



elektronik · bauelemente

Nur für den Dienstgebrauch

APPLIKATIVE INFORMATION

IWT

05/84

2/84

16-Bit-Festkommaarithmetikmodul mit U 8032 für K 1520

0. Einleitung

Im nachfolgenden Beitrag wird ein spezieller Arithmetikmodul beschrieben, der auf dem Arithmetikschaltkreis U 8032 basiert und als Zusatzarithmetik zum K 1520 entwickelt und getestet wurde. Um eine einfache Nachrüstung in Betrieb befindlicher K 1520 zu ermöglichen, mußten alle elektrischen und konstruktiven Parameter der entsprechenden Busrichtlinie TGL 37271/01 beim Entwurf berücksichtigt werden. Besonders wichtig für die Nachnutzbarkeit /1/ der entwickelten Schaltung ist, daß nur Bauelemente aus der DDR bzw. dem RGW-Sortiment zum Einsatz kommen, die sich bereits gegenwärtig in Serienproduktion befinden oder bei denen die Überleitung unmittelbar bevorsteht. Als weitere Randbedingung war zu beachten, daß die gesamte Schaltung des entwickelten Arithmetikmodules auf einer einzigen Leiterplatte (215 x 170 mm²) platzierbar und in 2-Ebenen-Ausführung auch trassierbar ist. Aus diesem Grunde wurde zunächst nur eine 16-Bit-Festkommaverarbeitung angestrebt, obwohl der U 8032 prinzipiell bis vier Stück kaskadierbar ist und auch Gleitkommaverarbeitung ermöglicht. Die Steigerung der Arbeitsgeschwindigkeit bei Multiplikation, Division und Berechnung von Polynomen, die sich auf eine Reihenfolge der vier Grundrechenarten zurückführen lassen, soll einen Faktor größer 10 gegenüber reinen Softwarelösungen erreichen. Die Konfiguration eines erweiterten Mikrorechners zeigt Bild 1.

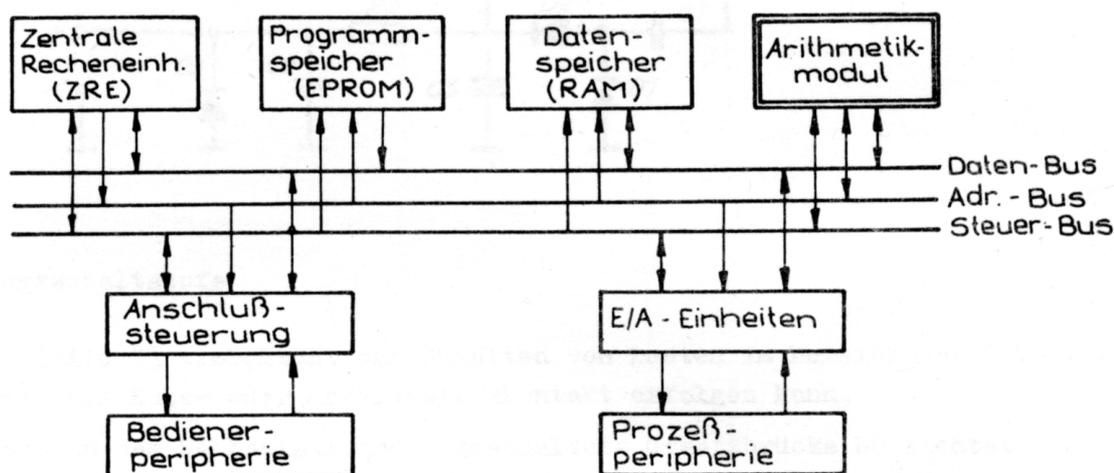


Bild 1: Konfiguration Mikrorechner mit Arithmetikmodul

1. Besonderheiten der IS U 8032

Bereits aus der Beschreibung des Arithmetikschaltkreises /2/ ist ersichtlich, daß die IS U 8032, die für die K 1600-Familie entwickelt wurde, nicht autonom arbeitsfähig ist. Sie besitzt gegenüber den bekannten Prozessoren (z. B. U 880) einen stark eingeschränkten Befehlssatz (39 Befehle). Die verfügbaren Befehle sind problembezogen der Arithmetikverarbeitung angepaßt. Es gibt keine Möglichkeit der Adreßrechnung und keinerlei Organisationsbefehle. Daraus ergibt sich, daß für eine arbeitsfähige Konfiguration zusätzliche Funktionseinheiten benötigt werden, die im richtigen Moment den Arithmetikschaltkreis aktivieren und für die vom Anwender gewünschte Operation entweder den zugehörigen **Operationskode oder die benötigten Daten bereitstellen**

Im Gegensatz zu den Prozessoren sendet die IS U 8032 an die Systemkomponenten keinerlei Steuersignale aus. Sie bildet nur ein Statussignal /F1, das von der Peripherie für einen Quittungsbetrieb ausgenutzt werden kann. Bezüglich der Aktivierung gibt es über die zwei Betriebsartenwahleingänge /WE, /RQ prinzipiell vier Betriebsarten (Tab. 1). Im vorgestellten Modul werden nur die ersten drei Betriebsarten genutzt. Bei Einsatz der IS U 8032 ist zu beachten, daß die drei verwendeten Betriebsarten erst durch das /CS-Signal aktiviert werden. Das Low-Potential dieses Signales bewirkt am U 8032 eine Auslösefunktion, d. h. daß nach einer Mindestimpulsdauer /CS wieder inaktiven Pegel annehmen darf, obwohl die eingeleitete Operation (z. B. Multiplikation) bis zum Ende abläuft. Aus dieser Funktion der Signale ist erkennbar, daß die Betriebsartenwahleingänge /RQ, /WE stets stabil anliegen müssen, ehe /CS wirksam werden darf.

Tabelle 1: Betriebsarten des U 8032

RQ	WE	Betriebsart
High	High	Operationsausführung laut Befehlskode
High	Low	Einschreiben von Daten in IS 8032
Low	High	Auslesen von Daten aus IS 8032
Low	Low	Rücksetzen der IS U 8032

Natürlich muß zur ordnungsgemäßen Ausführung einer mathematischen Operation auch der **Operationskode vor dem High-Low-Übergang von /CS stabil anliegen**. Wird nach **Operationsausführung ein neuer Operationskode angelegt**, so muß zu dessen Start eine neue High-Low-Flanke von /CS gebildet werden. Bei der kurzen Darstellung des Signalspieles am U 8032 ist zu beachten, daß auf die Bedingungen (Zeitbedingungen, Überlappungen) nicht eingegangen wurde, die erst bei kaskadiertem Einsatz des U 8032 Bedeutung erlangen. Aus gleichem Grund wurden die Signale /F2 und /F3 und die Übertragseingänge S1, S2 und die Übertragsausgänge S3, S4 nicht in die Beschreibung einbezogen.

2. Schaltungsvarianten eines Arithmetikmodules

Für den Entwurf eines Arithmetikmodules gibt es eine ganze Reihe von Forderungen, die aber teilweise gegenläufig sind. Neben den konstruktiven Randbedingungen wird hauptsächlich verlangt daß

- ein möglichst niedriger Bauelementeaufwand,
- eine maximale Einsparung an Rechenzeit,
- eine gute Flexibilität bei einfacher Anwenderprogrammierung

gewährleistet werden.

2.1. Arithmetikmodul als passive Systemkomponente des K 1520

Der Mikroprozessor des Rechners ist bei dieser Variante die einzige aktive Komponente. Alle anderen Module (passiv) können nur über Abfrage- oder Interrupt-mode die Programmabarbeitung des Mikroprozessors beeinflussen. Sie sind aber nicht in der Lage, durch Erzeugung entsprechender Steuerbussignale und Aussenden von Adressen die gewünschten Daten über den Systembus von einem Modul zum anderen zu transportieren. Für einen passiven Arithmetikmodul würde das bedeuten, daß der universelle Mikroprozessor mittels des geschriebenen Programmes die zu verarbeitenden Operanden aus seinem Speicher an den Arithmetikmodul übergeben müßte. Dazu wäre die Abarbeitung von Speicherlese- und Ausgabebefehlen mit zwischengeschobener Adreßrechnung erforderlich. Für 2-Operanden-Operationen (z. B. Multiplikation) mit einer Wortlänge von 16 Bit entsteht ein Zeitaufwand für den vollständigen Transport von rund 50 μ s. Außer dem Operandentransport muß dem Arithmetikmodul über ein Steuerwort die gewünschte Operation mitgeteilt werden. Die Unterscheidung zwischen Daten- und Steuerworten kann analog zu den Lösungen beim PIO-Schaltkreis durch Modifikation eines Adreßbits vorgenommen werden. Für die Zwischenspeicherung der beiden 16-Bit-Operanden sind prinzipiell zwei PIOs mit ihrem A- und B-Port geeignet. Dem Vorteil der einfachen schaltungstechnischen Lösung zum Übergang von der 8-Bit-Wortbreite des U 880 auf die 16-Bit-Wortbreite des U 8032, steht ein größerer Adressierungsaufwand gegenüber. Eine Schieberegisterlösung kommt mit einer einzigen Adresse für die Daten aus und kann auch die Parallelisierung von 2 Byte realisieren. Eine industrielle Lösung, die dem zuletzt genannten Prinzip weitgehend entspricht, wird als IS 9511 und IS 9512 von der amerikanischen Firma Advanced Micro Devices /3/ angeboten. In den IS ist die Arithmetikeinheit mit entsprechender Steuerlogik und Busanpassung zu einem Arithmetikprozessor vereinigt, der jedoch bezüglich des Systembusses passiv bleibt. Nach jeder arithmetischen Operation entsteht für den Rücktransport des Ergebnisses durch den universellen Mikroprozessor weiterer Zeitaufwand, so daß auch bei extrem schneller Ausführung der arithmetischen Operation nur ein eng begrenzter Zeitgewinn erreichbar ist. Für die IS U 8032, die eine speziell zu entwerfende Steuerlogik für einen arbeitsfähigen Arithmetikmodul benötigt, wurde wegen der aufgeführten Nachteile kein passiver Modul entwickelt.

2.2. Arithmetikmodul als aktive Systemkomponente des K 1520

Wenn mit dem U 8032 ein bezüglich des Systembusses des K 1520 aktiver Modul realisiert wird, so muß das Steuerwerk des Modules in zwei Richtungen wirken. In bezug auf den Systembus muß ein dem DMA-Verkehr (direkte Speicherzugriff-Steuerung) analoges Verhalten realisiert werden. In Richtung des U 8032 muß das Steuerwerk die erforderlichen Mikrobefehlsfolgen und die schon erwähnten Betriebsartensignalspiele generieren.

2.2.1. Aktiver Arithmetikmodul mit einstufigem Steuerwerk

Durch die oben erläuterte Vielfältigkeit wird das Steuerwerk kompliziert, d. h. daß eine große Menge von Steuervariablen zu generieren ist. Entweder muß die große Menge der Steuervariablen durch ein breites Steuerwort parallel aus PROM's bereitgestellt werden oder für die nicht gleichzeitig auftretenden Steuervariablen wird eine aufwendige Dekodierung erforderlich.

Die prinzipielle Flexibilität wird durch die aufwendige Programmierung der PROM auf dem Niveau einer Maschinensprache von den Anwendern praktisch kaum nutzbar. Bei jeder anwenderspezifischen Umprogrammierung müssen alle Standardmikrobefehlsfolgen (z. B. Festkommadivision oder feststehende Funktionsberechnungen) nach einer vollständigen Löschung des PROM's neu eingeschrieben werden. Das skizzierte Mikroprogrammsteuerwerk muß technische Umsetzungen für die Abwicklung der Unterprogrammtechnik (Register für die Speicherung der Rücksprungadressen) und einen Befehlszähler größerer Kapazität besitzen. Die beschriebene Realisierung ist aber bezüglich der Arbeitsgeschwindigkeit vorteilhaft und bietet sich für Einsätze an, wo für ein Serienprodukt eine oder wenige feststehende mathematisch anspruchsvolle Funktionsberechnungen (z. B. Mehrachseninterpolation bei numerisch gesteuerten Maschinen, oder Berechnungen für ein gewünschtes Digitalfilter) zyklisch abgearbeitet werden müssen. Ein Arithmetikmodul für diese angegebenen Randbedingungen ist in /4/ beschrieben.

2.2.2. Aktiver Arithmetikmodul mit kaskadiertem Steuerwerk

Wird im Gegensatz zum Punkt 2.2.1. die aufwandsarme Programmierung als wichtigste Prämisse angesehen, so liegt eine Aufteilung der Funktion des Arithmetikmodules auf zwei Steuerwerke nahe.

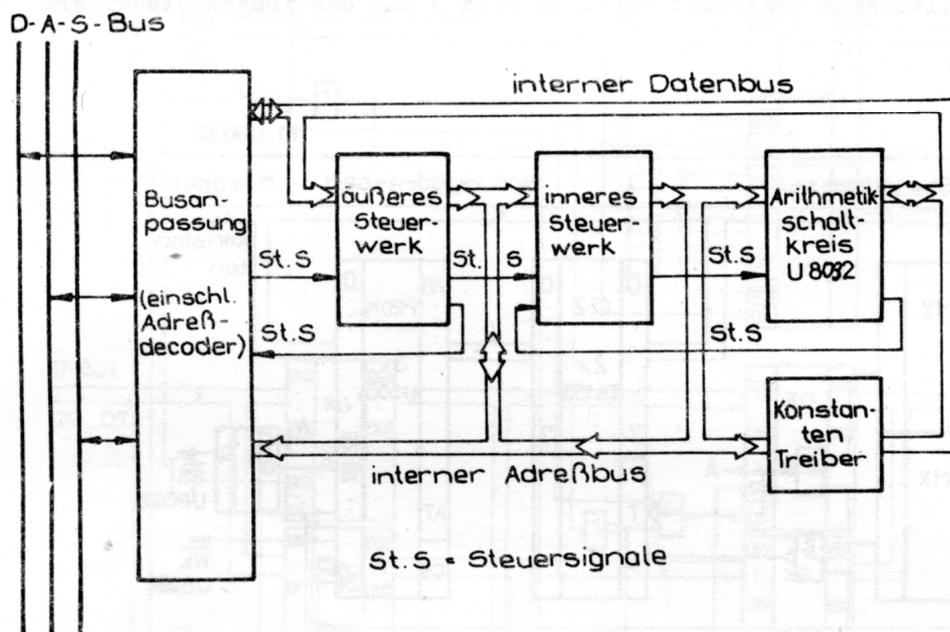


Bild 2 Arithmetikmodul mit kaskadierter Steuerwerkanordnung

Ein inneres Steuerwerk stellt die Mikrobefehlsfolgen und Steuersignale für den U 8032 und die Steuersignale zur Bereitstellung bzw. Speicherung der gepufferten Daten bereit. Ein äußeres Steuerwerk wird vom U 880 initialisiert und übernimmt danach die Systembussteuerung zum Operandentransport. Dieses äußere Steuerwerk initialisiert durch Bereitstellen eines 8-Bit-Musters als Adresse das innere Steuerwerk und löst dadurch die Verarbeitung der bereitgestellten und parallelisierten (16 Bit) Daten aus. Nach der Operationsausführung führt das äußere Steuerwerk die Ergebnisse in den RAM-Speicher des Mikrorechners zurück.

Bei geeigneter feststehender Programmierung des inneren Steuerwerkes (unter Umständen ROM) durch den Hersteller des Arithmetikmodules, behält der Anwender eine große Freizügigkeit bei einfachster Programmierung des äußeren Steuerwerkes. Diese ergibt sich einerseits durch das kurze Befehlswort (16 Bit) dieses Steuerwerkes und weiterhin dadurch, daß in dem äußeren Steuerwerk nur ein geringer Befehlsvorrat für lineare Programme (ohne Verzweigung, Sprünge und Schleifen) einzuschreiben ist. Nach diesen Gesichtspunkten wurde der Arithmetikmodul entworfen, der anschließend detailliert beschrieben wird.

3. Beschreibung der Variante nach Punkt 2.2.2.

3.1. Hardwarebeschreibung

Der Arithmetikmodul ist als Blockschaltbild bereits im Bild 2 dargestellt. Die zwei kaskadierten Steuerwerke sind grundsätzlich ähnlich aufgebaut und verwirklichen jeweils das Prinzip eines Mikroprogrammsteuerwerkes, dessen Wirkungsweise schon in /5/ beschrieben wurde. Zu einem Steuerwerk gehört außer dem zentralen Mikroprogramm Speicher (U 555) der voreinstellbare Befehlszähler (DL 193) und sowohl für das Setzen des Zählers als auch für dessen Inkrementieren ein Bedingungs Multiplexer. Beide Bedingungs Multiplexerausgänge werden durch einen zentralen Takt getort, so daß eine einwandfreie Synchronisation der Arbeitsweise gesichert wird. Im Bild 3 ist das innere Steuerwerk als Logikplan zu sehen.

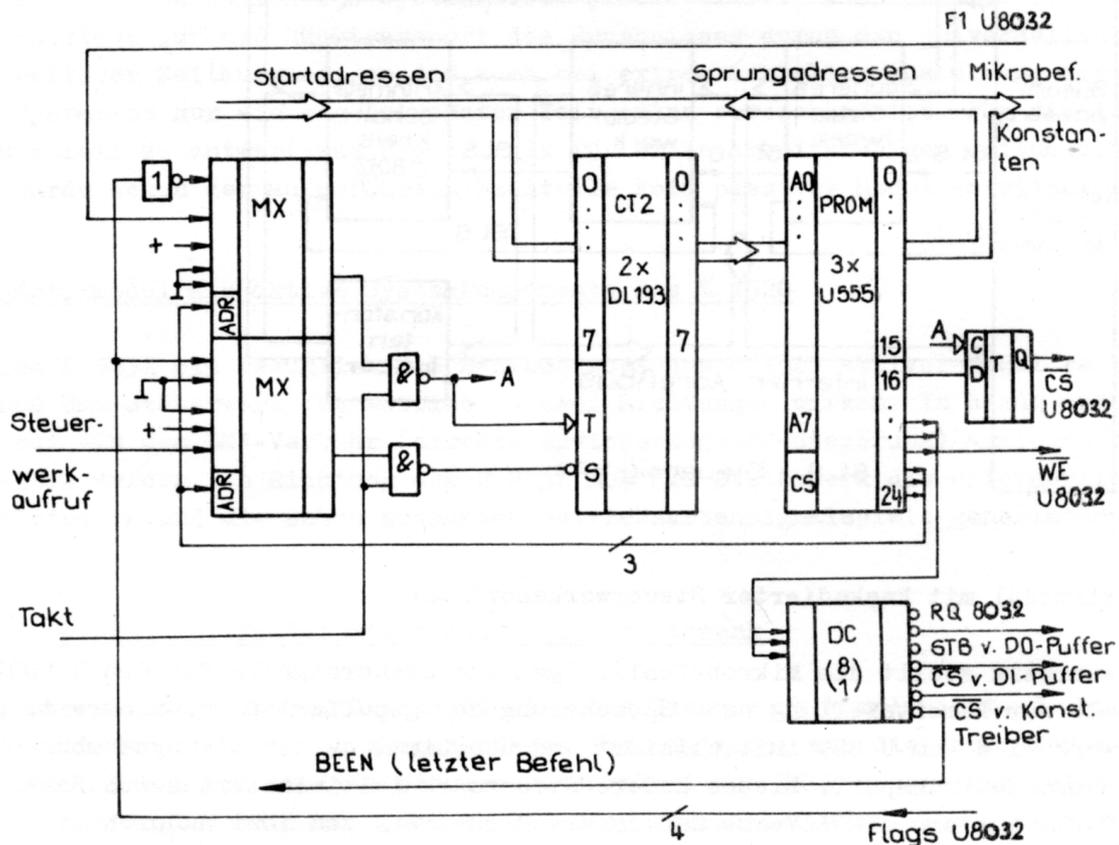


Bild 3: Vereinfachter Logikplan des inneren Steuerwerkes

Durch die kaskadierte (hierarchische) Anordnung der zwei Programmschaltwerke wird im Normalfall der Anwender von der Kenntnis und Anwendung des Mikrobefehlskodes des U 8032 und der Beachtung aller Zeitbedingungen und internen Steuersignale befreit. Das innere Steuerwerk arbeitet genauso wie die bekannte Unterprogrammtechnik, d. h. der Anwender weist Operationen symbolisch durch eine Startadresse an. Nach Ablauf der ausgeführten Operation wird die nächste Anweisung des Anwenders abgetestet und ausgeführt. Als Speicherelemente gelangen nur EPROM's vom Typ U 555 zum Einsatz. Diese sind mittels UV-Licht löschar, aber nicht selektiv, sondern nur global. Würden Anwenderbefehlsfolgen und feststehende Mikrobefehlsroutinen im gleichen Bauelement gespeichert, wäre für jede minimale Änderung des Anwenders die gleichzeitige Löschung aller Unterprogramme nicht zu umgehen. Jede Unterprogrammtechnik ist nicht zeitminimal. Das trifft auch für diese Hardwarevariante zu. Da für die Übergabe der Führungsfunktion von einem Steuerwerk zum anderen nur eine Taktzeit vergeht, ist der zusätzliche Zeitbedarf nicht erheblich.

Die Schnittstelle zwischen der Anwenderprogrammierung und den aufrufbaren Befehlsfolgen des inneren Steuerwerkes wurde so gewählt, daß dem Anwender eine weitgehende Freizügigkeit bezüglich der Operandenadressen im Speicher des K 1520 erhalten bleibt und der Anwender in der Lage ist, aus vorgegebenen Befehlsfolgen des inneren Steuerwerkes (mit festgelegten Quell- und Zieladressen der Operanden) sinnvolle komplexe mathematische Funktionen zusammensetzen. Die gewählte Programmstruktur trägt gleichzeitig der Notwendigkeit der Transformation der Datenwortbreite (K 1520 8-Bit-Wort; Arithmetikmodul 16-Bit-Wort) Rechnung.

Erklärungen zur Tabelle 2:

- PC₁ : Befehlszähler des inneren Steuerwerkes
 RK : Koppelregister des U 8032 für Daten am K1-Bus
 DI : Dateneingaberegister des Arithmetikmoduls
 Serien-Parallel-Wandlung (16 Bit : = 2 x 8 Bit)
 DO : Datenausgaberegister des Arithmetikmoduls
 Parallel-Serien-Wandlung (2 x 8 Bit : = 16 Bit)
 F1 : Statussignal des U 8032 (F1 = H : Operationsende)
 xx : beliebige 8-Bit-Kombination
 zz zz : 16-Bit-Zahl, die eine Konstante im Festkommaformat darstellt.
 mm mm : 16-Bit-Kombination, die dem Mikrobefehlskode des U 8032 entspricht.

3.2.2. Programmierung des inneren Steuerwerkes

Zur Programmierung des inneren Steuerwerkes stehen 11 Befehle zur Verfügung, die in der folgenden Tabelle 2 angeführt sind.

Tabelle 2: Befehle des inneren Steuerwerkes

Mnemonic	Hexakodierung	Erklärung
JZ	F0 xx nn	Sprung bei Null-Flag Z=H : $PC_i : = nn$ Z=L : $PC_i : = PC_i+1$
JN	F1 xx nn	Sprung bei Vorzeichen-Flag N=H : $PC_i : = \cdot nn$ N=L : $PC_i : = PC_i+1$
JC	F2 xx nn	Sprung bei Übertrags-Flag C=H : $PC_i : = nn$ C=L : $PC_i : = PC_i+1$
JV	F3 xx nn	Sprung bei Überlauf-Flag V=H : $PC_i : = nn$ V=L : $PC_i : = PC_i+1$
JMP	F6 xx nn	unbedingter Sprung $PC_i : = nn$
DALE	65 xx xx	Datenlesen aus U 8032 DO : = RK $PC_i : = PC_i+1$
DASCH	55 xx xx	Datenschreiben in U 8032 RK : = DI $PC_i : PC_i+1$
KOSCH	45 zz zz	Konstantenschreiben in U 8032 RK : = zz zz $PC_i : = PC_i+1$
NOP	FD xx xx	ohne Operation $PC_i : = PC_i+1$
MIKRO	74 mm mm	Mikrobefehl schreiben F1=H : $PC_i : = PC_i+1$
BEEN	B7 xx xx	Befehlsfolgende Vorbereitung des nächsten Startes (Setzen von PC_i) $PC_a : PC_a+1$

Für die Aufstellung von Befehlsfolgen des inneren Steuerwerkes gibt es zwei Möglichkeiten: Für einfachste Anwendungsfälle können einem Anwender Folgen angeboten werden, die in sich abgeschlossene Operationen darstellen und für die gegebene Struktur zeitminimal sind. Sie schließen die Transporte der Operanden vom DI ins RK und den Transport des Ergebnisses vom RK in das DO-Register in die Folge ein. Es ergibt sich eine minimale Zahl von Übergeben des Anwendersteuerwerkes an das innere Steuerwerk. Bei Verkettung der programmierten Operationen (ADD, SUB, MUL, DIV, sinx, cosx usw.) ergeben sich Schwierigkeiten, da z. B. kein direkter Rücktransport des Ergebnisses aus DO ins RK möglich ist, wenn das Ergebnis einer Operation gleichzeitig der Operand für die nächste Operation werden soll. Im Normalfall sind deshalb im inneren Steuerwerk nur solche Folgen abgespeichert, die mehrfach nutzbar sind und vom Anwender verkettet werden können. Jede Folge des inneren Steuerwerkes wird mit dem Befehl BEEN abgeschlossen. Nach dieser zweiten Möglichkeit seien einige Folgen als Beispiel erklärt:

Nach dem RESET, der beim Zuschalten der Versorgungsspannung vom K 1520 gebildet wird, steht der Befehlszähler auf 0 ($PC_I = 0$). Auf der Adresse 1 steht der Mikrobefehl Schaltkreisstellung setzen (SKS). Ihm folgt der Mikrobefehl Regimeregister setzen (SRS). Mit Abarbeitung von BEEN auf Adresse 3 ist die Einschalttroutine abgeschlossen. Weitere Grundfolgen aus jeweils einer Operation mit unmittelbar nachfolgender Beendigung ergeben sich für das einfache Datenschreiben (DASCH; Adresse 4), Datenlesen (DALE; Adresse 6) und die Transporte zum Beschreiben des Akku n mit dem Inhalt von RK (SAC_n ; $n = 0 \dots 7$) und die Rücktransporte beim Lesen des Akkus n und Eintragen des gelesenen Wertes in RK (LAC_n ; $n = 0 \dots 7$) dar.

Die prinzipiell möglichen Direkttransporte aus einem AC_i in einen AC_j werden dem Anwender nicht zur Programmierung angeboten. Auch bei den mathematischen Standardoperationen, die prinzipiell mit jedem AC möglich sind, werden Register fest zugeordnet. Folgende Vereinbarungen werden getroffen:

Mnemonic	Operation	Bemerkung
ADD	$AC2 := AC2 + RK$	Produkt: AC2 : höherwertig 16 Bit AC7 : niederwertig 16 Bit
SUB	$AC2 := AC2 - RK$	
MUL	$AC2 AC7 := AC2 \cdot RK$	
DIV	$AC0 := AC0, AC1 : RK$	Zähler: AC0 : höherwertig = 0 AC1 : niederwertig Rest nach DIV : AC1

Aus den Vereinbarungen ist erkennbar, daß bei allen zwei Operanden-Operationen ein Operand im RK steht, so daß bei Verkettung der Operationen Transporte eingespart werden können. Wenn z. B. eine Summation von n Operanden gewünscht wird, so muß nach jedem Aufruf von Addition nur der Transport des nächsten Operanden aus dem K 1520-Speicher über das Anwenderprogramm in den Datenpuffer DI vorgenommen werden und ein Transport (DI - RK) angewiesen werden.

3.2.3. Programmierung des äußeren Steuerwerkes (Anwendersteuerwerk)

Dem Anwender stehen die nachfolgend aufgeführten Befehle zur Verfügung (Tab. 3).

Tabelle 3: Befehle des äußeren Steuerwerkes

Mnemonic	Hexakodierung	Erklärung
BUSAN	EE xx	Busanforderung mit Warten auf BUSAK bei /BUSAK : $PC_a := PC_a + 1$
EXLE	15 nn	externen K 1520-RAM lesen $PC_a := PC_a + 1$
EXSCH	04 nn	externen RAM beschreiben $PC_a := PC_a + 1$
BESCH	CC nn	Befehl in inneres Steuerwerk schreiben (Adr. setzen v. PC_i) $PC_i : nn$ bei BEEN : $PC_a := PC_a + 1$
PROGE	BB xx	Programmende Rücknahme von /BUSRQ und Vorbereitung für erneutes Setzen von PC_a bei Modulaktivierung.

Erklärung zur Tabelle 3

nn 8-Bit-Zahl, die Absolutadresse im RAM-Speicher oder für PC_1 darstellt.

Modifikation von Befehl BESCH möglich:

Durch Operationskode CC bleibt /BUSRQ erhalten bei C8 wird /BUSRQ zurückgenommen und vor EXLE oder EXSCH muß erneut BUSAN stehen.

In der Tabelle 4 ist der Ausschnitt einer möglichen Grundsoftware für Anwender dargestellt. Alle Adressen in den Zellen BESCH sind Startadressen. Mit diesem Befehl wird der Befehlszähler des inneren Steuerwerkes gesetzt. Im Rahmen der Einschalt routine (RESET) wird durch den BESCH-Befehl auf der Zelle 0 des äußeren Steuerwerkes das innere Steuerwerk an der Stelle 1 gestartet und damit die dort notierten Befehle SKS, SRS zur Schaltkreisinitialisierung des U 8032 abgearbeitet. Das äußere Steuerwerk bleibt nach dem Befehl PROGE auf dieser Adresse stehen und wartet auf eine Initialisierung von außen. Die arithmetischen Grundfunktionen werden auf folgenden Adressen gestartet (Tab. 4).

02 H: Addition

0E H: Subtraktion

1A H: Multiplikation

3.3. Zeitabschätzung

Der vorgestellte Arithmetikmodul arbeitet als synchroner Automat mit dem Takt des gekoppelten Rechners K 1520 (2,5 MHz). Um eine sichere Arbeitsweise bei den eingesetzten EPROM's (U 555) zu erreichen, muß nach jeder Adreßerhöhung mindestens 400 ns gewartet werden, bis ein gültiges Steuerwort anliegt. Aus diesem Grund wird der Systemtakt intern noch einmal untersetzt (Periodendauer 800 ns). Bei allen Befehlen, die ohne Anlegen des Mikrobefehlswortes am U 8032 abgewickelt werden, kann deshalb mit einer Zeit von 800 ns gerechnet werden. Für die Befehle MIKRO gelten die Abarbeitungszeiten aus /2/. Für die 16-Bit-Festkommarechnung bei ADD, SUB und MUL ergeben sich bei Programmierung entsprechend Tab. 4 Werte kleiner 20 μ s einschließlich der erforderlichen Operanden und Ergebnistransporte. Wird kein Wert auf eine Verkettung der Grundoperation gelegt, läßt sich durch geänderte Programmierung des inneren Steuerwerkes der Zeitbedarf auf rund 15 μ s reduzieren.

Tabelle 4: Ausschnitt der Modul-Software

äußeres Steuerwerk			inneres Steuerwerk		
ADR	Mnemonik	Steuerwort	ADR	Mnemonik	Steuerwort
00	BESCH	C8 01	00	BEEN	B7 xx xx
01	PROGE	BB xx	01	SKS	74 EB FO
02	BUSAN	EE xx	02	SRS	74 E7 FE
03	EXLE	15 00	03	BEEN	B7 xx xx
04	EXLE	15 01	04	DASCH	55 xx xx
05	BESCH	CC 08	05	BEEN	B7 xx xx
06	EXLE	15 02	06	DALE	65 xx xx
07	EXLE	15 03	07	BEEN	B7 xx xx
08	BESCH	CC 04	08	DASCH	55 xx xx

Fortsetzung Tab. 4

09	BESCH	CC	OE	09	SAC?	74	F7	85
0A	BESCH	CC	OB	0A	BEEN	B7	xx	xx
0B	EXSCH	04	04	0B	LAC2	74	EF	85
0C	EXSCH	04	05	0C	DALE	65	xx	xx
0D	PROGE	BB	xx	0D	BEEN	B7	xx	xx
0E	BUSAN	EE	xx	0E	ADD2	74	DF	05
0F	EXLE	15	00	0F	BEEN	B7	xx	xx
10	EXLE	15	01	10	SUB2	74	D5	05
11	BESCH	CC	08	11	BEEN	B7	xx	xx
12	EXLE	15	02	12	MUL2	74	ED	05
13	EXLE	15	03	13	BEEN	B7	xx	xx
14	BESCH	CC	04	.	.	.	.	.
15	BESCH	CC	10	.	.	.	.	.
16	BESCH	CC	0B	.	.	.	.	.
17	EXSCH	04	04					
18	EXSCH	04	05					
19	PROGE	BB	xx					
1A	BUSAN	EE	xx					

Literatur:

- 1 - 16-Bit-Arithmetikprozessormodul für K 1520-Anwendung
Nachnutzungsdokumentation des VEB ZFTM Dresden
- 2 Bürger, B. Schaltkreisbeschreibung U 8032 für Anwender
Firmenschrift des VEB ZFTM Dresden
- 3 - Am 9511 / Am 9512 Floating Point Processor Manual
Firmenschrift der Advanced Micro Devices
- 4 Schulz, APR-32: Arithmetikmodul für den Anschluß an den K 1520
- 5 Timm, V. TTL-Programmschaltwerk mit PROM
Elektronik 1975 Heft 1, S. 53 - 58