Im Gegensatz zum Hauptspeicher werden die Daten nicht in flüchtigen Speicherbausteinen (RAM) abgelegt, sondern auf magnetisierbaren Platten gespeichert. Dies hat den Vorteil, dass selbst nach dem Abschalten des Rechners die Daten weiterhin erhalten bleiben. Die Daten auf der Festplatte können nur durch ein starkes Magnetfeld, das die Polungen auf den Platten ändert, gelöscht werden.

Bei Festplatten selbst spielen verschiedene Faktoren eine Rolle. Im Wesentlichen lassen sich die Modelle durch die Kapazität, Zugriffszeit, Schnittstelle, Baugröße und Umdrehungsgeschwindigkeit charakterisieren.

Die ersten Versuche auf einem Medium etwas abzuspeichern waren bereits im Jahre 1878, als der Amerikaner Oberlin Smith versuchte elektrische Daten auf einem Stück Draht abzuspeichern.

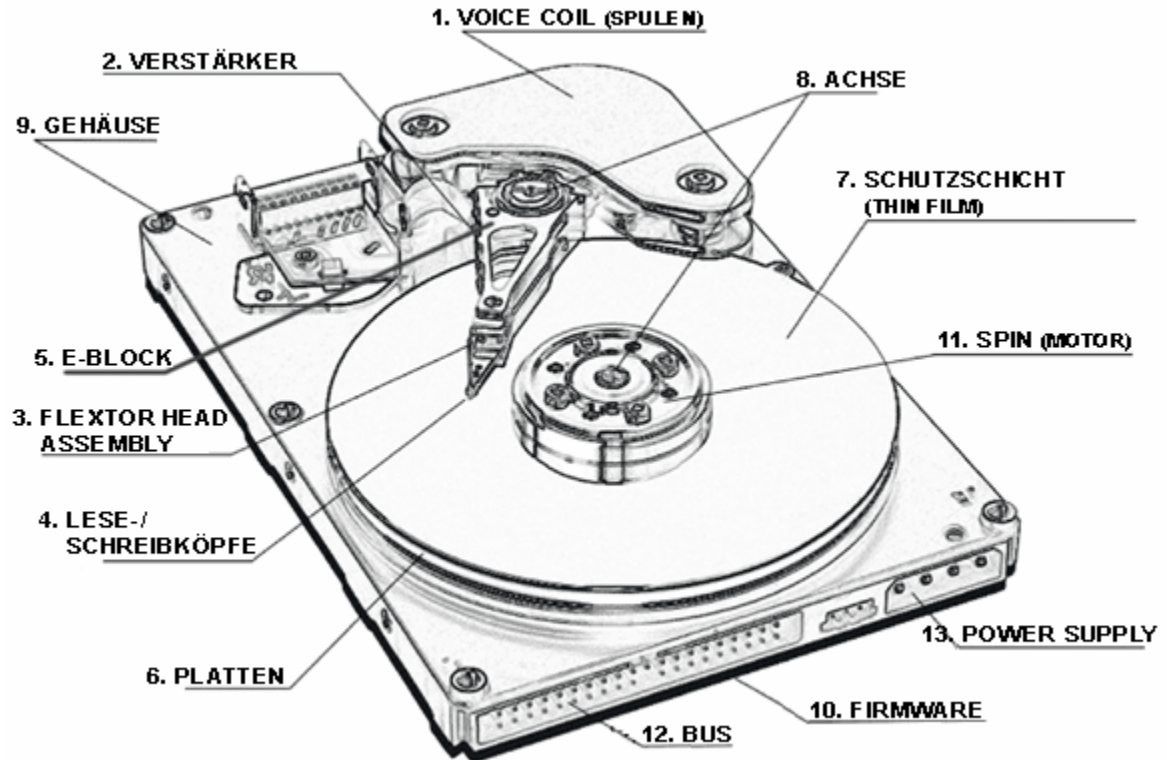
Zur gleichen Zeit versuchte Valdemar Poulsen in Dänemark ebenfalls Daten magnetisch abzuspeichern. Dies versuchte er mit einem um eine Trommel gewickelten Draht, der dann auch 1889 als Telefonanrufbeantworter diente.

Danach konzentrierten sich die Entwickler lange Zeit auf die Aufzeichnung mit Drähten und später auf Band. Bereits in den fünfziger Jahren des 20. Jahrhunderts gab es dann vereinzelt Trommelspeicher.

Die erste Festplatte wie wir sie kennen wurde von IBM am 4. September 1956 vorgestellt und bekam die Bezeichnung „IBM 350“. Sie war Bestandteil des ersten kommerziell erfolgreichen Computers „305 RAMAC“ von IBM und hatte ein Gewicht von ca. einer Tonne und eine Kapazität von ca. 5 Mbyte. Diese wurde auf 50 Platten zu je 24 Zoll (60cm) Durchmesser verteilt.

## 2. Technik und Aufbau

### 2.1 Physikalischer Aufbau



Eine Festplatte besteht aus folgenden Bauelementen:

- einer oder mehreren drehbar gelagerten Scheiben (Platter)
- einem Elektromotor als Antrieb für die Scheibe(n)
- bewegliche Schreib-/Leseköpfe (Heads)
- jeweils ein Lager für Scheiben (meistens hydrodynamische Gleitlager) sowie für die Schreib-/Leseköpfe (auch Magnetlager)
- einem Antrieb für die Schreib-/Leseköpfe
- der Steuerelektronik für Motor- und Kopfsteuerung
- Hochleistungs-DSP für die Schreib/Leseköpfe
- der Schnittstelle zur Verbindung mit dem Festplattencontroller (auf der Hauptplatine)
- einem Festplattencache von derzeit 2 bis 32 MB Größe.

## Scheiben (Platten):

Die Scheiben bzw. Platten sind fest auf einer Achse angebracht. Diese Achse wird über einen Elektromotor betrieben. Meist bestehen die Scheiben aus Glaskeramik oder Aluminium. Ihre Oberfläche ist mit einer magnetisierbaren Beschichtung versehen. Da diese besonders dünn sein soll, darf das Material der Scheiben selbst jedoch keine magnetischen Eigenschaften besitzen und dient nur als Träger der Magnetschicht. Auf dieser können die Daten letztendlich elektromagnetisch gespeichert werden.

Als abschließende Schicht wird mittlerweile häufig eine dünne Deckschicht aus diamantähnlichem Kohlenstoff verwendet, um mechanische Beschädigungen (Headcrash) zu vermeiden. Erstmals wurden solche Zusatzschichten bei Notebookfestplatten eingesetzt.

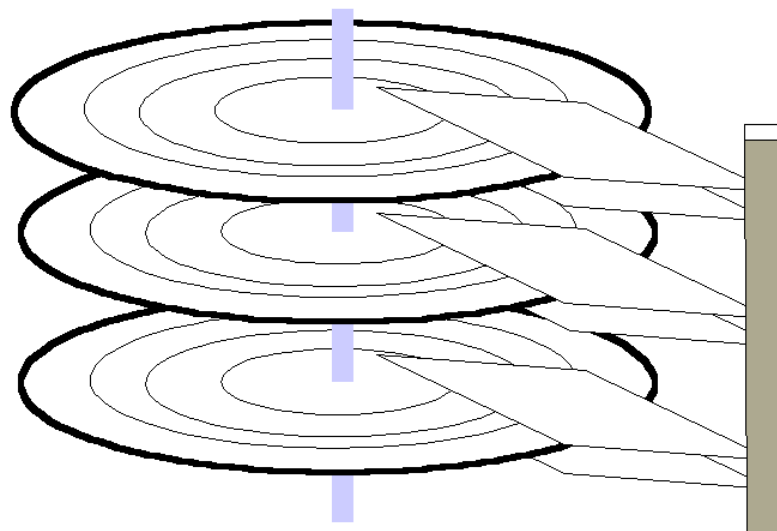
Die Scheiben werden von den Schreib-/ Leseköpfen beidseitig beschrieben und gelesen.

## Lese- / und Schreibköpfe:

Die Schreib- und Leseköpfe befinden sich auf der Ober- und Unterseite der einzelnen Platten. Sie sind fix an den Armen (E-Block) befestigt, weshalb sich immer die gesamte Armkonstruktion bewegt. Die Bewegung erfolgt durch Stromzufuhr einer Spule, welche am Ende des Arms angebracht ist. Das entstehende Magnetfeld bewegt den Arm je nach Stromrichtung des Magnetfelds in die erforderliche Richtung.

Die Synchronisation beider Köpfe wird durch das festplatteneigene Programm (Microcode) gewährleistet. Die Parameter dieses Programms werden bei der Herstellung zusammengefasst und sind für jede einzelne Festplatte individuell.

Aufgrund sehr hoher Rotationsgeschwindigkeiten bildet sich zwischen Plattenoberfläche und Kopf ein Luftpolster, so dass der Kopf im Abstand von einem Mikrometer auf diesem Polster über der Platte schwebt. So erklärt sich auch die Stoßempfindlichkeit von Festplatten im Betrieb.



## **Achsen:**

Die Festplatte besteht aus zwei Achsen. Die der Scheiben (Platten) und die Achse der Schreib-/ Leseköpfe.

Die momentane Rotationsgeschwindigkeit von Festplatten in Arbeitsplatzrechnern oder Privat PCs liegt – abhängig von der verwendeten Schnittstelle (ATA,SATA,SCSI,SAS) – bei 5.400 bis 10.000 Umdrehungen pro Minute. Vor der Zeit der ATA-Festplatten und im Bereich der Hochleistungsrechner und Server wurden bisher überwiegend Festplatten mit den technisch überlegenen SCSI-, FC- oder SAS-Schnittstellen verwendet, die inzwischen in der Regel 10.000 oder 15.000 Umdrehungen pro Minute erreichen. Bei den 2,5-Zoll-Festplatten, die hauptsächlich in Notebooks zum Einsatz kommen, liegen die Geschwindigkeiten im Bereich von 4.200 bis 7.200 Umdrehungen pro Minute.

## **Chassis (Gehäuse)**

Das Gehäuse einer Festplatte ist sehr massiv, es ist meist ein aus einer Aluminiumlegierung bestehendes Gussteil und mit einem Edelstahl-Blechdeckel versehen. Es ist staub-, aber nicht luftdicht abgeschlossen: Durch eine mit einem Filter versehene kleine Öffnung kann bei Temperaturänderungen oder anders verursachten Luftdruckschwankungen Luft ein- oder austreten, um so die Druckunterschiede auszugleichen.

Wird eine Festplatte in normaler, verunreinigter Luft geöffnet, sorgen bereits kleinste Staub-/Rauchpartikel, Fingerabdrücke etc. für wahrscheinlich irreparable Beschädigungen der Plattenoberfläche und der Schreib-/Leseköpfe.

Um das Eindringen von Staubpartikeln auszuschließen, werden Festplatten in staubfreien Räumen hergestellt und luftdicht verschlossen oder mit einem feinen Filter vor Staub geschützt. Vor jeglichem Transport sollten Festplatten unbedingt „geparkt“ werden. Bei diesem Vorgang, der bei modernen Festplatten automatisch bei Trennung vom Stromnetz erfolgt (Autopark-Funktion), werden die Schreib-/Leseköpfe in einen Plattenbereich gefahren, der keinerlei Daten enthält. Hier können die Köpfe ohne Gefahr auf der Platte landen („landing zone“). Zusätzlich werden die Köpfe in dieser Parkposition arretiert, so dass eine Zerstörung bei einigermaßen pfleglicher Behandlung ausgeschlossen werden kann. Besonders interessant ist die Autopark-Funktion: Vom Netz getrennt, kommt die Platte aufgrund ihrer Schwungmasse erst nach einiger Zeit zum Stillstand. Ein Generator erzeugt aus dieser Restrotation Strom, der benutzt wird, um die Köpfe in eine ungefährliche Position zu fahren.

## **2.2 Logischer Aufbau einer Scheibe:**

Damit der Computer die Festplatte ansprechen kann, muss diese in Bereiche eingeteilt werden. Im Computerbereich spricht man hier von „logischer Einteilung“.

Die Magnetscheibe besteht aus vielen einzelnen Spuren, welche konzentrisch angelegt sind. Die Gesamtheit aller gleichen, d. h. übereinander befindlichen, Spuren der einzelnen Platten nennt man Zylinder.

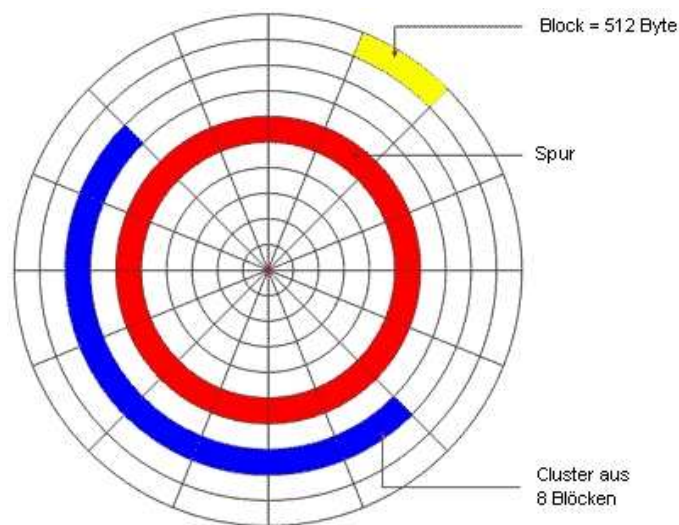
Zusätzlich ist jede Spur in kleine logische Einheiten mit einer Größe von 512 Byte unterteilt, die man Blöcke nennt. Diese verfügen dabei über Kontrollinformationen

(Prüfsummen), über die sichergestellt wird, dass die Information auch korrekt geschrieben oder gelesen wurde. Die Gesamtheit aller Blöcke, welche die gleichen Winkelkoordinaten auf den Platten haben, nennt man Sektor.

Der Aufbau eines speziellen Festplattentyps, das heißt, die Anzahl der Spuren, Oberflächen und Sektoren, wird auch als Festplattengeometrie bezeichnet.

Da manche Betriebssysteme zu früh an Grenzen stießen, als die Nummerierung der Blöcke bei steigenden Festplattenkapazitäten die Wortgrenze (16 Bit) überstieg, führte man Cluster ein. Das sind Gruppen von jeweils einer festen Anzahl an Blöcken (z. B. 32), die sinnvollerweise physisch benachbart sind. Das Betriebssystem spricht dann nicht mehr einzelne Blöcke an, sondern verwendet auf seiner (höheren) Ebene diese Cluster als kleinste Zuordnungseinheit. Erst auf Hardwaretreiber-Ebene wird dieser Zusammenhang aufgelöst.

Abhängig vom Dateisystem (NTFS, FAT) mit dem eine Partition formatiert wird, kann die Organisation von Blöcken und Clustern variieren.



## Partitionen als Laufwerke

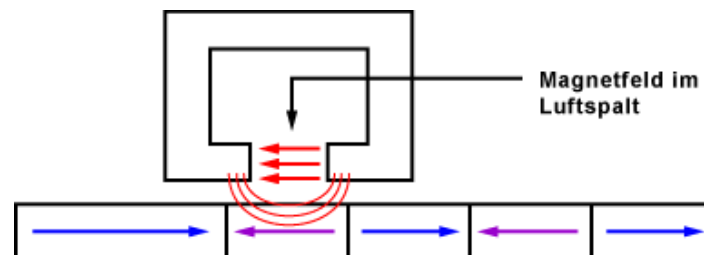
Aus Sicht des Betriebssystems können Festplatten durch Partitionierung in mehrere Bereiche unterteilt werden. Das sind keine echten Laufwerke, sondern werden vom Betriebssystem als solche dargestellt. Man kann sie sich als virtuelle Festplatten vorstellen, die durch den Festplattentreiber dem Betriebssystem gegenüber als getrennte Geräte dargestellt werden. Abgesehen von zeitlichen Effekten sowie dem Verhalten im Falle des Festplattenausfalls ist nicht erkennbar, ob es sich um eine physikalisch getrennte Festplatte oder lediglich um ein logisches Laufwerk handelt.

Jede Partition wird vom Betriebssystem gewöhnlich mit einem Dateisystem formatiert. Unter Umständen werden, je nach benutztem Dateisystem, mehrere Blöcke zu Clustern zusammengefasst, die dann die kleinste logische Einheit für Daten sind, die auf die Platte geschrieben werden. Das Dateisystem sorgt dafür, dass Daten in Form von Dateien auf die Platte abgelegt werden können. Ein Inhaltsverzeichnis im Dateisystem sorgt dafür, dass Dateien wieder gefunden werden und hierarchisch organisiert abgelegt werden können. Der Dateisystem-Treiber verwaltet die belegten, verfügbaren und defekten Cluster. Ein Beispiel für ein Dateisystem ist das (von MS-DOS und Windows 9x ausschließlich unterstützte) FAT-Dateisystem.

### 3. Schreib-/Leseverfahren

Das Schreiben auf Festplatten funktioniert, indem kleinste Flächen auf der Scheibe magnetisiert werden. Diese nehmen entsprechend Ihrer Polarität den elektronisch-binären Wert 0 oder 1 an.

Anhand einer stromdurchflossenen Spule, die sich in den Schreib-/Leseköpfen befindet, entsteht ein Magnetfeld, welches die Stellen unterhalb des Kopfes (auf den Scheiben) magnetisiert.



Beim Lesen induzieren die kleinen magnetischen Bereiche ein Magnetfeld in der Spule des Kopfes. Es wird eine Spannung induziert. Diese wird verstärkt und als Datenstrom ausgelesen.

Vor dem Schreiben werden die Daten mittels spezieller Verfahren, wie den früher üblichen GCR, MFM, RLL und heute üblichen PRML oder EPRML, kodiert.

Ein Bit der Anwenderdaten entspricht daher physikalisch nicht unmittelbar einem magnetischen Flusswechsel auf der Plattenoberfläche.

Während des Lesens von der Festplatte wird dieser binäre Wert dekodiert und dann an den Prozessor des Computers gesendet. Die Kodierung muss der Festplattencontroller vornehmen, zusammen mit dem Verwalten der Daten (Organisation der Daten in Blöcke) und dem Führen des Schreib-/Lesekopfes über die Spuren.

Da auch Festplatten nie hundertprozentig gleich laufen, müssen zusätzlich zu den Daten so genannte Taktinformationen gespeichert werden. Diese sichern, dass immer mit gleicher Geschwindigkeit gelesen und geschrieben wird, indem etwaige Abweichungen durch eine Änderung der Drehzahl korrigiert werden.

Beim Schreiben, wie auch beim Lesen von der Festplatte, muss der Schreib-/Lesekopf an einen bestimmten Block der Scheibe bewegt werden und dann abgewartet werden bis der Block durch die Rotation am Schreib-/Lesekopf vorbeigeführt wird.

Dies führt zu Verzögerungen zwischen 5 und 10 ms beim Festplattenzugriff. Um eine hohe Leistung zu erreichen, muss eine Festplatte, soweit möglich, immer große Mengen von Daten in aufeinander folgenden Blöcken lesen oder schreiben, weil dabei der Schreib-/Lesekopf nicht neu positioniert werden muss.

Dies wird unter anderem dadurch erreicht, dass möglichst viele Operationen im RAM durchgeführt und auf der Platte die Positionierung der Daten auf die Zugriffsmuster abgestimmt werden. Dazu dient vor allem ein großer Cache als Teil der Festplattenelektronik, auf dessen Inhalt mit RAM-Geschwindigkeit zugegriffen werden kann.

Die mittlere Zugriffszeit einer Festplatte errechnet sich aus der Zeit, die für eine halbe Umdrehung gebraucht wird.

Beispiel:

Eine Festplatte hat eine Umdrehungsgeschwindigkeit von 7.200U/min.

Daraus errechnet sich eine mittlere Zugriffszeit von 4,2 ms.

Bei einer Umdrehungsgeschwindigkeit von 5.400U/min wären es 5,8 ms.

## 4. Kodierung

Digitale Information wird auf Massenspeichern magnetisch, d.h. als eine Serie von Magnetfeldern gespeichert. Die Bitfolgen (,1' bzw ,0') werden dabei als eine Serie von Magnetfeldern (Nordpolen' und ,Südpolen'), die durch einen Schreibkopf (Elektromagnet) auf dem magnetischen Medium generiert werden.

### 4.1 Die technische Notwendigkeit für die Codierung / Decodierung

Obwohl es prinzipiell einfach erscheint Digitalinformation (0 und 1) als N-S bzw. S-N Magnetfelder darzustellen, ist die Realität komplexer. Eine direkte Zuordnung ist nicht möglich und spezielle Techniken müssen implementiert werden um ein korrektes Schreiben und Lesen zu ermöglichen. Im Prinzip gibt es dafür drei Gründe:

- **Magnetische Polarität:** Schreib- / Leseköpfe können nicht direkt die Polarität von Magnetfeldern messen, sondern vielmehr feststellen wenn sich die magnetische Polarität ändert (z.B. Flussänderungen von N-S Polarität zu S-N Polarität). Dies hängt mit dem elektrischen Induktionsgesetz zusammen wonach ein Strom in einer Spule nur dann erzeugt wird, wenn sich der Magnetfluss durch die Spule ändert.
- **Synchronisation:** Ein weiteres Problem bei der Speicherung von Daten auf Festplatten ist, dass man feststellen kann wo ein Bit endet und das nächste beginnt. Dies ist besonders bei einer Folge von gleichartigen Bits (Einsen oder Nullen) schwierig.
- **Trennung magnetischer Felder:** Die Speicherung von Digitalinformation kann man sich als eine Aneinanderreihung von Einzelmagneten vorstellen. Gleichartig polarisierte aneinander gereihte kleine Magneten (z.B. N-S) beeinflussen sich gegenseitig, d.h. ihre Wirkung addiert sich. Bei einer entsprechend hohen Zahl (Folge von Einsen oder Nullen) könnte durch das relativ kräftige Magnetfeld z. B. Daten auf benachbarten Spuren beeinflusst, d.h. gelöscht werden.

Die oben genannten Aspekte müssen bei der Codierung auf Festplatten berücksichtigt werden, wenn man zuverlässig Daten schreiben und zurück lesen will. Bei der Codierung muss der magnetische Flusswechsel und nicht die absolute magnetische Feldstärke im Vordergrund stehen. Darüber hinaus muss die Anzahl der aneinander gereihten und gleich polarisierten magnetischen Feldelemente auf

ein Minimum beschränkt werden und es muss eine entsprechende Synchronisation hinzugefügt werden, die das Auffinden jedes einzelnen Bits unterstützt.

Weiterhin lässt natürlich das magnetische Medium nur eine beschränkte Anzahl von Ummagnetisierungen pro Längeneinheit der Spur zu (Schreibdichte). Diese Einschränkung limitiert die Anzahl der speicherbaren Bits auf der Plattenoberfläche. Die zusätzlichen Ummagnetisierungen für Synchronisationszwecke gehen natürlich für die Datenspeicherung verloren. Die Reduzierung der Anzahl von Ummagnetisierungen für die Synchronisation hat deswegen bei der Codierung höchste Priorität.

#### 4.2 Kodierungsverfahren: FM (Frequency Modulation)

Dies war das erste gebräuchliche Kodierungsverfahren für magnetische Medien. Bei diesem einfachen Verfahren wird eine digitale Eins durch zwei aufeinanderfolgende Ummagnetisierungen aufgezeichnet (Anfang des Bits und Mitte des Bits) und eine digitale Null durch eine Ummagnetisierung (Anfang des Bits).

Die folgende Tabelle zeigt das Kodiermuster für FM (R = flux reversal oder Ummagnetisierung, N = no flux reversal oder keine Ummagnetisierung). Die Anzahl der Ummagnetisierungen wurde durch die Synchronisationsanforderungen gegenüber der abzuspeichernden Information erhöht. Dies ist durch den Faktor 1,5 reflektiert.

Bit Muster	Kodierungsmuster (Anfang / Mitte Bit)	Ummagnetisierungen pro Bit	Bitmusteranteil im Zufalls-Bitstrom
0	RN	1	50%
1	RR	2	50%
<b>Durchschnittsfaktor gegenüber normalem Bitstrom</b>		1,5	100%

Beispiel:

Ein Byte von Nullen wird auf dem magnetischen Medium durch **8** Ummagnetisierungen wie folgt abgelegt: RNRNRNRNRNRNRNRN

Ein Byte von Einsen wird auf dem magnetischen Medium durch **16** Ummagnetisierungen wie folgt abgelegt: RRRRRRRRRRRRRRRRRR

FM geht mit der Speicherkapazität des Mediums sehr verschwenderisch um. Dieses Verfahren wurde bei den ersten Floppy Disk Laufwerken eingesetzt (Single Density floppy disks: 70/80er Jahre).

Das FM Verfahren wurde durch das MFM (Modified Frequency Modulation) Verfahren abgelöst bevor der IBM PC eingeführt wurde.

### 4.3 Kodierungsverfahren: MFM (Modified Frequency Modulation)

MFM verbessert das FM Verfahren indem es die Anzahl der durch den Takt (Synchronisation) bedingten Ummagnetisierungen reduziert. Anstatt eine Ummagnetisierung zu Beginn jedes Bit einzufügen, geschieht dies nur bei aufeinander folgenden Nullen. Bei den Einsen geschieht die Ummagnetisierung in der Mitte des Bits. Wenn einer Null eine Eins vorausging wird die zu dieser Eins gehörige Ummagnetisierung bei der Kodierung mit berücksichtigt, d.h. die Historie wird bei diesem Verfahren vorteilhaft mit einbezogen. Lediglich lange Sequenzen von Nullen müssen durch zusätzliche Ummagnetisierungen beim jeweiligen Bitübergang kodiert werden.

Die folgende Tabelle zeigt das Kodiermuster für MFM (R = flux reversal oder Ummagnetisierung, N = no flux reversal oder keine Ummagnetisierung). Die Anzahl der Ummagnetisierungen wurde gegenüber der abzuspeichernden Information verringert (Faktor 0,75).

Bit Muster	Kodierungsmuster (Anfang / Mitte Bit)	Ummagnetisierungen pro Bit	Bitmusteranteil im Zufalls-Bitstrom
0 mit vorausgehender 0	RN	1	25%
0 mit vorausgehender 1	NN	0	25%
1	NR	1	50%
<b>Durchschnittsfaktor gegenüber normalem Bitstrom</b>		0,75	100%

Da die durchschnittliche Anzahl von Ummagnetisierungen pro aufzuzeichnendes Bit gegenüber FM um die Hälfte reduziert wurde, kann der Aufzeichnungstakt für das kodierte Muster verdoppelt werden was zur doppelten Speicherkapazität bei der gleichen Aufzeichnungsdichte führt. Der dafür etwas gestiegene Aufwand für die Kodier-/Dekodierlogik stellt allerdings für die Prozessorentwicklung kein großes Problem dar.

Die MFM Kodierung wurde für die ersten hard disks als auch für floppy disks verwendet. Da das MFM Verfahren die Kapazität von floppy disks nahezu verdoppelt wurden die entsprechenden floppy disks auch mit „double density“ bezeichnet. Für floppy disks ist das MFM Verfahren noch heute gebräuchlich. Für hard disks wurde es durch die effizientere RLL (Run Length Limited) Kodierung ersetzt.

#### 4.4 Kodierungsverfahren: RLL (Run Length Limited)

Dieses gegenüber FM und MFM fortgeschrittene Kodierverfahren stellt eigentlich eine ganze „Familie“ dar, da zwei weitere Parameter festlegen wie das Verfahren im Detail arbeitet.

Bei FM herrscht eine direkte Zuordnung zwischen dem zu kodierenden Bit und der Ummagnetisierung des Mediums. MFM nimmt zusätzlich die Historie der Ummagnetisierungen zu Hilfe wodurch die Speicherkapazität erhöht werden kann. Im Gegensatz dazu werden bei RLL im Gegensatz zu Einzelbits ganze Gruppen von Bits betrachtet. Die Idee ist, aus dem Takt und den Daten resultierenden Anforderungen für die Ummagnetisierung zu kombinieren und dadurch die Packungsdichte zu erhöhen. Durch folgende Parameter wird RLL näher festgelegt:

- Run Length
- Run Limit

„Run“ steht dabei für eine Sequenz von Elementen (Bits) im Datenstrom ohne Ummagnetisierung. Run Length ist die minimale Anzahl von Elementen zwischen zwei Ummagnetisierungen. Run Limit ist die maximale Anzahl. RLL (2,7) steht demzufolge für Run Length 2 und Run Limit 7.

Wie bereits oben erwähnt, darf die Zeit zwischen den Ummagnetisierungen nicht zu lange werden damit der Lesekopf die Synchronisierung nicht verliert und damit die Einzelbits nicht mehr korrekt erkennen / zuordnen kann.

Die folgende Tabelle enthält diejenigen Bitmuster, die bei RLL(2,7) als Einheiten betrachtet werden, und deren Kodierung in Form von Ummagnetisierungen ("R" = Reversal, "N" = No Reversal)

Bit Muster	Kodierungsmuster (Anfang / Mitte Bit)	Ummagnetisierungen pro Bit	Bitmusteranteil im Zufalls-Bitstrom
11	RNNN	1/2	25%
10	NRNN	1/2	25%
011	NNRNNN	1/3	12,5%
010	RNNRNN	2/3	12,5%
000	NNNRNN	1/3	12,5%
0010	NNRNNRNN	2/4	6,25%
0011	NNNNRNNN	1/4	6,25%
<b>Durchschnittsfaktor gegenüber normalem Bitstrom</b>		0,4635	100%

Der Controller zerlegt den zu kodierenden Bitstrom in Bitgruppen entsprechend der obigen Tabelle. Das Byte "10001111" (8Fh) zum Beispiel zu "10-0011-11" zerlegt und als "NRNN-NNNNRNNN-RNNN" kodiert. Jede kodierte Bitgruppe endet mit "NN", d. h. die minimale Anzahl von Elementen zwischen zwei Ummagnetisierungen ist wirklich zwei.

Die maximale Anzahl von Elementen würde mit aufeinander folgenden "0011" – Mustern erreicht, die kodiert "NNNNRNNN-NNNNRNNN" ergeben, d.h. sieben Elemente ohne Umkodierung (RLL2,7).

Wenn man die Tabelle mit denen von FM und MFM vergleicht, stellt man eine erhöhte Komplexität fest. Sieben verschiedene Bitmuster werden verwendet und bis zu vier Bits werden gleichzeitig kodiert. Die durchschnittlichen Ummagnetisierungen pro Bit betragen ca. 0,50 (1/3 von FM, 2/3 von MFM). Deswegen findet bei RLL(2,7) gegenüber von FM der gleiche Datenumfang auf einem Drittel des Speicher platz.

Wegen der höheren Speicherplatzeffektivität hat die RLL – Kodierung die MFM – Kodierung außer bei floppy disks überall ersetzt. MFM wird nur aus Kompatibilitätsgründen weiterverwendet.

## **4.5 Zusammenfassung Kodier- / Dekodierverfahren**

### **Grundlagen / Zweck**

- Digitalinformation (Bitstrom) wird in Form von magnetisierten Elementen auf der Hard Disk gespeichert
- Aus technischen Gründen wird beim Lesen / Schreiben der Information vor allem die Änderung des Magnetflusses (Ummagnetisierung) genutzt und nicht die Stärke der Feldstärke selbst
- Zur Reduzierung der gegenseitigen Beeinflussung muss die Anzahl der aneinander gereihten und gleichartig polarisierten magnetischen Elemente auf ein Minimum reduziert werden
- Für das korrekte Auffinden der einzelnen Bits muss Information zur Synchronisation hinzugefügt werden

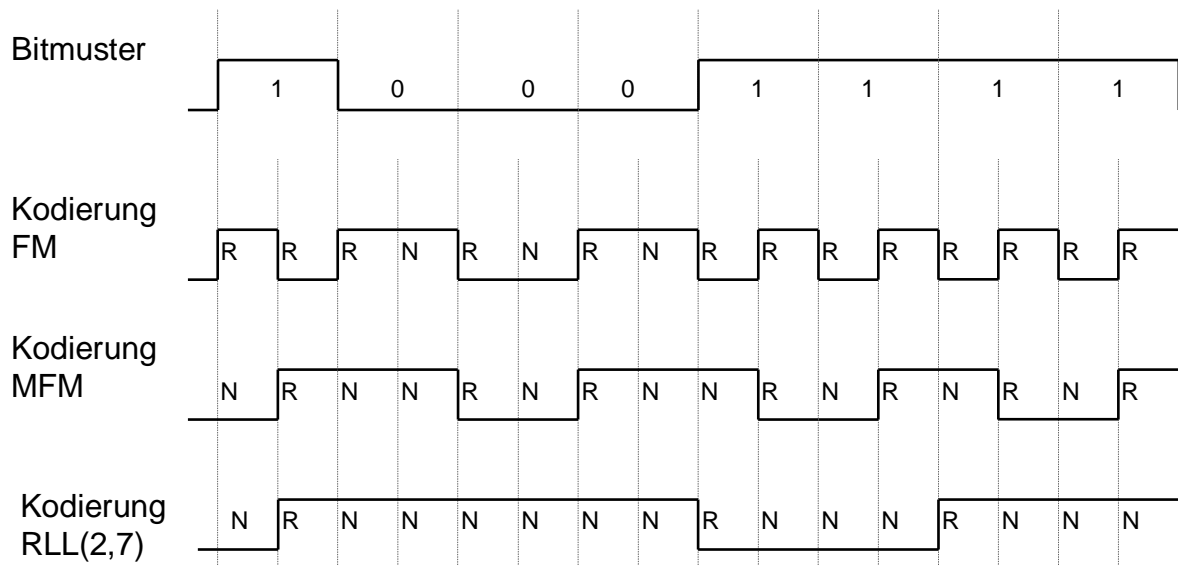
## Kodierungsverfahren

Die folgende Tabelle enthält eine Zusammenfassung der Kodierungsverfahren und ihrer jeweiligen Eigenschaften.

	<b>FM</b>	<b>MFM</b>	<b>RLL(2,7)</b>
<b>Kennzeichen</b>	Direkte Zuordnung von Einzelbits zu Kodierung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zuhilfenahme der Historie</li> <li>• vorheriges Bit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kodierung Gruppen von Bitfolgen</li> <li>• 4 Bit Gruppen</li> </ul>
<b>Einsatz</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Floppy Disk</li> <li>• Single Density</li> </ul>	Floppy Disk Double Density	Hard Disk
<b>Durchschnittliche Ummagnetisierungen pro Bit (Zufallsdatenstrom)</b>	1,5	0,75	0,46
<b>Speicherkapazität relativ zu FM</b>	1	2	3

## Zeitdiagramm für FM / MFM / RLL(2,7)

Das folgende Diagramm zeigt die Kodierung des Bytes „10001111“.



## Zeitdiagramm für FM / MFM / RLL - Kodierung des Bitmusters 8Fh