



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT  
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(51) Int. Cl.<sup>3</sup>: G 11 C 9/06  
G 06 F 13/00



**Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein**  
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

## (12) PATENTSCHRIFT A5

(11)

627 580

(21) Gesuchsnummer: 15734/76

(73) Inhaber:  
International Business Machines Corporation,  
Armonk/NY (US)

(22) Anmeldungsdatum: 14.12.1976

(30) Priorität(en): 24.12.1975 US 644006

(72) Erfinder:  
Louis Ronald Bryant, Poughkeepsie/NY (US)  
Raymond James Pedersen, Staatsburg/NY (US)  
Arnold Weinberger, Poughkeepsie/NY (US)

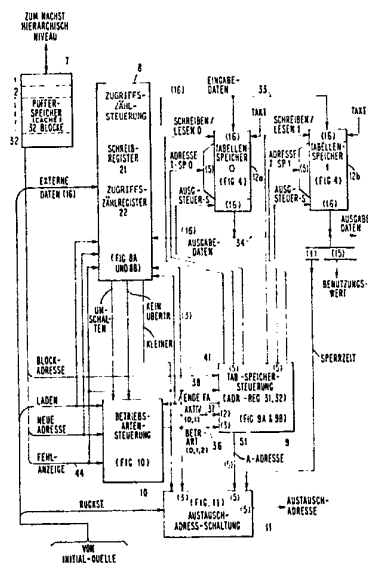
(24) Patent erteilt: 15.01.1982

(45) Patentschrift  
veröffentlicht: 15.01.1982

(74) Vertreter:  
Dipl.-Ing. Wolfgang Möhlen, c/o IBM Corp.,  
Rüschlikon

### (54) Austauschordnung zur Bereitstellung von Austauschadressen für den Betrieb eines Pufferspeichers in einer Speicherhierarchie.

(57) In einer Datenverarbeitungsanlage, welche einen Pufferspeicher (7) kleiner Kapazität enthält, um einen raschen Zugriff zu in Bearbeitung befindlichen Daten zu ermöglichen, ist eine Austauschordnung vorgesehen, die jeweils einen Datenblockaustausch zwischen Hauptspeicher und Pufferspeicher bewirkt, wenn letzterer gerade benötigte Daten nicht enthält. Ein Tabellenspeicher (12a, 12b) enthält für jeden Speicherblock des Pufferspeichers einen Benutzungswert, um jeweils den Speicherblock mit dem kleinsten Benutzungswert zum Überschreiben auswählen zu können, wenn ein Blockaustausch nötig wird. Ein Register (22) enthält als chronologische Referenzgrösse einen Zugriffszählwert, der bei jedem ersten Zugriff zu einem Speicherblock um eine Einheit erhöht wird, und dann für den betreffenden Speicherblock als neuer Benutzungswert in den Tabellenspeicher eingetragen wird. Durch entsprechende Ausgestaltung der Steuerschaltungen (8, 9, 10) ist dafür gesorgt, dass alle Benutzungswerte im Tabellenspeicher in gleicher Weise reduziert werden, wenn der Zugriffszählwert die Kapazitätsgrenze erreicht, und dass dieser dann so reduziert wird, dass er auf jeden Fall grösser als der grösste verbliebene Benutzungswert ist.



## PATENTANSPRÜCHE

1. Austauschordnung zur Bereitstellung von Austauschadressen für den Betrieb eines Pufferspeichers in einer Speicherhierarchie, mit einer Tabellenspeichereinrichtung zur Speicherung von Benutzungswerten in Positionen, die den Speicherblöcken für austauschbare Datenblöcke im Pufferspeicher entsprechen, und mit Zugriffszählschaltungen zur Bereitstellung eines laufenden Zugriffszählwertes, der bei jedem neuen Zugriff zu einem Speicherblock im Pufferspeicher um eine Einheit erhöht wird, und zum Einsetzen des laufenden Zugriffszählwertes als Benutzungswert in diejenige Tabellenspeicherposition, die dem neu adressierten Speicherblock entspricht, gekennzeichnet durch:

- einen Austauschadresspeicher (42) zur Speicherung der Adresse eines ausgewählten Speicherblocks, dessen Inhalt beim Fehlen eines angeforderten Datenblockes im Pufferspeicher überschrieben werden soll;
- eine Anordnung zur Austauschadressfestlegung mit Einrichtungen (Fig. 8, Fig. 9, Fig. 11) zum Durchsuchen der Positionen der Tabellenspeichereinrichtung (12a, 12b) zur Feststellung des niedrigsten Benutzungswertes, und zur Speicherung der entsprechenden Adresse im Austauschadresspeicher sowie
- eine Anordnung zur Veränderung des Benutzungswertbereiches mit Einrichtungen (Fig. 8) zur Verminderung aller in der Tabellenspeichereinrichtung gespeicherten Benutzungswerte unter Beibehaltung ihrer Wertreihenfolge, wenn der Zugriffszählwert einen vorgegebenen Wert erreicht hat, und zur Verminderung des Zugriffszählwertes auf einen Wert, der grösser ist als jeder der verminderten Benutzungswerte.

2. Austauschordnung nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Einrichtungen zur Verminderung aller Benutzungswerte Schaltungsmittel (21, 123, 144) enthalten zur Verschiebung jedes aus der Tabellenspeichereinrichtung ausgelesenen Benutzungswertes in festgelegter Richtung und um eine festgelegte Anzahl von Stellen, und zur Wiedereingabe des verschobenen Benutzungswertes in die Tabellenspeichereinrichtung (12a, 12b).

3. Austauschordnung nach Patentanspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Tabellenspeichereinrichtung zwei gleiche Tabellenspeicher (12a, 12b) enthält; dass Schaltungseinrichtungen (180, 191) vorgesehen sind zur Auswahl je eines der beiden Tabellenspeicher als aktiver Tabellenspeicher und dass Steuer- und Übertragungsmittel (31, 32, 151...156, 177; 21, 123, 14) vorgesehen sind zum sequentiellen Auslesen aller Benutzungswerte aus dem aktiven Tabellenspeicher, zum Verschieben aller Benutzungswerte um den gleichen Betrag, und zum Einschreiben der verschobenen Benutzungswerte in den anderen Tabellenspeicher, jedoch unter der gleichen Adresse, die der unverschobene Benutzungswert im aktiven Tabellenspeicher hatte.

4. Austauschordnung nach Patentanspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Einrichtungen zur Verminderung des Zugriffszählwertes bei Verminderung aller Benutzungswerte Schaltungsmittel (112) enthalten, um in dem den laufenden Zugriffszählwert enthaltenden Zugriffszählregister (22) die werthöchste Bitposition auf den Binärwert 1 und alle anderen auf den Binärwert 0 zu setzen.

5. Austauschordnung nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Einrichtungen (31, 32, 151...156, 177; 22, 108, 133) zum Durchsuchen der Positionen der Tabellenspeichereinrichtung (12a, 12b) und die Einrichtungen (21, 123, 144) zum Vermindern aller Benutzungswerte so kombiniert sind, dass der Inhalt aller Positionen sequentiell ausgelesen wird, dass jeder Benutzungswert nach Vergleich mit dem vorher ausgelesenen Benutzungswert um eine Stelle verschoben wird, und dass der verschobene Benutzungswert dann mit gleicher Adresse wieder in die Tabellenspeichereinrichtung eingegeben wird.

6. Austauschordnung nach Patentanspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Tabellenspeichereinrichtung zwei gleiche Tabellenspeicher (12a, 12b) enthält, so dass die aus einem Tabellenspeicher ausgelesenen Werte nach Vergleich und Verschiebung mit gleicher Adresse in den anderen Tabellenspeicher eingegeben werden können.

7. Austauschordnung nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass eine Betriebsartensteuereinrichtung (Fig. 10) vorgesehen ist, die durch Anzeigesignale vom Pufferspeicher in verschiedene Zustände einstellbar ist und entsprechende Steuersignalkombinationen an die mit ihr verbundenen Anordnungen (Fig. 8, Fig. 9) zur Austauschadressfestlegung und zur Veränderung des Benutzungswertbereiches abgibt, und dass ferner eine Koinzidenzschaltung (110) vorgesehen ist, welche dann, wenn eine bestimmte Anzahl der werthöchsten Bitpositionen in einem Zugriffszählregister (22) den Binärwert 1 enthält, ein Anzeigesignal zur Auslösung der Veränderung des Benutzungswertbereiches an die Betriebsartensteuereinrichtung abgibt.

8. Austauschordnung nach Patentanspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Einrichtungen zur Verminderung aller Benutzungswerte ein Schreibregister (21) enthalten sowie Torschaltungen (144), durch welche die von der Tabellenspeichereinrichtung (12a, 12b) abgegebenen parallelen Bitsignale um eine Bitstelle verschoben in das Schreibregister eingegeben werden können.

9. Austauschordnung nach Patentanspruch 1, gekennzeichnet durch: ein Schreibregister (21), dessen Ausgänge mit den Eingängen der Tabellenspeichereinrichtung (12a, 12b) verbunden sind; ein Zugriffszählregister (22) und eine damit verbundene Inkrementierschaltung (109) zur schrittweisen Erzeugung von aufsteigenden Zugriffszählwerten; erste Torschaltungen (140), welche bei Vorliegen eines Fehlalarme-Steuersignals den Inhalt des Zugriffszählregisters in das Schreibregister übertragen; zweite Torschaltungen (133) zur Übertragung des auf Ausgabeleitungen der Tabellenspeichereinrichtung abgegebenen Benutzungswerts in das Zugriffszählregister bei Vorliegen eines Eingabe-Steuersignals; einen Vergleichler (108), dessen erste Eingänge mit den Ausgabeleitungen der Tabellenspeichereinrichtung und dessen zweite Eingänge mit den Ausgängen des Zugriffszählregisters verbunden sind, und der ein Eingabe-Steuersignal an die zweiten Torschaltungen abgibt, wenn der Benutzungswert auf den Ausgabeleitungen der Tabellenspeichereinrichtung kleiner ist als der im Zugriffszählregister gespeicherte Benutzungswert.

Bei einer Speicherhierarchie, in der Datenblöcke von einem Speicherniveau zum anderen übertragen werden, benötigt man Einrichtungen, um einen auszutauschenden Block zu identifizieren, wenn fehlende Daten in einen bereits voll besetzten Pufferspeicher geholt werden sollen. Durch die Austauschordnung wird nach einer vorgegebenen Austauschregel die Adresse desjenigen Datenblockes bestimmt, der für den gewünschten, neu in den Pufferspeicher zu übertragenden Datenblock Platz machen muss.

Eine solche bekannte Austauschregel ist die LRU-Regel (LRU = least recently used = am längsten unbenutzt), durch den derjenige Datenblock im Puffer, der am längsten nicht benutzt wurde, als der unwichtigste Block ermittelt wird, der daher mit geringster Beeinflussung der Systemleistung ersetzt werden kann.

Die LRU-Regel verlangt jedoch ein Verfahren zur Verfolgung der relativen Benutzung des Inhaltes der Speicherblöcke im Puffer. Eine bekannte Lösung besteht darin, jede Block-

adresse bei Benutzung in einen Kellerspeicher oder Stapelspeicher einzugeben, wobei die Position im Stapel die Benutzungsaktualität des betreffenden Blockinhaltes angibt. Abhängig von der Grösse des Puffers und der Grösse der Blöcke kann der Stapelspeicher sehr gross und kostspielig in der Implementierung werden.

Eine andere LRU-Regel wurde veröffentlicht in einem Artikel von R.M. Meade mit dem Titel «Design Approaches for Cache Memory Control» in Computer Design, Januar 1971, Seiten 87-93. Dabei wird mit binären Werten, die in einer Assoziativspeicheranordnung gespeichert sind, die Benutzungsaktualität der Blöcke innerhalb eines Puffers festgehalten. Wenn ein Block adressiert wird, erhält er einen Wert zugeteilt, der um 1 grösser ist als der einem anderen Block, der zuletzt vor dem laufenden Block adressiert wurde, zugeteilte Wert. Es wird also dem nächsten adressierten Block immer ein Benutzungswert zugeordnet, der um 1 grösser ist als der dem zuletzt adressierten Block zugeordnete Wert, usw. Der Block mit dem jeweils höchsten zugeordneten Wert ist dann der zuletzt adressierte bzw. der am kürzesten unbenutzte Block (MRU = most recently used). Entsprechend ist der Block mit dem niedrigsten Benutzungswert der am längsten unbenutzte Block (LRU). Ein Benutzungswert wird nur beim jeweils ersten Zugriff zu einem bestimmten Block zugeordnet und bleibt für alle unmittelbar nachfolgenden Zugriffe zum gleichen Block unverändert, wodurch sich diese Regel von derjenigen unterscheidet, bei welcher der am wenigsten häufig benutzte Block ermittelt wird. Der Meade-Artikel beschreibt eine Anordnung von Speicherplätzen, die beliebig adressiert werden können. Jedes gespeicherte Wort kann bitweise parallel mit anderen Wörtern verschoben werden, um das Wort mit dem niedrigsten Benutzungswert herauszufinden. Die Anordnung ist ausreichend, um zu jedem Pufferspeicherblock einen zugehörigen Benutzungswert zu halten. Es wird also kein Stapelspeicher benötigt. Die ganze Anordnung muss wenigstens so viele Wort-Speicherplätze haben, wie Blöcke betroffen sind, so dass zwischen den Blöcken im Puffer und den Wörtern in der Assoziativspeicheranordnung ein 1:1-Verhältnis besteht. Im Gegensatz zum Stapelspeicher, wo Adressen verschoben werden, werden bei diesem Schema den feststehenden Adressen verschiedene Benutzungswerte zugeordnet.

Ein Nachteil des Meade-Verfahrens liegt darin, dass durch die kontinuierliche Erhöhung der Benutzungswerte bald die Kapazität eines Zählers überschritten wird. Zu diesem Zeitpunkt wird der Zähler zurückgestellt oder läuft nach Null über, und dann wird die LRU-Regel nicht mehr richtig implementiert, da die relativen Benutzungswerte danach falsch sind. Es müssen alle Benutzungswerte zurückgestellt werden, und die LRU-Information für den Puffer geht verloren. Es muss dann zunächst eine andere Regel als die LRU-Regel benutzt werden, bis wieder genügend neue Benutzungswerte vorhanden sind, so dass die LRU-Regel wieder sinnvoll benutzt werden kann.

Ein weiteres Problem bei dem Meade-Verfahren liegt darin, dass es eine beträchtliche Verarbeitungszeit braucht (gleich der Zeit zum bitweisen Verschieben eines Wortes) jedes Mal, wenn ein Block (eine Seite) im Puffer ersetzt werden muss. Die Austauschzeit für einen Block (eine Seite) wird durch das LRU-Verfahren erhöht, wodurch die Systemleistung heruntergeht.

Ein weiteres Problem liegt beim Meade-Verfahren darin, dass ein Speicher für die Benutzungswerte, in dem die Wörter bitweise (und rezirkulierend) verschoben werden können, keine Standardbaueinheit ist und die Austauschrichtung somit kostspielig macht und die Benutzung integrierter Speicherchips mit hoher Packungsdichte anschliesst.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Austauschordnung für einen Pufferspeicher anzugeben, welche die oben genannten Nachteile nicht aufweist.

Der Gegenstand der Erfindung ist in den Ansprüchen dar-

gestellt.

Durch die Erfindung ergeben sich folgende Vorteile:

- Ein Überlaufen der Benutzungswerte wird verhindert.

Trotz Verschiebung des Zahlenbereiches bei drohendem Überlauf bleibt die Relation der vorhandenen Benutzungswerte erhalten.

- Es geht keine Zeit zur Ermittlung der Austauschadresse verloren, da die Ermittlung bereits im voraus erfolgt, so dass, während der Austausch eines Datenblocks mit einer bereits vorhandenen Austauschadresse unmittelbar nach Auftreten des Fehlanzeigesignals vorgenommen wird, gleichzeitig (also ohne Zeitverlust) die Austauschadresse für den nächsten Austausch durch Vergleich aller Benutzungswerte ermittelt wird.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird anschliessend anhand von Zeichnungen beschrieben. Es zeigen:

Fig. 1 bis Fig. 6 Schaltglieder und Baugruppen, die im Ausführungsbeispiel verwendet werden;

Fig. 7 ein Blockschaltbild des beschriebenen Ausführungsbeispiels der Erfindung;

Fig. 8A und 8B Einzelheiten der Zugriffszählsteuerung;

Fig. 9A und 9B Einzelheiten der Tabellenspeichersteuerung;

Fig. 10 Einzelheiten der Betriebsartensteuerung;

Fig. 11 Einzelheiten der Austauschadressschaltung;

Fig. 12 die Zeitfolge der Arbeitszyklen in der Austauschordnung.

Im Ausführungsbeispiel verwendete Schaltelemente und Baueinheiten

In den Fig. 1 bis 6 sind Standardbauelemente und Standardfunktionseinheiten gezeigt, die im Ausführungsbeispiel verwendet werden. Für Verknüpfungsschaltungen benutzt man UND-Glieder, ODER-Glieder, verdrahtete ODER-Schaltungen und Inverter, die in den Fig. 1A bis 1D dargestellt sind. Für Speicherelemente ist ein synchron getaktetes System vorausgesetzt, in dem ein Taktsignal in jedem Zyklus auftritt, um festzustellen, ob und wie der Eingang den Ausgang beeinflusst. In einem Kippglied, wie es in Fig. 2A gezeigt ist, wird der Schaltzustand umgekehrt, wenn das Eingangssignal während des Taktimpulses aktiv (binär «1») ist; falls z. B. das Signal am 0-Ausgang abgeschaltet war und am 1-Ausgang eingeschaltet war, sind sie während des nachfolgenden Zyklus entsprechend umgekehrt. In der Registerstufe (Fig. 2B) ist das Signal am Ausgang während des nachfolgenden Zyklus Ein (= binär «1»), wenn das Signal am Eingang während des Taktimpulses Ein (= binär «1») war. Entsprechendes gilt für das Signal Aus (= binär «0»). Ein n-Bit-Register (Fig. 3) besteht aus n Registerstufen.

Eine Speicheranordnung, wie sie in Fig. 4 gezeigt ist, enthält mehrere Speicherwörter, von denen während eines Zyklus nur eines entweder zum Lesen oder Schreiben (aber nicht für beides) adressiert werden kann. Das Wort wird durch eine Adresse gewählt. In diesem Beispiel enthält die Anordnung 32 Wörter aus je 16 Bit. Die Adresse besteht daher aus 5 Bits zum Wählen eines der 32 Wörter. Beim Lesen ist das Schreib/Lese-signal abgeschaltet und das Schreibtaktsignal gesperrt, so dass die Eingabedatenleitung unwirksam ist. Die Anordnung wirkt als nicht getaktetes Schaltnetz, bei dem das adressierte Wort auf der Ausgabedatenleitung zur Verfügung steht. Das Ausgabesteuersignal gestattet die Abgabe des Inhaltes der adressierten Wort-Speicherstelle aus der Speicheranordnung auf die Ausgabedatenleitung. Zwei oder mehr Speicheranordnungen können mit ihren Ausgängen bitweise ODER-verknüpft sein und eine gemeinsame Ausgabedatenleitung benutzen. Es gibt aber nur jeweils eine Speicheranordnung ein Datenwort ab, und zwar diejenige, bei der das Ausgabesteuersignal eingeschaltet (aktiv) ist, während dieses Steuersignal bei der anderen Speicheranordnung nicht aktiv ist.

Solche Speicheranordnungen sind im Ausführungsbeispiel

als Tabellenspeicher (T-Speicher) bezeichnet.

Das Blockdiagramm in Fig. 5 zeigt eine konventionelle Zähler-schaltung (Inkrementierschaltung), deren Funktion allgemein bekannt ist, so dass sie nicht näher beschrieben werden braucht. Der Eingabewert, eine n-Bit-Zahl, wird um 1 erhöht und als n-Bit-Wort abgegeben, das eine Zahl darstellt, die um 1 grösser ist als die Eingabezahl. Ausserdem wird durch ein zusätzlich erzeugtes Ausgangssignal angezeigt, wenn ein Übertrag von der höchsten Bitposition erfolgt. Eine 5-Bit-Eingabezahl, beispielsweise 10011 (= 19), bewirkt einen Ausgabewert 10100 (= 20) und einen Übertrag = 0. Ein Eingabewert 11111 (= 31) bewirkt den Ausgabewert 00000 (= 0) und den Übertrag = 1.

Fig. 6 zeigt in einem Blockdiagramm eine konventionelle Vergleicherschaltung. Dieser Vergleicherschaltung hat zwei Eingänge für n-Bit-Zahlen X und Y, die miteinander verglichen werden. Wenn  $X < Y$ , ist das Ausgangssignal «KLEINER» eingeschaltet (aktiv); sonst ist es abgeschaltet, und das bedeutet  $X \geq Y$ .

#### Bevorzugtes Ausführungsbeispiel

Das bevorzugte Ausführungsbeispiel einer Austauschordnung für Datenblöcke, die den jeweils am längsten unbenutzten Datenblock zum Austausch bestimmt (LRU-Verfahren. Aktualitätsprinzip) ist durch das Blockdiagramm der Fig. 7 dargestellt. Die einzelnen Schaltkreise sind in den Abbildungen gezeigt, die in den Blöcken der Fig. 7 angegeben sind.

Die Austauschordnung arbeitet unter Steuerung eines schnellen Pufferspeichers 7. Der Pufferspeicher 7 ist ein konventioneller Hochgeschwindigkeitspuffer mit niedriger Kapazität in einer Speicherhierarchie. Er enthält 32 Blöcke mit je mehreren Speicherplätzen, in denen Steuerwörter, Instruktionen oder Daten aufgezeichnet werden können. Ein durch eine zugehörige und nicht dargestellte Zentraleinheit adressiertes Wort steht mit gewisser Wahrscheinlichkeit in einem Block im Pufferspeicher. Wenn sich der adressierte Datenblock nicht im Pufferspeicher befindet, wird ein Fehlzanzeigesignal aktiviert, und der Datenblock von einem grösseren langsameren Speicher der Hierarchie geholt und in einen der 32 Blockbereiche im Pufferspeicher gesetzt und dadurch der frühere Inhalt dieses Blockes überschrieben. Die Austauschordnung ermittelt den Blockbereich, in den der fehlende Datenblock zu setzen ist, mit einer modifizierten Form eines bekannten LRU-Algorithmus (Ermittlung des am längsten unbenutzten Datenblocks als Austauschskandidat).

Die Einrichtung zur Ausführung des modifizierten LRU-Algorithmus enthält ein Zugriffszahlregister 22 in einer Zugriffszahlsteuerung 8, die in Fig. 7 dargestellt sind. Der Zugriffszahlwert im Register 22 kann durch eine Zähler-schaltung (Inkrementierschaltung) 109 jeweils um eine Einheit erhöht werden. Im detaillierten Ausführungsbeispiel wird ein 15 Bit fassendes Zugriffszahlregister mit einer 15-Bit-Zähler-schaltung dazu benutzt, sequentielle Zugriffszahlwerte zu erzeugen. Die Austauschordnung wird für die verschiedenen benötigten Operationen in verschiedene Betriebsarten gesetzt. Die sechs Betriebsarten, die in der Betriebsartensteuerung 10 eingestellt werden können, sind in der folgenden Betriebsartentabelle aufgeführt:

#### Betriebsartentabelle

Bits

0 0 0 Ruhebetrieb

0 0 1 Tabellenspeicher-Ladebetrieb

0 1 X Betriebsart Aktualitätszahl erhöhen

1 X 0 Betriebsart Fehlzanzeige ohne Umschalten

1 X 1 Betriebsart Fehlzanzeige mit Umschalten

1 X X Fehlzanzeigebetrieb (entweder 1X0 oder 1X1)

In der Betriebsartentabelle wird durch X ein Bit in der Neu-

trastellung bezeichnet, die entweder 0 oder 1 sein kann. Die Taktierung für die verschiedenen Betriebsartenoperationen ist in Fig. 12 gezeigt, wo die Betriebsartenbestimmung in der Betriebsartensteuerung 10 im Zyklus 1 erfolgt.

#### Ruhebetrieb

Der Ruhebetrieb liegt vor, wenn in der Austauschordnung nichts verändert wird. Während des Normalbetriebes des Pufferspeichers herrscht meistens der Ruhebetrieb. Der Ruhebetrieb liegt vor während dem zweiten und jedem nachfolgenden Zugriff zu einem Datenblock während einer zusammenhängenden Folge von Zugriffen zu einem Block, der bereits im Pufferspeicher steht. Während der ersten Adressierung eines Blocks im Pufferspeicher läuft die Austauschordnung in der Betriebsart «Zugriffszahlwert erhöhen», in welchem der bestehende Zugriffszahlwert um 1 erhöht wird, und der erhöhte Zählwert als neuer Benutzungswert für diesen Block in den aktiven Tabellenspeicher (12a oder 12b) eingegeben wird.

Der Ruhebetrieb tritt ein, sobald in Fig. 7 kein Signal an die Betriebsartensteuerung gegeben wird, d. h., wenn die Signale LADEN, NEUE ADRESSE und FEHLANZEIGE alle abgeschaltet sind.

#### Tabellenspeicher-Ladebetrieb

Der Tabellenspeicher-Ladebetrieb ist vorgesehen, um die Austauschordnung zu initialisieren und sie in vorgegebener Weise zu starten, wenn das System, welches den Pufferspeicher enthält, gestartet wird. In Fig. 7 initialisiert eine Initialisierungsquelle die Austauschadresse, setzt einen der Tabellenspeicher (12a, 12b) in den aktiven Zustand, und gibt die Benutzungswerte in den aktiven T-Speicher so ein, dass die Fehlzanzeige-Adresse vorgegeben ist, wenn das System gestartet wird. Entweder das Anfangsprogramm (IPL) des Systems oder das Anfangsmikroprogramm (IMPL) setzen die Austauschordnung in den Anfangszustand, wählen den aktiven T-Speicher, setzen eine erste Blockadresse in das Austausch-Adressregister in den Austausch-Adressschaltungen 11 zur Bestimmung des ersten auszutauschenden Blockes, laden einen Satz von Werten in den aktiven T-Speicher (beispielsweise lauter Nullen in das Wort für den zweiten auszutauschenden Block und die Kombination 0...01 in alle anderen Wörter) und setzen das Aktualitätszahlregister auf 0...01.

#### Betriebsart «Zugriffszahlwert erhöhen»

Sobald zu einem anderen gegenwärtig im Pufferspeicher stehenden Block zugegriffen wird, gibt der Pufferspeicher ein Signal über die Leitung «Neue Adresse» an die Betriebsartensteuerung 10, die dann in die Betriebsart «Zugriffszahlwert erhöhen» übergeht. Daraufhin wird der Inhalt des Zugriffszahlregisters 22 erhöht, und der erhöhte Wert ebenfalls im Schreibregister 21 gespeichert, von wo er auf die Dateneingangssammelleitung 33 zum entsprechenden Platz im aktiven T-Speicher übertragen wird (entweder T-Speicher 0 oder 1). Der Betrieb «Zugriffszahlwert erhöhen» erfolgt nur während dem ersten Zugriff zu einem Block, und die Austauschordnung schaltet bei einem nachfolgenden sequentiellen Zugriff zu demselben Block in den Ruhebetrieb.

#### Fehlzanzeigebetrieb

Wenn die gewünschten Daten im Pufferspeicher 7 fehlen, wird ein Fehlzanzeigesignal vom Pufferspeicher an die Betriebsartensteuerung 10 übertragen, um sie in den Fehlzanzeigebetrieb zu bringen. Der Fehlzanzeigebetrieb ist generisch für die Betriebsarten «Fehlzanzeige ohne Umschalten» und «Fehlzanzeige mit Umschalten». Die erstere ist die übliche Betriebsart, die beim Auftreten einer Fehlzanzeige benutzt wird, wenn keine Gefahr besteht, dass der Zugriffszahlwert, d. h. der aktuelle

Benutzungswert, überläuft. Die Betriebsart «Fehlalarm mit Umschalten» wird unter ungewöhnlichen Umständen angewendet, wenn der aktuelle Benutzungswert (der Zugriffszahlwert) in Gefahr gerät, überzulaufen.

#### Betriebsart «Fehlalarm ohne Umschalten»

Ein Austauschadressregister 42 in der Austauschadressschaltung 11 enthält die jeweilige Adresse desjenigen Blocks im Pufferspeicher 7, wohin die fehlenden Daten zu setzen sind. Wenn seit dem Zeitpunkt, zu dem der betreffende Datenblock als am längsten unbenutzter Block ermittelt wurde, doch wieder ein Zugriff zu diesem Block erfolgte, so ist er im gegenwärtigen Zeitpunkt zwar nicht mehr der am längsten unbenutzte Block. Trotzdem ist dieser Block noch eine relativ gute Wahl für den Austausch, auch wenn er seit der letzten Fehlalarm benutzt wurde, da er ja immerhin beim letzten Mal (d. h. zur Zeit der letzten Fehlalarm) als die beste Wahl herausgefunden wurde. Der Vorteil der Benutzung einer früher bestimmten Austausch-Blockadresse liegt darin, dass ausser der normalen Blockübertragungszeit keine zusätzliche Zeit gebraucht wird, um die Austausch-Blockadresse zu bestimmen, so dass die Austauschordnung die Blockübertragungen zum Pufferspeicher nicht verzögert.

Die in Fig. 7 gezeigte Austauschordnung bestimmt den jeweiligen Austausch-Block aus dem Inhalt des aktiven Tabellenspeichers während mehrerer Zyklen (in denen die fehlenden Daten in den Pufferspeicher übertragen werden) wie folgt: Zuerst wird in der Zugriffszahlsteuerung 8 der Inhalt des Zugriffszahlregisters 22 vorübergehend in das Schreibregister 21 so eingegeben, dass das Register 22 als Vergleichsregister benutzt werden kann. In der T-Speichersteuerung 9 durchläuft dann der Inhalt (5 Bit) des A-Adressregisters 31 sequentiell alle Pufferspeicherblockadressen 0 bis 31 zur Abfrage der entsprechenden Benutzungswerte in den gespeicherten Wörtern im aktiven Tabellenspeicher. Während jedes Zyklus wählt das A-Adressregister 31 je ein Wort aus dem aktiven T-Speicher. Das 15 Bit umfassende Benutzungswertfeld eines jeden gewählten Wortes im aktiven T-Speicher wird mit dem Benutzungswert eines vorhergehenden Wortes im Zugriffszahlregister 22 verglichen, und der niedrigere Benutzungswert dieser beiden benachbarten Wörter (durch Vergleich ermittelt) wird im Zugriffszahlregister 22 gelassen. Wenn der gerade aus dem T-Speicher entnommene Wert kleiner ist als derjenige im Register 22, wird durch ein Signal auf der Leitung KLEINER die laufende Adresse im A-Adressregister 31 in das Austauschadressregister 42 in den Austausch-Adressschaltungen 11 kopiert. Am Ende von 32 Zyklen (für die 32 Wörter des T-Speichers) enthält das Austauschadress-Register die Adresse des Wortes mit dem niedrigsten Benutzungswert, die gleichzeitig die Austausch-Blockadresse ist. Diese Adresse wird bei der nächsten Pufferspeicherfehlanzeige für den Austausch benutzt.

Während des 33. Zyklus wird der vorübergehend im Schreibregister 21 gespeicherte Zugriffszahlwert in das Zugriffszahlregister 22 zurückgegeben und der Fehlalarmbetrieb beendet. Das Ende des 33. Zyklus wird angezeigt durch ein Signal auf der Leitung ENDE FA (Ende der Fehlalarm) von der T-Speichersteuerung 9 an die Betriebsartensteuerung 10, wodurch die Austauschordnung in den Ruhebetrieb umschaltet, wenn beim nächsten Zyklus Signale fehlen, die die Wahl einer anderen Betriebsart auslösen würden.

#### Betriebsart «Fehlalarm mit Umschalten»

Eine Spezialoperation ist vorgesehen, wenn für den Zugriffszahlwert und dadurch auch für die Benutzungswerte die Gefahr des Überlaufs besteht. Dieser Zustand wird erkannt durch das Vorhandensein des Binärwertes «1» in den werthohen beiden Bitstellen des Zugriffszahlregisters 22. Die Feststellung der beiden 1-Werte erzeugt ein Signal auf der Leitung

UMSCHALTEN von der Zugriffszahlsteuerung 8 zur Betriebsartensteuerung 10. Wenn ein Fehlalarmesignal vom Pufferspeicher zusammenfällt mit einem Signal UMSCHALTEN, wird der Betrieb «Fehlalarm mit Umschalten» begonnen anstelle des vorher beschriebenen Betriebes «Fehlalarm ohne Umschalten».

Der aktive T-Speicher wird durch die T-Speichersteuerung 9 auf die Position mit dem niedrigsten Benutzungswert abgesehen. Während die die Benutzungswerte enthaltenden Wörter sequentiell aus dem aktiven Speicher ausgelesen werden, werden sie durch 2 dividiert, d. h. jeder 15 Bit umfassende Benutzungswert wird bei seiner Übertragung in das Schreibregister in der Zugriffszahlsteuerung 8 um eine Bitposition nach rechts verschoben. Ausserdem wird gleichzeitig der Inhalt des A-Adressregisters 31 in das B-Adressregister 32 übertragen, welches den entsprechenden Wortspeicherplatz im inaktiven T-Speicher wählt, in den der verschobene (durch 2 geteilte) Benutzungswert aus dem Schreibregister 21 geschrieben wird. Während der Verschiebung wird ein in der höchsten Bitposition etwa vorhandener Binärwert «1» von der werthohen Bitposition (Bitposition 1) in die Bitposition 2 des Schreibregisters 21 geschoben, so dass in der Bitposition 1 des Schreibregisters ein 0-Wert bleibt. Der vorher vorhandene Bitwert in der Position 15 (wertniederste Position) geht verloren.

Am Ende des 33. Zyklus (Adresse B läuft einen Zyklus hinter der Adresse A her) enthält das B-Adressregister lauter Einsen (gleich 31), und dieser Zustand wird benutzt, um den Fehlalarmbetrieb zu beenden, indem ein entsprechendes Signal auf eine Leitung «ENDE FA» gegeben wird. Am Ende der Betriebsart «Fehlalarm mit Umschalten» wird dann der Zugriffszahlwert verändert. Während des letzten Zyklus dieser Betriebsart (33. Zyklus) wird das Zugriffszahlregister 22 auf den Wert 10...0 gesetzt, und sein Inhalt stellt so einen neuen laufenden Benutzungswert dar, der höher ist als irgendeiner der Benutzungswerte im inaktiven T-Speicher, aber der neue laufende Zugriffszahlwert ist weit genug vom Überlaufen entfernt, so dass vor der nächsten Fehlalarm wahrscheinlich kein Überlauf auftritt. Während dieses letzten Zyklus wird ausserdem ein Steuerklippglied mit der Bezeichnung «Aktivanzeige» in der Betriebsartensteuerung 10 umgeschaltet, so dass die Rollen der beiden Tabellenspeicher vertauscht werden (dabei wird der inaktive T-Speicher zum aktiven T-Speicher und umgekehrt).

Es werden zwei Tabellenspeicher benötigt, weil ein einzelner T-Speicher nicht während desselben Zyklus für eine Schreiboperation und anschliessend für eine Leseoperation adressiert werden kann. Könnte man einen Speicher mit Schaltungen betreiben, die eine Rechtsverschiebung innerhalb des Speichers für alle Wortpositionen mit Ausnahmen der Sperrbitposition vornehmen könnten, dann würde ein Speicher mit einem Adressregister genügen. Solche Speicher sind jedoch heutzutage noch zu teuer.

Am Ende der Blockaustauschoperation sendet der Pufferspeicher für beide Fehlalarm-Betriebsarten ein Signal auf die Leitung «NEUE ADRESSE» und veranlasst dadurch die Betriebsartensteuerung 10 zum Ersetzen der gerade verwendeten Austausch-Blockadresse. Das Signal «NEUE ADRESSE» setzt die Austauschordnung in die Betriebsart «Zugriffszahlwert erhöhen», und das Benutzungswertfeld in der entsprechenden Wortposition im aktiven Speicher wird dann auf den neuesten Stand gebracht.

#### Sperrereinrichtung

Eine weitere Einrichtung im Ausführungsbeispiel ist für einen Pufferspeicher vorgesehen, in dem Blockpositionen aus der normalen Benutzung herausgenommen werden können, beispielsweise aufgrund von Schaltungsfehlern in einem oder mehreren Blöcken des Pufferspeichers; diese Blockbereiche

werden für die Benutzung gesperrt. Dann muss der aktive T-Speicher in der Austauschordnung anzeigen, welche Blöcke gesperrt sind. Die Speicherwortlänge wird daher um eine Bitposition erweitert, die Sperrbit genannt wird, so dass jedes Speicherwort eine Länge von 16 Bits hat. Die Sperrbits werden während des T-Speicher-Ladebetriebes durch IPL oder IMPL gesetzt. Ein Speicherwort, dessen Sperrbit = 1 ist, wird während keiner Betriebsart (ausser beim T-Speicherladebetrieb) benutzt, da der entsprechende Pufferspeicher-Blockbereich für den normalen Betrieb nicht verfügbar ist. Während des Fehlanzeigebetriebes, bei dem der aktive T-Speicher sequentiell abgesucht wird, wird jedes Wort, dessen Sperrbit eingeschaltet ist, nicht in das Zugriffszählregister 22 ausgelesen. Während der Betriebsart «Fehlanzeige mit Umschalten» wird ein gesperrtes Wort unverschoben in das Schreibregister 21 übertragen und wird von dort in die entsprechende Position des inaktiven T-Speichers übertragen, um das Sperrbit in seine entsprechende Position zu bringen. Auf diese Weise werden die Sperrbits gerettet, wenn die Austauschordnung zwischen den beiden Tabellenspeichern umschaltet. Die Speicheradresse eines gesperrten Wortes gelangt auch nicht in das Austauschadress-Register in den Schaltungen 11. Durch Rettung des gesperrten Wortes kann der Pufferspeicher das Benutzungswertfeld für andere Zwecke verwenden.

#### Überlaufeinrichtung für Zugriffszählregister

Für den unwahrscheinlichen Fall, dass eine Fehlanzeige längere Zeit nicht auftritt und das Zugriffszählregister überläuft, d. h. lauter 1-Bits enthält, wird die Erhöhung des Zugriffszählwertes ausgesetzt, d. h., das Signal «NEUE ADRESSE» wird ignoriert, so dass der Zugriffszählwert nicht erhöht wird. Infolgedessen werden die alten Benutzungswerte in den Wörtern des aktiven T-Speichers festgehalten, bis die nächste Fehlanzeige auftritt.

#### Einzelheiten im bevorzugten Ausführungsbeispiel

Einzelheiten in den Blöcken der Fig. 7 werden jetzt mit Hilfe der Fig. 8 bis 11 erklärt.

In Fig. 10 ist ein Steuerkippglied 191 gezeigt, das «Aktivanzeige» genannt wird und bestimmt, welcher Tabellenspeicher (0 oder 1) aktiv ist. Es arbeitet wie das in Fig. 2A gezeigte Kippglied. Die Tabellenspeicher (T-Speicher) 0 und 1 in Fig. 7 haben jeweils einen gemeinsamen Satz von Dateneingängen, die mit der Sammelleitung 33 verbunden sind. Die Ausgänge der T-Speicher sind bitweise ODER-verdrahtet mit der Datenausgangssammelleitung 34. Während eines Zyklus kann in einen T-Speicher geschrieben werden. Während eines Zyklus kann auch ein T-Speicher ausgelesen werden; Lesen und Schreiben kann jedoch nicht während eines Zyklus im gleichen T-Speicher erfolgen.

Die 16 Bits eines jeden Wortes in den beiden Tabellenspeichern gehören zu zwei Feldtypen:

a) Ein 1-Bit-Feld wird gebildet von der Sperrbitposition. Diese Position gibt an, ob der entsprechende Block im Pufferspeicher gesperrt wurde. Eine 1 zeigt an, dass der entsprechende Block gesperrt ist, eine 0, dass er nicht gesperrt ist. Das Sperrbit kann nur im T-Speicher-Ladebetrieb geändert werden. Wenn es den Wert «1» hat, wird das betreffende Wort normalerweise nicht benutzt, so dass ein anderes Feld dieses Wortes nicht beschrieben werden kann (wodurch das Sperrbit eventuell zerstört werden könnte).

b) Ein 15-Bit langes Feld ist das Benutzungswertfeld, das den Benutzungswert des entsprechenden Blocks im Notizspeicher angibt. Je höher der Benutzungswert in diesem Feld relativ zu den Benutzungswerten in den anderen Feldern des aktiven T-Speichers ist, um so kürzer ist die Zeitspanne seit der letzten Benutzung dieses Blocks im Pufferspeicher.

#### Zugriffszählsteuerung 8 (Fig. 8)

Die Zugriffszählsteuerung 8 enthält das 15 Bit umfassende

Zugriffszählregister 22 und das 16 Bit umfassende Schreibregister 21 sowie unterstützende Schaltkreise.

Die Hauptfunktion des Zugriffszählregisters besteht in seiner Wirkung als Referenzwertgeber für die Austauschordnung durch Speicherung des Zugriffszählwertes als laufender Benutzungswert (15 Bit lange Zahl), der jedes Mal um 1 erhöht wird, wenn zu einem anderen Block im Pufferspeicher zugegriffen wird. Diese Erhöhung erfolgt im Betrieb «Zugriffszählwert erhöhen», in dem die Zählerschaltung 109 die Zahl aus dem Register 22 empfängt, diese um 1 erhöht, die erhöhte Zahl in das Zugriffszählregister 22 sowie in das Schreibregister 21 überträgt, von wo sie über die Dateneingangssammelleitung 33 in das gegenwärtig adressierte Wort im aktiven T-Speicher als neuer Benutzungswert übertragen wird. Eine weitere Funktion des Zugriffszählregisters 22 im Fehlanzeigebetrieb ist die kurzzeitige Speicherung des niedrigsten Benutzungswertes aus dem aktiven T-Speicher, während dieser zur Bestimmung des Austauschblocks abgesucht wird. Im einzelnen arbeiten die in den Fig. 8A und 8B gezeigten Schaltungen wie folgt, damit eine der vier Datenquellen Zugang zum Zugriffszählregister 22 erhält:

a) Halten des Zugriffszählwertes (UND-Glieder 113, 114, 115): Der Inhalt des Zugriffszählregisters 22 wird für den nächsten Zyklus durch die UND-Glieder 130 unter Steuerung der UND-Glieder 113, 114 und 115 gehalten. Das UND-Glied 113 wird eingeschaltet, wenn die Zählerschaltung 109 einen Übertrag erzeugt und damit anzeigt, dass das Zugriffszählregister 22 am Überlaufen ist, und wenn die Austauschordnung nicht im Fehlanzeigebetrieb läuft (Betriebsartenleitung 0 wird über den Inverter komplementiert). Das UND-Glied 114 wird eingeschaltet, wenn die Austauschordnung nicht im Fehlanzeigebetrieb läuft und der Pufferspeicher kein Signal «NEUE ADRESSE» erzeugt (d. h. der Inverter 128 gibt binär «1» ab). Das UND-Glied wird eingeschaltet, wenn die Austauschordnung im Fehlanzeigebetrieb läuft (Betriebsartenleitung 0 ist auf dem Binärwert «1»), aber das aus dem aktiven T-Speicher gewählte Wort sein Sperrbit eingeschaltet hat, so dass der Inhalt des Zugriffszählregisters 22 gehalten wird, da er den bisher ermittelten niedrigsten Benutzungswert darstellt.

b) Erhöhen des Zugriffszählwertes (UND-Glied 116): Der erhöhte Wert, der durch die 15-Bit-Inkrementierschaltung (Zählerschaltung) 109 geliefert wird, wird über die UND-Glieder 131 unter Steuerung des UND-Gliedes 116 eingegeben. Das erfolgt, wenn die Austauschordnung nicht im Fehlanzeigebetrieb läuft (d. h. Inverter 126 gibt binär «1» ab) und ein Signal «NEUE ADRESSE» vom Pufferspeicher eintrifft und die Inkrementierschaltung 109 kein Übertragungssignal erzeugt (Inverter 11 gibt binär «1» ab).

c) Zugriffszählwertrückspeichern (UND-Glied 117): Die Bits 1 bis 15 aus dem Schreibregister 21 werden unter Steuerung des UND-Gliedes 117 über die UND-Glieder 132 in das Zugriffszählregister zurückübertragen. Dies geschieht im letzten Zyklus (Ende Fehlanzeige) der Betriebsart «Fehlanzeige ohne Umschalten». (Betriebsartenleitung 0 eingeschaltet, Betriebsartenleitung 2 am Inverter 127 ist abgeschaltet).

d) Niedriger Benutzungswert zum Zugriffszählregister (UND-Glied 118): Der von einem T-Speicher auf der Datenausgangssammelleitung 34 empfangene Benutzungswert wird unter Steuerung des UND-Gliedes 118 über die UND-Glieder 133 eingegeben. Das erfolgt während eines Fehlanzeigebetriebes (Betriebsartenleitung 0 ist eingeschaltet), wenn der Benutzungswert von der Datenausgangssammelleitung 34 im Vergleich 108 kleiner ist als der bis dahin gefundene kleinste Wert, und wenn er nicht von einem gesperrten Wort kommt (Sperrbit ist «0», aber von Inverter 119 komplementiert). Das Vergleichersignal «KLEINER» ist daher eingeschaltet.

e) In das Zugriffszählregister 10...0 eingeben (UND-Glied 112): Der Wert 10...0 wird in das Zugriffszählregister 22 über

das UND-Glied 112 eingegeben während des Betriebes «Fehl-anzeige mit Umschalten» (Betriebsartenleitung 0 und Betriebsartenleitung 2 eingeschaltet), während der letzte Zyklus abläuft (Signal «ENDE FEHLANZEIGE» aktiv).

Das Schreibregister 21 liefert die Eingabedaten für den gewählten T-Speicher auf die Dateneingangssammelleitung 33. Das Register 21 dient auch als Kurzzeitspeicher für den letzten Benutzungswert im Zugriffszählregister, wenn die Betriebsart «Fehl-anzeige ohne Umschalten» eingeleitet wird. Je eine von sechs Datenquellen kann wie folgt in das Schreibregister einge- 10 ben:

a) Zugriffszählregister zum Schreibregister (UND-Glied 120): Das Schreibregister 21 empfängt die Bits 1 bis 15 über die UND-Glieder 140 unter Steuerung des UND-Gliedes 120, so dass der Zugriffszählwert (der laufende Benutzungswert) vom Register vorübergehend während einer Fehl-anzeigeoperation im Register 21 gespeichert werden kann. Das UND-Glied 120 wird eingeschaltet, wenn der Pufferspeicher ein Fehl-anzeigesignal sendet und die beiden werthöchsten Bits des Zugriffszählregisters nicht beide den Wert «1» haben und anzeigen, dass es ein Fehl-anzeigebetrieb ohne Umschalten ist. Das Signal «kein Umschalten» wird vom Inverter 129 geliefert.

b) Erhöhten Zugriffszählwert zum Schreibregister (UND-Glied 116): Der durch die 15-Bit-Inkrementierschaltung 109 abgegebene erhöhte Wert wird in das Schreibregister 21 über die UND-Glieder 141 eingegeben unter Steuerung desselben UND-Gliedes 116, das auch die Speicherung des erhöhten Zugriffszählwertes in das Zugriffszählregister 22 steuert.

c) Schreibregister halten (UND-Glied 121): Die Bits 1 bis 15 des Schreibregisters 21 werden gehalten über die UND-Glieder 142 unter Steuerung des UND-Gliedes 121, wenn Betriebsart «Fehl-anzeige ohne Umschalten» vorliegt (d. h. Betriebsartenleitung 0 und Inverter 127 geben beide ein binäres «1»-Signal ab). Das Schreibregister 22 hält vorübergehend den laufenden Benutzungswert (den Zugriffszählwert).

d) Sperrwort übertragen (UND-Glied 122): Das Wort auf der Datenausgangssammelleitung 34 wird in das Schreibregister 21 über die UND-Glieder 143 während der Betriebsart «Fehl-anzeige mit Umschalten» angegeben (Betriebsartenleitung 0 und Betriebsartenleitung 2 haben beide ein «1»-Signal), wenn das Sperrbit gesetzt ist. Dadurch kann ein gesperrtes Wort unverändert vom aktiven in den inaktiven T-Speicher unter Steuerung des UND-Gliedes 122 übertragen werden.

e) Benutzungswert Verschieben und Übertragen (UND-Glied 234): Der auf der Datenausgangssammelleitung 34 empfangene Benutzungswert wird um eine Bitposition nach rechts verschoben (d. h. durch zwei geteilt) durch die UND-Glieder 144, wenn der Benutzungswert in das Schreibregister 21 eingegeben wird (d. h. Bit 1 bis 14 auf der Datenausgangssammelleitung 34 werden in die Bitpositionen 2 bis 15 des Schreibregisters 21 übertragen durch die UND-Glieder 144 unter Steuerung des UND-Gliedes 123). Das erfolgt während der Betriebsart «Fehl-anzeige mit Umschalten» (Betriebsartenleitung 0 und Betriebsartenleitung 2 beide «ein») unter der Voraussetzung, dass das betreffende Wort nicht gesperrt ist (d. h. das Sperrbit ist 0, bestimmt durch den Inverter 124).

f) Externe Daten Laden (UND-Glied 125): Externe Datensignale einer externen Initialisierungsquelle werden in das Register 21 über die UND-Glieder 145 unter Steuerung des UND-Gliedes 125 eingegeben, wenn der Pufferspeicher ein Ladesignal sendet, während er nicht im Fehl-anzeigebetrieb läuft (Betriebsartenleitung 0 «aus», komplementiert durch den Inverter 126).

Die Zugriffszählsteuerung 8 (Fig. 8B) gibt drei Steuersignale aus mit den Bezeichnungen «kleiner», «kein Übertrag» und «Umschalten», die an Schaltungen gelangen, welche in Fig. 10 und 11 dargestellt sind.

#### Tabellenspeichersteuerung 9 (T-Speichersteuerung)

Die T-Speichersteuerung 9 ist im einzelnen in den Fig. 9A und 9B gezeigt. Zur T-Speichersteuerung 9 gehören die Adressregister für den aktiven und den inaktiven T-Speicher, das A-Adressregister 31 bzw. B-Adressregister 32. Ausserdem gibt die Steuerung ein Steuersignal «Ende Fehl-anzeige» (ENDE FA) auf Leitung 38 aus, um den Fehl-anzeigebetrieb zu beenden.

Das A-Adressregister 31 wird normalerweise von der Adresssammelleitung 41 über die UND-Glieder 150 geladen, die durch das UND-Glied 173 gesteuert werden. Das UND-Glied 173 wird eingeschaltet während eines fehl-anzeige-freien Betriebes (Betriebsartenleitung 0 ist «aus», komplementiert durch den Inverter 170), wenn der Pufferspeicher kein Fehl-anzeigesignal sendet (Inverter 172 gibt «0» ab).

Wenn ein Fehl-anzeigesignal auf die Leitung 44 gesendet wird, geschieht das während des Zyklus 0 (siehe Fig. 12), in dem das A-Adressregister 31 gelöscht wird (auf 0 gesetzt), weil alle UND-Glieder 150 und 151 gesperrt sind, wenn der Takt während des Zyklus 0 auftritt. Die Leitung 0 in den Betriebsartenleitungen 36 wird im Zyklus 1 aktiv, um eine sequentielle Suche im aktiven T-Speicher zu beginnen, wobei die A-Adresse im Register 31 von 0 auf 31 schrittweise erhöht wird durch die 5-Bit-Inkrementierschaltung (Zählschaltung) 177 (über die UND-Glieder 151) während der Zyklen 1 bis 32, wobei die Betriebsartenleitung 0 eingeschaltet ist.

In Fig. 9A wird das Steuersignal «Schreiben/Lesen 0» erzeugt durch eines der UND-Glieder 160, 161 oder 162, um das Lesen oder Schreiben des adressierten Wortes im T-Speicher 0 zu steuern. In den T-Speicher 0 wird geschrieben, wenn das UND-Glied 160 durch die Austauschordnung freigegeben wird, die im Betrieb «Zugriffszählwert erhöhen» läuft (UND-Glied 174 ist freigegeben) und die Leitung «0 aktiv» eingeschaltet ist. In den T-Speicher 0 wird auch geschrieben, wenn die Austauschordnung im T-Speicher-Ladebetrieb läuft (UND-Glied 175 ein) und das Signal «0 aktiv» eingeschaltet ist (Eingangssignale für UND-Glied 162). Schliesslich wird noch in den T-Speicher 0 geschrieben, wenn das UND-Glied 161 durch die Austauschordnung eingeschaltet ist, sobald diese im Fehl-anzeigebetrieb läuft (Betriebsartenleitung 0 ist ein), wenn ausserdem der T-Speicher inaktiv ist (angezeigt durch eingeschaltetes Signal auf Leitung «1 aktiv»). In den inaktiven T-Speicher braucht nur bei Betriebsart «Fehl-anzeige mit Umschalten» geschrieben zu werden (jedoch muss es nicht nur auf die spezielle Fehl-anzeigebetriebsart beschränkt sein).

In ähnlicher Weise wird in Fig. 9B das Steuersignal «Schreiben/Lesen 1» durch eines der UND-Glieder 164, 165 oder 166 erzeugt, um in den T-Speicher 1 zu schreiben oder aus diesem zu lesen. Die Bedingungen für diese UND-Glieder sind analog denen für das Schreiben in den T-Speicher 0 (gemäss der Beschreibung der UND-Glieder 160, 161 und 162, jedoch sind die Rollen für die Leitung «0 aktiv» und die Leitung «1 aktiv» vertauscht). Die Adressleitung des T-Speichers 0 ist an den Ausgang des A-Adressregisters 31 über die UND-Glieder 153 angeschlossen, wenn die Leitung «0 aktiv» eingeschaltet ist, und an den Ausgang vom B-Adressregister 32 über die UND-Glieder 154, wenn die Leitung «1 aktiv» eingeschaltet ist, und an den Ausgang vom B-Adressregister 32 über die UND-Glieder 154, wenn die Leitung «1 aktiv» eingeschaltet ist. In ähnlicher Weise wird die Adressleitung dDie Betriebsartensteuerung 10 enthält vier bistabile Kippglieder 191, 192, 193 und 194, die die Austauschordnung steuern.

wird die Adressleitung des T-Speichers 1 an die beiden Adressregister über die UND-Glieder 155 bzw. 156 angeschlossen, wenn die Signale für die Aktiv-Leitungen umgekehrt sind. Die Ausgabesteuerleitungen für 0 und 1 sind direkt mit den Leitungen «0 aktiv» bzw. «1 aktiv» verbunden.

Das B-Adressregister 32 kann vom A-Adressregister 31 über die UND-Glieder 152 jederzeit geladen werden mit Aus-

nahme der Situation, dass ein Fehlanzeigesignal auf der Leitung 44 vom Pufferspeicher gesendet wird, um einen Fehlanzeigebetrieb einzuleiten. Dann verhindert der Inverter 172 ein Laden des B-Adressregisters und löscht es effektiv durch Sperren der UND-Glieder 152 während eines Taktimpulses. Auf diese Weise enthält in der Betriebsart «Fehlanzeige» das B-Adressregister immer den A-Adresswert des vorhergehenden Zyklus. Während des 33. Zyklus beträgt die B-Adresse 11 111 (= 31); dies wird durch das UND-Glied 168 festgestellt, das dann das Steuersignal «Ende Fehlanzeige» erzeugt.

#### Betriebsartensteuerung (Fig. 10)

Die Betriebsartensteuerung 10 enthält vier bistabile Kippglieder 191, 192, 193 und 194, die die Austauschordnung steuern.

a) Betriebsartenbits 0, 1 und 2: Sie werden durch die Kippglieder 192, 193 und 194 geliefert und geben die Operationsarten an, die in der Austauschordnung stattfinden können, entsprechend den in der obigen Betriebsartentabelle angegebenen Codewörtern. Die Betriebsart wird bestimmt durch die 3 Eingangssignale «Laden», «Neue Adresse» und «Fehlanzeige» sowie durch die Signale «Kein Übertrag» und «Umschalten» von Fig. 8B. Das Signal «Kein Übertrag» ergibt sich, wenn die Inkrementierschaltung (Zählschaltung) 109 keinen Überlauf feststellt. Wenn die beiden werthöchsten Bits des Zugriffszahlregisters auf 1 stehen, ergibt sich das Signal «Umschalten». Die Signale «Laden», «Neue Adresse» und «Fehlanzeige» schließen sich gegenseitig aus, d. h. während eines Zyklus kann höchstens eines dieser Signale vorliegen.

Wenn nicht im Fehlanzeigebetrieb gearbeitet wird (Betriebsartenleitung 0 ist «aus», das ergibt ein Ausgangssignal «1» vom Inverter 185), schaltet ein Ladesignal während eines Zyklus 0 ein Betriebsarten-Kippglied 2 über das UND-Glied 186 ein, um den T-Speicher-Ladebetrieb während des nachfolgenden Zyklus 1 einzuleiten, da die Verknüpfungsglieder 182, 183 und 184 kein «1»-Signal abgeben und da der «0»-Wert des Betriebsartenbit 0 die Freigabe des UND-Gliedes 188 verhindert. Der T-Speicher-Ladebetrieb dauert eine Zyklusperiode (Fig. 12), um die Eingabe eines externen Wortes in einen Speicherplatz im aktiven T-Speicher zu ermöglichen. Das Ausgangssignal des Kippgliedes 194 «Betriebsart 2» wird über das UND-Glied 188 daran gehindert, das Kippglied 194 zu verriegeln, weil das Betriebsartenbit 0 ausgeschaltet ist.

Wenn das Signal «Neue Adresse» eingeschaltet ist, der laufende Benutzungswert (der Zugriffszahlwert) noch nicht überläuft (Signal «kein Übertrag» ist eingeschaltet), und wenn das Betriebsartensignal «Fehlanzeige» nicht eingeschaltet ist, schaltet das UND-Glied 184 das Betriebsarten-Kippglied 1 (193) ein, um die Betriebsart «Zugriffszahlwert erhöhen» während des nachfolgenden Zyklus für die Dauer eines Zyklus einzuleiten.

Wenn das Fehlanzeigesignal eingeschaltet ist, beginnt im nachfolgenden Zyklus ein Fehlanzeigebetrieb von 33 Zyklen. Es wird entweder die Betriebsart «Fehlanzeige ohne Umschalten» (1X0) oder die Betriebsart «Fehlanzeige mit Umschalten» (1X1) eingeleitet. Während des Fehlanzeigebetriebs werden keine weiteren Fehlanzeigesignale erwartet, so dass das Signal auf der Betriebsartenleitung 0 ausgeschaltet sein sollte, wenn ein Fehlanzeigesignal auftritt. Das Fehlanzeigesignal erscheint während eines Zyklus 0 (siehe Fig. 12) und leitet die Fehlanzeigebetriebsart über die Trennschaltung (ODER-Glied) 182 ein. Wenn die werthohen Bits 1 und 2 des Zugriffszahlregisters beide den Binärwert «1» haben, erzeugen sie das Signal «Umschalten» durch UND-Glied 110 in Fig. 8A, das mit dem Fehlanzeigesignal im UND-Glied 187 kombiniert wird und das Betriebsarten-Kippglied 2 (194) einschaltet. Betriebsartenbit 0 wird für 33 aufeinanderfolgende Zyklen über das UND-Glied 183 auf dem Binärwert «0» gehalten, d. h. solange das Signal

«Ende Fehlanzeige» ausgeschaltet ist (abgefühlt durch den Inverter 181). Das Betriebsartenbit 2 wird für dieselbe Anzahl von Zyklen über das UND-Glied 188 durch den Inverter 181 und das Betriebsartenbit 0 auf dem Binärwert «1» gehalten.

b) Ausgangsleitungen «0 aktiv» und «1 aktiv» vom Kippglied «Aktivanzeige»: Das Kippglied 191 gibt die komplementären Ausgangssignale mit den Bezeichnungen «0 aktiv» und «1 aktiv» in Fig. 10 ab, die angeben, welcher der beiden Tabellenspeicher aktiv ist. Wenn das Signal auf Leitung «0 aktiv» eingeschaltet ist, ist der T-Speicher 0 aktiv, wenn das Signal auf Leitung «1 aktiv» eingeschaltet ist, ist es der T-Speicher 1. Das Kippglied 191 wird durch das UND-Glied 150 während des letzten Zyklus (Ende Fehlanzeige) der Betriebsart «Fehlanzeige mit Umschalten» gesteuert (Betriebsartenleitungen 0 und 1 2 eingeschaltet).

#### Austausch-Adressschaltungen (Fig. 11)

Die Austausch-Adressschaltungen 11 enthalten das Austauschadressregister 42, das die Adresse desjenigen Blocks im Pufferspeicher angibt, die während des letzten Fehlanzeigebetriebes bestimmt wurden. Es ist diejenige Blockadresse, die vom Pufferspeicher zu verwenden ist, um den Speicherblock zu finden, in den der fehlende Datenblock einzugeben ist. Das Register 42 wird von der A-Adressleitung 51 während eines Fehlanzeigebetriebes über die UND-Glieder 90 in Fig. 11 geladen, wenn das Sperrbit für das gewählte Wort aus dem aktiven T-Speicher den Binärwert «0» hat (Inverter 94 gibt «1» ab), und sein Benutzungswert durch die Zugriffszahlsteuerung 8 als kleiner ermittelt wurde als der Benutzungswert im Zugriffszahlregister 22 (Signal «KLEINER» ist eingeschaltet). Diese Bedingungen werden durch das UND-Glied 96 in Fig. 11 festgestellt. Die Adresse dieses Wortes wird dadurch in das Austauschadressregister 42 eingegeben. Wenn das UND-Glied 96 gesperrt ist, gibt der Inverter 97 binär «1» ab und verhindert eine Veränderung des Inhaltes des Austauschadressregisters. Der Inhalt des Austauschadressregisters wird durch die UND-Glieder 91 gehalten, die den Registerinhalt bei jedem Taktzyklus auf sich selbst zurückkoppeln, solange der Inverter 97 den Binärwert «1» abgibt, wenn das Signal «KLEINER» ausgeschaltet ist, oder das Signal für Betriebsart 0 den Binärwert «0» hat, oder das Sperrsignal den Binärwert «1» hat. Das Rückstellsignal von der Initialisierungsquelle kann auch das Austauschadressregister über die UND-Glieder 91 löschen.

Durch die Erfindung wird das unerwünschte Überlaufen des Zugriffszahlregisters vermieden. Am Anfang jeder Suchoperation im Tabellenspeicher wird der Inhalt des Zugriffszahlregisters abgefragt, um festzustellen, ob er sich dem höchsten zählbaren Wert nähert (z. B. ob seine beiden werthohen Bits auf 1 stehen). Wenn das der Fall ist, werden die Benutzungswerte in den Positionen des aktiven Tabellenspeichers zwar auch ausgelesen und miteinander verglichen, dann aber um eine Bitposition nach rechts verschoben und in entsprechende Positionen des anderen Tabellenspeichers geschrieben, der dann zum aktiven T-Speicher wird. Durch Rechtsverschiebung wird das wertniedere Bit in den Benutzungswerten fallen gelassen und das werthohe Bit auf 0 gesetzt. Dadurch wird der verfügbare Bereich der Benutzungswerte vergrößert, ohne die gespeicherten Beziehungen zwischen den existierenden Benutzungswerten zu beeinflussen. Es können sich durch Fortfall des wertniedrigsten Bits zwei gleiche Benutzungswerte ergeben; bei einer nachfolgenden Suchoperation wird aber von den beiden möglichen Adressen mit gleichem Benutzungswert nur einer ausgewählt. (Es werden zwei Tabellenspeicher benutzt, um den Lesezyklus des einen mit dem Schreibzyklus des anderen überlappen zu können. Bei Verwendung nur eines T-Speichers wäre die Geschwindigkeit niedriger, weil man für jede Position zwei sequentielle Maschinenzyklen braucht, einen zum Lesen und einen zum Schreiben.)

Bei Beendigung einer Such- und Verschiebeoperation wird der Inhalt des Zugriffszählregisters auf 100...0 gesetzt und ist dann höher als alle Benutzungswerte im aktiven T-Speicher, da diese alle eine 0 in der höchsten Bitposition haben. Dieser neue Zugriffszählwert steht dann dazu bereit, in die nächste adressierte Position des aktiven T-Speichers als Benutzungswert geschrieben zu werden.

Wenn keine Fehlanzeige vom Pufferspeicher auftritt, bis das Zugriffszählregister den Zustand mit lauter Einsen erreicht, stoppt die Zugriffszählsteuerung die Fortschreibung der Benutzungswerte, die dann ihre vorhandenen Werte beibehalten, bis wieder eine Fehlanzeige auftritt und die Such- und Verschiebeoperation ausgeführt werden kann.

Um den am längsten unbenutzten Block (LRU) zu bestimmen, ist ein Suchvorgang im Tabellenspeicher erforderlich durch Vergleich des Benutzungswertes eines jeden Wortes mit dem vorhergehenden und Retten der Adresse desjenigen Blockes mit dem niedrigsten Benutzungswert als neue Austauschadresse. Diese Austauschadress-Bestimmung braucht eine Anzahl von Maschinenzyklen, abhängig von der Grösse des T-Speichers. Diese Operation wird gemäss der vorliegenden Erfindung ausgeführt, wenn eine Fehlanzeige im Puffer auftritt und überlappt die Austauschoperation zur Übertragung des benötigten Datenblockes von einer anderen Stufe in der Speicherhierarchie in den Puffer. Die Blockübertragungszeit während der Austauschoperation ist lang genug, so dass die Austauschadressbestimmung während derselben Zeit ausgeführt werden kann. Für jede Austauschoperation benutzt man die bei der vorhergehenden Fehlanzeige bestimmte Austauschadresse. Die Austausch-Blockadresse, die während einer Austauschoperation bestimmt wird, wird also für den nächsten

Blockaustausch verwendet, so dass man eine modifizierte LRU-Regel benutzt.

Es kann vorkommen, dass ein Datenblock, der wegen seines niedrigen Benutzungswertes zum Überschreiben ausgewählt wurde (durch Einschreiben seiner Adresse in das Austauschadressregister), vor Auftreten der nächsten Fehlanzeige (also vor dem nächsten Datenblockaustausch) wieder adressiert wird. Dieser Block erhält dann den höchsten Benutzungswert, wird aber beim nächsten erforderlichen Blockaustausch trotzdem überschrieben, weil ja die Austauschadresse zwischen den Fehlanzeigen nicht mehr angepasst wird. Man darf aber annehmen, dass ein Datenblock, der überhaupt einmal die Stellung des am wenigsten benutzten Datenblocks erreichen kann, im ganzen nicht sehr wichtig ist, und dass deshalb sein an und für sich nach der normalen Regeln nicht erwünschter Austausch die Systemleistung nicht beeinträchtigt. Ausserdem kommt dieser Fall äusserst selten vor.

Es gibt jedoch Alternativen zur Vermeidung dieser Situation. Erstens kann man ein Kippglied zur Anzeige dieser besonderen Situation vorsehen, das dann, wenn es gesetzt ist, bei der nächsten Fehlanzeige eine nochmalige Bestimmung der Austauschadresse (für den wirklich am längsten unbenutzten Datenblock) bewirkt. Diese Zusatzoperation ist dann allerdings nicht mit der Austauschoperation überlappt. Zweitens könnte man vorsehen, dass jeweils zwei Austauschadressen bereitgestellt werden, nämlich für die beiden Blöcke mit dem niedrigsten und mit dem zweitniedrigsten Benutzungswert. Falls dann zum Datenblock mit dem niedrigsten Benutzungswert inzwischen wieder zugegriffen wurde, wird die zweite Austauschadresse benutzt.

FIG. 1

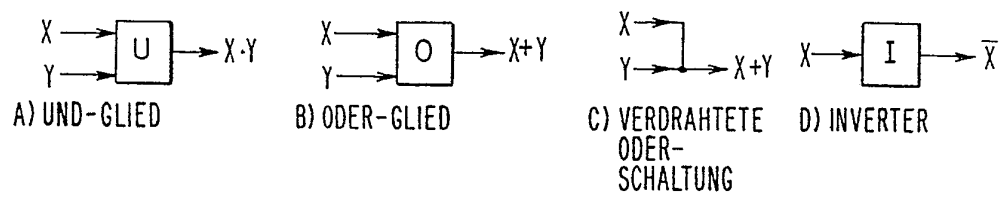


FIG. 2

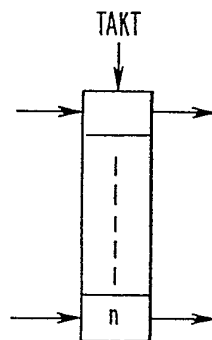
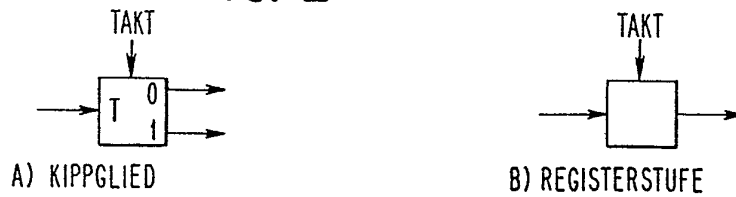


FIG. 3 n-BIT-REGISTER

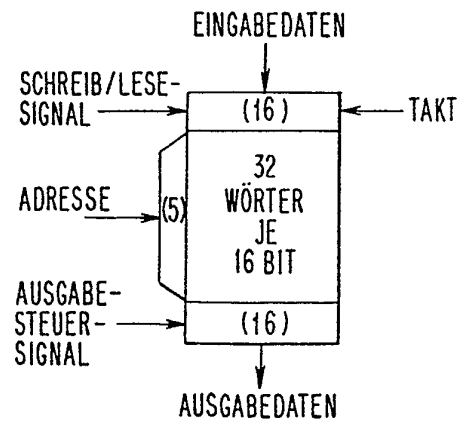


FIG. 4 SPEICHERANORDNUNG

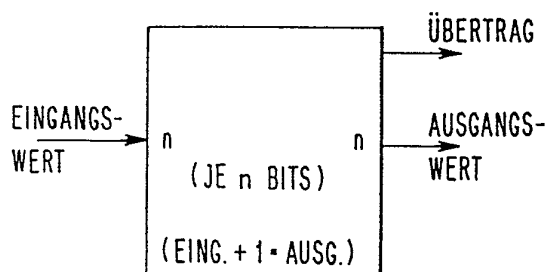


FIG. 5 ZÄHLSCHALTUNG  
(INKREMENTIERSCH.)

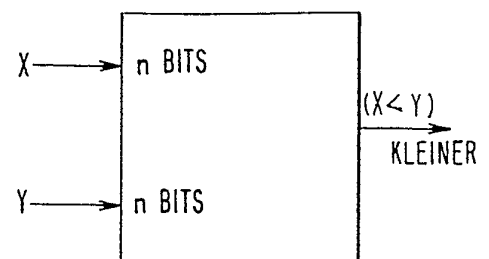
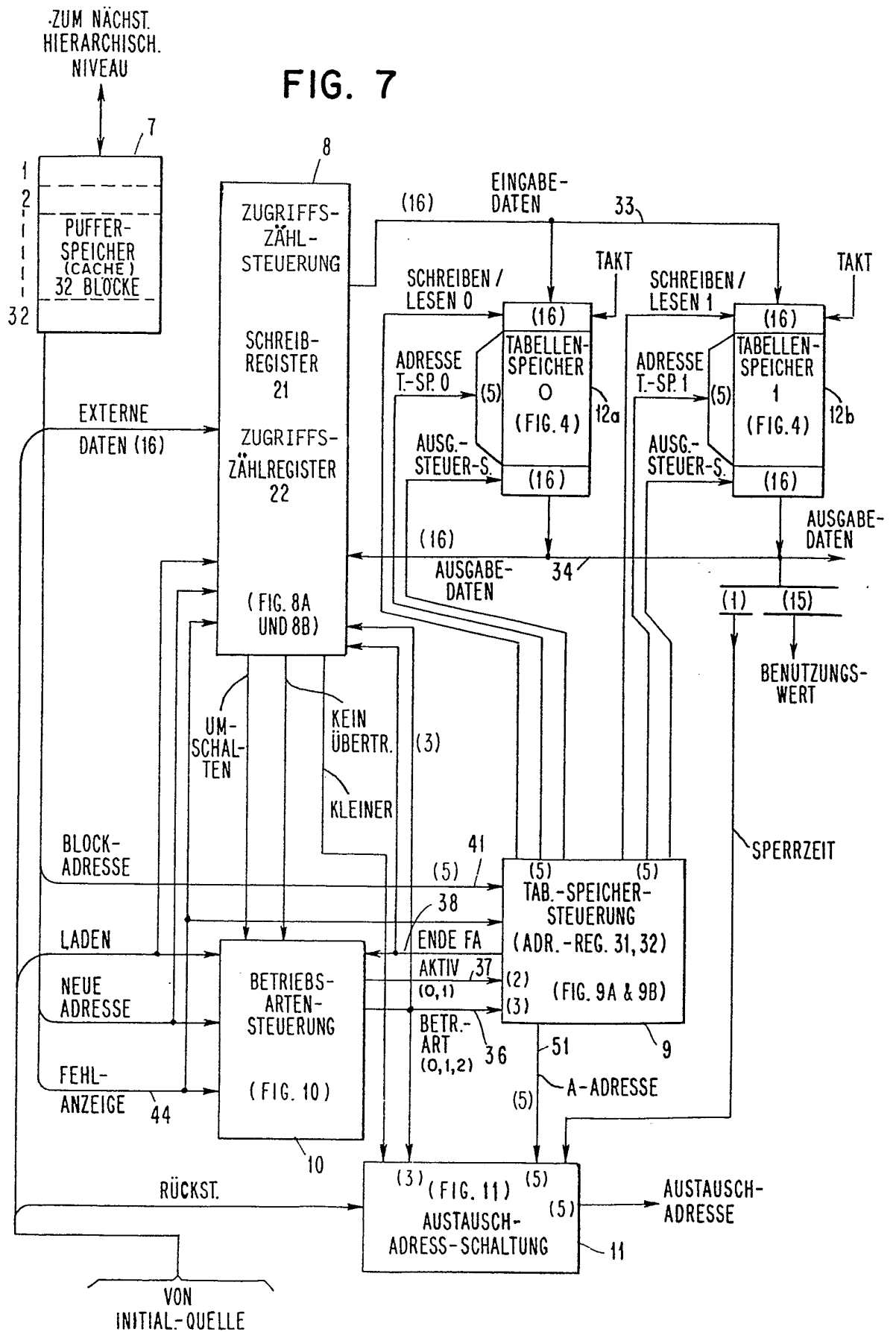


FIG. 6 VERGLEICHER

FIG. 7



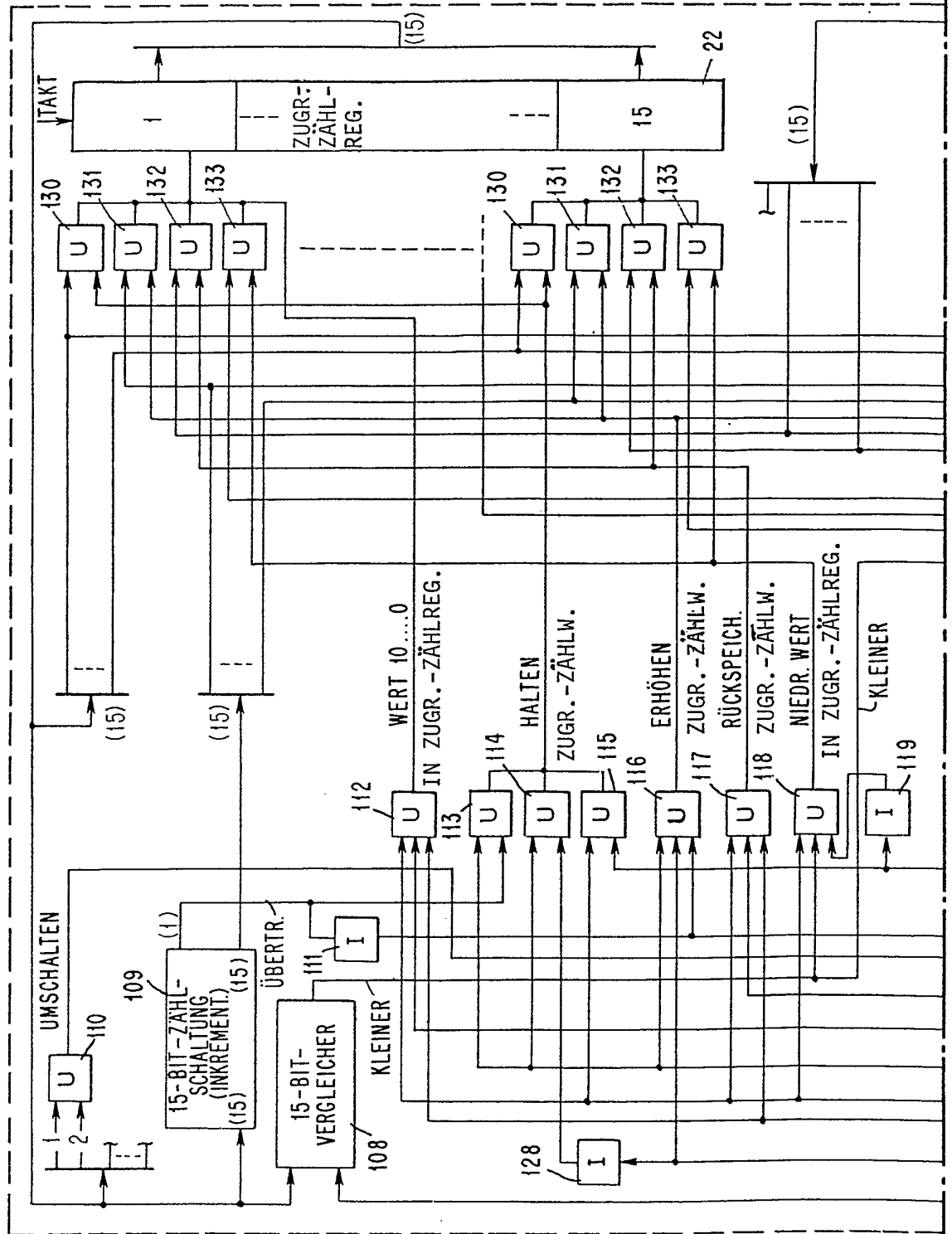
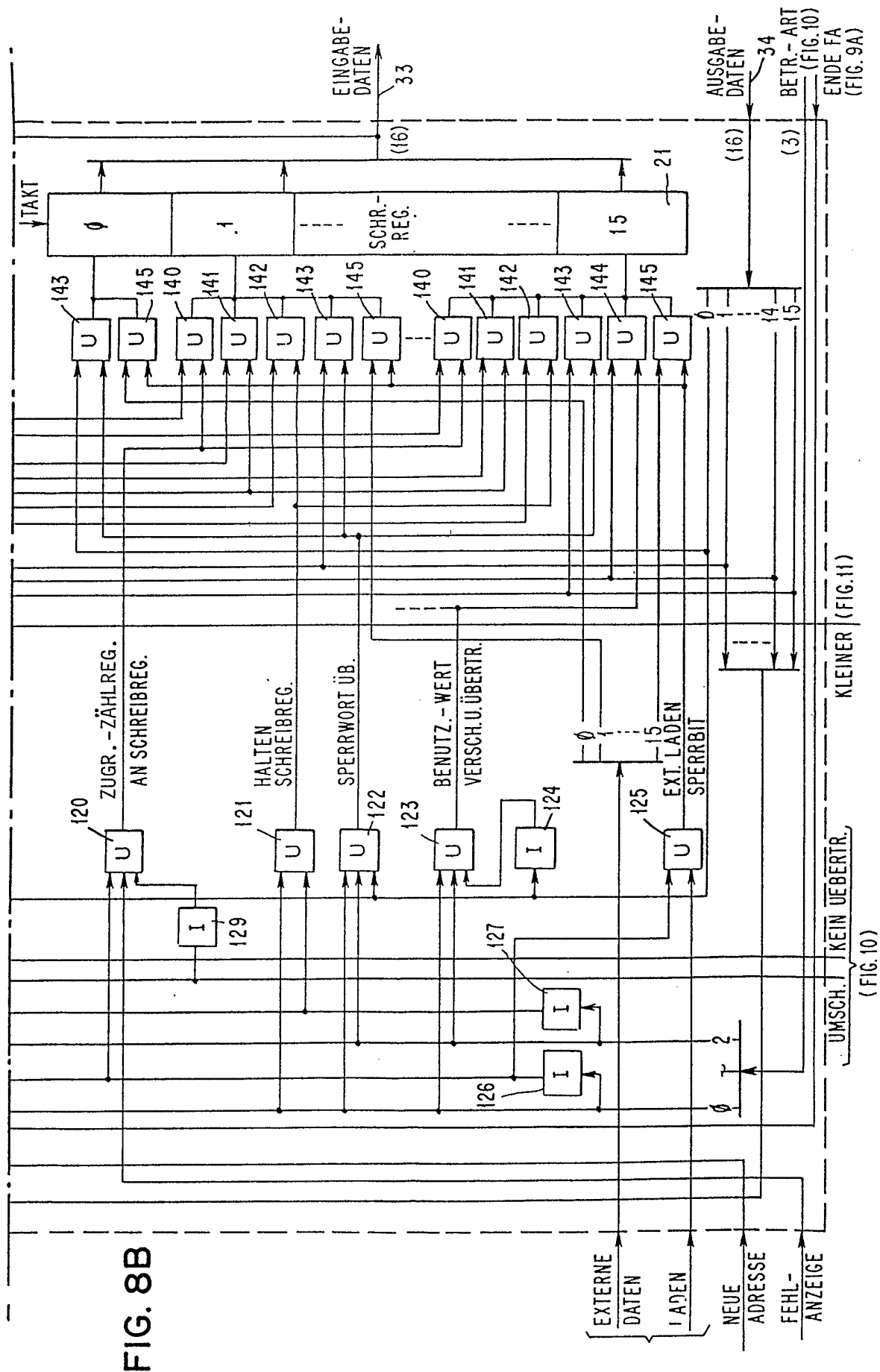


FIG. 8A



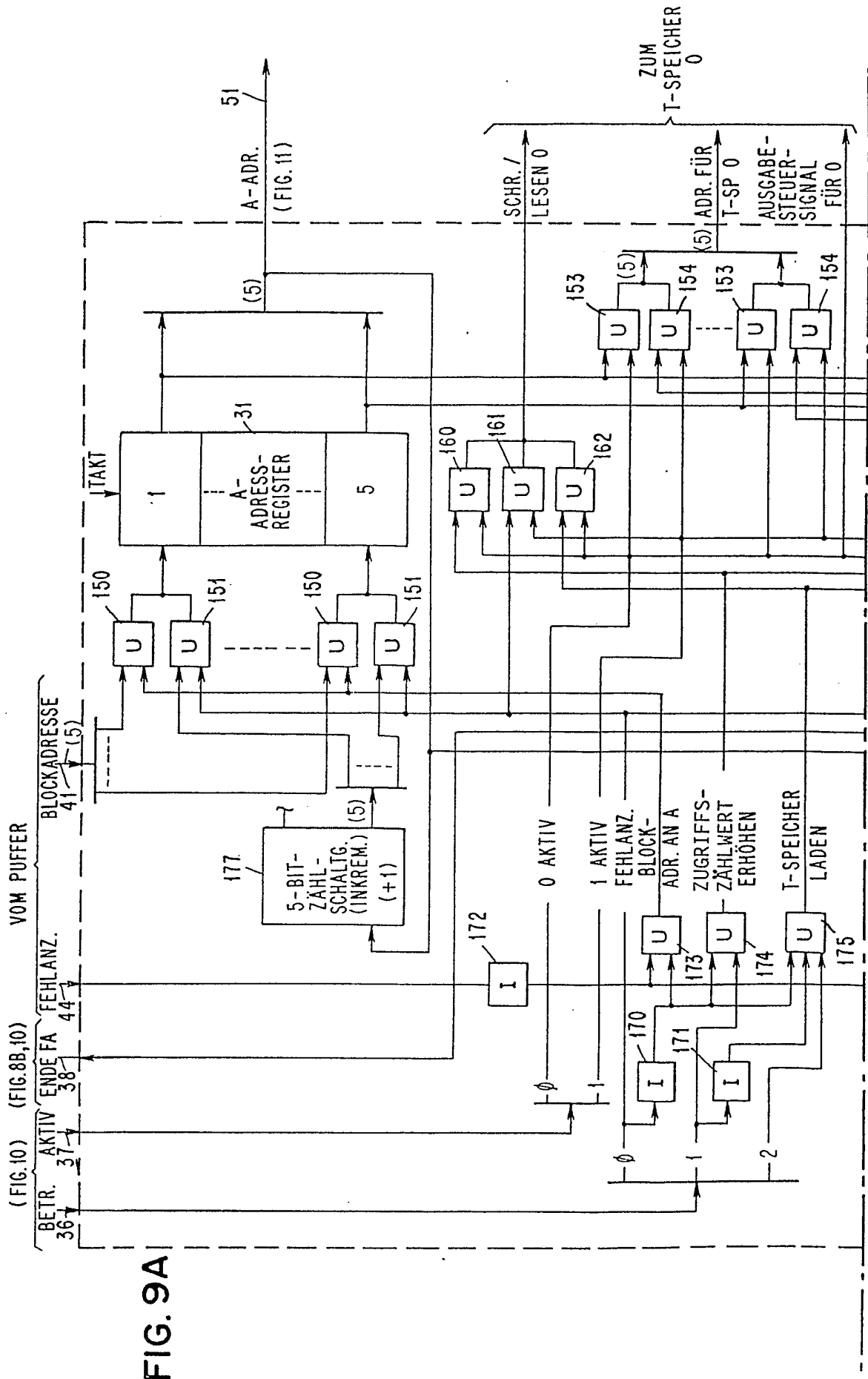


FIG. 9A

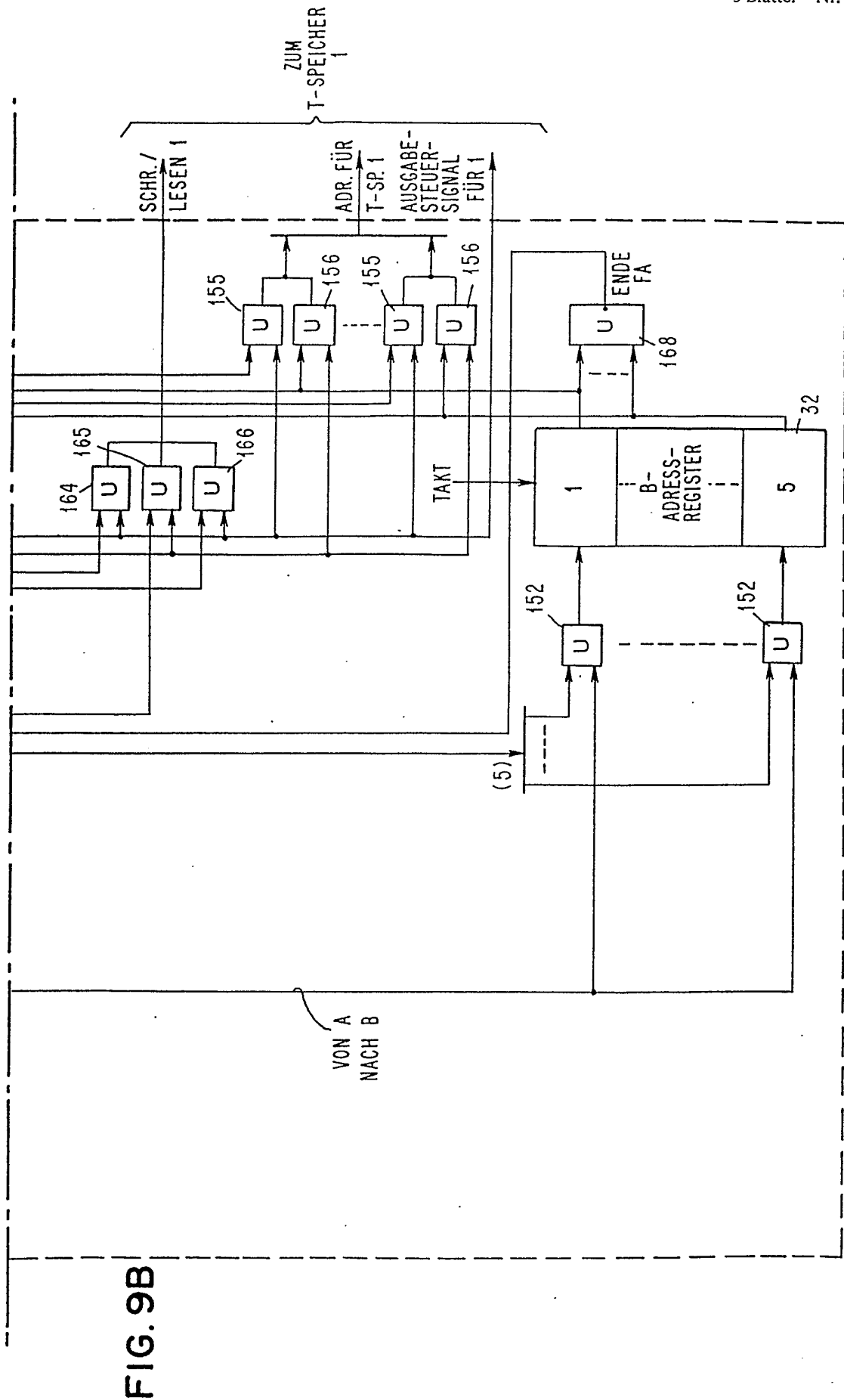


FIG. 10

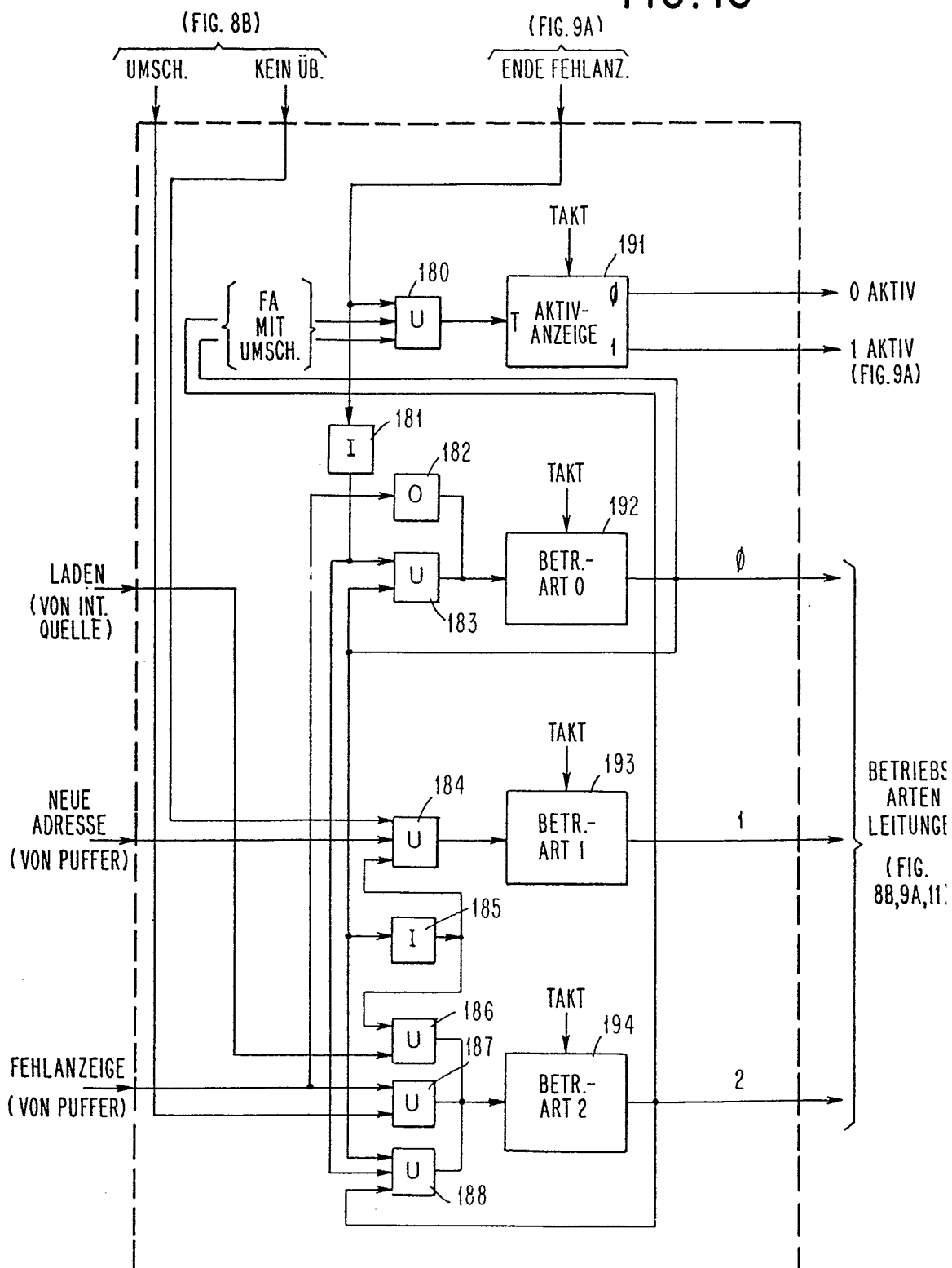


FIG. 11

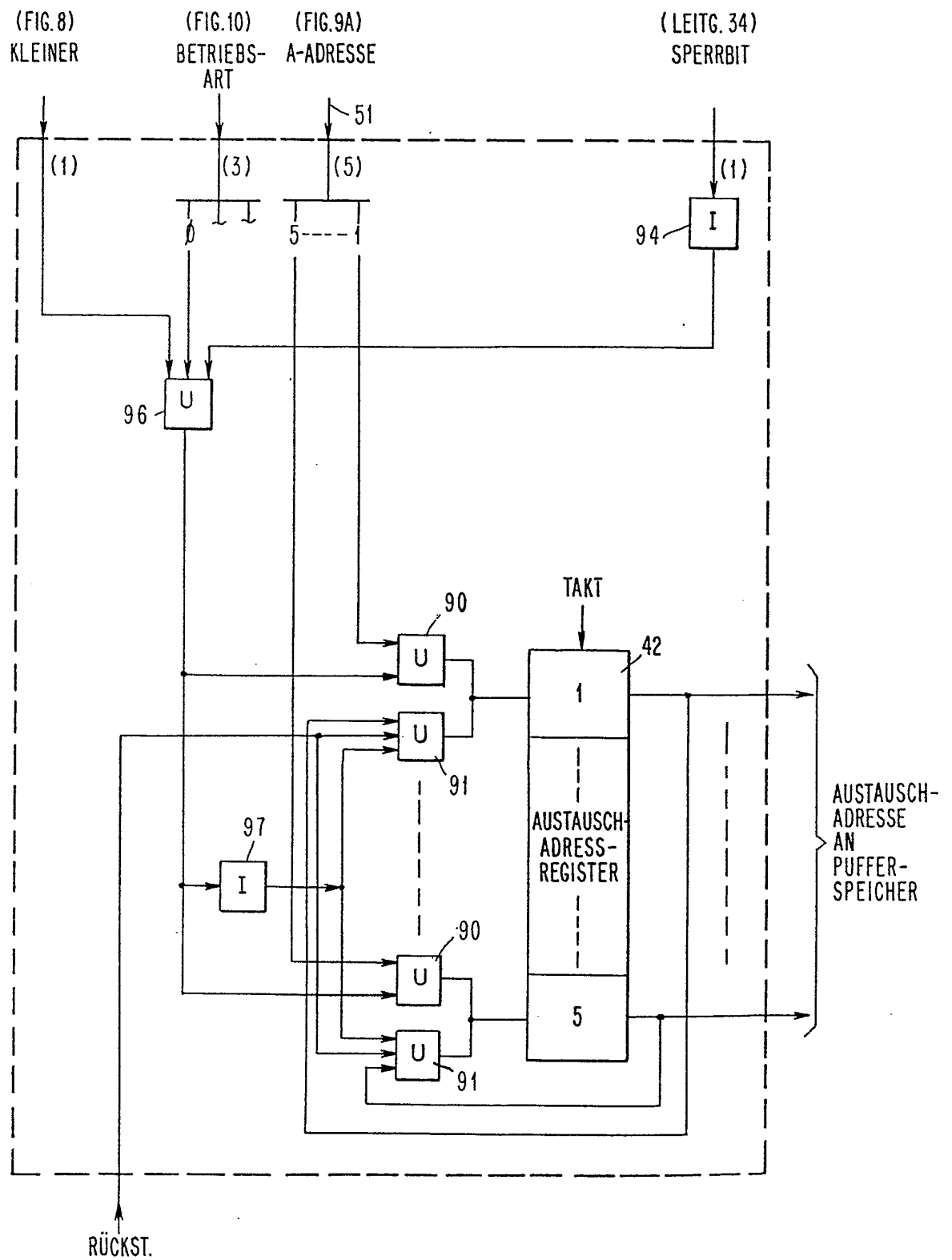


FIG. 12

