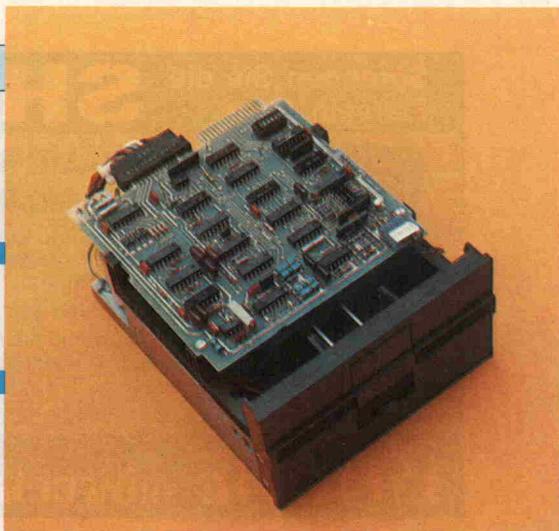


# Das Floppy-Laufwerk in Theorie und Praxis

Teil 3



Im dritten und letzten Teil unserer Serie über die Datenaufzeichnung auf Floppy-Disks besprechen wir die Anordnung der Daten auf der Diskette und die Programmierung der Schreib-/Leseoperationen.

Eberhard Meyer

Diese werden gesteuert und überwacht vom Floppy-Disk-Controller (FDC), der in aller Regel im Rechner eingebaut ist (siehe Bild 11). Der FDC erzeugt Signale wie 'Laufwerk-auswahl', 'Kopf laden', 'Spur wechseln' für das Floppy-Disk-Laufwerk.

Die Steuerelektronik des Laufwerks verrichtet Aufgaben wie: Ansteuerung des Schrittmotors, Regelung der Diskettendrehzahl und Verstärkung der Schreib-/Lesesignale. Sie ist also nur 'Handlanger' des FDC-Bausteins im Rechner, dessen Funktionen im folgenden beschrieben werden.

Zum Verständnis der Schreib-/Lesevorgänge ist die Kenntnis der Anordnung der Daten auf der Diskette erforderlich.

## Datenstruktur auf der Diskette

Disketten werden in Spuren und diese wiederum in Sektoren aufgeteilt, wie schon in Teil 1 der Serie beschrieben. Um Daten in die Sektoren schreiben zu können, bedarf es einer noch feineren Einteilung, die Bild 12 zeigt.

Oben im Bild ist das Indexsignal zu sehen, das das Diskettenlaufwerk erzeugt. Es zeigt den Beginn des ersten Sektors einer Spur an. Um mechanische Toleranzen im Laufwerk auszugleichen und dem Floppy-Disk-Controller (FDC) Zeit zu geben, die PLL seines Taktoszillators auf die Impulse von der Diskette zu synchronisieren, wird zunächst eine Lücke gelassen ('Gap' (engl.) = Lücke).

Der eigentliche Sektor beginnt mit einem 'ID-Record'. Dieser enthält zunächst ein Byte, an dem der Identifikationsblock erkannt werden kann. Es folgen die Spur- und Sektornummer des aktuellen Sektors. Er er-

möglicht dem Rechner zu verifizieren, ob der Schreib-/Lesekopf über der gewünschten Stelle auf der Diskette steht. Ein weiteres Byte gibt die Kapazität des Sektors an. Eine 00 an dieser Stelle bedeutet 128 Datenbytes netto, eine 01 256, eine 02 512 und eine 03 1024 Bytes. Um Lesefehler auszuschließen, wird der ID-Record durch zwei CRC-Bytes abgeschlossen. CRC steht für 'Cyclic Redundancy Check'. Dies ist eine Prüfsumme, die durch bitweises Verschieben aller zum ID-Record gehörenden Daten in einem Addierschaltwerk erzeugt wird. Beim Lesen der Diskette wird die Prüfsumme erneut errechnet und mit der auf der Diskette gefundenen verglichen. Falls die Summen nicht übereinstimmen, wird die Diskettenoperation abgebrochen.

Auf den ID-Record folgt eine weitere Lücke (GAP2). Sie ist vor allem für das Schreiben bedeutsam. In diesem Falle schaltet der Controller im Rechner erst jetzt auf den Schreibbetrieb um. Die Löschspulen im Laufwerk jedoch brauchen wegen ihrer Induktivität Zeit, bis eine ausreichende magnetische Induktion aufgebaut ist. Auch der PLL-Oszillator des Controllers braucht Zeit; er muß auf die Nennfrequenz einrasten.

Erst jetzt folgen die eigentlichen Daten. Das erste Byte im 'DATA FIELD RECORD' wird von heutigen Betriebssystemen kaum noch genutzt. Es

ermöglicht die Erkennung gelöschter Daten, das heißt freier Sektoren. Auf die Daten folgen wieder zwei Prüfsummen, die eine sehr gute Kontrolle auf Übertragungsfehler ermöglichen.

Der hier im Grundzug dargestellte Aufbau der Sektoren gilt auch für Disketten, die in doppelter Schreibdichte genutzt werden. Die Anzahl der Sektoren pro Spur und die Länge der Datenfelder sind jedoch bei vielen Rechnern unterschiedlich. Dies ist die bedeutendste Ursache für den häufig sehr schwierigen Datenaustausch zwischen Maschinen unterschiedlicher Hersteller.

Die Einteilung der Sektoren wird beim Formatieren auf die Diskette aufgebracht. Die Formatierung ist die Voraussetzung dafür, Disketten für den 'normalen' Datentransfer benutzen zu können.

## Die Programmierung des FDC

Der nun folgende Teil des Artikels wendet sich an Assemblerprogrammierer, die zum Beispiel in dem Betriebssystem ihres Rechners die Floppy-Disk-Ansteuerung einbauen oder ändern wollen.

Der Ausgangspunkt:

Das Betriebssystem will 128 Bytes (oder 256/512/1024 Bytes), die irgendwo im Speicher des Rechners stehen, auf die Diskette schreiben.

Bekannt sind:

- zu benutzendes Laufwerk
- derzeitige Kopfposition (Spur)
- gewünschte Spur/Sektor

Das Flußdiagramm (Bild 13) zeigt schematisch den Ablauf dieser Operation. Zunächst muß der Schreib-/Lesekopf über die Stelle gebracht werden, die beschrieben werden soll. Erst nachdem die Position anhand des ID-Records der Sektoren überprüft worden ist, kann das Schreiben beginnen.

Natürlich können genauso auch Daten von der Diskette in den Speicher gelesen werden. Als Beispiel zur Beschreibung der Diskettenoperationen wird im folgenden jedoch der Schreibbetrieb dargestellt. Die Funktionen im einzelnen:

## Die Positionierung

Die zur Positionierung des Schreib-/Lesekopfs über die gewünschte Spur erforderlichen Aktivitäten des Rechners sind im Bild 14 dargestellt.

Zunächst wird dem Controller die Position des zu beschreibenden Sektors und das gewünschte Laufwerk mitgeteilt. In der Regel werden dazu Spur- und Sektornummer in Register des FDC geschrieben.

Wenn nun der Befehl 'Suche' (SEEK) in das Kommandoregister geschrieben wird, führt der FDC die notwendigen Funktionen automatisch aus.

Das BUSY-Flag wird gesetzt. Dies ist ein Bit, das der Rechner durch Lesen des Statusbytes des FDC abfragen kann. Es zeigt an, daß der Controller gerade arbeitet. Nun wird das Laufwerk ausgewählt, gegebenenfalls der Spindelmotor eingeschaltet und geprüft, ob das

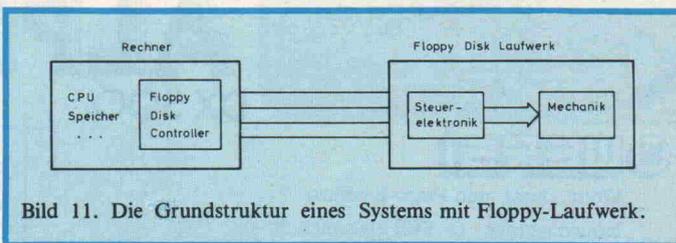


Bild 11. Die Grundstruktur eines Systems mit Floppy-Laufwerk.

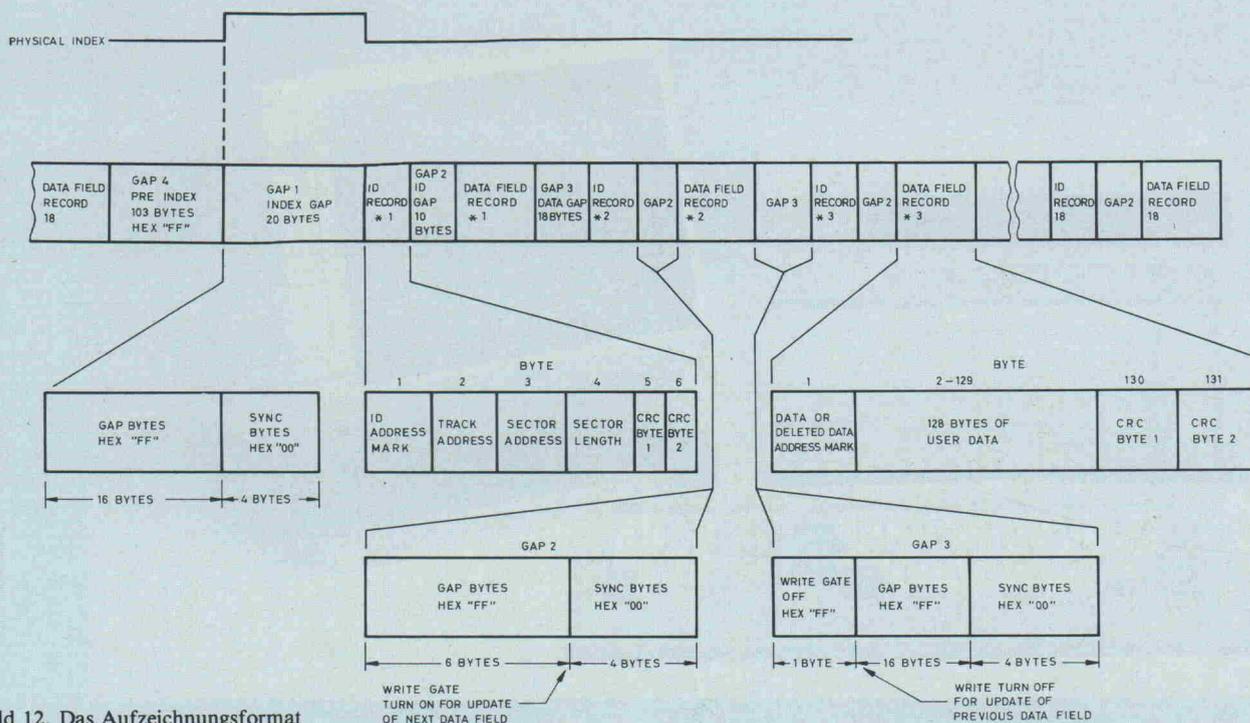


Bild 12. Das Aufzeichnungsformat auf der Diskette.

Laufwerk bereit ist, das heißt ob eine Diskette eingelegt ist.

Aus der bisherigen Kopfposition wird nun errechnet, wie viele Schritte erforderlich sind, um den Schreib-/Lesekopf über die gewünschte Spur zu bringen. Der FDC hat beim Ausgeben der Schrittimpulse jedoch keine Kontrolle darüber, ob die errechnete Position tatsächlich erreicht wurde. Es

könnte sich zum Beispiel der Kopf seit der letzten Diskettenoperation etwas verschoben haben, so daß die berechnete Schrittzahl nicht stimmte. Gewißheit bringt hier erst das Aufsetzen des Kopfes und Lesen eines ID-Records der Spur. Falls hierbei ein Fehler entdeckt wird, ist beim Abschluß der Seek-Operation ein Fehler-Bit im Statusregister des FDC gesetzt.

Doch zurück zu Bild 14, also den Funktionen, die der Rechner zur Kopfpositionierung ausführen muß. Sobald nach Ausgabe des SEEK-Befehls das Busy-Bit im Statusregister des FDC wieder zurückgesetzt worden ist, können die Fehler-Bits abgefragt und gegebenenfalls in die später beschriebene Fehlerroutine verzweigt werden. Anderenfalls kann nun der Datentransfer eingeleitet werden.

matisch. Vor Beginn der Operation hätte der Rechner dem Controller mitteilen können, ob eine 'DELETED DATA' Marke an dieser Stelle geschrieben werden sollte. Diese Möglichkeit wird aber von moderner Software selten genutzt.

Noch während die DATA-Marke geschrieben wird, fordert der FDC über ein Bit in seinem Statusregister ein Daten-Byte vom Prozessor an. Dieser liest das erste Datum aus dem zu übertragenden Block im Speicher und schreibt es in das Datenregister des FDC.

Der Controller setzt daraufhin sein Datenanforderungsbit wieder zurück. Erst wenn das soeben erhaltene Byte in das Aus-

### Das Schreiben

Nachdem die Nummer des zu beschreibenden Sektors an den FDC gegeben wurde, genügt ein einfacher WRITE-Befehl an das Kommandoregister, um den Datentransfer auszulösen (siehe Bild 15). Der FDC sucht bei geladenem Kopf den angegebenen Sektor, was bis zu einer Diskettenumdrehung dauern kann, also maximal 200 ms bei 5,25" oder 166 ms bei 8"-Laufwerken. Diese Wartezeit ist der Hauptfaktor für die begrenzte Ein-/Ausgabegeschwindigkeit von Floppy-Disk-Laufwerken.

Sobald der ID-Record (siehe Bild 12) des zu beschreibenden Sektors erkannt worden ist und der Kopf über GAP2 steht, wird auf Schreibbetrieb umgeschaltet. Das erste Byte des Datenfeldes erzeugt der FDC auto-

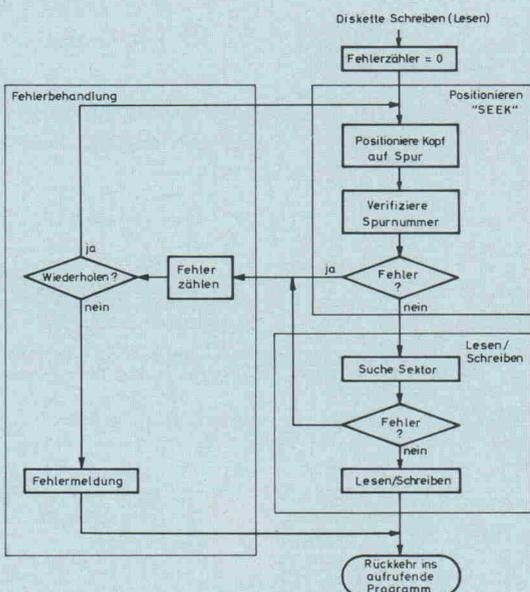


Bild 13. Grobes Flußdiagramm einer 'Floppy-Routine'

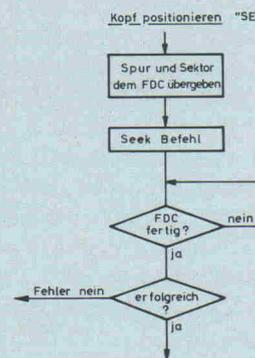


Bild 14. Die 'Seek'-Routine.

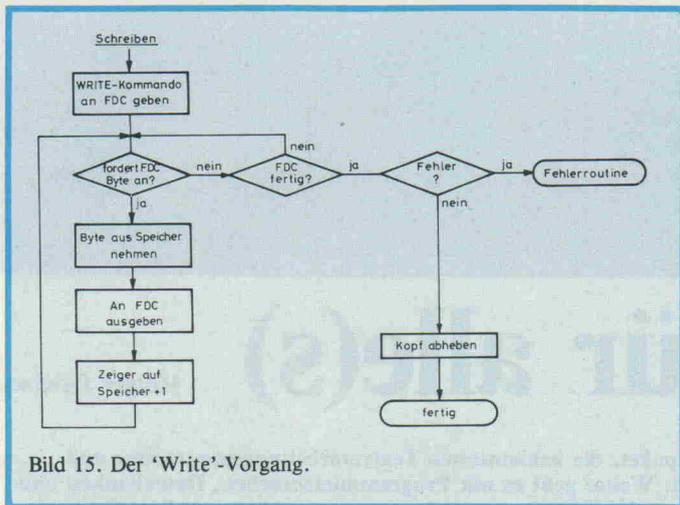


Bild 15. Der 'Write'-Vorgang.

gabeschieberegister des FDC's übertragen worden ist, wird ein neues angefordert.

Die Zwischenzeit verbringt der Prozessor in einer Warteschleife, in der der Status des Floppy-Controllers überwacht wird. Wenn alle 128 Bytes übertragen worden sind (dies erkennt der FDC), wird das Busy-Bit im Statusregister rückgesetzt, um der CPU das Ende der Operation anzuzeigen.

Die Erzeugung der CRC-Prüfsummen und das Abschalten des Schreibbetriebes erfolgen automatisch. Der Rechner braucht nun nur noch zu kontrollieren, ob ein Fehler aufgetreten ist; der gewünschte Sektor könnte zum Beispiel nicht gefunden worden sein. Wenn kein Fehlerbit gesetzt worden ist, kann das Floppy Ein-/Ausleseprogramm erfolgreich abgeschlossen werden. Das Abheben des Schreib-/Lesekopfes im Laufwerk wird vom Controller in der Regel automatisch nach circa zwei Sekunden ausgeführt.

### Die Fehlerroutine

Beim Schreiben — wie auch beim Positionieren — hätte jedoch einer der folgenden Fehler auftreten können:

- Die Diskette konnte nicht gelesen werden (fehlende Formatierung).
- Eine CRC-Prüfsumme stimmte nicht.
- Die errechnete Spur wurde nicht erreicht.
- Der gewünschte Sektor kann nicht gefunden werden.

Nicht jeder Fehler bedeutet gleich den Verlust von Daten.

Es kann leicht einmal vorkommen, daß zum Beispiel nur ein Staubkorn die gelesene Information verfälscht hat. In diesem Falle sollte die Disketten-Ein-/Ausgabe nicht gleich abgebrochen, sondern die Operation wiederholt werden. Viele Laufwerkshersteller empfehlen 10 Versuche (engl.: 'Retry'), bevor ein schwerer Fehler, 'Hard Error' gemeldet wird. 'Soft Error' nennt man Fehler, die bei Wiederholung der Operation nicht wieder auftreten. Dennoch: Eine Diskette, bei der häufig Soft-Errors auftreten, sollte baldmöglichst durch eine neue ersetzt werden.

Um einen definierten Abbruch bei Übertragungsfehlern zu erreichen, müssen die Fehlversuche gezählt werden. Dazu wird im Speicher des Rechners ein Byte reserviert, das beim Eintritt in die Floppyroutinen zu 0 gesetzt wird (Bild 13). Beim Auftreten eines Fehlers wird dieses Byte inkrementiert, wie Bild 16 zeigt.

Sollten bereits zehn erfolglose

Versuche durchgeführt worden sein, wird der 'Hard Error' zum Beispiel durch Setzen eines CPU-Registers angezeigt und die Floppy-Disk Ein-/Ausgabe abgebrochen. Anderenfalls wird ein erneuter Versuch gestartet, der mit einer Bewegung des Schreib-/Lesekopfes eingeleitet werden sollte.

Es ist möglich, daß eine falsche Position des Schreib-/Lesekopfes zum Fehler geführt hat. Um den Kopf wieder in eine definierte Stellung zu bringen, werden so lange Schritte in Richtung äußerer Diskettenrand ausgeführt, bis das Laufwerk anzeigt, daß Spur 0 erreicht ist. Einige Floppy Disk Controller verfügen über einen 'RESTORE' Befehl, der diese Funktion automatisch ausführt.

Mit dieser Ausgangslage wird die Positionieroutine erneut angesprochen, um die zuvor abgebrochene Diskettenoperation noch einmal zu versuchen.

Das Zurückbewegen des Schreib-/Lesekopfes auf Spur 0 hat noch einen weiteren Vorteil: Falls der Übertragungsfehler als Ursache Schmutz auf der Diskettenoberfläche hatte, wird dieser durch die Kopfbewegung unter Umständen abgestreift. Es sei denn, der Kopf stand schon auf Spur 0, wurde also nicht bewegt. In diesem Falle empfiehlt es sich, erst einige Schritte in Richtung Diskettenzentrum zu machen, wie in Bild 16 dargestellt.

Dies schließt die Beschreibung der Programmierung einer Floppy-Disk Ein-/Ausgabe ab.

Zur klaren Darstellung wurde der Sachverhalt an einigen Stellen geringfügig vereinfacht wie-

dergegeben. So verfügen einige Systeme, insbesondere solche, die mit 8"-Diskettenlaufwerken in doppelter Schreibdichte arbeiten, in der Regel über einen DMA-Controller (DMA = Direct Memory Access = direkter Speicherzugriff). Dies ist ein Hilfsprozessor, der in der Lage ist, ohne Mitwirkung der CPU Daten innerhalb des Rechners zu bewegen.

Zum Schreiben auf die Floppy-Disk stellt die CPU die DMA-Einheit auf die Aufgabe ein, die zu übertragenen Bytes aus dem Speicher zu lesen und in das Datenregister des FDC zu geben. Einmal angestoßen arbeitet der DMA-Prozessor dann selbständig, indem er auf Anforderung des FDC die CPU kurz anhält, das geforderte Byte in das Datenregister des FDC überträgt und die CPU wieder startet. Für den Hauptprozessor verbleibt in diesem Falle lediglich die Aufgabe, auf das Ende der Schreibeoperation zu warten und zu testen, ob diese fehlerfrei verlief.

Im Gegensatz hierzu stehen Systeme, die gänzlich ohne DMA und FDC auskommen. In diese Gruppe gehört zum Beispiel der 'Apple', bei dem die CPU sogar noch Funktionen der Laufwerkselektronik mit übernehmen muß. Dies eröffnet zwar die Möglichkeit zu allerlei Tricks, zum Beispiel Zwischenspur und Modifikation des Datenformats. Doch der Programmieraufwand wird erheblich, wenn der Prozessor nicht von einem Floppy-Disk-Controller unterstützt wird.

### Praxistip

Es ist nicht besonders schwierig, die Laufwerke gegen solche mit höherer Kapazität auszutauschen. Ein einseitiges Drive könnte gegen ein doppelseitiges ausgewechselt werden, ein Drive mit 40 gegen eines mit 80 Spuren. Die letztgenannte Änderung läßt sich besonders einfach realisieren. Nur wenige Bytes müssen in der Software geändert werden: Eine unter Umständen zu Beginn der SEEK-Routine stehende Abfrage auf illegale Spurnummern muß nun Zahlen zwischen 0 und 79 zulassen. Außerdem muß das aufrufende Betriebssystemteil wissen, daß die doppelte Anzahl von Spuren angefahren werden kann.

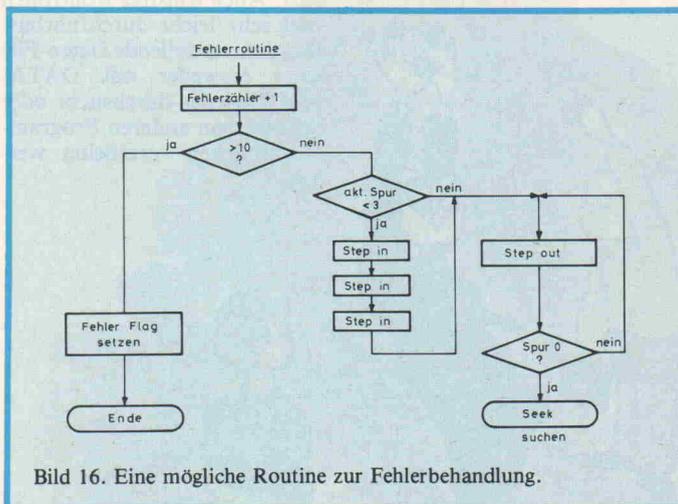


Bild 16. Eine mögliche Routine zur Fehlerbehandlung.