

KERNFORSCHUNGSZENTRUM

KARLSRUHE

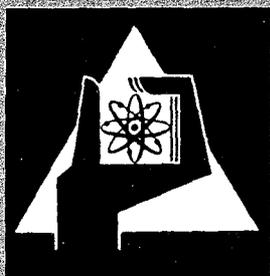
Februar 1969

KFK 937

Institut für Angewandte Kernphysik

MIDAS - Erfassung und Steuerung kernphysikalischer
Messungen durch ein Vielfachzugriffssystem

G. Krüger



GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.

KARLSRUHE

MIDAS - Erfassung und Steuerung kernphysikalischer Messungen durch ein Vielfachzugriffssystem

Von G. KRÜGER, Karlsruhe

Die im Kernforschungszentrum Karlsruhe am Forschungsreaktor FR2 aufgebaute integrierte Datenverarbeitungsanlage MIDAS verarbeitet die Meßdaten von 10 kernphysikalischen Experimenten, bei denen eine große Zahl digitalisierter Einzelwerte mehrerer korrelierter Meßparameter in Real-Time erfaßt und verarbeitet werden müssen.

Die Steuerung und Führung des Meßablaufes durch den Experimentator erfolgt unabhängig von jedem einzelnen Meßplatz über Codegeber und Sichtgeräte.

Besonders in den Test- und Einstellphasen der Versuchsdurchführung findet eine dialogartige Wechselwirkung zwischen dem Physiker und MIDAS statt.

Das Betriebssystem mußte speziell für diese Anwendung geschrieben werden.

Das System ist in mehreren Stufen ausgebaut seit 1963 im Dauerbetrieb eingesetzt. Über die Betriebserfahrungen wird kurz berichtet.

1. Datenverarbeitungssysteme für die Meß- und Experimentier-technik

Komplexe Datenverarbeitungssysteme für die Meß- und Experimentier-technik, die in zunehmendem Maße in Forschungslaboratorien und Versuchsabteilungen eingesetzt werden, fügen sich nicht ohne weiteres in übliche Klassifizierungsschemata für Real-Time-Anlagen ein.

Systeme für die Experimentiertechnik kombinieren typische Eigenschaften automatisch arbeitender Prozeßsteuer- und -leitanlagen mit Aufgaben, zu deren Lösung dialogfähige Teilnehmer-Rechensysteme mit enger Mensch-Maschine-Wechselwirkung eingesetzt werden können.

Vom Prozeßrechner, der die Automatisierung von Routineabläufen zur Aufgabe hat, unterscheidet sich das Experimentiersystem dadurch, daß die einzelnen Phasen eines Versuchsablaufes nicht nach einem geplanten, exakt vorher angebbaren Schema abgewickelt werden können. Das

trifft besonders auf die Forschungsarbeit zu. Hier ist die Experimentierarbeit die Suche nach unbekanntem Vorgängen und Beziehungen; das Auftreten unvorhergesehener Effekte ist hier nicht wie in der industriellen Praxis ein unerwünschtes Fehlverhalten, sondern das Ziel der Untersuchungen.

Von den Teilnehmer-Rechensystemen im engeren Sinne unterscheiden sich die Experimentierrechner durch ihre besonderen Anforderungen an das Real-Time-Verhalten, insbesondere stellt die geforderte Schnelligkeit bei der automatischen Datenerfassung und -verarbeitung hohe Anforderungen an die Organisation dieser Anlagen. Auf der anderen Seite fordert man von den heutigen integrierten Meßdatensystemen nicht die Flexibilität der Teilnehmeranlagen, da die Klasse der zu behandelnden Aufgaben bei den einzelnen Anwendungen einigermaßen zuverlässig abgrenzbar ist. So kann man in vielen Fällen die erheblichen Schwierigkeiten bei der Implementierung universeller Lösungen für die direkte Wechselwirkung mit dem Rechner durch speziellere Ansätze vermeiden oder wenigstens vermindern.

Doch geht gerade in letzter Zeit die Entwicklung eindeutig in der Richtung, die bestehenden Einschränkungen beim rechnerunterstützten Experimentieren abzubauen. Das Ziel ist es, am Meßplatz, über die automatische Meßdatenverarbeitung und Experimentsteuerung hinaus, unbeschränkten Zugang zu den Möglichkeiten universeller Vielfachzugriffssysteme mit hoher Leistung zu haben.

Das Meßdatensystem, dessen Aufbau und Ziele im folgenden etwas näher diskutiert werden sollen, stellt eine relativ frühe Entwicklungsstufe eines integrierten Experiment-Computer-Verbundes dar. Es lassen sich aber einige Besonderheiten und typische Aufgabenstellungen für den Experimentierbetrieb an Hand dieses konkreten Beispiels zeigen. Außerdem kann über eine mehrjährige Betriebserfahrung berichtet werden.

2. Beschreibung der MIDAS-Anlage

2.1 Aufgabenstellung

Das zu beschreibende Datenerfassungs- und -verarbeitungssystem wurde zur Lösung von Aufgaben der kernphysikalischen Experimentier-technik aufgebaut. Es trägt nach dem Titel der ersten englischsprachigen

gen Veröffentlichung den Namen MIDAS - **M**ultiple **I**nput **D**ata **A**cquisition **S**ystem [1]. Gegenwärtig ist die Ausbaustufe MIDAS 66 in Betrieb.

Der Einsatz direkt mit den Experimenten gekoppelter DV-Anlagen wurde notwendig, als - besonders an kernphysikalischen Großgeräten, wie Reaktoren und Beschleunigern - Untersuchungen durchgeführt werden sollten, deren Meßdatenfluß um mehrere Größenordnungen höher war als bei konventionellen Meßreihen. Bei diesen Vielkanal-Mehrparameter-Messungen werden eine große Zahl digitalisierter Einzelwerte und mehrere korrelierte Meßparameter gleichzeitig erfaßt [2].

Da den Messungen vorwiegend strahlenphysikalische und elektronische Phänomene zugrunde liegen, die nahezu trägheitslos ablaufen, treten schnell veränderliche Meßdatenflüsse, oft mit statistischer zeitlicher Verteilung, auf.

Die Experimentiereinrichtung liefert das Meßergebnis als rohes, unreduziertes Datenmaterial. Erst nach Durchlaufen mehrerer Verdichtungs-, Prüf- und Auswerteschritte können aus diesem Material physikalisch verwendbare Ergebnisse abgeleitet werden.

Oft hängt aber die Wahl der Meßbedingungen der folgenden Meßphase von den ausgewerteten Ergebnissen des gerade abgeschlossenen Meßdurchgangs ab, so daß es notwendig ist, diese Ergebnisse in kurzer Zeit am Meßplatz zur Verfügung zu haben.

Andererseits muß der Experimentator den Fortgang des Versuchsablaufes jederzeit beobachten können, um rechtzeitig steuernd und korrigierend in den Meß- und Auswerteprozeß eingreifen zu können.

Es braucht nicht ausgeführt zu werden, wie stark bei den bisherigen Verfahren die funktionell nicht gerechtfertigte zeitliche Trennung der Meßdurchführung von der Auswertung der Ergebnisse zur Kontrolle und Führung des Meßablaufes eine sichere Beherrschung schwieriger Experimentiertechniken erschwerte.

2.2 *Aufbau der Anlage*

Bild 1 gibt einen Eindruck in welcher Umgebung MIDAS arbeitet [3]. In der Halle des Forschungsreaktors FR2 des Kernforschungszentrums Karlsruhe sind eine größere Zahl von Versuchsanlagen an den Strahlrohren des Reaktors installiert. Die Ausgänge der Analog-Digitalwandler, Positionsgeber, Zähler und anderer Quellen digitaler Information sind über Kabel mit MIDAS verbunden. 8 - 10 unabhängige

Versuchsanlagen, jede mit einem eigenen mehrjährigen Experimentierprogramm, sind laufend an MIDAS angekoppelt.

Die Anlagenteile von MIDAS befinden sich ebenfalls - auf einer Bühne - innerhalb der Reaktorhalle. Natürlich ist es nicht notwendig, Experimente und Rechner so dicht benachbart aufzubauen, doch wurde aus praktischen Gründen entschieden, die Rechenanlage in Sichtweite der Experimente aufzustellen. Es ist verständlich, daß am Anfang erhebliche Vorbehalte gegen eine zentralisierte Verarbeitung der Meßdaten zu überwinden waren, schließlich war die Benutzung eines Vielfachzugriffssystems im Jahre 1963 ein kaum erprobtes Verfahren.

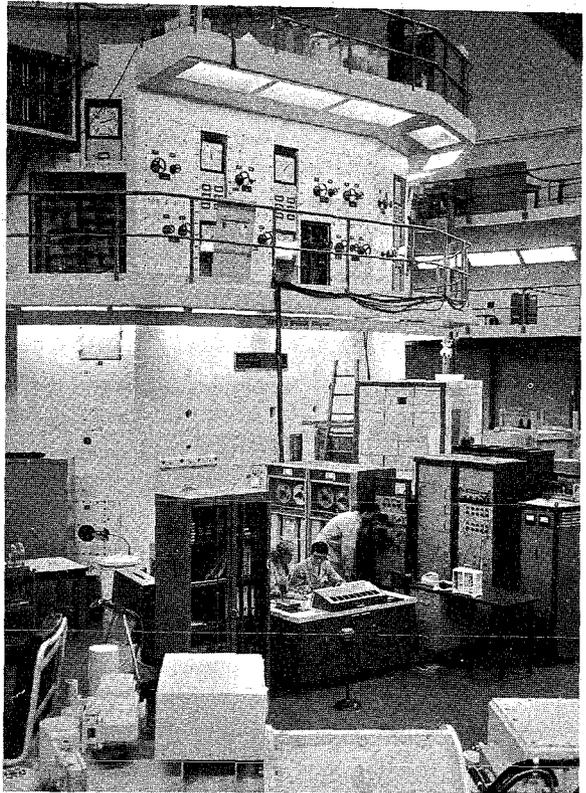


Bild 1 Blick in die Experimentierhalle des Reaktors FR2 mit Teilen der MIDAS Anlage. Der Standort des erweiterten Systems wurde inzwischen auf eine in die Halle eingebaute Bühne verlegt.

Kernstück von MIDAS 66 (Bild 2) sind zwei funktionell gleiche Kleinrechner der Firma Control Data - die CDC 160-A und CDC 8090. Jeder Rechner hat einen privaten Kernspeicher von 8K 12 Bit Worten und einer Zykluszeit von $6,4 \mu\text{sec}$.

Beide Maschinen sind über einen gemeinsamen Kernspeicher von 16K miteinander verbunden. Dieser Speicher kann von beiden Rechnern als Teil des inneren Kernspeichers direkt adressiert werden. Zusätzlich besteht eine direkte Datenkanalverbindung.

Plattenspeicher, Magnetbandgeräte, Lochstreifenein- und ausgabeinheiten und spezielle Geräte für den Experimentierbetrieb sind an die einzelnen Datenkanäle angeschlossen.

Bemerkenswert ist eine selbstentwickelte Real-Time-Uhr, die sowohl die Absolutzeit registriert und auf Anfrage an die Rechner ausgibt als auch das rechnergesteuerte Einstellen von Zeitintervallen gestattet. Durch diese Einheit erhält das System eine absolute, vom Funktionszustand der Rechner unabhängige Zeitbasis.

2.3 Außenstationen

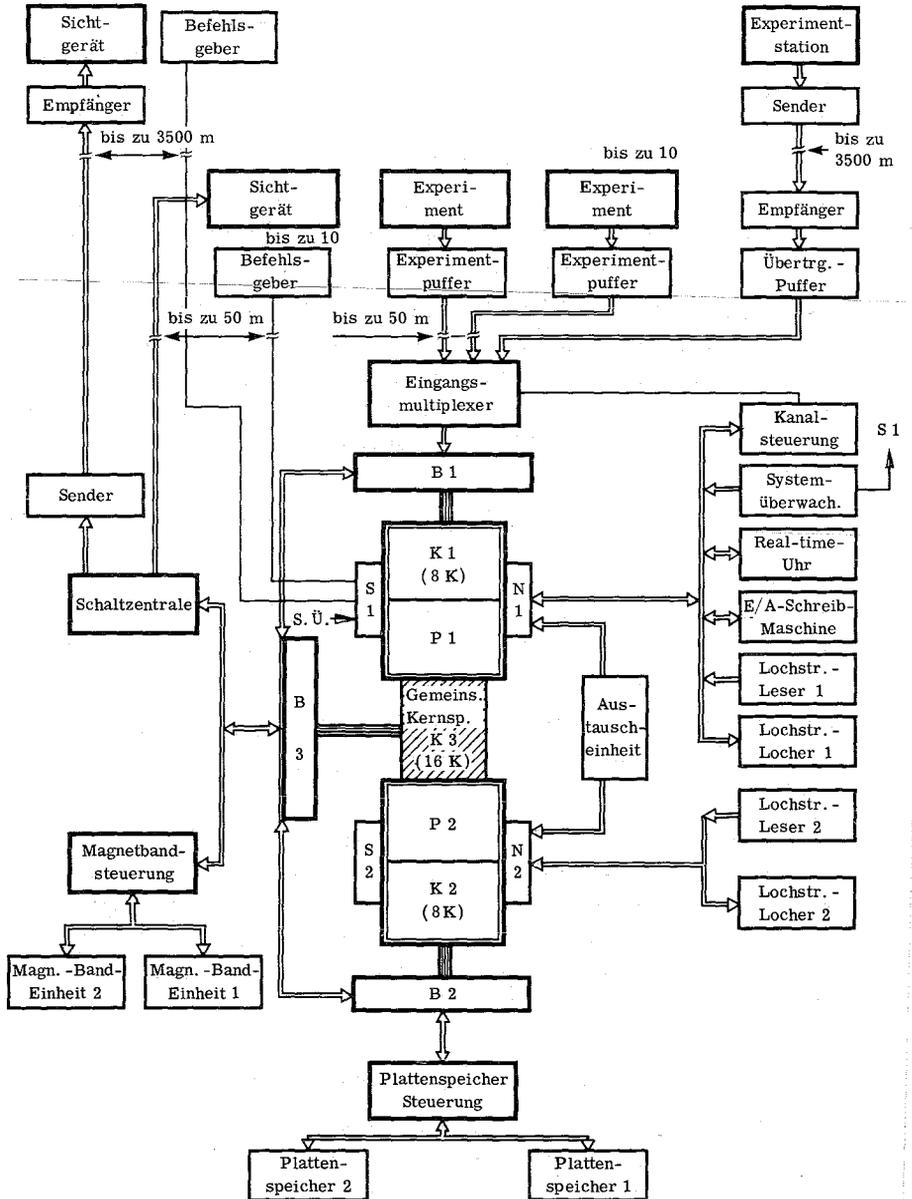
Die Außenstationen für den Verkehr des Benutzers mit der zentralen Anlage sind an den Meßplätzen rund um den Reaktor installiert (Bild 3).

Für die Bedienung der MIDAS-Anlage von den Instituten des KFK sind auch einzelne Teilnehmerstationen in den Instituten über eine schnelle Datenfernübertragung mit der Zentrale im Reaktor verbunden.

Jeder Experimentator geht bei dem Verkehr mit MIDAS davon aus, daß die Annahme und Verarbeitung der Meßdaten seiner Versuchsanlage völlig unabhängig vom Betriebszustand der anderen Experimente erfolgt. Die Entkopplung gilt allerdings nur solange, wie die zeitkritischen Teile der Last geringer als die Grenzbelastung des Systems sind.

Die Außenstationen bestehen aus Sichtgeräten und Befehlsgeber, die zu einer Steuer- und Kontrolleinheit zusammengefaßt sind (Bild 4).

Der Befehlsgeber dient zur manuellen Eingabe der Steuer-codes. Der Experimentator stellt an einem sehr einfachen Zahlengeber den Code der gewünschten Funktion ein und löst dann ein Eingriffssignal aus.



MIDAS führt die Anweisung in den meisten Fällen sofort aus. Alle Anweisungen, die wesentliche Systemzustandsänderungen betreffen, werden im Kernspeicher, auf Magnetband und auf Schreibmaschine protokolliert.

Durch das Sichtgerät werden Meßresultate und andere wichtige Systeminformation in analoger Form an den Meßplatz zurückgemeldet. So können die Kernspeicherprotokolle des Systemzustandes auf den Bildschirm eines Sichtgerätes abgerufen werden. Der Physiker kann sich somit jederzeit über den Zustand seines speziellen Experimentes oder der ganzen Anlage unterrichten.

Alle Sichtgeräte können getrennt betrieben werden. Sie erhalten die darzustellende Information aus speziellen Bereichen des Kernspeichers ohne Zwischenschaltung eines Bildwiederholungsspeichers.

Die Sichtgeräte besitzen eigene manuell bedienbare Steuergeräte. Mit diesen Geräten werden wichtige Bildparameter automatisch erzeugt, so daß es nicht mehr notwendig ist, die Meßresultate für die Bildschirmdarstellung speziell umzurechnen. Auch das Ausblenden von Ausschnitten aus einem Übersichtsbild kann durch diese Geräte ohne zusätzliche Belastung des Rechners ausgeführt werden.

←
Bild 2 Blockscha der Doppelcomputeranlage

P1, P2, Prozessoren (CDC 160-A/8090),

K1, K2 "private" Kernspeicher der Prozessoren, K 3 gemeinsamer Kernspeicher, wird von beiden Prozessoren als interner Speicher betrachtet,

B1, B2 "private" gepufferte Datenkanäle,

B3 gepuffertter Datenkanal des gemeinsamen Kernspeichers; an diesen Kanal angeschlossene periphere Geräte können auch über B1 und B2 unter Umgehung von B3 benutzt werden,

N1, N2 ungepufferte Datenkanäle zum Austausch kleinerer Informationsmengen,

S1, S2 6-Bit-Eingänge für manuelle Steuerkommandos;

S1 übernimmt auch Signale der Systemüberwachung.

Die Austauscheinheit dient zur programmtechnischen und elektronischen Abstimmung der Zusammenarbeit der beiden Computer. Die Schaltzentrale verbindet mehrere Sichtgeräte mit dem Datenkanal.

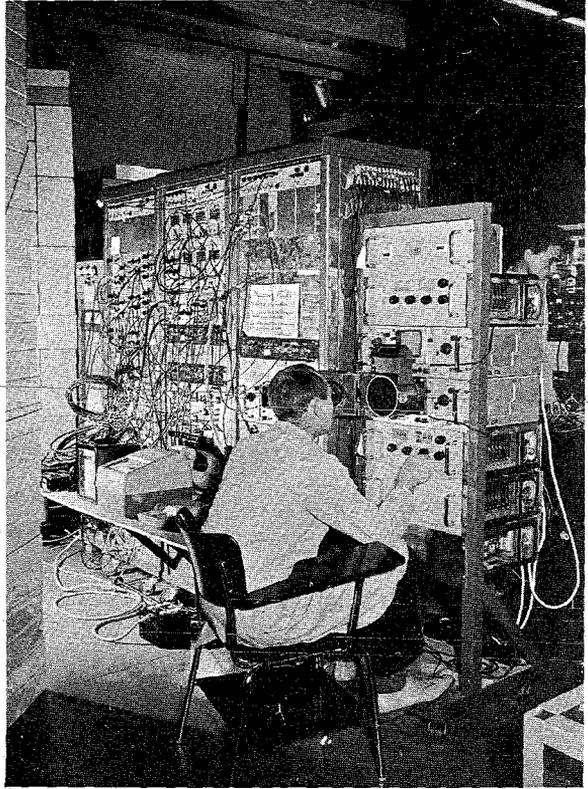


Bild 3 Typischer Meßplatz mit Experimentierelektronik und Außenstation.

3. Ablauf der Verarbeitung

Betrachten wir nun den Ablauf der Datenerfassung und -verarbeitung:

Die Meßdaten werden fortlaufend in beliebiger Kombination aus den Experimentstationen auf eine dem Rechner vorgeschaltete Puffereinheit übertragen. Dort werden die einzelnen Datenwege zusammengeführt, da für alle Meßstationen nur ein Datenkanal zur Übertragung in den Kernspeicher zur Verfügung steht. Da dieser Kanal dauernd geöffnet ist, fließen die Daten ohne Zeitverzug in einen Kernspeicherpuffer fester Länge. Ist dieser Puffer gefüllt, wird sofort auf einen zweiten Puffer umgeschaltet (Wechselpufferbetrieb). Da diese Annah-

meprozedur die höchste Priorität hat, ist die wichtigste Real-Time Forderung dieser Betriebsweise, die verzögerungsfreie Übernahme der Meßdaten, erfüllt.

Während der Füllzeit eines Puffers wird der andere vom Programm schrittweise abgearbeitet. Das Auswerteprogramm verteilt dazu die Meßdaten in der Reihenfolge ihrer Ablage im Puffer auf die einzelnen experimentspezifischen Unterprogramme. Diese Programme kontrollieren, bearbeiten und reduzieren die gemessenen Rohdaten nach den vom Experimentator vorgegebenen Gesichtspunkten. Die von den Experimentprogrammen bearbeiteten Ergebnisse werden an festgelegten Schnittstellen wieder von den allgemeinen Systemprogrammen übernommen und auf den verschiedenen Speichern abgelegt. Handelt es sich um Daten für die zeitungebundene Weiterverarbeitung, erfolgt die Ablage auf Magnetband. Steuer- und Kontrollinformation wird auf der Platte, in einigen Fällen auch direkt im Kernspeicher gehalten.

Da die Kapazität der Kleinrechner nicht ausreicht, eine vollständige Analyse der Meßergebnisse vorzunehmen, sind der ablaufsynchronen Verarbeitung hauptsächlich zwei Aufgaben gestellt :

Umformung und Komprimierung der Rohdaten in der Weise, daß die auf Magnetband abzulegenden Werte direkt als Eingabedaten für die Analyseprogramme der Großrechner verwendet werden können. Die Bedeutung besonders der Verdichtungsphase in unserem speziellen Fall ist daraus ersichtlich, daß es in der Regel gelingt, den Umfang der Datenmenge um den Faktor 100 und mehr zu reduzieren, ohne daß dabei physikalisch wertvolle Information verlorengeht.

Durchführung von Prüfungen und Kontrollen sowie das Ableiten von Steuerinformationen zur Führung des Experimentes.

4. Zeitverhalten

Abgesehen von der kontinuierlich laufenden Meßdatenerfassung wird das Zeitverhalten im Normalbetrieb durch die Auswerteläufe bestimmt (Bild 5). Ist der Pufferbereich abgearbeitet, geht die Maschine in Wartestellung bis der andere Puffer gefüllt ist. In diesen Pausen zwischen zwei Durchläufen des meßdatenverarbeitenden Hauptprogramms können Aufgaben geringerer zeitlicher Wichtigkeit bearbeitet werden.

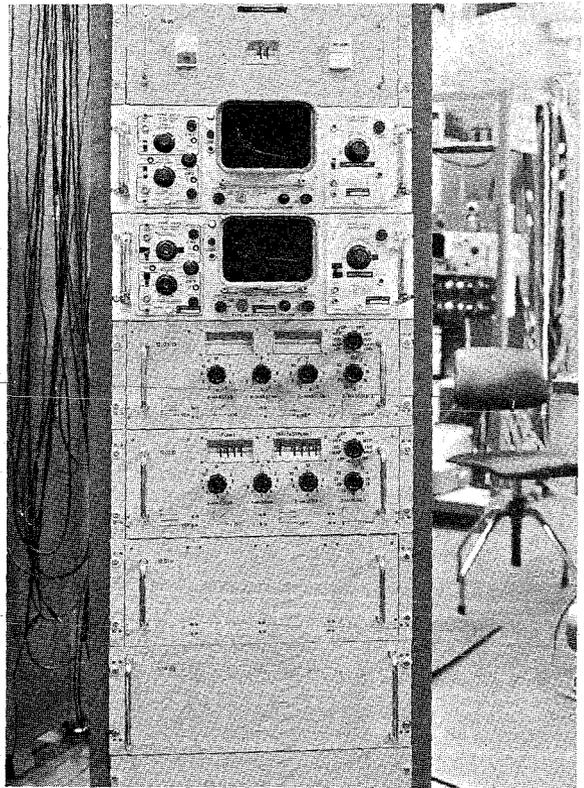


Bild 4 Kontroll- und Steuereinheit mit Befehlsgeber, korrelierten Sichtgeräten und den manuell bedienbaren Steuergeräten zur Einstellung der Abbildungsparameter.

Diese Aufgaben werden abgebrochen, wenn ein neuer Datenpuffer zur Bearbeitung ansteht. Dabei wird versucht, das Hintergrundprogramm nicht an einer willkürlichen Stelle abubrechen, sondern bis zu einem "check point" laufenzulassen. Dadurch wird erreicht, daß der Verwaltungsaufwand beim Umschalten der Programme gering bleibt.

Eine wesentliche Aufgabe bei der Zeitplanung ist die Behandlung der zahlreichen internen und externen Eingriffe, die von den Datenkanälen, den Koppelgeräten peripherer Geräte oder den Befehlsgebern ausgelöst werden.

Um auch hier Verwaltungsaufwand zu sparen, aber auch wegen der simplen Struktur des Eingriffssystems, wird versucht, Eingriffssignale sofort anzunehmen und kurzlaufende Eingriffsprogramme abschließend zu bearbeiten. Die durch die Eingriffe ausgelösten Routinen unterbrechen daher das laufende Programm, unabhängig davon, ob es sich um das Hauptprogramm oder ein Hintergrundprogramm handelt, an beliebigen Stellen.

Der Zeitbedarf der übergeordneten Eingriffsprogramme verlängert natürlich die Laufzeit der Meßdatenprogramme, so daß die Pause zwischen zwei Durchläufen entsprechend gekürzt wird. Die beiden vorrangigen Funktionsklassen : Abwicklung des Eingriffsverkehrs und Meßdatenbearbeitung, decken damit ihren Zeitbedarf auf Kosten der Hintergrundprogramme.

5. Aufteilung der Programme, Kernspeicherverwaltung

Alle Programme, die Transport, Verteilung, Sortierung und Speicherung von Meßdaten übernehmen, sowie das Programm zur Befehlscodeanalyse werden fest im Kernspeicher gehalten. Da das äußere Format der Meßdaten (wahlweise 24 oder 48 Bits) fest vorgeschrieben ist, können diese Systemfunktionen von allen Experimenten in gleicher Weise benutzt werden.

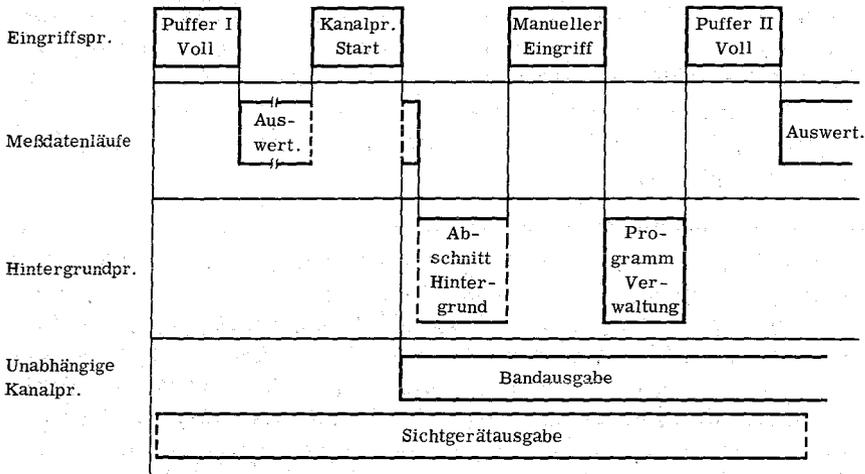


Bild 5 Ablauforganisation der mit verschiedenen Prioritäten laufenden Programme.

Die Systemunterstützung für ein spezielles Experiment wird vom Teilnehmer in schon beschriebener Weise über Befehlsgeber angefordert.

Die gleichartige Behandlung der Meßdaten durch die Systemfunktionen gestattet, nur einen Satz dieser Programme im Kernspeicher zu halten. Das residente Betriebssystem belegt - verteilt auf die Privatkernspeicher beider Rechner - etwa 10 K.

Im Gegensatz zu den beschriebenen Grundprogrammen werden für jede Meßphase des Experimentes unterschiedliche Bearbeitungsprogramme benötigt. So wechseln sich verschiedene Arten von Eich- und Testmessungen, die in kurzen Abständen wiederholt werden, mit langen Produktionsläufen unter konstanten Meßbedingungen ab. Diese sind so angelegt, daß sie ohne die laufende Anwesenheit des Experimentators alle zur Bearbeitung der Meßergebnisse notwendigen Funktionen selbst durchführen.

Die experimentenspezifischen Programme können daher nicht permanent im Speicher gehalten werden. Sie sind in Privatbibliotheken auf dem Plattenspeicher untergebracht. Von dort werden sie über Befehlsgeber aufgerufen und in fest reservierte Bereiche des Speichers gebracht.

Ein weiterer Teil des Speichers (8 K) ist für die Darstellung der Bilder der Sichtgeräte vorgesehen. Auf dem Plattenspeicher sind etwa 200.000 bis 300.000 Meßpunkte, die laufend dem neuesten Stand angepaßt werden, gespeichert. Zur Steuerung und Kontrolle seiner Messung benötigt der Experimentator in der Regel nur kleine Ausschnitte aus diesem Datenmaterial. Das Programm erlaubt es, beliebige Ausschnitte von der Platte abzurufen, im Kernspeicher abzulegen und auf Sichtgerät darzustellen.

Die Verwaltung der sich ununterbrochen ändernden Meßdatenbestände auf der Platte war die schwierigste Einzelaufgabe bei der Programmierung von MIDAS. Zur Lösung dieser Aufgabe wurde ein Teil des Speichers durch Programm in etwa 500 Seiten aufgeteilt. Dieser Speicherbereich (6 K) wird nach Methoden der Listenverarbeitung verwaltet. Je nach relativer Häufigkeit der verschiedenen Meßdatengruppen wird ihnen eine größere oder kleinere Anzahl von Seiten zur Speicherung zugewiesen bevor sie auf Plattenspeicher abgelegt werden. Auf diese Weise ist es möglich, den Kernspeicher dynamisch der stark wechselnden Zusammensetzung des Meßdatenmaterials anzupassen.

6. Sicherheitsfragen

Der parallele Betrieb vieler Meßapparaturen, die unkorrelierten Eingriffe der Experimentatoren sowie die Zusammenschaltung zweier Rechner mit unterschiedlichen Aufgaben führen zu erheblichen Sicherheitsproblemen. Rechner der zweiten Generation, insbesondere die kleineren Systeme, besitzen zudem keine speziellen Vorkehrungen wie Speicherschutz, Alarmeingriffe bei illegalen Codes usw., um fehlerhaftes Verhalten im Betrieb sofort anzuzeigen. Unsere Bemühungen konzentrierten sich daher vorwiegend auf programmierbare Diagnostik- und Schutzverfahren.

Die erste zu lösende Aufgabe war der Schutz gegen Überlastung.

Schon eine geringe Veränderung, z.B. in der unteren Diskriminator-schwelle einer Versuchsanlage, kann den Meßdatenfluß um Faktoren erhöhen. Andererseits häufen sich zu bestimmten Tageszeiten die manuellen Eingriffe der Experimentatoren oder es werden besonders zahlreiche und aufwendige Such- und Sortiervorgänge angefordert. Ein Programm zur Behandlung verschiedener Überlastungsfälle hat also mehrere Aufgaben zu lösen.

Die wichtigsten sind : fehlerhaft arbeitende Experimente zu erkennen und abzukoppeln und zu hohe Anforderungen abzuweisen, ohne daß die korrekt arbeitenden Experimente - und Experimentatoren - mehr als unbedingt notwendig gestört werden. Grundregel beim Planen ist, das Programm gleich auf starke Last auszulegen, da geringe Belastung dann keiner besonderen Behandlung bedarf.

Die Forderungen sind gegenwärtig nur zum Teil verwirklicht. Implementiert im laufenden Programm sind die Messung der Auslastung und der Schutz vor wild laufenden Experimenten. Die Messung des Auslastungsgrads geschieht auf sehr einfache Weise. Sie ist direkt korreliert mit der Pausenzeit zwischen zwei Durchläufen. Der Überlastungsfall ist dann gegeben, wenn beim Beginn des folgenden Durchlaufs die Bearbeitung des vorherigen Puffers noch nicht abgeschlossen wurde. Tritt der Überlastungsfall ein, wird der Meßdatenfluß sofort unterbrochen und an Hand der in der Maschine gespeicherten Ablaufinformation die Quelle der Überlastung festgestellt. In der Regel hat ein Experiment die zulässige Zählrate überschritten, was durch einen Vergleich der aktuellen Rate mit den Vorgabewerten ermittelt werden kann. Dieses Experiment wird, gegebenenfalls erst nachdem der Fehler mehrfach hintereinander aufgetreten ist, abgeschaltet. Auf Schreib-

maschine wird ein Fehlerprotokoll ausgegeben und die Bearbeitung der übrigen Experimente wieder aufgenommen.

Zur besseren Kontrolle der anderen Bedingungen, die zur Überlastung führen können, ist geplant, die Schutzeinrichtungen des Betriebssystems noch weiter auszubauen. So soll durch sorgfältige Lastkontrolle die mittlere Auslastung über einen gewissen Zeitraum exakt festgehalten werden. Jede ankommende Anweisung wird dann daraufhin überprüft, welche zusätzliche Last sie hervorruft. Erst wenn diese Belastung innerhalb der zulässigen Lastgrenze liegt, wird die Anweisung zur Ausführung freigegeben.

Ich möchte noch einige weitere Fragen der Systemsicherheit behandeln. Als ein besonderes Problem beim praktischen Betrieb erwies sich die Lokalisierung selten auftretender Fehler, wenn diese nicht sofort zu einem Systemzusammenbruch führen. Manche Fehler lösen erst über mehrere Zwischenstufen ein erkennbares Fehlverhalten des gesamten Systems aus. Oft liegt die eigentliche Fehlerursache mehrere Tage zurück bis sich der Fehler auch nach außen deutlich sichtbar manifestiert. Es ist dann außerordentlich schwierig, den primären Fehler zu finden und die Bedingungen zu rekonstruieren, unter denen dieser Fehler aufgetreten ist.

Ein weiteres Betriebsproblem beim halbautomatischen Dauerbetrieb ist das Wiederanfahren der Anlage nach einem Zusammenbruch. Zum dritten waren besondere Maßnahmen vorzusehen, die verhindern sollen, daß bei Zusammenbrüchen oder Fehlern in einem Programm die Ergebnisse langer Meßperioden vernichtet werden.

Zur Verbesserung des Betriebsverhaltens in diesen Fällen mußte ein spezielles Programm entwickelt werden. Dabei war von vornherein klar, daß mit der gegenwärtigen Ausrüstung ein fehlersicherer Betrieb, bei dem selbst bei großen Ausfällen das im Kernspeicher oder auf der Platte gehaltene Material nicht verfälscht wird oder verlorengeht, nicht durchführbar ist.

Als praktikable Lösung sowohl für das Wiederanfahren der Anlage nach einem Zusammenbruch, z. B. durch Stromausfall, für die Rettung von Meßdaten als auch für die Fehlersuche bei komplizierten Fehlern erwies sich folgendes Verfahren :

In regelmäßigen Abständen, etwa alle 4 Stunden, werden der gesamte Inhalt des Kernspeichers und die wesentlichen Teile der Platten-speicherbibliotheken auf Magnetband ausgegeben. Damit wird der Zu-

stand des Systems in diesem Zeitpunkt festgehalten und die bisher gesammelten Meßergebnisse werden archiviert.

Nach dieser kurzen Unterbrechung läuft das System unverändert weiter. Jede wesentliche Änderung des Systemstatus, z. B. das Laden neuer Bearbeitungsprogramme für ein Experiment oder der Start einer neuen Meßphase über den Befehlsgeber, werden gleichzeitig mit der Ausführung der Anweisung auf Magnetband protokolliert. Bei einem Zusammenbruch mit echter oder vermuteter Verfälschung der Speicherinhalte kann durch ein spezielles Ladeprogramm der ursprüngliche Systemzustand wieder hergestellt werden. Dazu wird das Magnetband bis zum letzten "check point" zurückgespult und das System vom Band geladen.

Schrittweise werden dann alle auf Band protokollierten Befehle vom Ladeprogramm gelesen und so ausgewertet, daß nach Beendigung der Wiederanfahroperation derselbe Systemzustand wie zum Zeitpunkt der letzten relevanten Systemänderung vor dem Zusammenbruch besteht.

Dieses Verfahren erlaubt ein störungsfreies Wiederanfahren der Anlage mit einem Minimum an manuellen Eingriffen. Es läßt sich dadurch aber nicht immer verhindern, daß die Meßwerte eines bestimmten Zeitraumes verlorengehen.

Die Ausgabe des gesamten Speichers auf Band einschließlich aller Teile des Betriebssystems in festen Intervallen oder auch durch manuellen Eingriff bzw. eigene Diagnostikprogramme des Betriebssystems ausgelöst, bietet außerdem ein wichtiges Hilfsmittel für die Fehlersuche bei den schon erwähnten intermittierend auftretenden Fehlern der Anlage.

7. Betriebserfahrung

Abschließend möchte ich noch etwas zur Betriebserfahrung sagen. Die Anlage ist in verschiedenen Ausbaustufen seit 1963 in Betrieb. Sie hat über 25.000 Stunden Dauerbetrieb geleistet. Seit etwa zwei Jahren ist die Verfügbarkeit besser als 97 %, einschließlich der Ausfallzeiten, die dadurch entstehen, daß wir unseren Wartungsdienst nachts nicht einsetzen. Die Physiker haben die Anlage voll akzeptiert und benutzen sie so selbstverständlich wie ihre konventionellen Meßgeräte. Die

Programmierung wird allerdings vollständig durch die Datenverarbeitungsgruppe geleistet, so daß von den Benutzern keine detaillierten Kenntnisse über die Arbeitsweise von Hardware und Betriebssystem MIDAS verlangt werden.

Ausgehend von den guten Erfahrungen mit MIDAS und anderen integrierten Kleinrechenanlagen des KFK sind die sachlichen Anforderungen der Experimentiertechnik in den vergangenen Jahren sehr stark gestiegen, so daß ein qualitativ neuer Schritt zum Ausbau der Real-Time Datenverarbeitungskapazität des Kernforschungszentrums notwendig geworden ist. Dieser Schritt wird gegenwärtig vorbereitet. Die Vorstellung ist dabei, die in den einzelnen Instituten arbeitenden Kleinrechner im Verbund mit großen leistungsfähigen Teilnehmerrechen-systemen zu betreiben. In einem solchen Verbundnetz müßten die Kleinanlagen z. B. alle Aufgaben übernehmen, bei denen die Reaktions-schnelligkeit auf das Eintreten äußerer Bedingungen eine entscheidende Rolle spielt. Die Großmaschinen mit ihren überlegenen Rechenge-schwindigkeiten, besonders im Gleitkommabereich, ihren umfangrei-chen Haupt- und Massenspeichern und einer hochentwickelten Speicher-verwaltung übernehmen dagegen die größeren Auswertungs- und Ver-waltungsaufgaben. Ein solches System wird es gestatten, viele Aufga-ben, die unsere Kleinrechner nur sehr unvollkommen und mit star-ken Einschränkungen behandeln können, in einer großzügigen, den wachsenden Anforderungen der Experimentiertechnik angepaßten Wei-se zu lösen.

Literaturverzeichnis

- [1] Krüger, G., Dimmler, G., Proc. EANDC Conf. on the Auto-matic Acquisition and Reduction of Nuclear Data, Karlsruhe 1964. Bericht KFK 242 (1964).
- [2] Krüger, G., Der Einsatz integrierter Computer bei kernphysi-kalischen Experimenten. Atomwirtschaft 10 (1965), S. 118.
- [3] Krüger, G. et al, Ein Doppelcomputersystem zur integrierten Datenverarbeitung am Reaktor FR2. Kerntechnik 8 (1966), S. 273.