

Hart, schnell und sicher

Hard-Disk-Controller mit ST-506-Schnittstelle für ECB-Bus-Rechner Teil 1

Andreas Zippel

Wer bereits das Vergnügen hatte, an einem Rechner mit Festplatte zu arbeiten, wird stets ungeduldig mit den Fingern trommeln, wenn er mal wieder auf 'lahme Floppy-Drives' angewiesen ist. Und der Unterschied ist auch wirklich gravierend: Alles bis auf das Steppen geht (theoretisch) um Faktor 20 schneller als bei einer 5,25-Zoll-Scheibe in doppelter Schreibdichte. In diesem Sinne: Compiler-Kaffeepause ade!

Im ersten Teil der Artikelreihe zu diesem Selbstbauprojekt behandeln wir den allgemeinen Aufbau der HDC-Karte und den Umgang mit dem Controller-Chip WD1010. Erst im zweiten Teil folgen dann Schaltung und Inbetriebnahme (nebst dazu benötigter Programme). In weiteren Abschnitten widmen wir uns konkreten Implementationen (Treiberprogramme). Es kommt also einiges auf Sie zu.

Der Hard-Disk-Controller wurde von uns zunächst an einem PROF-80 unter CP/M 3.0 betrieben, und als 'ersten Gang' werden wir die dazugehörige Treiber-Software aufzischen. Da Formatter und Testprogramme in Turbo-Pascal geschrieben wurden, muß bei einer Anpassung an andere Rechner nur die reine Treiber-Software (in Assembler) neu geschrieben werden. Das wird zum Beispiel relevant, wenn der Controller am c't86 'gängig gemacht' werden soll, was allerdings noch diverse Änderungen (und damit Zeit) an dessen Monitor-Software erfordert.

Steckbrief

Hard-Disk-Spezialisten haben der Tabelle 1 mit den Controller-Features sicherlich schon das Wichtigste entnommen: Das Herzstück der c't-HDC-Karte bildet der Controller-Chip WD1010-05 von

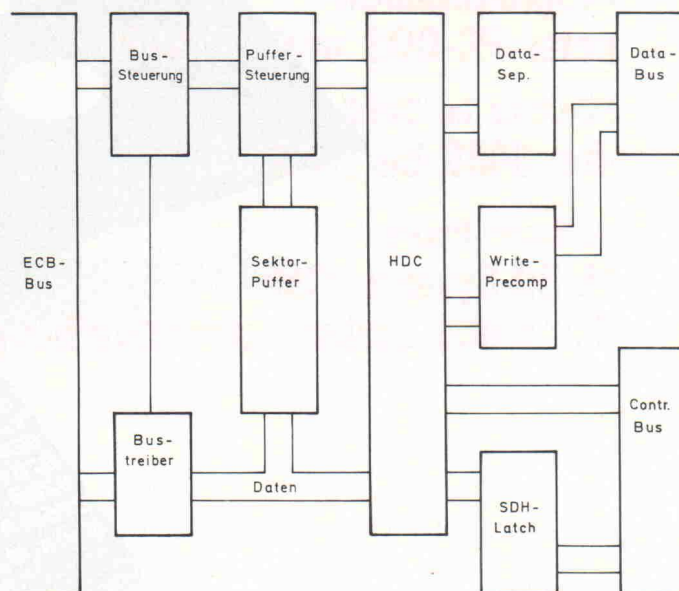
Western Digital. Bild 1 gibt Ihnen einen ersten Überblick über den Aufbau der HDC-Karte.

Das Laufwerks-Interface ist für den Anschluß von Winchester-Laufwerken mit der Schnittstelle ST 506 ausgelegt. Über diese im Jargon auch 'Floppy-like' genannte Schnittstelle können alle gängigen 5,25"- und 3,5"-Winchester-Laufwerke an den Controller angeschlossen werden. Auf der Karte befinden sich alle dazu notwendigen Treiber und Puffer. Das heißt, Sie brauchen keines der Laufwerke mit hoher Eigenintelligenz (SASI- oder SCSI-Schnittstelle) beziehungsweise zusätzliche Controller, die zur Zeit noch recht teuer sind.

Der Anschluß an den Rechner erfolgt über eine ECB-Bus-kompatible Schnittstelle mittels VG64-Steckverbinder. Die Karte belegt acht Adressen im I/O-Adreßraum. Die Basisadresse kann (in Grenzen) frei festgelegt werden. Da die Karte über einen eigenen Sektorpuffer verfügt, ist die Übertragung der Daten zwischen Rechner und Controller nicht zeitkritisch.

Ein langsamer Rechner braucht nicht mit der hohen Datenrate

Bild 1. Der obligate Sektorpuffer unterscheidet einen Hard-Disk-Controller noch am meisten von einem Controller für Floppy-Disks – jedenfalls beim Blockschaltbild.



Hard-Disk-Controller WD1010 (optional WD2010):

Bis zu acht Köpfe ansteuerbar
 Maximal 1024 Zylinder
 Maximal 256 Sektoren pro Spur, beliebige Sektornumerierung
 Bis 1024 Byte pro Sektor
 Einfache Formatierung
 Automatische Seek-Funktion bei allen Kommandos
 Automatische Rekalibrierung bei Seek-Fehlern
 Automatische Wiederholung bei Fehlern
 CRC-Generierung (optional bei WD2010: ECC-Generierung und Prüfung)
 Eingebaute Write-Precompensation

Controller-Karten-Auslegung:

ST-506-Interface auf der Laufwerksseite (nur ein Laufwerk ansteuerbar)
 Z80-Interface (ECB-Bus) auf der Rechnerseite
 Belegt nur acht Port-Adressen auf dem ECB-Bus
 Verwendbar zum Beispiel mit Z80-CPU bis 6 MHz
 Eingebauter Datenseparator mit PLL
 Bis zu 5 MBit/s Datenrate

Tabelle 1: Kurzcharakteristik der c't-HDC-Karte

(5 MBit/s) der Platte synchron Schritt zu halten, sondern er kann den Puffer 'in Ruhe' auslesen. Ein sehr schneller Rechner hingegen (etwa per DMA) braucht nicht gebremst zu werden und kann mit voller Geschwindigkeit auf den Puffer zugreifen.

Außerdem ermöglicht die Konzeption der HDC-Platine den optionalen Ersatz des WD1010 durch den WD2010. Damit be-

steht die Möglichkeit, spezielle Codes zur Fehlerkorrektur zu verwenden, womit sich fehlerhafte Sektoren automatisch – also ohne Eingriff des Rechners – korrigieren lassen.

Anschlüsse

Der HDC kommuniziert über den bereits erwähnten ECB-Bus-Stecker mit dem Rechner und über zwei Steckverbindun-

gen (Control- und Datenbus) mit dem Festplattenlaufwerk.

Der Rechneranschluß besteht aus einem 8 Bit breiten, bidirektionalen Datenbus, acht Adreß- und fünf Steuerleitungen. Tabelle 2 zeigt, welche Leitungen des ECB-Busses verwendet werden. Die Leitungen IEI und IEO sowie BAI und BAO sind auf der Karte durchgeschleift ('Aktiv-low-Signale' sind überstrichen). Mit dieser Busbelegung ist ein Anschluß an gängige ECB-Bus-Systeme normalerweise problemlos möglich (etwa PROF-80, VAMOS-80, EL-ZET-80).

Die Steuerung des Laufwerkes erfolgt über einen Bus, der dem von Floppy-Laufwerken sehr ähnlich ist (daher auch die Bezeichnung 'Floppy-like'). So werden auch hier 34 Verbindungsleitungen benutzt, von denen die Hälfte (ungerade Pin-Nummern, siehe Tabelle 3) auf Masse liegt. Anders als bei Floppies werden über diesen Anschluß aber nur die Steuersignale, nicht jedoch die Daten zum Laufwerk geführt. In Tabelle 3 finden Sie auch die Spezifikationen für die Treiber-ICs an diesem Bus.

Für die Daten- und diverse Taktleitungen hat man bei Festplattenlaufwerken einen ganz

speziellen Bus für differentielle Signalübertragung eingeführt, die (bei normaler TTL-Betriebsspannung von 5V) einen wesentlich erhöhten Störspannungsabstand bietet. Die von uns verwendeten RS-422-Treiber-ICs für differentielle Übertragung haben zwei Ausgänge und die entsprechenden Empfänger zwei Eingänge.

Das Funktionsprinzip ist folgendes: Um einen 1-Pegel zu übertragen, legt der Treiber einen Ausgang auf '0' und den anderen auf '1', um einen 0-Pegel zu übertragen, werden beide Ausgänge in den jeweils anderen Zustand gesteuert. Dadurch 'sieht' der Empfänger nicht nur einen Pegelwechsel von (theoretisch) 5V, sondern von 10V.

Ebenso wichtig ist aber, daß Störimpulse normalerweise mit gleicher Polarität auf beide Leitungen eingestreut werden. Dadurch ändert sich das Potential auf beiden Leitungen gleichermaßen (etwa gegenüber Masse), der Pegelunterschied an den Empfängereingängen hingegen bleibt unverändert. Dadurch sieht der Empfänger keine Notwendigkeit, (fälschlicherweise) zu reagieren.

Die Belegung des 20poligen Pfostensteckers zeigt Tabelle 4. Die

Pin	Funktion	Beschreibung	Belastung (in LS-TTL)
2c	D0	Datenleitung 0	1
14c	D1	Datenleitung 1	1
4c	D2	Datenleitung 2	1
4a	D3	Datenleitung 3	1
5a	D4	Datenleitung 4	1
2a	D5	Datenleitung 5	1
3a	D6	Datenleitung 6	1
3c	D7	Datenleitung 7	1
5c	A0	Adreßleitung 0	1
7c	A1	Adreßleitung 1	1
6a	A2	Adreßleitung 2	1
6c	A3	Adreßleitung 3	1
7a	A4	Adreßleitung 4	1
8a	A5	Adreßleitung 5	1
9a	A6	Adreßleitung 6	1
9c	A7	Adreßleitung 7	1
27a	<u>I/ORequest</u>	I/O-Request	2
22c	<u>WR</u>	Write	1
24c	<u>RD</u>	Read	3
31c	<u>Reset</u>	System Reset	3
10a	<u>Wait</u>	Wait, Ausgang o. C.	
32a, c	GND	Masseleitungen	
1a, c	+ 5V	+ 5Volt	(ca. 1A)
13a	+ 12V	+ 12 Volt	(ca. 150 mA)

Tabelle 2. Diese Signale des ECB-Bus benötigt die HDC-Karte

Pin	Ein/Aus	Beschreibung
2	A	<u>Reduced Write Current</u>
4	A	<u>Head Select 2</u>
6	A	<u>Write Gate</u>
8	E	<u>Seek Complete</u>
10	E	<u>TRK000</u>
12	E	<u>Write Fault</u>
14	A	<u>Head Select 0</u>
16	-	nicht benutzt
18	A	<u>Head Select 1</u>
20	E	<u>Index</u>
22	E	<u>Ready</u>
24	A	<u>Step</u>
26	A	<u>Drive Select 1</u>
28	A	<u>Drive Select 2 *</u>
30	A	<u>Drive Select 3 *</u>
32	A	<u>Drive Select 4 *</u>
34	A	<u>Direction</u>

* Diese Signale werden bei der HDC-Karte nicht benutzt

Die Treiber genügen folgenden Spezifikationen:

Low: 0.0V .. 0.4V bei max. 40 mA

High: 2.5V .. 5.25V bei 0 mA (o.C.)

Die Eingänge sind mit 180 Ohm gegen + 5V abgeschlossen.

Die Kabellänge darf 3 Meter nicht überschreiten.

Tabelle 3. Die „Floppy-like-Schnittstelle“ vom HDC zum Laufwerk umfaßt nur die Steuerleitungen

Pin	Ein/Aus	Beschreibung
1	E	Drive Selected (nicht benutzt)
9, 10	A	+/- Timing Clock (differentiell, nicht benutzt)
13, 14	A	+/- MFM Write Data (differentiell)
17, 18	A	+/- MFM Read Data (differentiell)
2, 4, 6, 8, 11, 12, 15, 16, 19, 20		Signal-Masse

Tabelle 4. Die Daten zwischen Laufwerk und HDC werden differentiell übertragen, es sind daher zwei Leitungen (+/-) je Signal erforderlich.

differentiellen Eingänge sind jeweils über 100 Ω miteinander verbunden. Es kommen Treiber und Empfänger vom Typ AMD 26LS31 und 26LS32 (Texas Instruments: AM36LS31/32) oder ähnliche zum Einsatz.

Des HDC Kern

Den Kern der HDC-Karte bildet fraglos der WD1010. Aus der Beschäftigung mit der Programmierung dieses Controller-Chips läßt sich das gesamte Know-how zur Ansteuerung eines Festplattenlaufwerkes erschauen. Wenn hardwaremäßig alles glattgeht, dann dürfte Sie die folgende Beschreibung sogar davor bewahren, sich Western Digitals 'Storage Management Products Handbook' beschaffen zu müssen (gibt es zum Beispiel bei Electronic 2000).

Die Controller-Karte wird über acht aufeinanderfolgende Adressen im I/O-Adreßraum des Rechners angesprochen. Diese sogenannten Register stellen die gesamte Schnittstelle zum Rechner dar. Sie werden durch die untersten drei Adreßbits (Tabelle 5) ausgewählt.

Datenregister:

Über dieses Schreib-/Lese-Register wird der Transfer der Sektor-Daten zwischen dem controller-internen Sektorpuffer und dem Rechner abgewickelt. Es ist das einzige Regi-

ster der HDC-Karte, das nicht gleichzeitig ein chip-internes Register des WD1010 ist. Auf das Datenregister darf nur zugegriffen werden, wenn der Controller-Chip das DRQ-Bit (siehe Statusregister) gesetzt hat.

Nach jedem Lese- oder Schreibzugriff wird automatisch das nächste Sektor-Byte vom Controller angeliefert beziehungsweise erwartet. Es muß immer die Anzahl von Bytes übertragen werden, die im SDH-Register (siehe unten) als Sektorlänge angegeben wurde. Bei einer Sektorlängenangabe von 256 Byte müssen 256 Zugriffe auf dieses Register erfolgen, notfalls mittels Dummy-Befehlen.

Write-Precomp-Register:

Dieses Register kann nur beschrieben werden. Es legt fest, ab welchem Zylinder mit der Precompensation begonnen wird. Dazu muß es mit der durch vier geteilten Zylinder-nummer geladen werden. Soll zum Beispiel die Precompensation ab dem Zylinder mit der Nummer 128 einsetzen, so muß das Register mit $128/4 = 32$ geladen werden.

Der WD1010 erzeugt eine Phasenverschiebung von ± 12 ns (je nach Bit-Pattern, also abhängig von den jeweiligen Daten).

A2	A1	A0	Lesen	Schreiben
0	0	0	Datenregister	
0	0	1	Error-Register	Write-Precomp-Register
0	1	0	Sektoranzahl	
0	1	1	Sektornummer (beim Formatieren GAP-Länge)	
1	0	0	Zylinder (niederwertiges Byte)	
1	0	1	Zylinder (höherwertiges Byte)	
1	1	0	SDH-Register	
1	1	1	Status-Register	Kommando-Register

Tabelle 5. Die I/O-Ports auf der HDC-Karte. Außer den Datenregistern sind alle Ports chip-interne Register des WD1010.

Diese Verschiebung läßt sich nicht abschalten oder ändern, und sie wird für jede Spur wirksam. Lediglich das Reduced-Write-Current-Signal (verminderter Schreibstrom) wird vom Precomp-Register beeinflusst. Der Zylinder, ab dem dies erforderlich ist, muß dem Handbuch des Laufwerks entnommen werden.

Error-Register:

Das Error-Register kann nur gelesen werden. Es enthält die genaue Spezifikation eines Fehlers und ist daher nur gültig, wenn das Error-Bit im Status-Register gesetzt ist. Die Bedeutung der Fehler-Bits können Sie Tabelle 6 entnehmen.

Sektor-Anzahl-Register:

Dieses Zähl-Register wird mit der Anzahl der Sektoren geladen, die mit einem Schreib-/Lesekommando übertragen werden sollen. Es wird nach jedem Sektor-Transfer um eins erniedrigt. Der WD1010 beendet die Übertragung, wenn der Zählerstand bei Null angelangt ist. Dieses Register wird nur bei Multi-Sektor-Kommandos und beim Formatierbefehl ausgewertet, für Single-Sektor-Kommandos ist es bedeutungslos.

Sektor-Nummer-Register:

Hier steht die Nummer des gewünschten (aktuellen) Sektors, der gerade geschrieben oder ge-

Bit 7: Bad Block Detect

Dieses Bit wird gesetzt, sobald ein ID-Feld mit gesetzter Bad-Block-Markierung gefunden wird. Damit lassen sich mechanisch zerstörte Sektoren auf der Platte beim Formatieren kennzeichnen. Das Betriebssystem des Host-Rechners kann diese Blöcke dann als defekt kennzeichnen und sperren.

Bit 6: CRC Data Field

Es wird gesetzt, wenn im Datenbereich ein CRC-Error erkannt wurde oder die Data-Address-Mark nicht gefunden wurde. Der Sektor-Puffer muß auf jeden Fall gelesen werden, enthält jedoch Fehler.

Bit 5: Reserved

Unbenutzt, immer Null.

Bit 4: ID Not Found

Das Bit wird gesetzt, wenn der angeforderte Zylinder, Kopf, Sektor oder die passende Sektorgröße nach acht Umdrehungen der Platte nicht aufgefunden wurde, aber auch, wenn im ID-Feld ein CRC-Error aufgetaucht ist.

Bit 3: Reserved

Unbenutzt, immer Null.

Bit 2: Aborted Command

Das Bit wird gesetzt, sobald ein Kommando über Pin 28 (Drive Ready) oder Pin 30 (Write Fault, Laufwerk meldet Fehlerzustand) abgebrochen wird oder ein undefiniertes Kommando an den Controller gegeben wird. Ein impliziter Seek-Befehl (ein Befehl, der unter anderem ein Suchkommando erfordert) wird jedoch durchgeführt.

Bit 1: TK000 Error

Das Bit wird nur nach einem Restore-Befehl gesetzt, nämlich dann, wenn der Controller nach maximal 1024 Step-Impulsen Spur 0 nicht gefunden hat, d.h., die TK000-Leitung wurde nicht aktiv.

Bit 0: Data Address Mark Not Found

Das Bit wird gesetzt, wenn während der Durchführung eines Read-Kommandos die Data-Address-Mark nicht gefunden wurde, nachdem die Sector-ID-Mark gelesen wurde.

Tabelle 6. Das Error-Register gibt recht genau Aufschluß über die Fehler bei Kommando-Ausführungen.

lesen werden soll. Das Register kann gelesen und beschrieben werden. Vor einem Formatierkommando muß es mit der Länge von GAP3 (dazu später mehr) geladen werden.

Zylinder-Nummer-Register:

Diese beiden Schreib-/Lese-Register enthalten die vom Anwender gewünschte Zylinderadresse. Der Bereich erstreckt sich von 0 bis 1023. Es muß vor den Kommandos SEEK, READ, WRITE geladen werden. Beim WD1010 enthalten diese beiden Register immer die aktuelle Kopfposition.

Anders als bei den meisten Floppy-Controllern ermittelt der WD1010 vor der Ausführung jedes Kommandos, das einen Seek-Vorgang beinhaltet, die aktuelle Kopfposition selbsttätig direkt von der Platte. Auch nach Laufwerkswechseln (die mit unserem Controller, der nur ein Laufwerk unterstützt, nicht möglich sind) braucht also kein 'Home-Befehl' (RESTORE) wie bei Floppies ausgeführt zu werden, damit der Controller sich wieder zurechtfindet.

SDH-Register:

'SDH' steht für 'Sector size, Drive and Head number'. Dieses Schreib-/Lese-Register enthält also die Informationen über Sektorgröße, Laufwerksnummer und Kopfnummer. Beim WD2010 kann zusätzlich zwischen zwei Fehlerkorrektur-Codes (ECC und CRC) umgeschaltet werden (Tabelle 7).

Status-Register:

Nach einem Kommando enthält dieses Register die zugehörigen Statusinformationen. Einige der Bits sind direkte Abbilder der entsprechenden Leitungen des Control-Bus zum Laufwerk (Tabelle 8).

Kommando-Register:

An das Kommando-Register (nur beschreibbar) werden die leistungsfähigen Makro-Befehle (Tabelle 9) für den Controller-Chip übergeben. Alle Kommandos, die mit 'nur WD2010' markiert sind, dürfen beim WD1010 nicht verwendet werden. Das gleiche gilt für Flags, sie müssen für den WD1010 auf '0' gesetzt werden, damit der Controller keine Fehler meldet!

Bit 7:	ECC/CRC-Code-Umschaltung (nur WD2010)
	0: CRC-Code (muß bei WD1010 '0' sein!)
	1: ECC-Code (nur bei WD2010 möglich)
Bit 6/5:	Sektorgröße
	6 5 Byte/Sec.
	0 0 256
	0 1 512
	1 0 1024
	1 1 128
Bit 4/3:	Unit Select
	Auf der hier beschriebenen Karte wird nur ein Laufwerk unterstützt, so daß Bit 4 ohne Bedeutung ist (Drive Select 0, Pin 26).
	Bit 3 = 0: Drive selektiert
	Bit 3 = 1: Drive nicht selektiert
Bit 2/1/0:	Head Select (Kopfnummer)
	2 1 0 Kopf
	0 0 0 0
	0 0 1 1
	0 1 0 2
	0 1 1 3
	1 0 0 4
	1 0 1 5
	1 1 0 6
	1 1 1 7

Tabelle 7. Die Bedeutung der Bits im SDH-Register

Befehlsgewalt

Wir können an dieser Stelle aus Platzgründen nur auf die zum ordnungsgemäßen Betrieb einer Festplatte (oder zum Schreiben eines eigenen Treibers) erforderlichen Befehle (RESTORE, READ WRITE und FORMAT) eingehen. Ebenso können wir auch nicht die besonderen Möglichkeiten des WD2010 behandeln. Wer Genaueres wissen will, möge das entsprechende Datenblatt zu Rate ziehen.

RESTORE

dient zum Initialisieren des Laufwerkes. Der Controller fährt dabei den Kopfträger auf die Spur 0. Dabei wird bei jedem Schritt gewartet, bis die Seek-

Complete-Leitung aktiv wird. Wenn nach 1024 Step-Pulsen kein TK000-Signal auftritt, wird mit einer Fehlermeldung abgebrochen. Ansonsten setzt der Controller bei Erreichen der Spur 0 die Zylinder- und das Sektor-Register auf Null.

Bei diesem Kommando findet kein Lesen der ID-Marke statt. Es kann damit zur Initialisierung der Kopfposition vor dem Formatieren einer neuen oder zerstörten Platte dienen. Die im Kommando enthaltene Step-Rate wird für spätere automatische Seek-Operationen übernommen und beibehalten.

READ

Vor diesem Kommando müssen die Register im WD1010 auf die gewünschten Werte für Zylinder, Kopf, Sektor und Sektorgänge gesetzt werden. Nach dem Empfang des Kommandos prüft der Controller, ob das Kommando ausgeführt werden kann. Dazu erfolgt eine Abfrage der Leitungen Seek Complete

(SC), Drive Ready (DRDY) und Write Fault (WF). Wird dabei ein Fehler erkannt, so setzt der Controller das Abort-Command- und das Error-Bit und bricht die Befehlsausführung ab.

Trat bis jetzt kein Fehler auf, so startet der Controller einen automatischen Seek-Vorgang auf die angeforderte Plattenposition. Nachdem das Laufwerk 'Seek Complete' meldet, wird versucht, das entsprechende ID-Feld zu finden.

Wenn keine Retry-Option gesetzt ist, wird dies zweimal versucht und bei weiterhin fehlerhaft erkannter ID-Kennung abgebrochen. Mit gesetzter Retry-Option führt der Controller zehn Versuche durch, startet dann einen sogenannten RE-SEEK und versucht es weitere zehn Mal. Hat er danach keine fehlerfreie ID-Kennung gefunden, so bricht er mit einer Fehlermeldung ab.

Findet er jedoch eine korrekte ID, so versucht er den Sektor zu

Bit 7: Controller Busy (BSY)	Wenn dieses Bit gesetzt ist, führt der Controller Disk-Operationen aus. Während dieser Zeit sind keinerlei Lese-daten aus den Controller-Registern gültig, und Kommandos werden nicht akzeptiert.
Bit 6: Drive Ready (RDY)	Entspricht dem Zustand des Pin 28 (DRDY) des WD1010.
Bit 5: Write Fault (WF)	Dieses Bit spiegelt den Zustand der Leitung 30 (WF) des Controller-Chip wider.
Bit 4: Seek Complete (SC)	Entspricht dem Zustand des Pin 32 (SC) vom WD1010
Bit 3: Data Request (DRQ)	Korrespondiert mit dem Zustand des Controller-Signals BDRQ (Pin 36). Das Bit ist gesetzt, wenn Daten übertragen werden sollen.
Bit 2: DWC	nur beim WD2010 benutzt. Markiert korrigierte Fehler. Beim 1010 immer unbenutzt ('0').
Bit 1: Command in Progress (CIP)	Es wird gerade ein Kommando ausgeführt. Wenn dieses Bit gesetzt ist, darf nur aus dem Status-Register gelesen werden. Der Controller nimmt keine Kommandos an, der Puffer jedoch kann benutzt werden.
Bit 0: Error (ERR)	Wenn dieses Bit gesetzt ist, kann dem Error-Register eine genauere Fehlerbeschreibung entnommen werden.

Tabelle 8. Das Status-Register wird nach jedem Kommando aktualisiert.

Kommando	Bits								Bemerkung
	7	6	5	4	3	2	1	0	
Restore	0	0	0	1	r ₃	r ₂	r ₁	r ₀	
Seek	0	1	1	1	r ₃	r ₂	r ₁	r ₀	
Read Sektor	0	0	1	0	I	M	L	T	
Write Sektor	0	0	1	1	0	M	L	T	
Scan ID	0	1	0	0	0	0	0	T	
Format Track	0	1	0	1	0	0	0	0	
Compute Correction	0	0	0	0	1	0	0	0	nur WD2010
Set Parameter	0	0	0	0	0	0	0	S	nur WD2010

Bedeutung der Buchstaben (nachgeprüft nur für WD1010):				M: Mehrfach-Sektor-Zugriff			
r ₃	r ₂	r ₁	r ₀	0 = nur ein Sektor			
Step-Rate				1 = mehrere Sektoren			
0	0	0	0	35 µs			
0	0	0	1	0.5 ms			
0	0	1	0	1.0 ms			
weiter in Schritten von 0,5 ms bis				L: Long Mode (nur WD2010)			
1	1	1	1	0 = Normal, CRC/ECC ausgeführt			
S: Fehlerkorrektur-Länge (nur WD2010)				1 = ECC folgt Daten im Puffer			
0 = 5 Bit				T: Retry Flag			
1 = 11 Bit				1 = automatische Wiederholung			
I: Interrupt Control (auf c't-HDC nicht benutzt)				0 = keine automatische Wiederholung			

Tabelle 9. Die möglichen Kommandos des WD1010 (WD2010) im Detail

lesen. Hier gilt das gleiche wie für den Seek-Vorgang. Wenn der Chip einen nicht behebbaren Fehler entdeckt (ein sogenannter Hard Error), so bricht er ab.

Könnte ein Sektor fehlerfrei gelesen werden, so setzt der WD1010 das Busy-Bit zurück und setzt das DRQ- und das CIP-Bit. Danach muß die Anzahl der Bytes aus dem Daten-Register gelesen werden, die im SDH-Register angegeben wurde. Nach dem Lesen setzt der Controller CIP- und DRQ-Bit (Status-Register) zurück und ist für die Entgegennahme weiterer Kommandos bereit.

Die Beendigung der Controller-Aktivitäten wird grundsätzlich durch das Busy-Bit angezeigt. Daher können alle Situationen durch den gleichen Programmablauf erfaßt werden. Dies bedeutet einen sehr einfachen Aufbau der Treiber Routinen.

Die Vorgänge bei diesem Kom-

mando sind im wesentlichen die gleichen wie beim Read-Befehl, jedoch fordert der Controller

WRITE

die Daten über das DRQ-Bit an. Auch hier muß die im SDH-Register angegebene Anzahl Bytes übergeben werden.

Es gibt noch weitere Gemeinsamkeiten für das Read- und Write-Kommando. Für beide Befehle gilt, daß alle Daten nach dem Setzen des DRQ-Bits übertragen werden müssen. Zwischen den Übertragungen der einzelnen Bytes braucht das Statusregister nicht abgefragt zu werden. Es muß jedoch immer, auch im Fehlerfall, exakt die im SDH-Register angegebene Zahl an Bytes transferiert werden.

FORMAT

dient nur jeweils zum Formatieren einer Spur (Format Track), nicht eines kompletten Zylinders. Der Umgang mit diesem

Befehl ist prinzipiell der gleiche wie der mit READ und WRITE, jedoch wird der Sektorpuffer nicht mit Daten, sondern mit einer Sektortabelle geladen.

Pro Sektor müssen zwei Bytes übergeben werden. Dabei bestimmt das erste Byte, ob der Sektor in Ordnung (Byte=00h) oder defekt (Byte=80h) ist. Ob ein Sektor in Ordnung ist, läßt sich im Rahmen eines Formatierprogrammes ermitteln. Sektoren, die sich nach einem ersten Formatierdurchgang nicht lesen lassen, können in einem zweiten Formatierdurchgang als defekt markiert werden.

Das zweite Byte gibt die Nummer des Sektors an. Dabei müssen so viele Bytes übergeben werden, wie momentan im SDH-Register als Sektorgroße angegeben sind. Da eigentlich immer weniger als 128 Sektoren auf eine Spur passen, ist es der Regelfall, daß man nach der Sektortabelle noch Dummy-Bytes übergeben muß. Diese Dummy-Bytes dienen nur dazu, das Signal BRDY zu generieren, ihr Wert ist also unwichtig. Die Anzahl der Sektoren muß in das Sektoranzahl-Register eingetragen werden.

In das Sektor-Nummer-Register wird die Länge des GAP3 eingetragen. Gaps (Lücken) dienen als Abstandshalter zwi-

schen Datenblöcken auf der Platte und werden zur Synchronisation des Controller-Chips verwendet. Einige Gaps legt der Controller selbsttätig an und man kann deren Länge nicht beeinflussen. GAP3 (gleichzeitig wird damit übrigens auch GAP1 eingestellt) ist vom Programmierer festzulegen (siehe Bild 2).

Es gibt inzwischen Laufwerke, bei denen die Variation der Drehzahl weit unter einem Prozent liegt. Bei einer Sektorlänge von 256 Bytes kann dann eine Länge für GAP3 von 1 herauskommen. Eigentlich sollte man sich ja auf die Angaben der Hersteller verlassen können, aber

Bild 2. Vom Umgang mit den Laufwerksdaten beim Formatieren einer Festplatte mit dem Controller-Chip WD1010

Formel für GAP3 nach Western Digital Handbook:

$$\text{GAP3} = 2 \times M \times S + K + E$$

M: Variation der Spindeldrehzahl (0.03 für +/- 1,5%)

S: Sektorlänge in Bytes

K: 25, wenn kein Interleave (Sektorversatz) verwendet wird, sonst 0

E: 7, wenn ECC verwendet wird (nur bei WD2010 wichtig), sonst 0

Ein typisches Dimensionierungsbeispiel könnte so aussehen:

Vorgabe:	Laufwerksdaten:
1024 Bytes/Sektor	1% Drehzahl-Variation
Sektor-Versatz 4	Spurlänge rund 9K

Resultat:
9 Sektoren/Spur

$$\text{GAP3} = 2 \times 0,01 \times 1024 + 0 + 0 = 20,48$$

In der Praxis wird nach oben gerundet, GAP3 also zu 21 gewählt.

Für dieses Format müssen folgende Bytes in den Sektorpuffer übertragen werden:

00 00 00 07 00 05 00 03 00 01 00 08 00 06 00 04 00 02

Der restliche Sektorpuffer muß noch mit 1006 (1024 minus 18) beliebigen Bytes aufgefüllt werden.

Herbert Rose, Bogenstraße 32, 4390 Gladbeck, Telefon (020 43) 2 49 12 oder 4 35 97
Vertrieb in Österreich:
Dr. Willibald Kraml, Microcomputer-Software, Degengasse 27/16, A-1160 Wien

TEAC 55BV 0,5MB . 320,00 DM
TEAC 55FV 1,0MB . 365,00 DM
TEAC 55GFV 1,6MB..415,00 DM

KWEM Bei größeren Abnahmemengen
sind wir preisflexibel!

Postf. 2528, 34 Göttingen, Tel.: 0551/44077-78, Telex 965202

57

wie leicht verrutscht ein Komma... Die permanente Fehlermeldung 'ID not found' sollte Sie daher veranlassen, GAP3 eine Zehnerpotenz höher zu wählen, ehe Sie den Wegwerf-Griff an Laufwerk oder Controller anbauen. Zu groß darf man die Gap-Länge natürlich auch nicht machen, denn sonst passen womöglich weniger Sektoren auf die Spur als vermutet.

Da auch beim Formatieren ein automatisches (implizites) SEEK durchgeführt wird, muß dem Kommando in der Regel ein Restore-Kommando vorausgehen, das diesen automatischen SEEK unterdrückt; denn auf einer unformatierten Platte oder einer Platte, die in einem anderen Format formatiert wurde, dürfte ein Seek-Vorgang von geringem Erfolg gekrönt sein.

Der in Bild 2 angeführte Interleave-Faktor entspricht gewissermaßen dem Skew-Faktor bei Floppy-Disks. Er beschreibt den Versatz der Sektoren. Anders als bei Floppy-Disks werden jedoch die Sektoren auf der Festplatte bereits mit diesem Versatz formatiert. Dadurch braucht man ihn nicht erst umständlich bei jedem Zugriff über eine Tabelle zu ermitteln.

Das Formatierbeispiel mag zunächst dadurch verwirren, daß man dort absteigende Zahlenfolgen sieht. Das ist in der Tat eine optische Täuschung. Von den ersten beiden Bytes für Sektor 0 zählt man vier Sektoren (Byte-Paare) weiter – und gelangt zu Sektor 1 (00 01). Bei Sektor 2 angelangt zählt man 'vorn' weiter und kommt zu Sektor 3 und so weiter. Die konkrete Anwendung der angeführten Kommandos können Sie auch anhand der Beispielprogramme (im nächsten Heft) nachvollziehen.

Programmgemäß

Die Programmierung dieses Controllers ist sehr einfach. Durch seine hohe Intelligenz kann der WD1010 viele der Aufgaben übernehmen, wie sie etwa bei herkömmlichen Floppy-Controller-Chips vom Rechner übernommen werden müssen. So ist der HDC-Chip in der Lage, selbständig die richtige Kopfposition zu bestimmen. Dabei wird – falls erforderlich –

auch ein erneutes SEEK durchgeführt. Der Chip versucht auch, aufgetretene Fehler (je nach gesetzter Option) zu korrigieren.

Das Ende einer Operation wird immer im Statusregister angezeigt. Aufgetretene und nicht (hauptsächlich durch Wiederholungen) behebbare Fehler werden durch das gesetzte Error-Bit im Statusregister markiert. Die recht genauen Angaben im Error-Register erleichtern das Ermitteln der Fehlerursache sehr, wenn allerdings mehrere Fehler gleichzeitig auftreten, wird nur der schwerwiegendste angegeben (siehe Error-Register). Steuer-Software für Kommando-Wiederholungen kann durch die hohe Eigenintelligenz des WD1010 nahezu vollständig entfallen.

In der Terminologie von Western-Digital wird der Satz der beschriebenen Parameter-Register als Task-File bezeichnet. Dieses Task-File beschreibt die genaue Position der zu lesenden oder zu schreibenden Daten auf der Hard-Disk. Vor jedem Kommando (außer RESTORE) muß deshalb dieses Task-File mit den entsprechenden Parametern geladen werden. Da das Task-File gelesen werden kann, entfällt eine parallele Führung der Parameter im Rechnerspeicher. Dies verkürzt die Treiber-Software und spart dadurch Speicherplatz.

Köpfchen, Köpfchen

Bei Laufwerken mit mehreren Köpfen ist es zweckmäßig, den gemeinsamen Kopfträger so wenig wie möglich zu bewegen. Dies spart ganz erheblich Zeit, da der Positioniervorgang auch bei Hard-Disk-Laufwerken relativ viel Zeit (etwa wie bei Floppy-Drives) beansprucht.

Zur Erinnerung: Die Kreisbahn, die ein einzelner Kopf auf seiner zugehörigen Plattenseite beschreibt, nennt man Spur. Die zu einer Kopfträgerposition gehörenden Spuren werden zusammengefaßt als Zylinder bezeichnet, was man sich auch recht gut bildlich vorstellen kann; denn die einzelnen Köpfe beziehungsweise Platten sind ja übereinander angeordnet, so daß mehrere gleichgroße Kreise übereinander die Begrenzung eines räumlichen Gebildes, eines Zylinders halt, bilden.

Man kann nun erheblich Positionierzeit sparen, wenn man aufeinanderfolgende Datenblöcke (also Dateien) nicht hintereinander auf mehreren Spuren einer Platte, sondern zunächst auf gleichen Spuren verschiedener Platten ablegt. Im ersten Falle müßte man jedesmal den Kopfträger bewegen (ist langsam), im zweiten Fall nur die Köpfe umschalten (geht sehr schnell).

Für die im allgemeinen verwendete schnelle Betriebsart errechnen sich Kopf- und Zylinder-Nummer nach folgenden einfachen Formeln:

aktueller Kopf
 \triangleq (aktuelle Spur)
 mod (Anzahl der Köpfe)

aktueller Zylinder
 \triangleq (aktuelle Spur)
 div (Anzahl der Köpfe)

Beide Berechnungen lassen sich in der Regel leicht durchführen, da fast immer eine gerade Anzahl von Köpfen vorliegt, meist sogar als Zweier-Potenzen. Dadurch braucht man in Assembler zum Beispiel keine Divisions-Befehle, sondern kommt mit einfachen 'Shifts' aus.

Der aktuelle Sektor wird ganz normal in das Sektor-Nummer-Register eingetragen. Der erste Sektor auf Hard-Disks ist, anders als bei Floppy-Laufwerken, in der Regel der Sektor 0.

Wenn Sie sich noch an das Formatierbeispiel erinnern, wird Ihnen auch noch der Begriff 'Sektorversatz' in Erinnerung sein. Und vielleicht haben Sie bereits versucht, diesen Sachverhalt mit der eingangs erwähnten Geschwindigkeitssteigerung von Faktor 20 gegenüber 5,25-Zoll-Floppy-Laufwerken in Einklang zu bringen.

Die Datentransfer-Rate zwischen Platte und Controller ist mit 5 MBit/s in der Tat 20mal so groß wie bei 5,25-Zoll-Floppies (250 KBit/s). Leider können jedoch nicht ganze Spuren oder Zylinder, sondern nur Sektoren in den Puffer der c't-HDC-Karte geschrieben beziehungsweise daraus gelesen werden.

In dem Formatbeispiel (Interleave von 4 bei 9 Sektoren) können pro Plattenumdrehung maximal zwei Sektoren gelesen werden. Ein 32 KByte langer Dateiblock (PIP arbeitet mit solchen 'Häppchen') kann also erst nach rund 15 Plattenumdrehungen (rund eine Viertelsekunde) verinnerlicht werden. Die Datenrate beträgt dann nur noch 1 MBit/s – immer vorausgesetzt, der Rechner hat den Sektorpuffer rechtzeitig vor dem Erscheinen des nächsten Sektors frei- oder vollgeschauelt.

Bild 3 und 4. Das Abtesten des Busy- (oben) und des Error-Bits (unten) im Status-Register ist extrem einfach. Hier zwei Beispielchen in Z80-Mnemonics.

```

WAIT: IN  A, (HDCSTATUS)    ; Status-Register des HDC lesen
      AND A                  ; Vorzeichen testen
      JP  M, WAIT            ; Warten, wenn Busy-Bit gesetzt
      RET

WAIT: IN  A, (HDCSTATUS)    ; Status-Register des HDC lesen
      AND A                  ; Vorzeichen testen
      JP  M, WAIT            ; Warten, wenn Busy-Bit gesetzt
      RRA                   ; Error-Bit in Carry-Flag schieben
      RET
  
```


Aber genau das ist ja der Sinn des Interleave-Faktors: Er soll gerade so gewählt werden, daß der Rechner optimal ausgelastet und keinesfalls überfordert wird. Verpaßt er nämlich den nächsten Sektor, dann kann er erst wieder nach einer kompletten Disk-Drehung auf ihn zugreifen.

Da hier jeweils Rechner-Hardware und Betriebssystem-Implementation individuell Einfluß auf die Systemgeschwindigkeit nehmen, sollten Sie eigene Versuche durchführen, um für Ihr System den optimalen Versatz und damit die größtmögliche Daten-Transfer-rate zu ermitteln. Der Versatz von vier ist sicherlich ein realistischer Wert für den Anfang, aber auch ein Versatz von zwei ist noch mit einem 6-MHz-Z80-System zu schaffen.

Abfragen

Da die HDC-Karte durch die Hardware-Auslegung keinen Interrupt auslösen kann – obwohl der WD1010 diese Mög-

lichkeit bietet –, muß zur Erkennung eines Kommando-Endes das Busy-Bit abgefragt werden. Da das Busy-Bit an einer Position steht, die bei den meisten CPUs als Vorzeichenbit interpretiert werden kann (höchstwertiges Bit), läßt es sich sehr leicht abfragen (Bild 3). Es muß hierbei beachtet werden, daß neue Kommandos erst geladen werden dürfen, wenn der Controller das CIP- und das Busy-Bit zurückgesetzt hat.

Der Controller simuliert auch bei nicht behebbaren Fehlern ein normales Ende. Er setzt jedoch das Error-Bit im Status-Register. Nur wenn dieses Bit gesetzt ist, steht im Error-Register die genaue Fehlerursache. Ansonsten ist das Error-Register undefiniert. Bedingt durch die Position des Error-Bit ist eine Fehlererkennung sehr leicht möglich, man braucht bloß die Wait-Routine aus dem vorherigen Beispiel etwas zu erweitern (Bild 4).

Damit wird bei einem Fehler automatisch das Carry-Bit im Status-Register der CPU ge-

setzt, und es ist eine einfache Verzweigung zu einer Fehler-routine möglich. Da der Controller selber Fehlerkorrekturversuche durchführt, beschränkt sich diese Routine in der Regel auf eine Meldung an das Betriebssystem.

Augen auf

beim Plattenkauf. Zunächst eine 'goldene Merkregel', die Sie sich am besten irgendwo eingravieren lassen: Legen Sie es beim Kauf des Laufwerkes schriftlich fest, daß Sie ein Technisches Handbuch für OEMs (oder wie immer das jeweils heißt) mitgeliefert bekommen!

Das wirklich absolute Minimum an Beschreibung muß Kopf- und Zylinderzahl, vollständige Anschlußbelegung und Beschreibung aller Steckbrücken enthalten, sonst ist man von vornherein zum Experimentieren gezwungen – oder zu einer ganz elendigen telefonischen Betteltour durchs Bundesgebiet ('Ja warum haben Sie das Laufwerk denn nicht bei ei-

nem autorisierten Händler nörgel, nörgel ...').

Es ist auch nicht unbedingt empfehlenswert, allzu altertümliche Laufwerke (weil sehr preiswert) zu erwerben. Diese brauchen mitunter spezielle Abschalt-Prozeduren, damit die Köpfe nicht irgendwo spanenderweise (hat mehr was mit 'Eisenspänen' zu tun, ist allerdings auch irgendwie 'spanend') mitten auf der Platte abgesetzt werden.

Wenn Sie die Möglichkeit haben, so erwerben Sie ein Laufwerk mit acht Köpfen (aber auch nicht mit mehr, denn das schafft der Controller nicht). Auch mit vier Köpfen kann man noch gut leben, bei zweien wird es gelegentlich doch etwas langweilig, was Sie uns aufgrund der Beschreibung weiter oben sicherlich glauben werden. Vielfach unterscheiden sich zum Beispiel die Laufwerke mit 10 und 20 MByte von einem Hersteller dadurch, daß das 20er zwei Platten (vier Köpfe) und das 10er nur eine Platte (zwei Köpfe) hat.

ct

RATEV

ELEKTRONIK-VERTRIEBS GMBH · 4030 RATINGEN 1 · Postfach 1601
Gothaerstr. 15 · Telefon: (02102) 42051 · (Mailbox 02102/475400) · Tx. 8585180

Rams		6845	13,75	34 pol vergoldet	3,80	Postenstiftleisten 90°	
4154 150 nS	4,30	6850	4,50	40 pol vergoldet	4,95	14 pol vergoldet	1,95
41256 120 nS	9,90	68000 8 MHz	44,90	50 pol vergoldet	6,50	16 pol vergoldet	2,40
41256 150 nS	7,20	68008 8 MHz	34,95			26 pol vergoldet	3,35
6116 LP-3	4,50	Controller		VG-Steckverbinder		34 pol vergoldet	4,20
6264 LP-15	7,30	UPD765	16,50	64 Stift	2,15	40 pol vergoldet	4,85
6116 Flat Pack	8,90	FD 1770	57,45	64 Feder	2,90	50 pol vergoldet	6,25
6264 Flat Pack	13,90	FD 1771	33,50	96 Stift	4,20	Distecker für Flachkabel	
TMS 4464 150nS	19,90	FD 1791	24,30	96 Feder	5,25	14 pol	1,35
Eproms		FD 1793	24,30	64 Feder WW	4,50	16 pol	1,55
2716 450 nS	8,90	FD 1797	24,30	96 Feder WW	6,80	24 pol	2,15
2732 250 nS	9,50	FD 2793	27,30	64 Stift anschl.	28,90	28 pol	2,35
2764 250 nS	7,30	FD 2797	27,30	64 Feder anschl.	12,20	40 pol	2,95
27C64 250 nS	10,90	WD 1691	27,50	D-Sub Steckverb. löt		Centronics-Stecker	
27128 250 nS	7,90	WD 2143	21,90	Stift 9 pol	1,50	24 pol lötbar	9,20
27256 250 nS	13,95	FDC 9216B	14,95	Stift 15 pol	1,80	36 pol lötbar	4,90
		FDC 9229B	43,90	Stift 25 pol	2,45	50 pol lötbar	12,90
ICs für Commodore		Grafik-ICs		Stift 37 pol	4,30	36 pol Flachkabel	7,95
6510	33,90	EF 9365	68,50	Stift 50 pol	4,90	Centronics-Buchsen	
6526	33,90	EF 9366	68,50	Feder 9 pol	1,90	24 pol lötbar	9,20
6569	98,00	EF 9367	75,00	Feder 15 pol	2,45	36 pol lötbar	5,85
6581	65,00	UPD 7220	39,00	Feder 25 pol	2,90	50 pol lötbar	14,30
Mikroprozessoren		Sonder-ICs		Feder 37 pol	5,10	36 pol Flachkabel	8,95
Z80A CPU	4,00	UPD 70108 D8	29,00	Feder 50 pol	7,90	Textool-Fassungen	
Z80A PIO	4,80	UPD 70116 D8	35,00	D-Sub Steckverbinder Flachkabel		16 pol	20,90
Z80A CTC	4,80	AM 7910	79,00	Stift 25 pol	7,95	24 pol	21,00
Z80A DMA	14,20	AM 7911	79,00	Feder 25 pol	8,35	40 pol	31,00
Z80A DART	13,50	AM 25 LS 2538	8,70	Gehäuse für		Burn-In Fassungen	
Z80A SIO/0	13,50	HD3-4702	24,90	D-Sub Steckverbinder		16 pol	7,85
Z80A STI	35,00	MM 58167	48,75	9 pol	1,60	24 pol	11,90
Z80B CPU	7,10	MSM 5832	18,50	15 pol	1,70	40 pol	13,85
Z80B PIO	10,50	MSM 58321	18,50	25 pol	1,80	Vielschicht Kondensatoren 0,1 µF	
Z80B CTC	10,50	RTC 58321	17,80	37 pol	2,20	Raster 2,5 oder 5 mm	
Z80B DART	19,50	UPD 1990	9,15	50 pol	3,50	10 Stück	à 0,25
Z80B SIO/0	21,30	8087 5 MHz	375,00	Postenfederleisten		100 Stück	à 0,20
8502P	9,85	8087 8 MHz	525,00	2-reihig		500 Stück	à 0,18
8502A	11,80	Quarzoszillatoren		14 pol vergoldet	1,80	Low-cost IC Sockel	
8504P	12,50	alle gängigen		16 pol vergoldet	2,05	8-40 pol p. Pin	0,02
8504A	13,90	Frequenzen	8,80	26 pol vergoldet	3,15	Präzisions IC Sockel	
8520P	7,80	Quarze		34 pol vergoldet	3,85	8-40 pol p. Pin	0,05
8520A	9,30	0.032768 MHz	1,70	40 pol vergoldet	4,60	64 pol	4,50
8522P	9,85	1.0 MHz	8,20	50 pol vergoldet	5,70	Flachhandleitung grau pro Ader u. Meter	
8522A	10,80	2.0 MHz	5,10	Postenstiftleisten mit Verpolungsschutz gerade		14 pol vergoldet	1,65
8532P	12,30	2.4576 MHz	4,90	16 pol vergoldet	1,85	26 pol vergoldet	2,70
8532A	16,50	alle anderen Standardfrequenzen	2,10	34 pol vergoldet	3,70	40 pol vergoldet	4,25
8551A	13,40	Kartenstecker (Floppy)		50 pol vergoldet	5,10	IBM-Printerkabel	
85C02 1 MHz	18,50	20 pol vergoldet	3,50			28,00	
85C02 4 MHz	39,90	26 pol vergoldet	3,60				
8600	9,85						
8602	8,35						
8609	16,90						
8621	4,50						
8640	10,90						

Liefer- und Zahlungsbedingungen: Die Lieferung erfolgt per Nachnahme + Porto und Versandkosten. Die Angebote sind freibleibend. Zwischenverkauf vorbehalten. Der Mindestbestellwert beträgt DM 30,00.



IBM-kompatibel PC, XT, AT

PROBLEMLÖSUNGEN MITTELS COMPUTER!

Beratung — Entwicklung — Fertigung — Vertrieb — Service

Wir entwickeln für Sie:

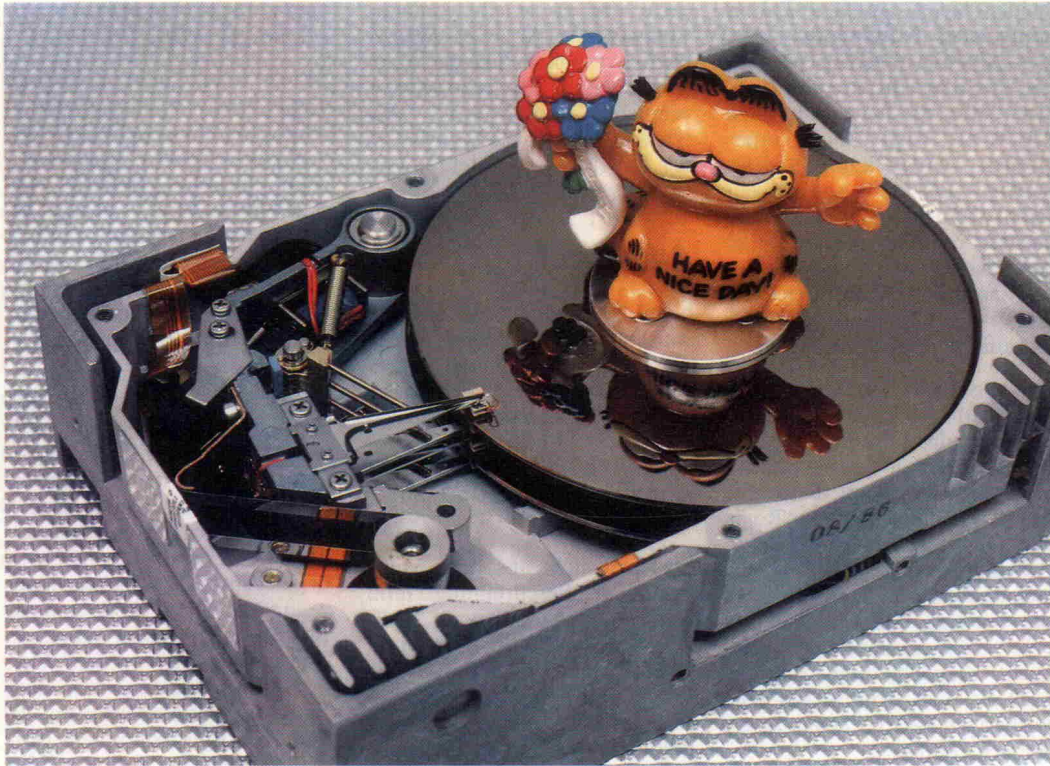
- Hard- und Software für die Meß- + Regeltechnik
- Elektronische Geräte in µP- und Analogtechnik
- Simulationsprogramme, spezielle Problemlösungen

Nutzen Sie unser know how und unseren Service

EME

ENTWICKLUNGSGESELLSCHAFT
FÜR MIKROELEKTRONIK MBH

4000 Düsseldorf 1 · Martinstraße 47 · Tel. (0211) 3015-256 · Tx. 8582752



Daten-Karussell

Vom Umgang mit Festplattenlaufwerken

Andreas Zippel

Mit dem Aufkommen kleiner leistungsfähiger Prozessorrechner wurde der Ruf nach entsprechender Massenspeicherkapazität laut. Die bis dahin verfügbaren Plattenlaufwerke waren groß, unhandlich und hochempfindlich gegenüber Umwelteinflüssen, und ihre Kapazität ließ ebenfalls zu wünschen übrig. Ende der 60er Jahre begann man deshalb bei IBM an einem Projekt zu arbeiten, das den Code-Namen Winchester erhielt.

Eine der wesentlichen Forderungen war: höchstmögliche Speicherkapazität bei kleinstmöglicher Bauform. Um diesem Problem gerecht werden zu können, beschritt man von vornherein den Weg, den rotierenden Plattenstapel von der Umwelt abzukapseln. Nur mit dieser Maßnahme ließ sich das 'Reinheitsgebot' erfüllen, das der sichere Betrieb mit verkleinerten Laufwerken fordert.

Entwicklung...

Nach erstaunlich kurzer Entwicklungszeit kamen die ersten Laufwerke auf den Markt. Mit aus heutiger Sicht 'lächerlichen 5 MByte' waren sie damals eine Sensation. Es existierten Laufwerke mit Plattengrößen von 14 bis herab zu 8 Zoll. Erst einige Zeit später kamen auch 5,25-Zoll-Laufwerke auf, übrigens parallel zu den 5,25-Zoll-

Floppy-Laufwerken. Aber die Entwicklung ging nicht nur Richtung Miniaturisierung (inzwischen gibt es auch 3,5-Zoll-Drives), sondern vor allem die Kapazität wurde gesteigert. Heute existieren 5,25-Zoll-Laufwerke mit einer Kapazität von bis zu 240 MByte.

... nicht ohne Probleme

So beeindruckend die Daten heutiger Laufwerke gemessen an ihren Erstlingen auch sind, so viele Probleme begleiteten die Winchester auf ihrem Entwicklungsweg aus den Labors in die Massenfertigung. Eine der größten Schwierigkeiten in der Fertigung stellt immer noch die magnetische Beschichtung der Platten dar.

So findet man auch heute noch bei jedem Laufwerk eine (in neuerer Zeit immer häufiger leere) Tabelle von defekten Sektoren. Jeder Hersteller erlaubt sich eine gewisse Anzahl dieser Defekte, um die Platten überhaupt rationell fertigen zu können. Es ist aber allgemein üblich, daß die Spur 0 und meistens noch Spur 1 absolut fehlerfrei sind, da diese meist als Boot-Spuren Verwendung finden.

Ein weiteres großes Manko stellte die sehr hohe Tempera-

turempfindlichkeit dar. Hier werden heutzutage mit Hilfe entsprechender Legierungen die thermischen Veränderungen der Geometrie kompensiert.

Präzision

Für Leute, die Ihre Informationen wie unsere Uraltvorden mit Hammer und Meißel weitergeben, sind die Präzisionsanforderungen an die Positioniereinrichtungen sicherlich kaum vorstellbar. Bei diesem Bestandteil des Laufwerkes reichen selbst kleinste Ungenauigkeiten aus – wie zum Beispiel die genannten Temperaturänderungen – um die Köpfe aus der Spur zu bringen. Das Ergebnis sind dann Code-Folgen, die mit der gewünschten Information leider nichts mehr zu tun haben...

Der Abstand zweier Spuren von Spurmitte zu Spurmitte beträgt bei heutigen Plattenlaufwerken etwa 0,12 mm. Zur Erinnerung: eine 8-Zoll-Floppy hat einen Spurabstand von 0,6 mm. Da die Spuren nicht ineinander übergehen dürfen, muß dazwischen ein Abstand eingehalten werden. Die nutzbare Spurbreite ist also noch geringer, womit die Anforderung an die Positioniergenauigkeit weiter steigt. Gleichzeitig bedeutet es, daß noch weniger Magnetpartikel pro Bitzelle zur Verfügung stehen, und daraus ergeben sich sehr hohe Anforderungen an die Beschichtung der Platten.

Hoch gestapelt

Das Bild rechts unten zeigt, wie eine Winchester aufgebaut ist. Man erkennt, daß in der Regel mindestens zwei Schreib-/Leseköpfe existieren, heutige Laufwerke können sogar mehr als 16 Köpfe haben. Jeder dieser Köpfe überstreicht bei der Drehung der Platte(n) einen konzentrischen Ring um den Drehpunkt der Platte. Dieser Ring wird als Spur bezeichnet. Alle Spuren einer Kopfträgerposition übereinander bilden die Umfangslinien eines Hohlzylinders – und deshalb bezeichnet man die Zusammenfassung aller dieser Spuren auch als Zylinder.

Als kleines Beispiel für konkrete Daten eines typischen Laufwerks, wie es für Mikros und PCs im Handel ist, sei eine Konfiguration angeführt, wie sie der Autor selbst verwendet und auf die im weiteren Bezug genommen wird. Es handelt sich dabei

um ein Laufwerk mit vier Platten (acht Köpfen) und 320 Zylindern. Damit hat dieses Laufwerk also 2560 Spuren. Dieses sind die von der Mechanik vorgegebenen Parameter, mit denen man möglichst gut vertraut sein sollte; denn der sinnvolle Umgang damit bei der logischen Organisation (Einbindung ins Betriebssystem) schafft erst ein leistungsfähiges Massenspeichersystem.

Kopfschmerzen

Da bei den hohen Geschwindigkeiten die Köpfe nicht mehr auf der Platte schleifen dürfen, lieben sich die Konstrukteure einen Kniff einfallen: Der Kopf ist so gestaltet, daß er über der Platte fliegt. Bei den hohen Drehzahlen wird eine ganz gewaltige Luftmenge umgewälzt, so daß die Fliegerei durch aerodynamische Kopfformen sehr leicht zu bewerkstelligen ist.

Die eigentliche (konstruktive) Schwierigkeit besteht jedoch darin, daß die Köpfe extrem dicht (Bruchteile von Millimetern) über der Platte schweben müssen, um die Platte effizient magnetisieren zu können, aber keinesfalls die Platte – auch nicht manchmal... – berühren dürfen. Das erfordert extrem plane Plattenoberflächen und geringes Lagerspiel in axialer Richtung des Plattenstapels.

Und ein weiteres großes Problem ergibt sich aus diesen Anforderungen, nämlich höchste Sauberkeit der Platten. Das Bild rechts oben veranschaulicht die auf der Plattenoberfläche herrschenden Größenverhältnisse.

Deshalb werden die Platten in Reinräumen montiert und hermetisch versiegelt, um dem Staub keine Chance zu geben. Aus diesem Grund sind Versuche, die Platten selbst auszutauschen, von vornherein zum Scheitern verurteilt. Plattenhersteller weigern sich sogar schon,

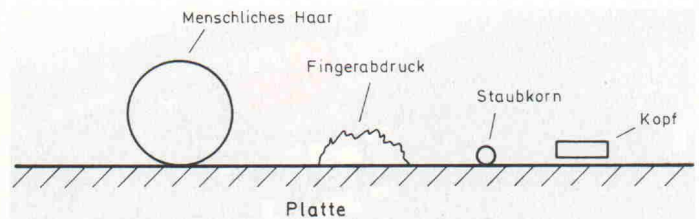
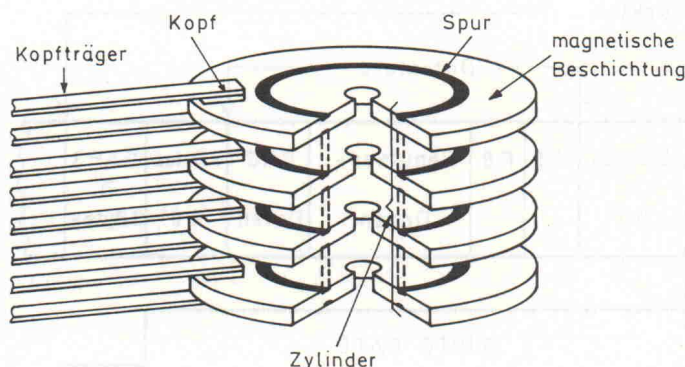
intakte Laufwerke außerhalb von Clean-Rooms (etwa zum Fotografieren) zu öffnen, weil hinterher eine 'Vollreinigung' erforderlich ist.

Platten putzen

Da beim Abstellen des Laufwerkes bei den meisten Fabrikaten die Köpfe auf den Platten (sehr sorgfältig, versteht sich) gelandet werden, entsteht immer wieder Abrieb, der entfernt werden muß. Dazu besitzen die meisten Drives sogenannte Absolutfilter, die Partikel mit einem Durchmesser von mehr als $0,3\text{ }\mu\text{m}$ mit einem Wirkungsgrad von 99,9 Prozent entfernen.

Diese Absolutfilter (der Name leitet sich von den 'ziemlich absoluten' Anforderungen ab) sind so in das Plattengehäuse eingebaut, daß ein Teil der umgewälzten Luft durch sie hindurch muß. Das Filter selbst ist ein kleiner Block, dessen Aufbau von Hersteller zu Hersteller variiert. Die Luftumwälzung erfolgt durch die Platten selbst: Durch die Reibung der Luftteilchen an den Platten werden sie durch die Zentrifugalkraft nach außen beschleunigt, so daß das Plattenpaket wie ein Tangentiallüfter wirkt.

Typische Festplattenlaufwerke für Mikro-Computer haben ein bis vier Platten und dementsprechend zwei bis acht Köpfe. Recht gut zeigt dieses Bild, warum die jeweils übereinanderliegenden Spuren einer Platte zusammenfassend als Zylinder bezeichnet werden.



Kopflandung

Ein altes Fliegersprichwort besagt: 'Es ist noch keiner oben geblieben.' Dies gilt auch für die Köpfe der (meisten) Winchesterlaufwerke. Wie bereits gesagt, liegen die Köpfe im abgeschalteten Zustand auf den Platten auf. Die dazu unumgängliche Landung muß im Interesse der Lebensdauer des Laufwerkes so schonend wie möglich erfolgen.

Manche Hersteller reservieren zu diesem Zweck sogenannte Parkspuren. Diese Spuren liegen meistens vor der Spur 0 und damit außerhalb des Arbeitsbereiches des Betriebssystems (beziehungsweise des Controllers), so daß Beschädigungen der Plattenoberfläche nicht die Datenspeicherung beeinflussen. Beim Abschalten wird der Kopftträger von der Laufwerks-Elektronik automatisch in diese Position gefahren. Bei einigen Laufwerksherstellern wird dazu der Motor, der den Plattenstapel antreibt, als Generator umgeschaltet und die so gewonnene elektrische Energie zum Parken der Köpfe genutzt.

Andere lassen die Köpfe auf Keile laufen oder benutzen spezielle Abhebevorrichtungen (Head Lifter, siehe Foto), die diese sicher von der Platte abheben. Solche Laufwerke sind sehr robust bei Transporten, aber leider ist diese Methode nicht weit verbreitet.

Bei den meisten Laufwerken wird nämlich ausgerechnet die Spur 0 als Landepiste mißbraucht. Nach häufigem Ein- und Ausschalten ist diese Spur durch den unvermeidbaren Abrieb so beschädigt, daß sich nicht mehr davon booten läßt. Möglicherweise wenden die Hersteller aber hier doch noch ein paar geheimnisvolle Tricks an, denn auch für solche Laufwerke wird heutzutage 10 000maliges Ein-/Aus-schalten ohne Plattenfehler garantiert.

Köpfchen macht's

Eine 8-Zoll-Floppy rotiert mit 360 U/min, der Plattenstapel ei-

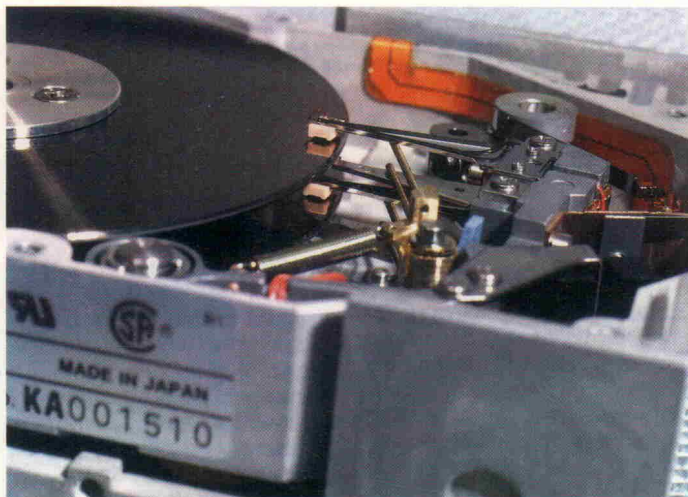
Ein Fingerabdruck auf der Platte – und der Kopf rauscht in den Dreck. Da selbst winzige Staubteilchen die Funktionsfähigkeit eines Laufwerkes beeinträchtigen können, wird der Plattenstapel von der Umwelt abgekapselt.

ner Winchester bringt es auf eine Drehzahl von 3600 U/min. Das entspricht einer Geschwindigkeit von rund 25 m/s am äußeren Rand der Platten bei einem 5,25-Zoll-Laufwerk. Die Daten werden mit 5 Megabit/s an den Rechner geliefert. Beide Werte entsprechen genau dem Zehnfachen der entsprechenden Werte von 8-Zoll-Laufwerken (bei double density), und zwar bei gleichem Aufzeichnungsverfahren (MFM, siehe weiter unten).

Wenn man jetzt zurückrechnet, ergibt sich ganz klar, daß eine Winchester pro Spur nicht mehr Daten unterbringt als eine 8-Zoll-Floppy. Aber die Daten sind halt 10mal schneller verfügbar. Damit man von dieser Geschwindigkeit möglichst viel hat, gilt es einige Dinge zu beachten.

So sollte man zunächst der Reihe nach auf alle Spuren eines Zylinders zugreifen, bevor man den Kopftträger neu positioniert. Das spart viel Zeit, denn Umschalten geht fix ($0,1\text{ }\mu\text{s}$), aber Positionieren dauert lange (so ungefähr 3 ms) von Spur zu Spur. Das ist etwa die gleiche Zeit wie bei Floppies.

Es ist einzusehen, daß die Anzahl der Köpfe bei Hard-Disks eine wichtige Rolle bei der mittleren Zugriffszeit spielt. Denn Köpfchen macht's hier aus. Eine Winchester mit 9 KByte pro Spur und acht Köpfen lädt 72 KByte theoretisch in 115,2 ms, in der Praxis kann man rund 140 ms schaffen. Vorausgesetzt, bei der Formatie-



Während einige Laufwerkshersteller beim Abschalten der Drives die Köpfe auf der Platte landen lassen, vermeiden andere solche 'Reibungspunkte'. Hier sehen Sie ein Laufwerk der Firma Lapine, bei dem die Köpfe mit dem sogenannten 'Head-Lifter' beim Abschalten auf Distanz zur Platte gehalten werden.

mindestens 14 Step-Vorgänge zu 3 ms, wenn nicht gar 6 ms.

Noch ein Wort zu den Zugriffszeiten. Bei Winchester-Laufwerken sind meistens drei Angaben zu finden, eine minimale, eine mittlere und eine maximale. Die minimale Zugriffszeit wird bei der Positionierung von Zylinder zu Zylinder benötigt. Sie enthält im allgemeinen Kopfbewegungs- und Kopfberuhigungszeit.

Die maximale Zugriffszeit wird benötigt, um vom innersten zum äußersten Zylinder oder umgekehrt zu positionieren. Die meiste Aussagekraft hat jedoch die Angabe der mittleren Zugriffszeit. Sie wird mit zufälligen Zugriffen auf beliebige Zylinder ermittelt und kommt damit dem Verhalten im praktischen Betrieb am nächsten.

Magnetische Spuren

Wer sich bereits ein wenig mit der Datenaufzeichnung auf Floppy-Disks befaßt hat, wird bei der Festplatte viele Analogien finden. Warum sollte man hierbei auch großartig etwas anders machen, wenn doch die

Festplattenlaufwerke eigentlich immer im Mischbetrieb mit Floppies laufen. Dabei ist eine gewisse Kompatibilität der Datenstrukturen auf der Scheibe sehr von Vorteil. Das Bild unten zeigt ein typisches Daten-Arrangement auf der Scheibe.

Bei Winchester-Drives mit ST-506-Schnittstelle findet das Aufzeichnungsformat MFM (Modified Frequency Modulation) Verwendung. Zur Verdeutlichung seien an dieser Stelle drei bekannte Aufzeichnungsformate kurz umrissen. Als erstes ist FM (Frequency Modulation) zu nennen. Diese Aufzeichnungsart findet heute noch bei dem einzigen Standard-Format für Floppies in der CP/M-Welt Verwendung (IBM 3740, single sided, single density, 8 Zoll, siehe Bild nächste Seite).

Bei diesem Verfahren wird pro Informations-Bit ein Clock-Bit geschrieben. Dadurch kann man aus dem Datenfluß sehr einfach den Aufzeichnungstakt wiedergewinnen. Bei FM verschwendet man allerdings sehr viel Platz auf der Platte, da pro Bit Information noch ein nichts zur Information beitragendes Bit für den Takt benötigt wird.

Beim WD 1010-05, den wir in unserem Selbstbau-Controller einsetzen, wird ein Sektor nach diesem Muster auf die Platte geschrieben. Die Gaps dienen zur Synchronisation der PLL des Datenseparators, mit den Leer-Bytes überbrückt man Totzeiten, wenn der Kopf vom Lese- auf den Schreibbetrieb umgeschaltet wird.

Eine Verdopplung des Informationsgehaltes bei gleicher Bitdichte auf dem magnetischen Medium ermöglicht das MFM-Verfahren, eine Abwandlung der FM.

Man erkennt auf dem Bild zur MFM, daß die Clock-Bits wegfallen. Pro logischer '1' wird jetzt ein Impuls ausgegeben. Folgt jedoch zweimal logisch '0' aufeinander, so wird dazwischen ein Clock-Impuls zur Unterscheidung eingefügt. Damit ist auch in diesem Code der Takt direkt enthalten, so daß auch hier seine Rückgewinnung aus dem seriellen Datenstrom (etwa mittels einer PLL) möglich ist.

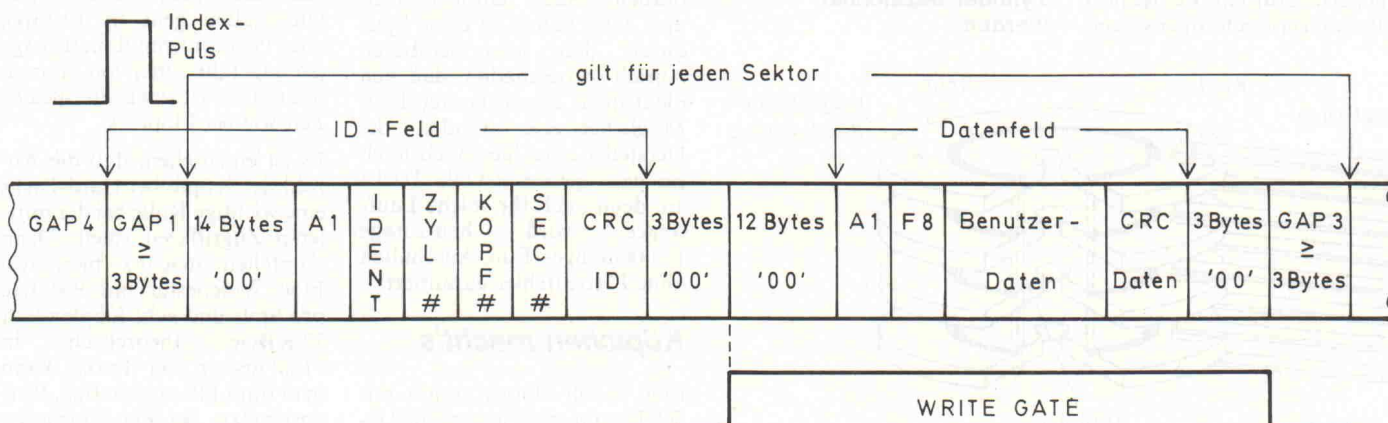
FM und MFM werden als Return-To-Zero-Codes bezeichnet, da stets einzelne Impulse aufgezeichnet werden. Das heißt, nach einer kurzen aktiven Periode kehrt das Signal wieder auf ein neutrales Niveau zurück. Die Alternative dazu bestünde darin, bei aufeinanderfolgenden gleichen Bits den Pegel konstant zu lassen.

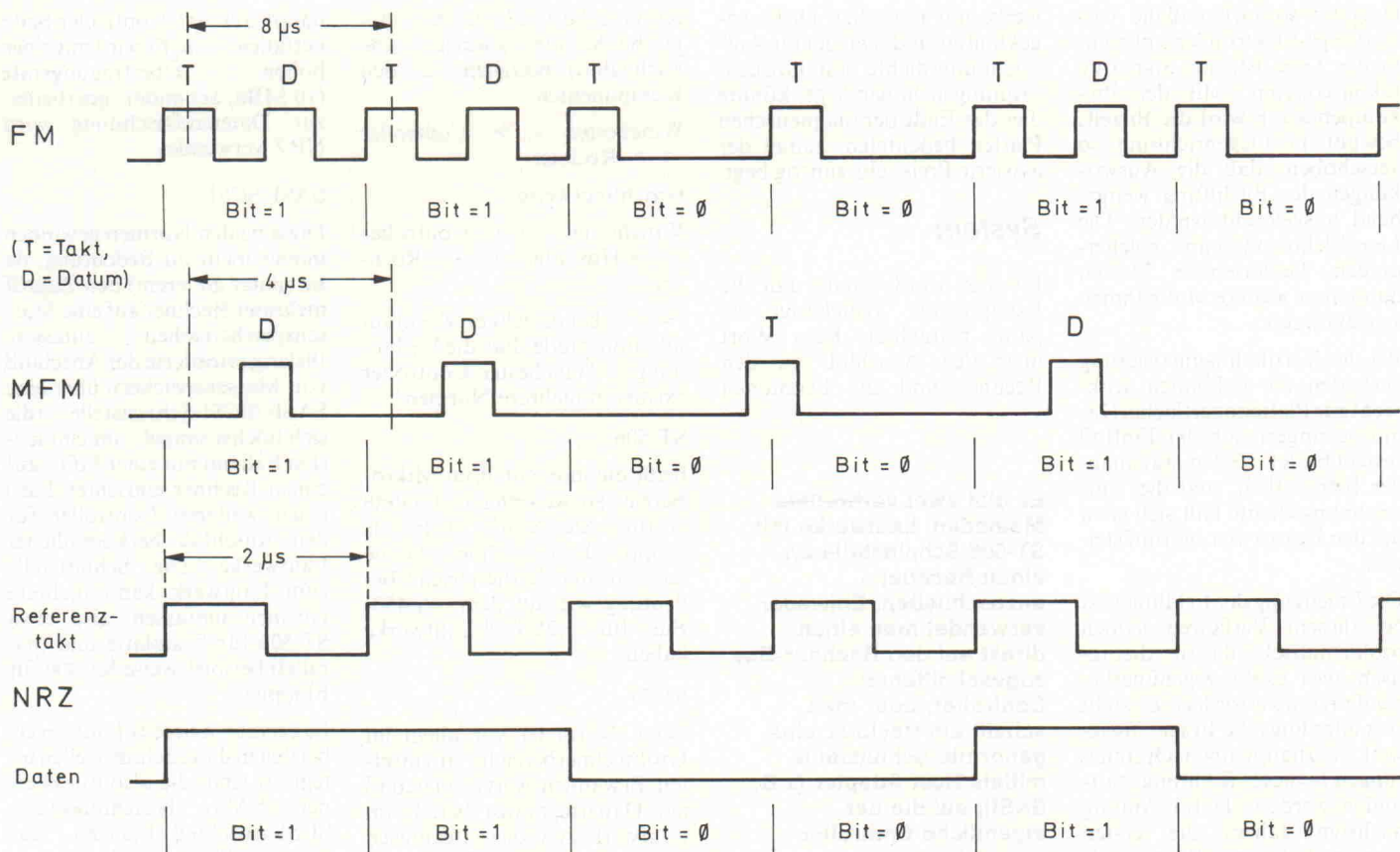
Auch solche Verfahren werden in der Praxis angewandt. Man spricht in diesem Fall von NRZ-Codes (Non-Return-To-Zero). Dieses Verfahren finden Sie auch im Bild dargestellt. Es besitzt einen gewichtigen Unterschied zu den vorherigen Aufzeichnungsmethoden: Eine Rückgewinnung des Taktes aus dem Datenstrom ist jetzt nicht mehr möglich.

Laufwerke, die mit dieser Aufzeichnungsart arbeiten, besitzen deshalb eine Taktspur parallel zu den Datenspuren. Dies bedeutet, daß ein Kopf nur den Takt liest, wodurch man eine Plattenseite für Datenaufzeichnungen verliert. Da die Informationsdichte gegenüber MFM doppelt so hoch ist, kommt man bei Laufwerken mit zwei Köpfen auf die gleiche Speicherkapazität.

rung und der Programmierung des Rechners war auch Köpfchen im Spiel.

Zum Vergleich: Bei einer randvoll formatierten 5,25-Zoll-Floppy (10 Sektoren zu 512 Bytes, also 5 KByte pro Spur) braucht man allein für den Datentransfer zwischen Laufwerk und Controller (250 KBit/s bei double density) für 72 KByte 2,3 Sekunden. Hinzu kommen





pazität wie bei MFM. Höchst interessant wird diese Methode jedoch, wenn man mehrere Platten zur Verfügung hat, denn man braucht weiterhin nur eine Platte für den Takt zu spendieren.

Würde man für die Taktspur einen Extra-Kopf spendieren, der nicht mit dem Kopfträger bewegt wird, käme man sogar mit nur einer Taktspur aus. Um Mißverständnissen vorzubeugen: Das Umrüsten eines herkömmlichen MFM-Laufwerkes auf NRZ dürfte kaum möglich sein. Denn normalerweise kann immer nur ein Kopf lesen (bei NRZ müßten es zwei Köpfe gleichzeitig können), aber nicht nur das Laufwerk, sondern auch der Controller muß darauf eingerichtet sein.

Bei allen drei genannten Verfahren ist die sogenannte magnetische Aufzeichnungsdichte gleich. Das heißt, die Anzahl der Flußwechsel pro Längeneinheit und damit auch pro Zeiteinheit ist gleich, was beispielsweise bedeutet, daß die Anforderungen an den Frequenzgang eines Schreib-/Lesekopfes konstant bleiben. Lediglich die Datenrate der Informations-Bits ist jeweils Faktor zwei höher.

Alle drei genannten Verfahren

Die Aufzeichnungsverfahren FM und MFM werden auch bei Floppy-Disks angewandt. Beachten Sie, daß zwar allen drei Darstellungen das gleiche Bit-Muster zugrunde liegt, der Zeitmaßstab sich jedoch jeweils um Faktor zwei unterscheidet. Das trägt der jeweils doppelt so hohen Datenrate von Verfahren zu Verfahren Rechnung. Wenn eine echte NRZ-Kodierung angewandt wird, muß zusätzlich ein Referenz-Takt (wenn auch nur auf einer Platte) mitgeführt werden, um aufeinanderfolgende Bits gleichen Wertes voneinander unterscheiden zu können.

erhöhen also nicht unmittelbar die Bitdichte auf der Platte. Da das System Magnetplatte/Lese-

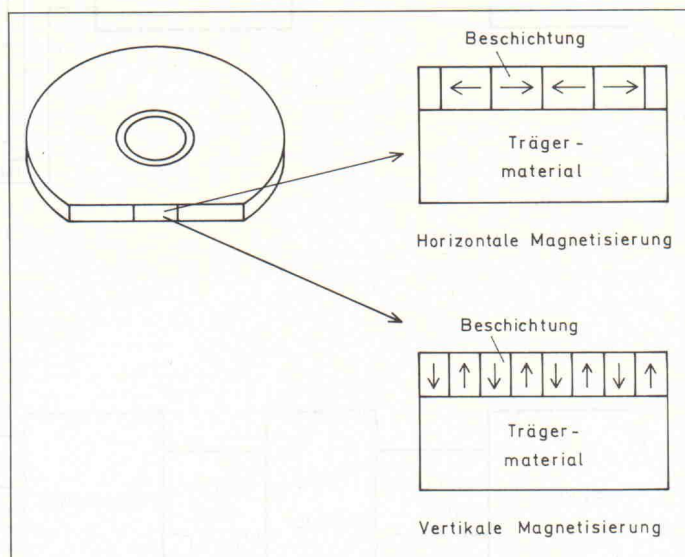
Vertikal

kopf und die Abmessungen der Magnetpartikel sowie die Homogenität der Beschichtung die Aufzeichnungsdichte begrenzen, fehlt es natürlich auch nicht

an Versuchen, neue Aufzeichnungsverfahren für höhere Informationsdichten zu finden. Ein wesentlicher Schritt in diese Richtung stellt die sogenannte Vertikalmagnetisierung dar (siehe Bild).

erfordert auf den inneren Spuren, wo die Bitdichte höher ist, eine Prekompensation, die das sogenannte Bitshifting reduziert.

Ohne Prekompensation verschiebt sich nämlich die Bitzel-



Bei den horizontal magnetisierenden Aufzeichnungsverfahren verlaufen die Feldlinien parallel zur Plattenoberfläche. Dabei beeinflussen sich die einzelnen Bitzellen gegenseitig, und dieser Effekt begrenzt die Aufzeichnungsdichte nach oben. Er

Es sind verschiedene Bestrebungen im Gange, die Aufzeichnungsdichte auf Hard-Disks zu erhöhen. Einen möglichen Weg stellt der Übergang von horizontaler auf vertikale Magnetisierung dar.

lengrenze so stark, daß die Auswertungs-Elektronik nicht mehr in der Lage ist, das Signal zu rekonstruieren. Mit der Prekompensation wird die Bitzelle bewußt in Gegenrichtung so verschoben, daß die Auswirkungen des Bitshifting weitgehend ausgelöscht werden. Die Lese-Elektronik kann solchermaßen beschriebene Platten dann ohne weitere Maßnahmen korrekt lesen.

Bei der Vertikalmagnetisierung verlaufen die Feldlinien senkrecht zur Plattenoberfläche. Damit verringert sich der Einfluß benachbarter Zellen aufeinander beträchtlich, und die Aufzeichnungsdichte läßt sich etwa um den Faktor vier bis fünf steigern.

Die Erzeugung der Feldlinien ist bei diesem Verfahren jedoch problematisch, da sie theoretisch zwei exakt gegenüberliegende Köpfe erfordert. Es stellt sich allerdings die Frage, inwieweit überhaupt noch Optimierungen in dieser Richtung stattfinden werden, da für Anfang nächsten Jahres die ersten schreib-/lesbaren Plattenlauf-

werke mit optischen Disks angekündigt sind. Da hier die Aufzeichnungsdichte um Größenordnungen höher liegt, könnte dies das Ende der magnetischen Platten bedeuten, zumal der avisierte Preis sehr günstig liegt.

System

Bis jetzt wurde immer nur die Komponente 'Winchester' separat betrachtet. Kein Wort über den Anschluß an den Rechner und die benötigten

Es gibt zwei verbreitete Methoden, Laufwerke mit ST-506-Schnittstelle an einen Rechner anzuschließen. Entweder verwendet man einen direkt auf den Rechner-Bus zugeschnittenen Controller, oder man schafft am Rechner eine genormte Schnittstelle mittels Host Adapter (z.B. SASI), auf die der eigentliche Controller aufsetzt.

Rechner-Bestandteile. Nun, typische Konfigurationen (siehe auch Bild) bestehen aus den Komponenten

Winchester <-> Controller
<-> Rechner

beziehungsweise

Winchester <-> Controller
<-> Hostadapter <-> Rechner.

'<->' kennzeichnet Kommunikationspfade. Für die Verbindung Winchester/Controller existieren mehrere Normen:

ST 506

heißt die momentan im Mikro-Bereich am weitesten verbreitete Norm. Sie wird auch als Floppy-like bezeichnet, da die meisten Signale die gleiche Bedeutung wie auf dem SA-450-Bus für 5,25-Zoll-Laufwerke haben.

SMD

Diese Norm ist vor allem im Großrechnerbereich anzutreffen. Erwähnenswert ist hier, daß der Datenspeicher bereits im Laufwerk sitzt, diese (technisch sehr unbequeme) Baugruppe

damit auf der Controller-Seite entfallen kann. Es wird mit einer hohen Übertragungsrate (10 MBit/Sekunde) gearbeitet, zur Datenaufzeichnung wird NRZ verwendet.

SASI/SCSI

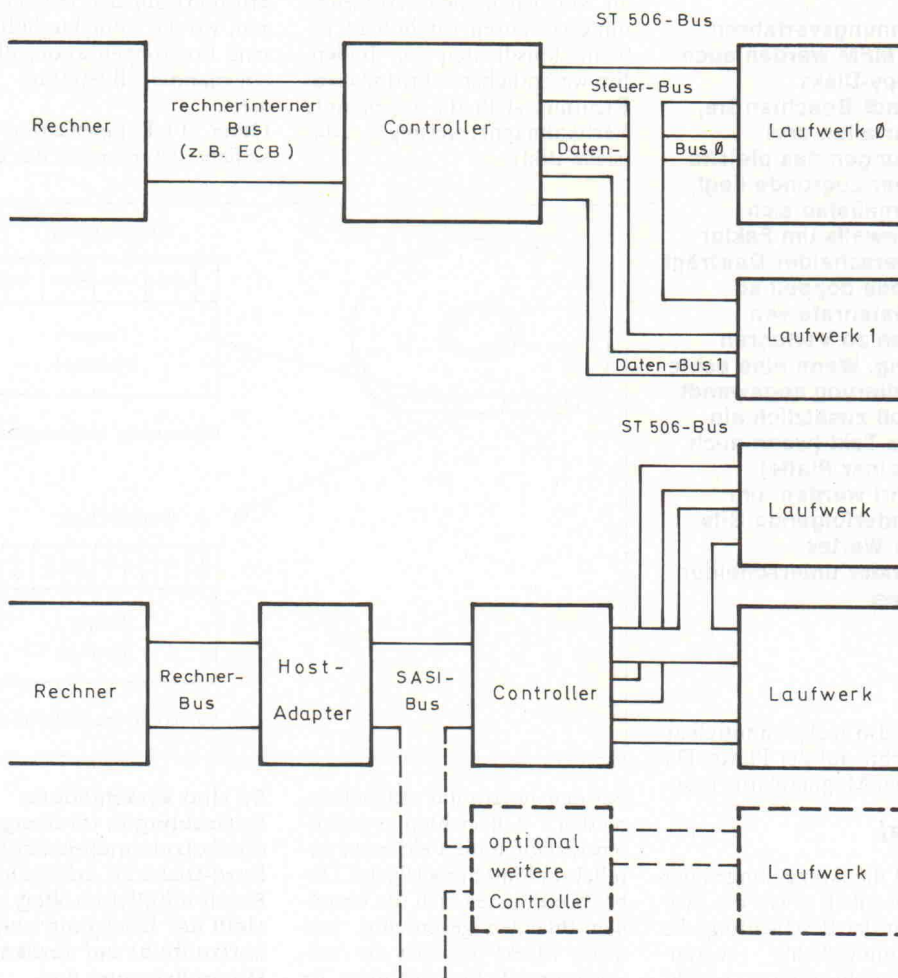
Diese beiden Normen gewinnen immer mehr an Bedeutung, da sie (unter anderem) den Zugriff mehrerer Rechner auf eine Massenspeichereinheit zulassen. Bislang erforderte der Anschluß von Massenspeichern über eine SASI-/SCSI-Schnittstelle (die sich höchst simpel – im einfachsten Fall mit nur einer PIO – auf einem Rechner einrichten läßt) einen weiteren Controller für den Anschluß herkömmlicher Laufwerke. Die Schnittstelle zum Laufwerk kann mehrere Normen umfassen, also etwa ST 506 für Festplatte und (parallel) beispielsweise SA 400 für Floppies.

Es existieren bereits Laufwerke, bei denen diese Schnittstellen integriert sind, die also direkt einen SASI- beziehungsweise SCSI-Anschluß besitzen. Das ist vor allem deshalb interessant, weil damit ein wesentlicher Teil der kritischen Hardware (hier ist wieder vor allem der Datenseparator zu nennen) auf dem Laufwerk untergebracht ist.

Es existieren noch andere Schnittstellen, aber sie spielen für den Mikro-Bereich fast keine Rolle. So seien sie nur der Form halber kurz erwähnt: die QIC-Norm von DEC, ESDI, IPI und SA1000.

Für das Projekt Winchester wurde die ST-506/412- Schnittstelle verwendet. Um Laufwerke nach dieser Norm anzusprechen, gibt es zwei übliche Wege. Häufig verwendet man speziell auf einen Rechner(-Bus) abgestimmte Controller, die alle ST-506-Signale bereitstellen. Bei dem in diesem Heft beschriebenen Selbstbau-Controller haben wir diesen Weg gewählt und als Rechneranschluß den ECB-Bus gewählt. Eine explizite Darstellung der ST-506-Schnittstelle findet sich bei der Beschreibung dieses Controllers.

Die andere Anschlußmöglichkeit besteht darin, den Rechner mit einer SASI-Schnittstelle (man spricht dann auch von Host Adaptern) auszurüsten, wodurch man rechnerunabhängige Controller oder – was aus Preisgründen mittlerweile emp-



fehlenswerter ist – Laufwerke mit integrierter SASI-Schnittstelle einsetzen kann (SASI-Controller sind aus Hobbyisten-sicht verdammt teuer).

Organisation

Nach Mechanik und Physik folgt nun die Logik. Die Software macht beim Betrieb von schneller Peripherie, wie sie Winchester-Laufwerke darstellen, einen großen Teil der Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems aus.

Um ein Maximum an Geschwindigkeit und gleichzeitig auch an Zuverlässigkeit zu erhalten, müssen Kompromisse geschlossen werden. Es gilt folgende Faktoren in die Betrachtungen bei der Auslegung der Treiberprogramme einzubeziehen:

- maximale Übertragungsrate des Rechners von/zur Peripherie
- Datensicherheit
- Zugriffszeiten
- Geschwindigkeit des Betriebssystems
- verfügbarer Speicherplatz

Diese Liste soll nur die Komplexität des Problems andeuten, sie ist sicherlich nicht vollständig. Und die Probleme lauern auch ganz woanders: Denn wer kann die Arbeitsgeschwindigkeit seines Betriebssystems konkret vorhersagen? Und damit sind die meisten Berechnungen bereits im Vorfeld unmöglich gemacht.

Es gibt jedoch Strategien, mit deren Hilfe man ganz gut hinkommt. Sie benötigen in der Regel jedoch sehr viel Speicher und einen hohen Verwaltungsaufwand. Dieser Aufwand lohnt sich jedoch fast immer. Und Speicherplatz spielt ja heute keine Rolle mehr. ... oder?

Eine dieser Strategien wird in dem Betriebssystem CP/M 3.x benutzt (bzw. CP/M+, was ein und dasselbe ist).

Hier werden sogenannte LRU-Verfahren (Least Recently Used: in letzter Zeit am wenigsten gebraucht) angewendet. Zunächst legt das Betriebssystem eine Anzahl Puffer für die Daten an (die Anzahl kann über das Dienstprogramm GENCMPM voreingestellt werden). Zu jedem Puffer wird der letzte Zugriff (verknüpft mit der Zugriffshäufigkeit) vermerkt. Benötigt das System jetzt neue Puffer, so wird der am wenigsten benutzte Puffer verwendet. Daten, die sehr häufig benötigt werden, bleiben so im Speicher und müssen nicht dauernd von der Platte geholt werden, was eine Menge Zeit spart.

Eine weitere Möglichkeit besteht im Einlesen einer ganzen Spur (track buffering), auch wenn nur einer der Sektoren aus dieser Spur gelesen werden soll. Denn die Wahrscheinlichkeit, daß ein weiterer Sektor aus dieser Spur verwendet werden soll, ist im allgemeinen recht groß. Damit kann auch in ungünstigen Fällen (es muß fast eine Plattenumdrehung auf den Start-Sektor gewartet werden) innerhalb von zwei Umdrehungen der Platte eine ganze Spur gelesen werden. Diese Methode ist sehr schnell und wird von vielen Controllern unterstützt.

Versatz hilft weiter

Kann man diese Möglichkeit nicht nutzen, so läßt sich aber noch anderweitig optimieren. Dies ist beispielsweise über die Anordnung der Sektoren innerhalb einer Spur möglich, die im einfachsten Fall aufsteigend durchnummeriert sind (Bild unten). Ein schneller Prozessor mit DMA-Unterstützung kommt so gerade mit der geringen Daten-

rate von Floppy-Disks mit und kann die durchgehend nummerierten Sektoren einer ganzen Spur in einem Rutsch einlesen (wenn die Zeit zwischen den Sektoren für die Anforderung des jeweils nächsten Sektors durch das Betriebssystem reicht).

Bei der hohen Datenrate von Festplatten dürfte das höchst selten gelingen, meistens auch dann nicht, wenn das Betriebssystem eigens auf Multi-Sektor-Anforderungen eingerichtet ist. In unserem Beispiel bedeutet das, daß der Anfang des Sektors mit der nächsten laufenden Nummer bei seiner Anforderung vermutlich den Kopf schon passiert hat, so daß er erst nach fast einer ganzen Plattenumdrehung wieder erreichbar ist.

Man kann jedoch die Reihenfolge der Sektoren beim Formatieren ändern, ohne daß das Betriebssystem (oder der Controller) etwas davon merkt. Der Faktor, um den aufeinanderfolgende Sektoren versetzt sind, heißt auf gut neudeutsch 'Interleaving Factor'.

Im Bild ist im zweiten Teil die Anordnung für einen Interlea-

ving Factor von zwei gezeigt. Der Controller-Chip erhält normalerweise jedoch seine Sektoranforderungen so, daß er die Sektoren mit direkt aufeinanderfolgenden Nummern bearbeiten soll. Daher läßt der Controller bei diesem Versatz also jeden zweiten Sektor einfach aus, oder anders gesagt, er braucht zwei Umdrehungen der Platte, um alle Daten einer Spur zu lesen oder zu schreiben.

Da Controller-Karten meistens die Daten nicht direkt an die CPU durchreichen, sondern in einen Sektorpuffer schreiben (beziehungsweise daraus lesen), hat die CPU jetzt einen Sektor lang Zeit, den Puffer zu leeren (oder vollzuschreiben) und die Berechnungen des Betriebssystems für die Verwaltung und Anforderung weiterer Sektoren durchzuführen.

Die Ermittlung des optimalen Interleaving Factor ist nicht ganz einfach, und so ist es auch keineswegs gesagt, daß einem Rechner bei einem Versatz von zwei nicht bereits Sektoren durch die Lappen gehen. Es hängt stark von der Anwendung, dem Betriebssystem und der Taktrate des Rechners ab, welchen Interleaving Factor man wählen muß. Und dieser Faktor ist wirklich bedeutsam: kommt die CPU auch nur ein winziges bißchen zu spät mit ihrer Sektoranforderung, so muß eine ganze Plattenumdrehung gewartet werden, bis man auf den Sektor wieder Zugriff hat.

Wie eingangs erwähnt, sind einige Systemgrößen nicht (oder nur sehr aufwendig) zu berechnen, so daß man üblicherweise Probiervorgänge anwendet. Zum Beispiel kann man Leseversuche mit verschiedenen Interleaving-Faktoren durchführen, wobei die durchschnittlich benötigte Zeit gemessen wird. So hat die Zeitschrift BYTE etwa für einen IBM PC/XT einen Faktor von 9 bei 16 Sektoren (zu 512 Bytes) pro Spur als guten Kompromiß ermittelt.

Der Autor hat mit einem Faktor von 4 bei CP/M 3.0 auf einem Z80-Rechner mit 6 MHz Taktfrequenz gute Erfahrungen gemacht, und zwar mit dem Selbstbau-Controller, der in diesem Heft vorgestellt wird. Bei der Projektbeschreibung können Sie Ihren weitergehenden Wissensdurst zum Thema Festplatte und Controller stillen.

ct

