

INTERNSCHRIFT Nr. 10

THEMA:

Funktioneller Aufbau von Rechensystemen

VERFASSER:

PEISCHL / RAMSPERGER

DATUM:

WS 68/69

FORM DER ABFASSUNG

ENTWURF

☒ AUSARBEITUNG

ENDFORM

SACHLICHE VERBINDLICHKEIT

☒ ALLGEMEINE INFORMATION
DISKUSSIONSGRUNDLAGE

ERARBEITETER VORSCHLAG

VERBINDLICHE MITTEILUNG

VERALTET

ÄNDERUNGSZUSTAND

BEZUG AUF BISHERIGE INTERNSCHRIFTEN

Vorkenntnisse aus:

Erweiterung von:

Ersatz für:

BEZUG AUF KÜNFTIGE INTERNSCHRIFTEN

Vorkenntnisse zu:

Erweiterung in:

Ersetzt durch:

ANDERWEITIGE LITERATUR

logically

ARBEITSSEMINAR ÜBER BETRIEBSSYSTEME
WS 1968/69

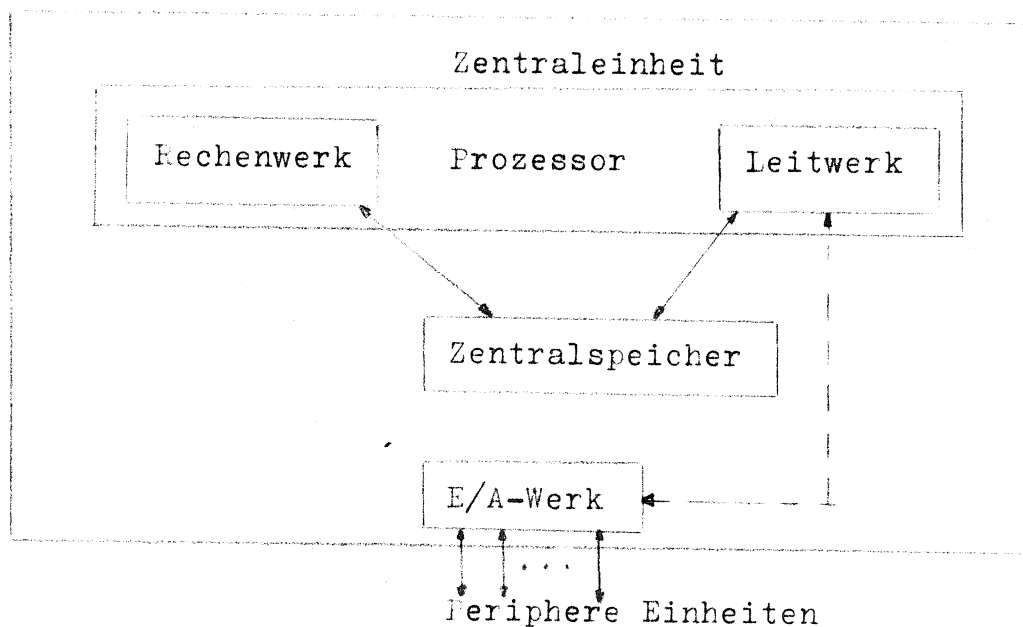
A. Funktioneller Aufbau von Rechensystemen
(Peischl / Ramsperger)

Vorbemerkung: Die Bezeichnungen sind zu einem großen Teil dem Norm-Entwurf DIN 44 300 vom August 1968 entnommen. Mitgeteilte Zahlenangaben entsprechen häufig vorkommenden Werten.

1. Rechensysteme

Eine Funktionseinheit (functional unit) ist ein funktionelles Gebilde, bestimmt durch die von ihm zu bewältigenden Aufgaben.

Ein Rechensystem (data processing system) ist eine Funktionseinheit zur Verarbeitung von Daten. Ein wesentlicher Bestandteil eines Rechensystems ist die Zentraleinheit (bzw. der Rechner), deren Aufbau und Arbeitsweise im folgenden Schema festgehalten ist:



Dabei ist das Rechenwerk eine Funktionseinheit innerhalb eines digitalen Rechensystems, die Rechenoperationen (arithmetische Operationen, boolesche Verknüpfungen, Vergleichen, Runden usw.) ausführt, das Leitwerk (control unit) eine Funktionseinheit, die die Reihenfolge steuert, in der die Befehle eines Programms ausgeführt werden, der Prozessor

(processor) eine Funktionseinheit, die Rechenwerk und Leitwerk umfaßt, der Zentralspeicher ein Speicher (storage), zu dem Prozessor und E/A- Werk unmittelbar Zugang haben, das E/A- Werk eine Funktionseinheit, die das Übertragen von Daten von peripheren Geräten zum Zentralspeicher und umgekehrt steuert.

Die oben dargestellte Zentraleinheit heißt auch Einprozessorsystem (sie ist ein "klassisches" Rechensystem). Davon unterscheiden sich Mehrprozessorsysteme (multiprocessor), bei denen die Zentraleinheit mehrere Prozessoren umfaßt, die mit einem Zentralspeicher zusammenarbeiten, und Mehrrechnersysteme (multicomputer system), bei denen mehrere Zentraleinheiten gemeinsame periphere Geräte benutzen. Deren Zentraleinheiten können wieder Mehrprozessorsysteme sein.

Moderne Rechensysteme sind dadurch ausgezeichnet, daß die einzelnen Funktionseinheiten weitgehend autonom arbeiten.

2. Zentralspeicher

Zentralspeicher sind durchwegs Speicher mit Wortstruktur (word organized storage). Der Teil des Zentralspeichers, dessen einzelne Speicherzellen durch Maschinenadressen (d.h.: wortweiser Zugriff vom Leitwerk) aufgerufen werden können, heißt Hauptspeicher (gebräuchlich ist auch Arbeitsspeicher), jeder andere Teil heißt Ergänzungsspeicher. Technisch realisiert sind Hauptspeicher durchwegs als Ferritkernspeicher, Ergänzungsspeicher meistens als Massenkernspeicher.

Die Auffindung einer vom Programm verlangten Speicherzelle bezeichnet man mit Zugriff. Die Zykluszeit (cycle time) ist die kleinstmögliche Zeitspanne zwischen dem Beginn zweier aufeinanderfolgender gleichartiger Zugriffe. Die Zugriffszeit (access time) ist die Zeitspanne, in der eine vom Programm verlangte Information aus dem Speicher geholt wird und in der verarbeitenden Funktionseinheit verfügbar ist. Sie beträgt etwa ein Drittel der Zykluszeit.

Für neue Anlagen gelten folgende gängige Werte (dabei: $K = 1024$; die tiefgestellten Zahlen bedeuten die Wortlänge in Bit):

	Zugriffszeit [μ sec]	Zykluszeit [μ sec]	Kapazität [Maschinenworte]
Arbeitsspeicher	0,3	0,75-1,0	$256K_{24}$ - $512K_{24}$; $256K_{32}$
Ergänzungsspch.	1 - 2	2 - 8	$1024K_{24}$; $1024K_{32}$

Bei manchen Anlagen beträgt die Wortlänge der Speicher ein Vielfaches der Maschinenwortlänge. Dadurch kann man eine entsprechende Reduzierung der Speicherszugriffe erzielen. Jedoch ist das Lesen lediglich eines Maschinenwortes aus der Gruppe der Maschinenworte, die gerade ein Speicherwort ausmachen, nur unter Benutzung des vollen Speicherwortes möglich. Außerdem ergibt sich eine gewisse Problematik: die zugreifenden Funktionseinheiten haben mehr

Organisation zu leisten.

Zwischen Arbeitsspeicher und Ergänzungsspeicher ist ein blockweiser Transfer (ausgelöst durch einen Befehl) möglich. Manche Ergänzungsspeicher haben Hauptspeichercharakteristik (d.h. Aufruf von Speicherzellen durch Maschinenadressen). Befindet sich in einem solchen Ergänzungsspeicher ein Programmteil von N Worten, der j -mal durchlaufen werden soll, so ist zu dessen Abarbeitung ein Transfer in den Arbeitsspeicher nicht nötig. Jedoch bietet ein Transfer im allgemeinen bereits für $j \geq 2$ Zeitersparnis. Seien nämlich G_A und G_E die Zykluszeiten von Arbeits- bzw. Ergänzungsspeicher, und seien die Ausführungszeiten eines Befehls für die beiden Speicher von der Größenordnung der Zykluszeiten. Ein Transfer kostet zwar die Zeit $N G_E$. Er ist aber dann lohnend, wenn nach dieser groben Überlegung gilt:

$$N G_E + j N G_A \leq j N G_E \quad \Rightarrow \quad j \geq \frac{1}{1 - G_A/G_E}$$

Im extremen Fall gilt $G_A/G_E = 1/2$, und das führt auf $j \geq 2$.

Der Arbeitsspeicher hat simultan zu den Zugriffen vom Leit- und Rechenwerk über das E/A-Werk Verkehr mit peripheren Einheiten. Dabei entstehende Konfliktsituationen werden hardwaremäßig gemeistert, wobei das E/A-Werk Vorrang vor dem Rechenwerk und dieses Vorrang vor dem Leitwerk hat. Die Zykluszeit des Arbeitsspeichers bestimmt also heutzutage wesentlich die Hardwaregeschwindigkeit der Zentraleinheit. Daher sucht man nach Lösungen, die mittlere Zykluszeit wesentlich herabzudrücken.

Bei der IBM 360/85 löst man dazu den Arbeitsspeicher vom Zentralspeicher und orientiert ihn als eine Art Pufferspeicher zum Prozessor hin. Technisch wird dies realisiert durch einen Diodenspeicher mit den Daten: 16-32K Worte, ~ 200 nsec Zykluszeit, ~ 100 msec Zugriffszeit. Der Prozessor verkehrt hauptsächlich mit diesem Pufferspeicher.

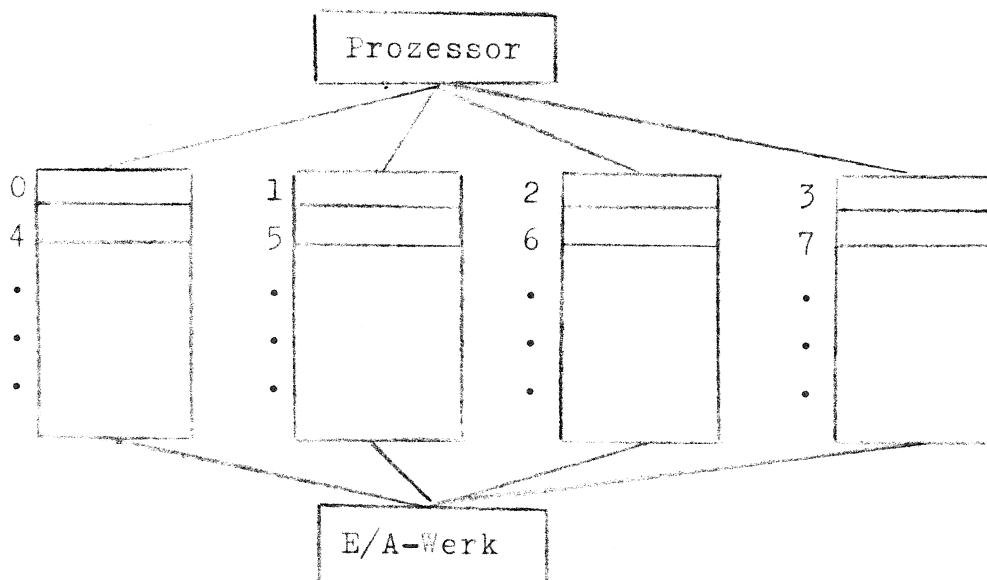
Es wird ein nicht notwendig zusammenhängender Teil D von

Speicherworten aus dem Zentralspeicher als D' in den Pufferspeicher hineindupliziert. Mit diesem Duplikat D' kann nun der Prozessor schneller arbeiten. Veränderungen in D' werden nach D zurückdupliziert. Zeitliche Vorteile ergeben sich also, wenn innerhalb von D' hauptsächlich gelesen wird. Wird jedoch hauptsächlich geschrieben, so können wegen der notwendigen nach D duplizierten Änderungen von D' zeitliche Stockungen eintreten.

Benötigt der Prozessor ein Wort aus dem Zentralspeicher, das noch nicht durch Duplizieren im Pufferspeicher steht, so wird ein dieses Wort umgebendes Gebiet in den Pufferspeicher hineindupliziert. Wird eine Information auf eine Stelle abgespeichert, die nicht im Pufferspeicher steht, so wird sie nur in den Zentralspeicher geschrieben.

Diese Speicherteilung hat die gleiche Wirkung wie ein^e aus einem Prozessor und einem Zentralspeicher mit 0.3-0.4 μ sec Zykluszeit bestehende Funktionseinheit.

Eine andere Möglichkeit ist die Aufteilung des Zentralspeichers in unabhängige Einzelspeicher (Moduln) gleicher Größe. In der Rechenanlage Univac 1108 bleibt dabei die Adressierung fortlaufend: 1.Modul: 0 bis N-1, 2.Modul: N bis 2N-1, usw. Vom Betriebssystem können dabei zur Vermeidung von Konfliktsituationen Datensatz und Programm in verschiedenen Blöcken untergebracht werden. Die meisten Hersteller benutzen jedoch eine verschränkte Adressierung, etwa für den Fall von 4 Moduln:



Bei konsekutivem Einspeichern gelangt in diesem Fall bereits das 5. Wort wieder in den ersten Modul. Entsprechend günstig ist der Verkehr mit den konkurrierenden zugreifenden Funktionseinheiten. Die Wirkung einer solchen Funktionseinheit mit 2 Moduln soll um etwa 40⁰/o besser sein als für einen normalen Zentralspeicher. Eine weitere Aufteilung in insgesamt 4 Moduln soll eine weitere Verbesserung der Wirkung um 0-20⁰/o bringen.

3. Das Leitwerk

Diese Funktionseinheit steuert die Reihenfolge der Ausführung der Befehle eines Programms. Dazu müssen die Befehle geholt, entschlüsselt ("technische Weichenstellung" für die Befehlsausführung), gegebenenfalls modifiziert und die für ihre Ausführung erforderlichen Signale gegeben werden.

in
Um dieses möglichst kurzer Zeit zu erledigen, wird in normalen Anlagen ein Befehl in getrennte Phasen zerlegt. Die Befehle werden in überlappter Form durchgeführt, d.h. wenn ein Befehl sich bei der Abarbeitung in Phase i befindet, so ist der vorangehende Befehl in einer Phase $>i$, der nachfolgende in einer Phase $<i$. Dabei muß folgende Forderung erfüllt werden: die überlappte Ausführung einer Befehlsfolge soll denselben Effekt bringen wie die nicht überlappte Ausführung.

Schwierigkeiten ergeben sich etwa, wenn ein in die ersten Phasen eintretender Sprungbefehl in Abhängigkeit von einem Rechenwerksregister durchgeführt werden soll, wobei die in späteren Phasen sich befindlichen Befehle dieses Rechenwerksregister noch verändern. In solchen Fällen muß ein nachfolgender Befehl, zu dessen Ausführung vorangehende Befehle erst vollständig abgearbeitet sein müssen, zunächst zurückgehalten werden.

Die dadurch entstehende Blockierungszeit kann mitunter durch Programmierungsmaßnahmen beeinflusst werden: Sei etwa $.. \gamma \delta_1 \delta_2 ..$ eine Befehlsfolge derart, daß bei überlappter Ausführung δ_1 den Befehl δ_2 blockiert, γ und δ_1 aber vertauschbar sind. Dann hat die Befehlsfolge $.. \delta_1 \gamma \delta_2 ..$ den gleichen Effekt, führt aber zu einer Verkürzung der Blockierungszeit.

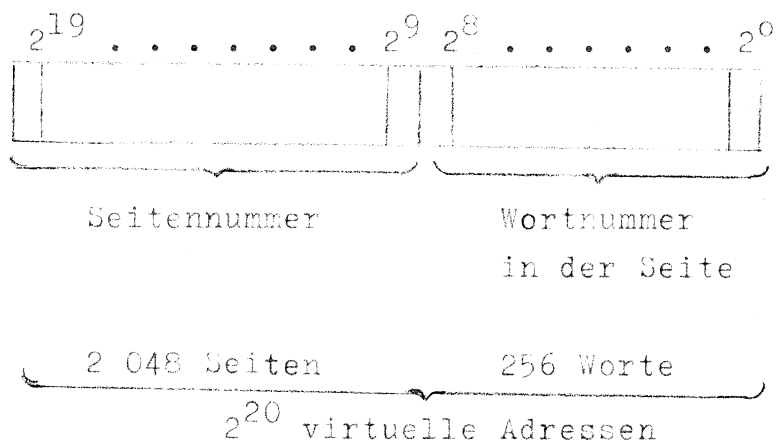
Für ein Normalprogramm sind im Gegensatz zum Betriebssystem nur Befehle aus einer Teilmenge der Befehlsworte erlaubt: es arbeitet im slave mode. Die Benutzung aller Befehle ist nur im master mode möglich. Der Übergang vom slave mode zum master mode kann durch Ansprung einer Hardwareadresse geschehen.

4. Adressierungsmechanismen

Es kann nötig werden, ein Programm aus dem Zentralspeicher in einen peripheren Speicher zu verlagern und zu einem späteren Zeitpunkt wieder in einen anderen Bereich des Zentralspeichers zurückzubringen. Dabei müssen die Adressenteile der Befehls-
worte, soweit sie sich auf Worte des Programms beziehen, um die eingetretene Verschiebung geändert werden. Dadurch verlängert sich der gesamte Transportvorgang.

Mit Hilfe eines Basisregisters kann die programmierte Adressen-
umrechnung vermieden werden: Die Worte eines Programms werden von Null an numeriert. Die Adressenteile in den Befehlsworten gelten für diese Numerierung (relative Adressierung). Beim Laden eines Programms wird die Adressierung nicht geändert, jedoch wird die absolute Anfangsadresse des Programms vom Arbeits-
speicher - sie sei b - in das Basisregister gebracht. Bei der Befehlsverarbeitung bildet das Leitwerk aus einer relativen Adresse α die effektive Maschinenadresse $\alpha+b$.

se
Die Vorgehensweise läßt sich verfeinern zum Verfahren der Pa-
giniierung. Das Programm verwendet virtuelle Adressen, beginnend mit 0, endend etwa mit $2^{20} \sim 10^6$. Es wird unterteilt in Seiten konstanter Wortanzahl (Atlas: 2^9 Worte zu 48 Bits, TR 440: 2^{10} Worte zu 48 Bits). Die Seitennummer einer virtuellen Adresse ist aus ihrer Dualdarstellung ersichtlich:



Die für ein Programm oder einen Datensatz benutzten virtuellen Adressen können so beschaffen sein, daß leere Seiten entstehen

(lückenhafte Adressierung (sparse addressing)).

Der Arbeitsspeicher wird in Kacheln unterteilt. Eine Kachel kann genau eine Seite aufnehmen. Beim Ablauf des Programms ist ein Teil seiner Seiten und der Daten in verschiedenen Kacheln des Arbeitsspeichers abgespeichert. Im Adressenteil der Befehls-
worte stehen dabei die unveränderten virtuellen Adressen.

Zur Auswertung einer virtuellen Adresse muß die virtuelle Seitennummer durch die aktuelle Kachelnummer ersetzt werden, um die erforderliche Arbeitsspeicheradresse zu erhalten. Im Prinzip ist dazu eine Tabelle erforderlich, die Seiten - und Kachelnummern verbindet. Dabei sind zwei Arten möglich:

Tabellenarg.	Tabellenwert
Seitennr.	Kachelnr.
Kachelnr.	Seitennr.

(Seiten-Kachel-Tabelle)

(Kachel-Seiten-Tabelle)

Diese Tabellen können vollständig bezüglich der Argumente sein. Dann sind sie von konstanter Länge. Sie können bei variabler Länge kürzer werden, wenn in ihnen nur die Seiten festgehalten werden, die im Arbeitsspeicher stehen, etwa im Fall der Seiten-Kachel-Tabelle (jetzt praktisch identisch mit dem der Kachel-Seiten-Tabelle):

(α)

S3	K1
S1	K10

Bei vollständigen Tabellen bietet sich die Feldarstellung an, bei denen Indizes die Rolle der Argumente übernehmen, etwa bei der Seiten-Tabelle:

(β) Kachelnr. Seitennr.

0:	-
1:	3
⋮	⋮
10:	1
⋮	⋮
255:	-

oder bei der Kacheltabelle

(γ) Seitennr. Kachelnr.

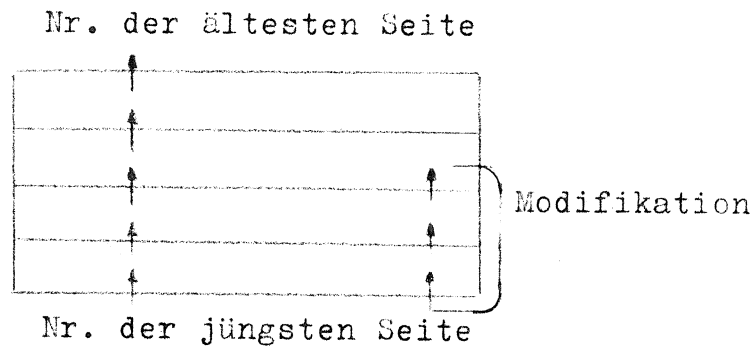
0:	-
1:	10
2:	-
3:	1
:	:
2047:	-

Stehen diese Tabellen im Arbeitsspeicher, so sind bei der Auswertung jeder virtuellen Adresse Zugriffe im Arbeitsspeicher erforderlich. Bei den Varianten (α) und (β) muß dabei die Tabelle unter Umständen ganz durchsucht werden, bei (γ) genügt ein einziger Speicherzugriff, jedoch erfordert diese Variante die längsten Tabellen.

Heutzutage ist eine Kombination aus (α) und (γ) gebräuchlich, wobei man jedoch für (α) einen Assoziativspeicher (associative storage) benutzt, der in der Regel aus 4 bis 16 Registern besteht. Das ist ein (technisch sehr aufwendiger und darum sehr teurer) Speicher, dessen Zellen durch Angabe eines Teiles ihres Inhalts aufrufbar sind. Es müssen dazu nicht wie bei einem normalen Speicher zur Auffindung eines Wortes die Inhalte sämtlicher Zellen abgelesen und außerhalb des Speichers verglichen werden, sondern dieser Vergleich geschieht simultan in allen Zellen selbst.

Im Assoziativspeicher werden die Nummern der am häufigsten benutzten Seiten untergebracht. Zur Adressenmodifikation einer virtuellen Adresse wird zunächst im Assoziativspeicher geprüft, ob er die zugehörige virtuelle Seitennummer enthält: wenn ja, so kann die Modifikation gleich vorgenommen werden, wenn nein, so wird erst in der Kacheltabelle (γ) nachgeschlagen. Ist die gesuchte Seite dort vermerkt, so wird ihre Nummer als die der jüngsten Seite in den Assoziativspeicher gebracht, während die Nummer der ältesten Seite herausgenommen wird. Dieser Alterungsmechanismus kann so modifiziert werden, daß eine aufgerufene

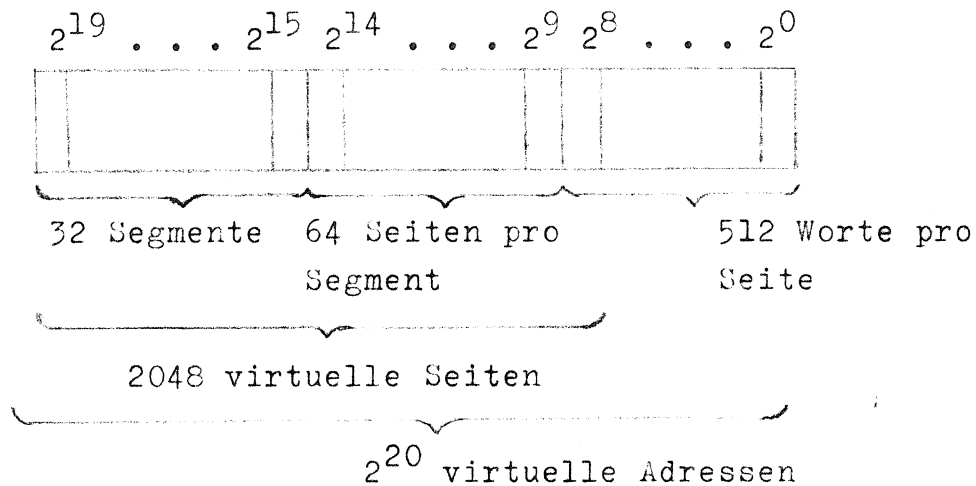
Seite, deren Nummer schon im Assoziativspeicher steht, danach als jüngste Seite genommen wird:



Wenn beim Nachschlag in der Kacheltabelle (γ) festgestellt wird, daß eine benötigte Seite sich nicht im Arbeitsspeicher befindet, so wird ein Organisationsprogramm, das Betriebssystem, gestartet, daß für den Transfer dieser Seite aus dem peripheren Speicher in eine freie Kachel des Arbeitsspeichers sorgt, den entsprechenden Eintrag in die Kacheltabelle (γ) vornimmt und danach die Fortsetzung des unterbrochenen Programms bewirkt. Ersetzungsprozess und Laden der Assoziativregister geschieht hardwaremäßig.

Wenn alle Kacheln im Arbeitsspeicher besetzt sind und eine neue Seite angefordert wird, so muß eine Seitenverdrängung durchgeführt werden: die Seite, die am längsten unbenutzt im Arbeitsspeicher steht, wird in den peripheren Speicher zurückgespeichert, und an ihre Stelle tritt eine neue Seite. Um das Alter einer Seite festzustellen, enthalten die Eintragungen in der Kacheltabelle ein Benutzungsbit, das bei der hardwaremäßigen Tabellenbenutzung im Zeitpunkt des Nachladens gesetzt wird ^{und} vom Betriebssystem in etwa gleichen Zeitabständen ausgewertet und gelöscht wird.

Eine Verfeinerung der Paginierung ist die Segmentierung: mehrere Seiten, etwa $2^6 = 64$, werden zu einem Segment zusammengefaßt. Segmentnummer, Seitennummer im Segment, Wortnummer in der Seite sind wieder aus der Dualdarstellung der virtuellen Adresse ersichtlich:



Für jedes Segment existiert eine Kacheltabelle (γ). Bei Aufruf einer virtuellen Adresse wird zunächst geprüft, ob deren virtuelle Seitennummer im Assoziativspeicher steht. Wenn nicht, so wird einer weiteren Tabelle der Art (γ) auf die zum Segment gehörigen Kacheltabelle verwiesen, in der anschließend zugegriffen wird. Die einzelnen Kacheltabellen sind jetzt erheblich kürzer als die Kacheltabelle bei der normalen Paginierung.

Dieses Verfahren bietet sich besonders an für die simultane Bearbeitung mehrerer Programme, die sich nur über einige Segmente erstrecken.

Bei der Rechenanlage GE 645 wird der Begriff der Segmentierung in einem modifizierten Sinn verwendet (siehe Vortrag über MULTICS).

5. Eingriffe

Gewisse Ereignisse werden von Funktionseinheiten an das Leitwerk signalisiert. Beispiele für solche Ereignisse sind etwa:

- von der Hardware erkannte Hardwarefehler,
- Anforderung von Seiten, die sich nicht im Arbeitsspeicher befinden,
- Ein/Ausgabewünsche von außen,
- Fehler in der Peripherie,
- Beendigung von Ein/Ausgabevorgängen, die simultan zur Arbeit des Prozessors durchgeführt werden.

Die darauf erfolgenden Signale müssen sofort verarbeitet werden. Deshalb muß durch einen Eingriff (interrupt) in die Befehlssteuerung das gerade laufende Programm unterbrochen werden. Das geschieht auf folgende Weise:

Im Leitwerk wird dafür gesorgt, daß keine weiteren Befehle des laufenden Programmes mehr zur Ausführung gelangen. Die in der Ausführung befindlichen Befehle werden im allgemeinen noch abgearbeitet. Dann geschieht ein Sprung zu einer fest vereinbarten Adresse im Arbeitsspeicher, wo sich ein spezielles Eingriffsprogramm befinden muß, das die durch das Eingriffssignal geforderten Operationen durchführt.

Die Anfangstätigkeit des Eingriffsprogramms, die möglichst kurz sein soll, besteht aus einer Sperrung gegen weitere Eingriffe, die zurückgestellt werden, und im Ketten der Register des laufenden Programms. Die Anfangstätigkeit endet mit der Aufhebung der Eingriffssperre. Anschließend arbeitet das Eingriffsprogramm wie ein normales Programm, in das also auch Eingriffe geschehen können.

Wird ein unterbrochenes Programm wieder fortgesetzt, so läuft es ohne Nebeneffekte weiter.

Für gleichzeitiges Eintreffen mehrerer Signale ist hardwaremäßig eine Priorität festgelegt.

6. Das E/A-Werk

Das E/A-Werk arbeitet simultan mit dem Prozessor (Parallelverarbeitung): das Leitwerk initiiert eine Ein/Ausgabetätigkeit, die anschließend autonom vom E/A-Werk durchgeführt wird. Eine Ein/Ausgabetätigkeit besteht im allgemeinen aus der Übertragung von Wortblöcken. Das Ende eines E/A-Vorgangs wird dem Leitwerk durch ein Eingriffssignal angezeigt.

Mit den peripheren Geräten verkehrt das Leitwerk über Kanäle. An einem Kanal können mehrere Geräte angeschlossen sein, jedoch kann jeweils nur von bzw. zu einem Gerät übertragen werden. Verschiedene Kanäle können simultan arbeiten.

Die Übertragung in den Kanälen erfolgt zeichenweise.

Bei langsamen Kanälen (bis zu 50000Z/sec) wird jedes Zeichen einzeln dem Zentralspeicher übergeben bzw. dort abgeholt. Für jedes übertragene Zeichen ist also ein Zugriff zum Zentralspeicher erforderlich. Bei schnellen Kanälen verkehrt das E/A-Werk wortweise mit dem Zentralspeicher: bei der Eingabe setzt es ankommende Zeichen zu einem Wort zusammen, bei der Ausgabe zerlegt es ein Wort in seine Zeichen.

Die weitgehend autonome Arbeit des E/A-Werks schließt ein, daß es bei der Eingabe eines Blockes vorgegebener Länge gleichzeitig eine Zählung und Hochschaltung der Adressen für die vorgesehenen Speicherplätze vornimmt.

Eine Sonderform der Kanäle stellt der Multiplexkanal dar. Alle angeschlossenen peripheren Geräte können auf langsamen Unterkanälen simultan Zeichen übertragen, die durch zeitliche Verschachtelung zum Zentralspeicher umgesetzt werden. Zu Unterscheidungszwecken wird dabei einem ankommenden Zeichen die Nummer des betreffenden Unterkanals hinzugefügt. Analog wird bei der Ausgabe von Zeichen verfahren.

Für die maximalen Übertragungskapazitäten der von den Herstellern angebotenen Geräte gelten etwa die folgenden Werte:

langsame Kanäle	20-50 K	} Z/sec
Standardkanäle	500-800 K	
Hochleistungskanäle	1.5-5 M	

7. Periphere Speicher

Für viele Probleme ist der Zentralspeicher eines Rechensystems nicht ausreichend. Datensätze und Programmteile müssen daher auf zusätzlichen peripheren Speichern abgespeichert und bei Bedarf gelesen werden. Auch geht man immer mehr dazu über, Daten über lange Zeiten (Wochen, Monate) im Rechensystem zu halten: "permanente Datenhaltung". Periphere Speicher arbeiten nur mit dem Zentralspeicher zusammen. Direkter Datenaustausch zwischen peripheren Speicherⁿ wird derzeit aus technischen Gründen nicht durchgeführt.

Periphere Speicher haben Wort- oder Blockstruktur. Weiter interessieren ^enben Kapazität und Zugriffszeit auch Zugriffsart und Übertragungsgeschwindigkeit.

Die Zugriffszeit ist in diesem Zusammenhang erklärt als die Zeitspanne zwischen der Anforderung einer Information und dem Beginn der Übertragung.

Bei der Zugriffsart unterscheidet man zwei Grenzfälle:

- a) Randomzugriff (random access) liegt vor, wenn die Zeit eines Zugriffs für alle Speicherplätze etwa gleich ist, genauer, wenn die Zeit eines Zugriffs vom vorangehenden Zugriff (im statistischen Sinn) unabhängig ist (ein Beispiel ist der Kernspeicher).
- b) Beim sequentiellen Zugriff ist die Zeit eines Zugriffs vom vorangehenden Zugriff abhängig. Sie wird bestimmt durch den "Abstand" der zu übertragenden Daten im Speicher (ein Beispiel ist der später behandelte Magnetbandspeicher).

Bei quantitativen Angaben zur Kapazität und Übertragungsgeschwindigkeit wird nach allgemeiner Gepflogenheit die Einheit "Zeichen" (Z) benutzt. Das verursacht eine gewisse Unbestimmtheit: $1Z \hat{=}$ je nach Hersteller 6 Bit oder 8 Bit $\hat{=}$ 1 Byte.

Der Trommelspeicher ist eine mit einer magnetisierbaren Schicht versehene rotierende Trommel. Auf dieser Schicht finden in Spuren, die je bis zu $2^{16} \approx 65\,000$ Bits aufneh-

men können, etwa $4 \cdot 10^6$ Zeichen Platz (also ~ 500 Spuren). Einer wesentlichen Steigerung dieser Kapazität sind technische Grenzen gesetzt. Für jede Spur existiert ein Lese- und Schreibkopf.

Die Speicherung eines Wortes von N Bits kann verschieden geschehen:

- a) parallel: die N Bits liegen auf N Spuren derart, daß sie gleichzeitig die Lese/Schreibköpfe passieren,
- b) seriell: die N Bits liegen hintereinander auf einer Spur,
- c) in einer Mischung aus a), b): ein Wort wird aufgeteilt in Wortteile gleicher Länge, wobei die Bits eines Wortteils parallel und die Teile seriell gespeichert werden.

Speicherung und Adressierung geschieht vielfach blockweise bei konstanten Blocklängen von 128-256 Worten. In Einzelfällen wird wortweise adressiert. Beim Übertragen konsekutiver Blöcke, die sich über mehrere Spuren erstrecken, erfolgt eine automatische Spurumschaltung.

Der Erwartungswert der Zugriffszeit ist durch die halbe Umdrehungszeit der Trommel gegeben und liegt bei 4-20 msec (für die Perm: 2msec, jedoch geringere Bitdichte).

Die Übertragungsgeschwindigkeit beträgt etwa 10^6 Z/sec. Sie kommt damit an die Übertragungskapazität des E/A-Werks heran.

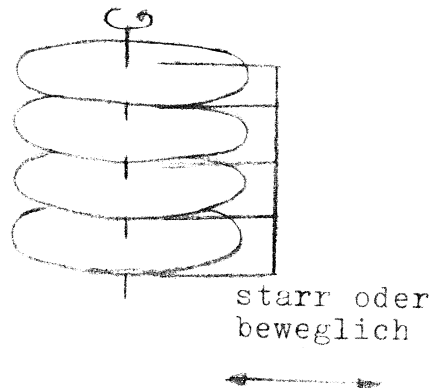
Manche Trommelkonstruktionen erlauben eine Abfrage des Trommelwinkels. Dann kann vom Betriebssystem bei mehreren Übertragungsbefehlen zunächst der mit der kleinsten Zugriffszeit gewählt werden.

Der Plattenspeicher ist in seiner Funktion dem Trommelspeicher ähnlich. Gegenüber diesem erlaubt er eine größere Kapazität, für die man jedoch auch eine größere Zugriffszeit in Kauf nehmen muß.

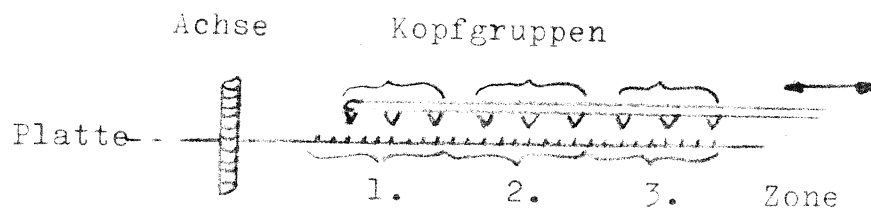
Auf einer rotierenden Achse sind etwa 4-24 Platten fest oder manuell auswechselbar angeordnet. Die Seiten der Platten sind mit einer magnetisierbaren Schicht bedeckt. Auf diesen Schichten ist die Information in konzentrischen Spuren gespeichert. Schreiben und Lesen erfolgt über entsprechende Köpfe.

In einer Ausführungsart hat dazu jede Spur jeder Platte ei-

nen eigenen Lese/Schreibkopf. Die Köpfe sind fest auf starren Armen angeordnet. Jede Plattenseite wird von einem Arm bedient. Ein Plattenspeicher dieser Art hat die Zugriffscharakteristik eines Trommelspeichers.



Bei der im weiteren betrachteten Ausführungsart ist eine Plattenseite in 3-6 konzentrische Zonen aufgeteilt. Für jede Plattenseite existiert ein Arm, auf dem pro Zone eine Gruppe von Lese/Schreibköpfen derart angeordnet ist, daß beim Verrücken des Armes in radialer Richtung alle Spuren einer Plattenseite genau einmal erfaßt werden (das Prinzip ist aus der Skizze ersichtlich).



Über eine Kopfgruppe werden Informationen parallel übertragen. Funktionell für die Auswirkung kann man eine solche Kopfgruppe als einen gemeinsamen Lese/Schreibkopf und die von ihr bedienten Spuren als eine gemeinsame Spur auffassen (auf der seriell gespeichert wird). Dieser Auffassung wird im weiteren gefolgt.

Die Arme sind nur gemeinsam verrückbar.

Speicherung und Adressierung geschieht in konstanten Blöcken

von 128-256 Worten. Dadurch werden die Zonen in Segmente eingeteilt, deren Anzahl pro Zone mit dem Abstand der Zone von der Achse wächst. Bei drei Zonen gilt etwa:

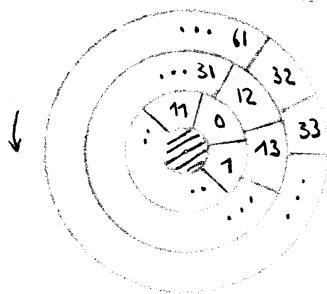
12		inneren	
20	Segmente in der	mittleren	Zone.
30		äußeren	

Zur Auffindung eines gespeicherten Blockes sind vier Angaben erforderlich:

Armposition (bis zu 256),
Plattenseite (bei fortlaufender Numerierung),
Zone,
Segment.

Diese Angaben lassen sich nicht (wie bei der Paginierung) für die mitgeteilten Werte mit einer Binäradressierung zusammenfassen. Jedoch lassen sich die Angaben für Zone und Segmente zu einer Blocknummer zusammenfassen, etwa: Segment 0 der mittleren Zone $\hat{=}$ Block 12. Diese Blocknumerierung kann beim Übergang zu einer anderen Plattenseite fortgesetzt werden, wobei die Adressierung sich vereinfacht, wenn die Anzahl der Segmente auf einer Plattenseite eine Zweierpotenz ist.

Auf diese Blöcke lassen sich in Richtung ihrer fortgesetzten Numerierung konsekutive Wortblöcke mit einer festen Armstellung übertragen: sie stehen auf Spuren, die sich als Schnitte von Zylindern (mit der Drehachse als Zylinderachse) mit den Plattenseiten ergeben. Erst wenn diese Zylinder (deren Anzahl mit der Zonenzahl übereinstimmt) besetzt sind, muß zu einer neuen Armposition übergegangen werden.



Die gesamte Zugriffszeit setzt sich zusammen aus der Positio-

nierungszeit des Armes (25-150msec) und dem durch die Plattendrehung entstehenden Anteil (im Mittel: $\frac{1}{2}$ Umdrehungszeit ~ 20 msec). Ein gängiger Mittelwert für die gesamte Zugriffszeit ist 100msec.

Für die Übertragungsgeschwindigkeit gelten etwa folgende Werte (bei drei Zonen):

innen	250 000	} Z/sec, also im Mittel 500 000 Z/sec.
Mitte	500 000	
außen	750 000	

Der Magnetbandspeicher ist im Prinzip ein großes, sehr schnell laufendes Magnettonbandgerät, dessen Steuerung die Zentraleinheit übernimmt. Das Magnetband ist ein manuell auswechselbarer Datenträger von großer Kapazität. Diese wird jedoch durch eine gegenüber dem Plattenspeicher kleinere Übertragungsgeschwindigkeit und durch Zugriffszeiten erkauft, die in Abhängigkeit von der problembestimmten Speicherung recht hohe Werte annehmen kann.

Ein Magnetband besteht aus einem Kunststoffträger, der mit einer magnetisierbaren Schicht bedeckt ist. Schreiben und Lesen erfolgt wie beim Trommel- oder Plattenspeicher durch entsprechende Köpfe. Dieses geschieht oft auf 6 oder 8 Informationsspuren, zu denen 1 oder 2 weitere Spuren zur Fehlererkennung und Korrektur kommen. Übliche Bandlänge ist 750m.

Speicherung und Adressierung geschieht blockweise. Die Blocklängen sind variabel: sie dürfen zwischen 40 und 8 000 Worten schwanken. Hinter einen Block wird eine Endmarke gesetzt, meistens einfach eine Beschriftungslücke. Wird hinter eine bestimmte Adresse ein neuer Block auf das Band gelesen, so sind alle hinter diesem stehende Informationen als künftlich zu betrachten. (Dies steht im Gegensatz zu früher verwendeten voradressierten Bändern, bei denen ein Block durch einen neuen, nicht größeren Block überschrieben werden durfte.) Der Grund dafür liegt in der hohen Transportgeschwindigkeit des Bandes, die einen festen Zeichenabstand nicht garantieren kann.

Von Bedeutung für ein Magnetband sind folgende in einer Ge-

Genüberstellung mitgeteilte Angaben (für Bandlänge 750m):

	Bänder	
	ältere	neuere
volle Spulzeit [min]	3	1.5
Lesen/Schreibgeschw. [m/sec]	2	1
Kapazität [Z]	$20 \cdot 10^6$	$40 \cdot 10^6$
Übertragungsgeschw. [Z/sec]	max. 80 000-100 000	

Zum Betrieb eines Magnetbandspeichers genügen die Befehle (der lese/Schreibkopf steht vor einer Befehlsausführung über einer Beschriftungslücke): "Lies nächsten Block", "Schreibe nächsten Block", "Spule zurück zum Bandanfang".

Magnetkarten und Magnetstreifen sind Datenträger, die in manuell auswechselbaren Magazinen gelagert werden. Auf Anforderung wird ein einzelner Magnetstreifen bzw. eine einzelne Magnetkarte zu einer lese/Schreibvorrichtung transportiert. Dieser Vorgang bestimmt wesentlich die mittlere Zugriffszeit von 0.5sec. Die Kapazität dieser Datenträger liegt bei 10^9 Zeichen.

8. Periphere Geräte

Es werden einige weitere periphere Geräte aufgezählt.

Die Lochkarten zählen zu den gebräuchlichsten Datenträgern im Verkehr mit Rechensystemen. Durch Sortieren und Mischen der Karten kann die Reihenfolge von Daten geändert werden. Auf einer Lochkarte finden in 80 Spalten 80 Zeichen Platz. Das Stanzen geschieht mechanisch mit einer Geschwindigkeit von 2-4 Karten/sec, das Lesen mit einer Geschwindigkeit von etwa 12 Karten/sec (also 1200 Z/sec). Mitunter wird zeilenweise gelesen.

Der Lochstreifen ist ein weiterer wichtiger Datenträger. Auf ihm finden 5,8 oder in seltenen Fällen 6 Kanäle Platz. Das Stanzen geschieht mechanisch mit 150 Z/sec. Bei photo- oder dielektrischer Abtastung sind mit Reibungsantrieb Lesegeschwindigkeiten bis zu 2000 Z/sec erreichbar. Um bei Start-Stop-Betrieb eine Zerstörung des Lochstreifens zu verhindern,

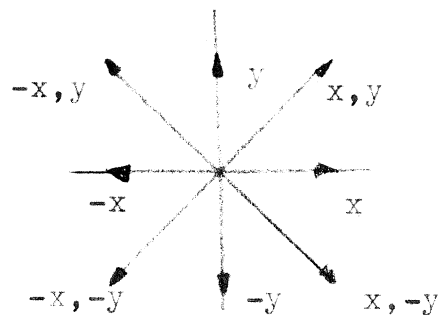
ist dazu jedoch ein Pufferspeicher für etwa 100 Zeichen erforderlich. Aus diesem holt das E/A- Werk die Zeichen, während unabhängig davon das Lesegerät versucht, den Pufferspeicher gefüllt zu halten. Nach dessen jeweiligem Inhalt kann der Lochstreifen abgebremst oder beschleunigt werden.

Für Schnelldrucker geben die Hersteller Leistungen von 1200-1300 Zeilen/sec an. Diese Werte werden nur beim Ausdruck numerischer Zeichen erreicht. Beim Ausdruck beliebiger Zeichen darf man etwa 75⁰/o der angegebenen Leistung erwarten.

An ein Rechensystem können sogenannte Benutzerstationen (user terminal) angeschlossen sein. Eine Benutzerstation ist eine Funktionseinheit innerhalb eines Rechensystems, mit deren Hilfe einem Benutzer der direkte Informationsaustausch, oft über größere Entfernungen, mit dem Rechensystem möglich ist. Eine Benutzerstation kann beispielsweise aus einem Schnelldrucker und einem Lochkartenleser oder etwa aus einem Bildsichtgerät bestehen. Die einfachste und gebräuchlichste Benutzerstation ist ein Fernschreiber.

Der Plotter ist ein Gerät zur zeichnerischen Darstellung von Rechnerdaten. In einer gebräuchlichen Ausführungsart läuft eine Lapiertahn über eine Trommel (manche Geräte benutzen auch einen Zeichentisch). Digitale Befehle steuern zwei Schrittmotoren, von denen der eine die Drehung der Trommel, der andere die seitliche Bewegung des Schreibstiftes bewirkt. Dessen relative Bewegung zur Lapiierfläche setzt sich aus Einzelschritten zusammen (feste oder umstellbare Schrittlängen in Achsenrichtungen etwa 0.06-0.2mm).

Bei Geräten mit 8 Grundschritten sind folgende Möglichkeiten gegeben:



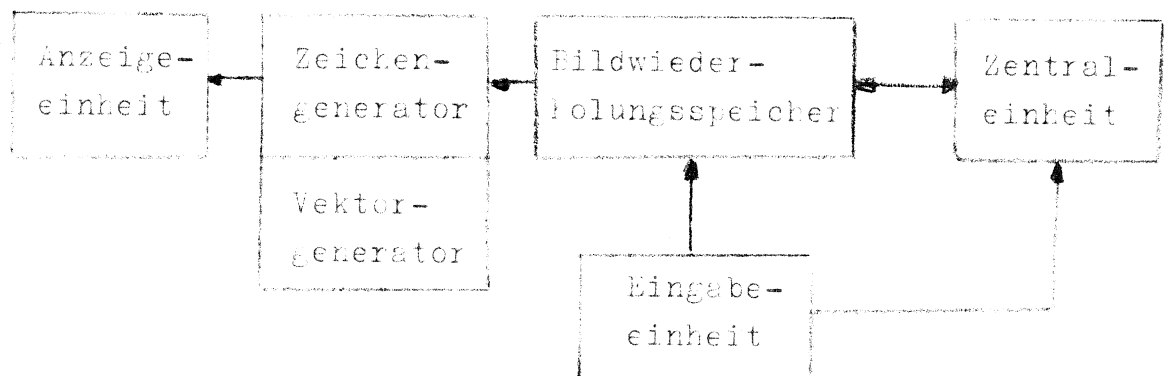
x: Befehl in x-Richtung (seitliche Verschiebung des Stiftes),

y: Befehl in y-Richtung (Drehung der Trommel),
x,y: Kombination der Schritte x und y, usw.

Ferner bewirken weitere Befehle Heben und Senken des Schreibstiftes. Mit diesen Elementarschritten können Kurven und Symbole bei wählbarem Maßstab dargestellt werden.

Plotter können insbesondere "off line" und "on line" betrieben werden.

Das Bildsichtgerät dient der optischen Ein- und Ausgabe von Informationen im Verkehr mit einer Zentraleinheit. Der prinzipielle Aufbau ist durch folgendes Schema gegeben:



In der Anzeigeeinheit werden auf dem Bildschirm einer Kathodenstrahlröhre Symbole, d.h. Buchstaben, Ziffern, Sonderzeichen, aber auch Geradenstücke (Vektoren), sichtbar gemacht. Ein aus Symbolen bestehendes Bild muß mit einer bestimmten Frequenz wiederholt werden. Je nach Gerät wird mit einer Bildwiederholungsfrequenz von 16 bis 64 Hz gearbeitet, die ein flimmerfreies Bild garantieren soll. Dazu werden im Bildwiederholungsspeicher die aus einer Eingabeeinheit oder der Zentraleinheit übertragenen codierten Zeichen für die Symbole gespeichert, aus denen das Bild bestehen soll. Diese Zeichen werden bei jeder Wiederholung im Zeichengenerator oder für Geradenstücke in einem Vektorgenerator in Signale für die Anzeigeeinheit zur Erzeugung der entsprechenden Symbole auf dem Bildschirm umgewandelt.

Auf dem Bildschirm sind je nach Gerät 1024x1024 oder 512x512 Koordinatenpunkte fixiert. Die einzelnen Symbole erscheinen auf ihm zusammengesetzt aus Strichen, die der Kathodenstrahl

zwischen zwei Koordinatenpunkten zeichnet.

Die übliche Eingabeeinheit ist eine Tastatur für die Symbole.

Bei rechnergesteuerten Bildsichtgeräten ist ferner die Verwendung eines lichtgriffels möglich: wird dieser über eine leuchtende Markierung auf dem Bildschirm gehalten, so entstehen durch eine kleine Bewegung des lichtgriffels Impulse, die den Rechner veranlassen, mit der Markierung dem Griffel zu folgen. Dabei kann zwischen zwei verschiedenen Stellungen der Markierung ein leuchtender Strich gezogen oder gelöscht werden.

Von gleicher Wirkung ist die Hollkugelsteuerung. Sie besteht aus einer frei drehbaren Kugel in einem besonderen Gehäuse, aus dem sie zu einem Teil herausragt. Eine Drehung der Kugel veranlaßt Aussendung von Impulsen an den Rechner. Daraufhin bewegt der Rechner eine Markierung auf dem Bildschirm mit einer von der Kugelbewegung abhängigen Geschwindigkeit und Richtung.