

Einsatz des BBC-PEARL-Subsets bei der Realisierung eines Prozeßinformationssystems zur Überwachung des Fremdstrombezugs eines chemischen Werkes

Von Dr.-Ing. K. Maurer, Speyer

1. Einführung

Die Produktionsanlagen der BASF AG in Ludwigshafen nehmen ein Areal von 6.13 km² ein. Es arbeiten dort etwa 50 000 Menschen. Entsprechend liegen die Probleme der Energieversorgung, d.h. die Versorgung mit Wärmeenergie für die chemische Prozeßtechnik - im Jahresdurchschnitt 16 Mto to Dampf- und elektrische Energie - durchschnittlicher Gesamtverbrauch 700 MW -, in einer Größenordnung wie bei einer Millionenstadt (Stromverbrauch im Tagesmittel wie West-Berlin). Zur Deckung des Strombedarfs reicht die in 3 eigenen innerhalb des Werksgeländes gelegenen Kraftwerken in Wärmekraftkopplung bei der Prozeßdampfgewinnung erzeugte elektrische Energie zusammen mit der Erzeugung eines eigenen außerhalb des Werksgeländes befindlichen Steinkohlekraftwerks nicht aus. Es muß Strom aus dem öffentlichen Netz zugekauft werden. Im Jahresmittel ergibt sich folgende Aufteilung der verbrauchten Energie auf die Bezugsquellen:

- 52 % aus Wärmekraftkopplung und Spitzenlastgeneratoren (Kondensationsturbinen) im Werk,
- 27 % aus eigenem Kraftwerk außerhalb des Werksgeländes,
- 21 % aus öffentlichem Netz.

2. Der Prozeß "Überwachung des Fremdstrombezugs"

2.1 Tarifvertragliche Regelung des Fremdstrombezugs

Da elektrische Energie nicht speicherbar ist, d.h. immer in dem Augenblick, in dem sie verbraucht wird, auch erzeugt werden muß, ist die Stromabnahme aus dem öffentlichen Netz Bezugsgrenzen unterworfen. Diese vertraglich vereinbarte Bestellleistung P_T kann abhängig sein von Tages- und Jahreszeit, dem Wochentag und eventuell noch anderen Einflußgrößen:

$$P_T = f(\text{Tageszeit, Wochentag, Jahreszeit, ...}) \quad (1)$$

Es ergibt sich allgemein eine unstetige Abhängigkeit von der Zeit mit sprunghaftiger Änderung in den Zeitpunkten des Tarifwechsels (Bild 1).

Weiterhin kann der mit dem EVU ausgehandelte Tarifvertrag Reserveleistungen beinhalten, sozusagen als "Versicherung" gegen die Ausfälle eigener

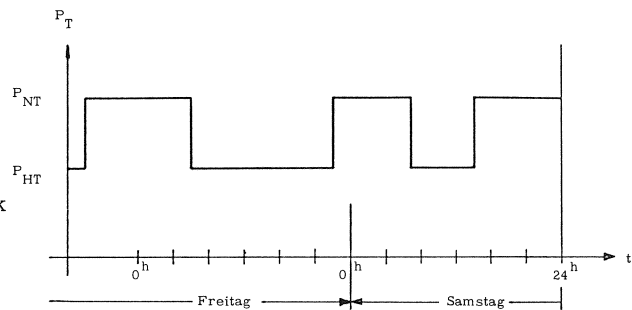


Bild 1. Beispiel für zeitlichen Verlauf der Bestell-Leistung

Stromerzeuger. Die aktuelle Reserveleistung ist dann gleich der Summe der Leistungen P_{Gi} der ausgefallenen eigenen Stromerzeuger G_i

$$P_R = \sum_{i=1}^n a_i \cdot P_{Gi} \quad \text{mit} \quad (2)$$

$$a_i = \begin{cases} 0. & \text{wenn } G_i \text{ in Betrieb} \\ 1. & \text{wenn } G_i \text{ ausgefallen} \end{cases}$$

Die momentan zulässige Leistungsentnahme aus dem öffentlichen Netz P_{Zul} ergibt sich als Summe der momentanen Werte dieser beiden vertraglich vereinbarten Leistungslieferungen zuzüglich der momentanen Leistung P_{BKG} der BASF-Kraftwerke GmbH (BKG) außerhalb des Werksgeländes, die auch über die Leitung des Stromlieferanten ins Werksgelände eingespeist wird (Bild 2).

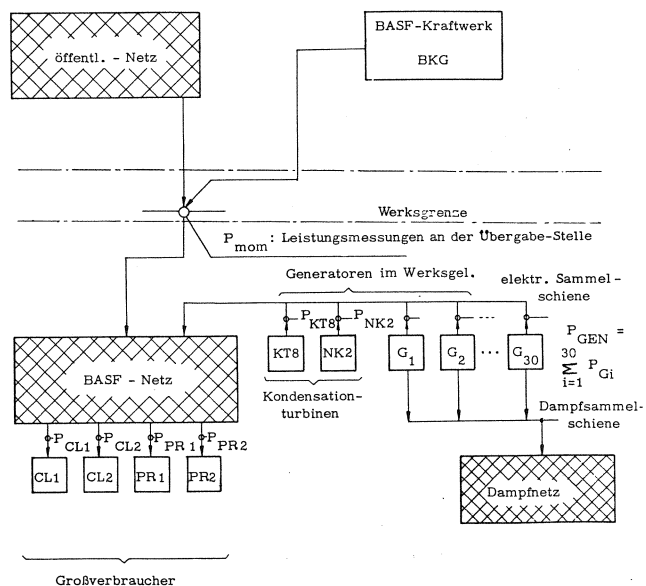


Bild 2. Für die Überwachung des Fremdstrombezugs schematisierte Darstellung des Werksnetzes

$$P_{zul}(t) = P_T(t) + \sum_{i=1}^n a_i P_{Gi} + P_{BKG}(t) \quad (3)$$

Der zul. Leistungsabnahme P_{zul} steht die momentan ins Werksnetz eingespeiste, an der Übergabestelle gemessene Leistung P_{mom} gegenüber (Bild 2), die stochastischen Schwankungen unterworfen ist und von der allenfalls Tages- und Jahreszeit abhängigen Erwartungswerte im Voraus bekannt sind.

Es ist nun keinesfalls so, daß jede momentane P_{zul} überschreitende Spitze von P_{mom} mit einem Überschreitungszuschlag bestraft wird, sondern es wird der Tagesverlauf in Zeitabschnitte gleicher Länge T_p , sogenannte Meßperioden, unterteilt. Die im Laufe einer solchen Meßperiode dem öffentlichen Netz entnommene elektrische Energie darf die durch Integration über P_{zul} ermittelte zulässige elektrische Energieabnahme nicht überschreiten:

$$\int_0^{T_p} P_{zul}(t) \cdot dt \geq \int_0^{T_p} P_{mom} \cdot dt \quad (4)$$

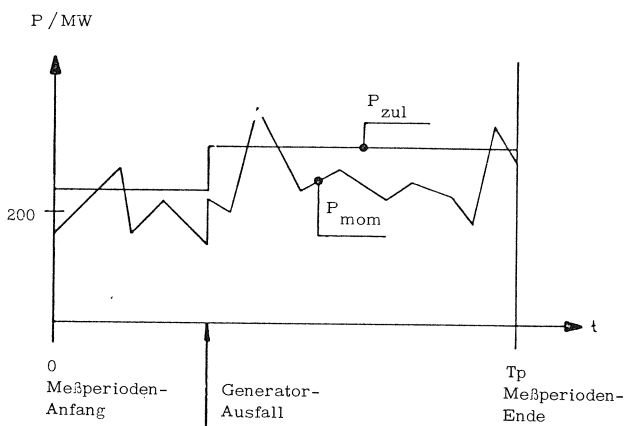


Bild 3. Beispiel für einen möglichen Verlauf P_{zul} und P_{mom} innerhalb einer Meßperiode

Von der zul. Leistung P_{zul} ist die Soll-Leistung P_{soll} für den Fremdstrombezug zu unterscheiden. Sie bestimmt sich aus Optimierungsberechnungen hinsichtlich der wirtschaftlichen Strombeschaffung und ist damit vom Stromeinkaufspreis (DM/MWH) und den spezif. Stromerzeugungskosten der eigenen Stromerzeuger abhängig. Auf jeden Fall muß für diesen längerfristig festgelegten Wert immer gelten:

$$P_{soll} \leq P_{zul} \quad (5)$$

Soll im Extremfall immer möglichst viel Strom fremdbezogen werden, so wird

$$P_{soll} = P_{zul} - \Delta P \quad (6)$$

wobei ΔP ein Sicherheitsabschlag von der zulässigen Leistung ist.

2.2 Die Beeinflussungsmöglichkeiten für die momentane Leistungsentnahme P_{mom}

Die aus dem öffentlichen Netz entnommene Leistung P_{mom} ergibt sich als Differenz zwischen der im Werks-

netz verbrauchten Leistung und der dort durch eigene Generatoren erzeugten Leistung.

Gemäß Bild 2 werden die werkseigenen Generatoren in 2 Klassen eingeteilt:

- Generatoren, die von Vorschaltturbinen, die ins Dampfnetz entspannen, angetrieben werden. Diese Generatoren sind mit $G_1 \dots G_{30}$ bezeichnet. Ihre Leistungsabnahme P_{Gi} ist wegen der Verkopplung mit der Dampf-abnahme nur langfristig und in engen Grenzen änderbar.
- Generatoren, deren Turbinen den Dampf ganz entspannen (Kondensator) und deren Leistungsabnahme P_{KOND} in weiten Grenzen änderbar ist ("KT8" und "NK2").

Die Leistungsabnahme P_{Verbr} der großen Masse der Stromverbraucher im Werk ist nicht beeinflussbar. Aber die 4 mit "CL1", "CL2", "PR1" und "PR2" bezeichneten Großverbraucher können bei drohender Überschreitung der Abnahmegrenze zu einer Drosselung ihrer Leistung $P_{Großv}$ veranlasst werden.

Insgesamt ergibt sich die abgenommene Leistung aus den beschriebenen Anteilen zu:

$$P_{mom} = \sum P_{Großv_i} + P_{Verbr} - \sum P_{KOND_i} - \sum P_{Gi} \quad (7)$$

Aus dieser Beziehung sind die bei drohender Überschreitung der Bezugsgrenze zu ergreifenden Maßnahmen ersichtlich:

- Steigerung der Eigenerzeugung
- Drosselung der Großverbraucher

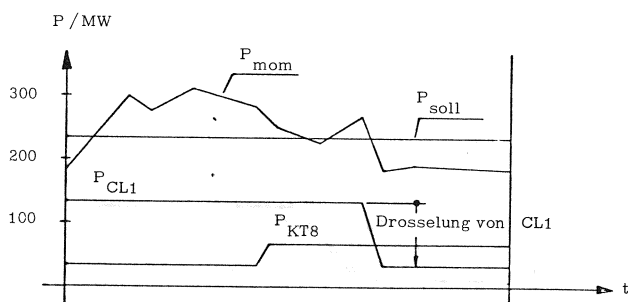


Bild 4. Einfluß der Erhöhung der Eigenerzeugung und der Drosselung von Großverbrauchern auf die fremdbezogene Leistung P_{mom}

2.3 Die Korrekturleistung und die zu erwartende Korrekturleistung

Aus dem Momentanwert der Leistungsabnahme P_{mom} und dem derzeitigen Sollwert P_{soll} kann man allein nicht beurteilen, ob es am Ende einer Messperiode zu einer Überschreitung der Bezugsgrenze kommen wird, da die beiden Funktionsverläufe über die Integralbeziehung (4) verknüpft sind. Kennt man jedoch den bisherigen Verlauf von $P_{soll}(t)$ und $P_{mom}(t)$ innerhalb der laufenden Meßperiode, und nimmt man an, daß $P_{zul}(t)$ und $P_{soll}(t)$ vom betrachteten Zeitpunkt t_0 bis zum Meßperiodenende konstant bleiben, so kann man die Leistung $P_{korr}(t)$ berechnen, die

man von t_0 bis zum Meßperiodenende mehr verbrauchen könnte, damit dann gerade

$$\int_0^{T_p} P_{\text{soll}}(t) \cdot dt = \int_0^{T_p} P_{\text{mom}}(t) \cdot dt \quad \text{wäre.}$$

Diese Leistung nennt man Korrekturleistung. Man kann sie fortlaufend innerhalb der Meßperiode aus $P_{\text{soll}}(t)$ und $P_{\text{mom}}(t)$ und den Mittelwerten dieser beiden Funktionen über den bisherigen Verlauf der Meßperiode $P_{\text{soll}}^*(t)$ und $P_{\text{ist}}(t)$ berechnen:

$$P_{\text{soll}}^*(t) = \frac{\int_0^t P_{\text{soll}}(t) \cdot dt}{t} \quad (8)$$

$$P_{\text{ist}}(t) = \frac{\int_0^t P_{\text{mom}}(t) \cdot dt}{t} \quad (9)$$

$$P_{\text{korr}}(t) = \frac{P_{\text{soll}}^*(t) \cdot t}{T_p - t} + P_{\text{soll}}(t) - \left(\frac{P_{\text{ist}}(t) \cdot t}{T_p - t} + P_{\text{mom}}(t) \right) \quad (10)$$

Wird $P_{\text{korr}} < 0$, dann droht eine Bezugsgrenzenüberschreitung. Es muss dann, wie bereits in 2.2 begründet, die Eigenerzeugung erhöht oder der Verbrauch möglichst schnell gedrosselt werden. Das geht bei den einzelnen Erzeugern oder Verbrauchern nicht sprungförmig ohne jede Verzögerung, sondern man muß mit einer Verzögerungszeit $T_{v_{an}}$ und einer endlichen Anstiegsgeschwindigkeit der Leistung C_{an} rechnen.

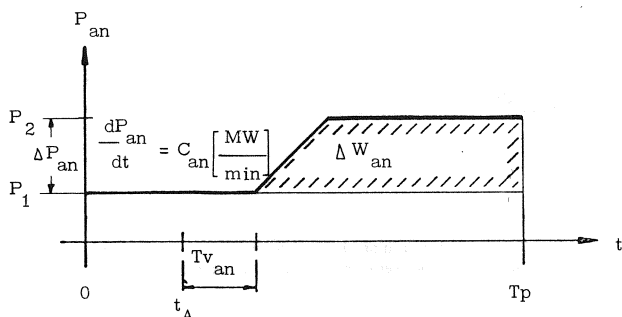


Bild 5. Zu erwartender Verlauf der Leistungsänderung einer Anlage

T_v und C sind den zu verfahrenen Anlagen eigene Konstanten, worauf der Index 'an' hinweist. 'an' ist dabei ein Element aus der Menge A der Bezeichner der am Prozeß beteiligten Anlagen, die aus einer Kombination von 3 Buchstaben oder Ziffern bestehen.

$an \in A$

$A = \{BKG, KT8, NK2, GEN, CL1, CL2, PR1, PR2\}$ (11)

Teilt man also dem Bedienungspersonal einer Anlage zum Zeitpunkt t_A mit, die Leistung sei von P_1 nach P_2 zu verstellen, so hat man einen zeitlichen Verlauf der Leistung nach Abb. 5 und den dem schraffierten Bereich entsprechenden Energiebeitrag ΔW_{an} zur Leistungsdeckung in der laufenden Meßperiode zu erwarten. Dieser zu erwartende Energiebeitrag wird in eine Erwartungsleistung umgerechnet:

$$P_{\text{erw an}} = \frac{\int_{t_A}^{T_p} P_{an}(t) \cdot dt}{T_p - t_A} \quad (12)$$

Die gesamte Erwartungsleistung P_{erw}^* ist dann die Summe der Erwartungsleistungen aller Anlagen, für die eine Verstellung angewiesen wurde:

$$P_{\text{erw}}^* = \sum_{an = BKG}^{PR2} P_{\text{erw an}} \quad (13)$$

Es wird nun eine "zu erwartende" Korrekturleistung P_{korr}^* definiert zu:

$$P_{\text{korr}}^* = P_{\text{korr}} + P_{\text{erw}}^* \quad (14)$$

Damit kann man die Maßnahmen, die zu ergreifen sind, um Energiegleichgewicht am Ende der Meßperiode zu erhalten, folgendermaßen beschreiben:

- a) Wird die zu erwartende Korrekturleistung $P_{\text{korr}}^* < 0$, so müssen eigene Erzeuger und Verbraucher so verfahren werden, daß

$$P_{\text{korr}}^* \geq 0 \quad \text{!} \quad \text{wird.} \quad (15)$$

- b) Übersteigt der "Freibetrag", d.h. die zum Verbrauch noch frei Energie einen wählbaren Wert ΔW_{korr} , und sind

. Verbraucher gedrosselt

oder

. Spitzenlastmaschinen hochgefahren,

dann sollen diese Anlagen so verfahren werden, daß gilt:

$$P_{\text{korr}}^* < \frac{\Delta W_{\text{korr}}}{T_p - t} \quad (16)$$

ΔW_{korr} bestimmt die Hysterese dieses Regelvorgangs und muß so gewählt werden, dass nicht zu häufige Belastungswechsel verlangt werden.

2.4 Strategie zur Einhaltung der Gleichgewichtsbedingung

Unter Strategie soll in diesem Fall der Plan verstanden werden, nach dem man die Erzeuger und Großverbraucher zur Deckung eines Leistungsdefizits heranzieht bzw. bei Leistungsüberschuß entlastet. Hier wird prinzipiell nach einem ganz einfachen Modell verfahren: der aufeinander folgenden Auffüllung der Belastung der Anlagen P_{an} bis zu einer Kapazitätsgrenze G_{an} nach einer fest vorgegebenen Prioritätenfolge bei Energiemangel und der vollständigen Entlastung in umgekehrter Folge bei Energieüberschuß.

Die Prioritätenfolge f_p der Anlagen ist eine injektive Abbildung der Menge A in die Menge der Prioritäten P , mit $P \equiv N$, d.h. die Prioritäten werden in fallender Reihenfolge durch natürliche Zahlen dargestellt (1 = höchste Priorität, 2 = 2. höchste Priorität usw.).

$$f_p \mid A \rightarrow N \quad (17)$$

Die Prioritätenfolge wird dabei nach betrieblichen Gesichtspunkten, z.B. in durch folgende Tabelle gegebener Zuordnung gewählt (Tabelle 1), wobei die Anordnung der Anlagenbezeichner einer von links nach rechts fallenden Priorität entspricht.

A	KT8	NK2	BKG	GEN	CL1	CL2	PR1	PR2
P	1	2	3	4	5	6	7	8

Tabelle 1. Normale Prioritätenfolge

Die dargestellte Abbildung von Objekten in die natürlichen Zahlen wird in der Informatik durch die Struktur des eindimensionalen Feldes realisiert. Tabelle 1 stellt also ein 1-dimensionales Feld F_p dar, aus dem in Algorithmen mit der Priorität als Index der Anlagenbezeichner entnommen werden kann. Somit kann nun ein einfacher Algorithmus durch ein Flußdiagramm dargestellt werden, der "Anweisungen" zum Verfahren der Anlagen nach der beschriebenen Strategie erzeugt.

Liegt P_{korr}^* nicht in der Gleichgewichtslage ($0 \leq P_{korr}^* < \Delta W_{korr} / (T_p - t)$), so werden in einem iterativen Verfahren Verstellanweisungen für die Anlagen berechnet, bis die Gleichgewichtslage wieder erreicht ist. Dabei wird zuerst in (a) aus dem Laufindex n mittels Prioritätenfolge F_p und der durch s gekennzeichneten Art der Abweichung aus der Gleichgewichtslage die Anlage bestimmt, für die eine Belastungsänderung versucht werden soll. Da die Änderung der Belastung der Anlagen nicht stetig, sondern nur in anlagenabhängigen Sprüngen St_{an} erfolgen soll, wird eine fiktive Änderung einer eventuell bereits bestehenden Belastung ΔP_{an}^i um St_{an} bzw. $-St_{an}$ vorgenommen (b). Wird dabei die Belastungsgrenze G_{an} oder die Entlastungsgrenze 0 erreicht, so wird die Anlage angewiesen, diese Belastungsänderung auszuführen (c). Ist dies nicht der Fall, so wird

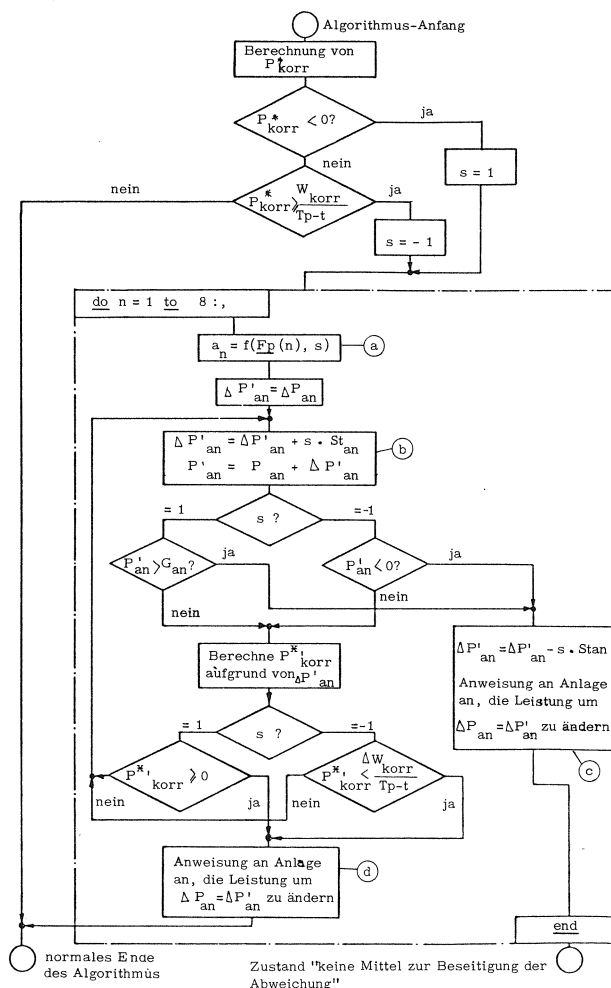


Bild 6. Flußdiagramm des Algorithmus zur Berechnung von Anweisungen zur Einhaltung der Gleichgewichtsbedingung der Energie

eine fiktive zu erwartende Korrekturleistung P_{korr}^* mit P_{an}^i berechnet und nachgeprüft, ob diese nun innerhalb des Toleranzbandes liegt. Wenn ja, wird die fiktive Leistungsänderung zu einer Anweisung an die Anlage (d), anderenfalls wird die fiktive Belastungsänderung in (b) um einen weiteren Schritt in der gleichen Richtung geändert und der Vorgang wiederholt.

Man kann sich dieses Modell auch als eine in Prioritätenfolge hintereinander angeordnete Kette von Behältern interpretiert vorstellen, die über Überläufe verbunden sind und in die eine bestimmte Flüssigkeitsmenge einzufüllen ist.

3. Unterstützung des Prozesses mit einem Prozeßrechner

3.1 Das grundlegende Konzept

Der beschriebene Prozeß wurde bisher rein manuell vom Personal der Schaltwarte für die Stromverteilung geführt. Die Operateure wurden dabei durch Anzeige der Übergabeleistung an der Einspeisestelle P_{mom} und der Leistungen der verschiedenen Erzeuger und Verbraucher mittels konventioneller Meßtechnik und einem elektromechanischen Integrator für P_{mom} unterstützt. Die Berechnung zu erwartender Beiträge der einzelnen Anlagen zur Leistungsdeckung erfolgte an-

1) Das kann eine Anweisung oder noch nicht ausgeführte Anmeldung für die Anlage an sein.

hand von Tabellen und Nomogrammen. Alles in allem war das Verfahren unsicher und erforderte immer einen großen Sicherheitsabstand von der Bezugsgrenze.

Man hat sich daher zum Einsatz eines Prozeßrechners entschlossen, der, an diese Messungen angeschlossen, dem Operateur laufend eine übersichtliche Darstellung der für die Prozeßführung wichtigen Größen liefert und ihm bei einer Abweichung vom Energiegleichgewicht Vorschläge zu deren Behebung unterbreiten soll. Der Rechner soll aber nicht selbst aktiv steuernd in das Prozeßgeschehen eingreifen. Im einzelnen sollen der Rechner und die Schaltanlagenoperateure mit Unterstützung durch den Rechner folgendes ausführen:

- Fortlaufende Berechnung von P_{soll} und P_{soll}^* aufgrund der Zeiten, des Schaltzustands der eigenen Erzeuger und eventuell weiterer Einflußgrößen.
- Messung und Integration der dem öffentlichen Netz entnommene Leistung (P_{mom} , P_{ist}).
- Fortlaufende Berechnung von P_{korrr} und P_{korrr}^* .
- Ständige Anzeige dieser Größen auf einem Bildschirm.
- Ständige Anzeige der Leistungsabgabe der Erzeuger und der Drosselung der Verbraucher.
- Ausgabe von Anweisungen an den Schaltanlagenoperateur zur Leistungsänderung der Anlagen beim Austreten von P_{korrr} aus dem Toleranzband.
- Der Schaltanlagenoperateur erteilt den Operateuren der einzelnen Anlagen Anweisungen zur Leistungsänderung per Telefon. Die Annahme einer solchen Anweisung teilt er dem Rechner mit durch einen ebenfalls auf dem Bildschirmterminal zu führenden Dialog mit dem Rechner. Der Rechner wandelt daraufhin die Anweisung in eine Anmeldung um, die zusammen mit eventuell noch weiteren Anmeldungen und Anweisungen auf dem Bildschirm erscheint.
- Die zeitliche und betragsmäßige Durchführung der Anmeldungen führt der Rechner auf dem Bild-

schirm nach und überwacht sie (Alarm bei nicht rechtzeitiger Durchführung). Den jeweils neuesten Stand von Anweisungen und Anmeldungen bezieht der Rechner in die Berechnung von P_{korrr}^* ein.

- Wichtige Zustandsänderungen im Prozeß werden in einem besonderen Meldungsfeld des Bildschirmterminals angezeigt.

3.2 Die Aufteilung des Bildschirms

Bild 7 zeigt eine Fotografie des Bildschirms am zur Programmentwicklung dienenden Testsystem:

Die beiden obersten Zeilen stellen die Tabelle der Leistungsanzeigen dar. Unter den unveränderlichen Leistungsbezeichnungen stehen deren Momentanwerte, die alle 10 s neu erfasst werden. Es werden nur die Werte neu ausgegeben, bei denen eine Änderung von einer solchen Größe vorliegt, daß sie sich mindestens auf die letzte gerundet angezeigte Stelle bemerkbar macht.

Die nachfolgenden 3 Zeilen bilden den Anfang des Meldungsfeldes, in dem bis zu 7 Meldungen aus dem Prozeßgeschehen untereinander Platz finden. Nicht mehr aktuelle Meldungen werden gestrichen und der Rest rückt auf. Wichtige Meldungen werden repetiert. Tritt eine achte Meldung hinzu, wird die oberste Meldung gestrichen und die restlichen rücken auf.

Es folgen dann die 4 Zeilen der Anlagentabelle. Unter den beiden feststehenden Zeilen der Überschrift stehen Istwert und Grenzwert der bezeichneten Anlage. Die Reihenfolge der Anlagen ist nicht veränderlich, d.h. unabhängig von der on-line veränderbarer Prioritätenfolge.

Anschließend ist die 5 Zeilen lange Änderungstabelle zu sehen. Neben den Anmeldungen Nr. 1 bis 3 für die Anlagen KT8, NK2 und BKG ist eine Anweisung für GEN zu sehen, die an der fehlenden Anmeldungsnummer und dem * im Restzeitfeld zu erkennen ist. In der untersten Zeile ist schließlich noch der Dialog sichtbar, mit dem die Anmeldung Nr. 3 dem Rechner bekanntgemacht wurde. Es gibt mehrere Arten solcher Dialoge, die alle aus einer mehr oder minder ausgedehnten Sequenz

IST-LSTG	SOLL*-LSTG / SOLL-LSTG	MON.-LSTG	KORR-LSTG	KORR*-LSTG	COS PHI
384.6	381.5 / 381.5	400.0	-19.6	2.4	0.895
*11:46:50	KORREKTURLEISTUNG UNTER NULL				
*11:47:50	ISTLEISTUNG UEBER SOLLWERT				
* 11:48:10	NEUE AENDERUNG ANMELDEN!!				

ERZEUGUNG DER GENERATOREN UND DROSSELUNG DER VERBRAUCHER (MW):								
	BKG	KT8	NK2	GEN	CL1	CL2	PR1	PR2
ISTWERT	225	20	30	410	0	0*		
GRENZE	230	25	39	430	100	0		

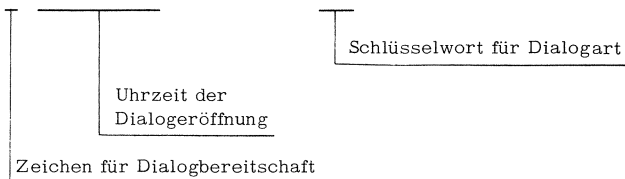
AUSSTEHENDE AENDERUNGEN (+ = VORFAHREN, - = ZURUECKFAHREN)				
ANMELDUNG NR	1	2	3	
ERZEUGER/VERBRAUCHER	KT8	NK2	BKG	GEN
AENDERUNG(MW)	5	9	5	12
RESTZEIT (MIN)	6	5	10	*

* 11:48:50 AUFTR: AN ANMELDUNG F.: BKG AENDERUNG: 5	IN MIN: 10 ;
---	--------------

Bild 7. Fotografie des Bildschirms bei laufendem System (Testdaten)

von Fragen des Rechners und Antworten des Bedieners zusammengesetzt sind. Alle sind jedoch grundsätzlich nach folgendem Format aufgebaut:

*HH : nn : SSUAUFTTR : XX Frage 1 : Antwort 1 ...



... Frage 2 : Antwort 2 Frage n : Antwort n ;

Dialogende-Zeichen

Bild 8. Format der Bildschirmdialoge

Ein Dialog wird durch Betätigung der "Return"-Taste auf dem Bildschirm eröffnet. Nach jeder Antwort und am Dialogende können innerhalb der Dialogsequenz umfangreiche Berechnungen und Einträge in die Bildschirmtabellen erfolgen.

3.3 Zusatzaufgaben des Rechners

Neben den beschriebenen Hauptaufgaben soll das Prozeßrechnungssystem noch verschiedene Nebenaufgaben wahrnehmen, u.a. folgende Ausgaben auf einem Schreibmaschinenterminal:

- Dokumentation des Prozeßverlaufs mittels ungeordneten und geordneten Tagesbelastungskurven,
- Aufzeichnung von sämtlichen Meldungen und Dialogen,
- Tabellarische Aufzeichnung der momentanen Leistungsverteilung im Werksnetz bei Alarmmeldungen aus dem Prozeß oder auf Anforderung,
- tägliche Ausgabe der Leistungsmesswerte am Ende jeder Messperiode zu Archivierungszwecken auf Kasette,
- Entgegennahme von Fahrplänen und Anlagenparametern und ähnlichem durch Dialoge auf dem Schreibmaschinenterminal.

Die Funktionen des Systems und deren gegenseitige Beziehungen in Form von erzeugten und verarbeiteten Datenströmen und Initiierungen sind in einem SADT - Actigramm dargestellt.

4. Die Realisierung des Prozeßrechnungssystems

4.1 Wahl des Rechnersystems und der Programmiersprache

Aus den bisherigen Ausführungen geht hervor, daß das zum Einsatz kommende System folgenden Anforder-

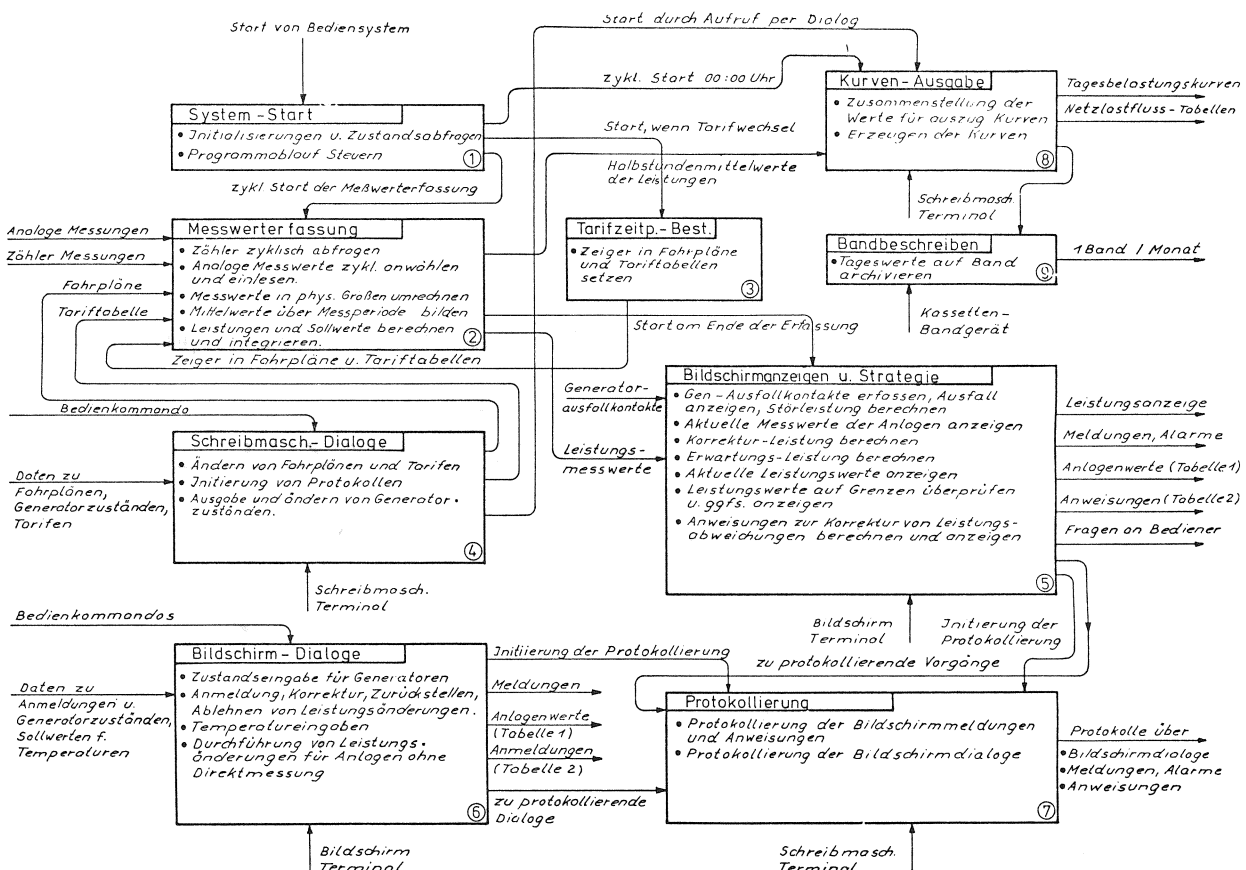


Bild 9. SADT-Actigramm für die Gesamtfunktion des Prozeßinformationssystems „Fremdstromüberwachung“

rungen hinsichtlich des einzusetzenden Betriebssystems und der Programmiersprache genügen muß:

- Möglichkeit der einfachen Programmierung der Erfassung der verschiedenartigen Messungen (analoge und Impulsmessungen), binären Kontakte und spontanen Zustandsänderungen im Prozeß (Interrupts).
- Gutes Realzeitverhalten wegen der erforderlichen unmittelbaren Reaktion auf Leistungszählimpulse und Ansprechen der Generatorausfallkontakte.
- Möglichkeiten zur Erzeugung auch nicht sequentieller Ausgaben auf dem Bildschirmterminal durch Sprachelemente.
- Möglichkeiten des modularen Programmaufbaus und der strukturierten, prozedurorientierten Darstellung der Algorithmen.

Nach unseren bei Beginn der Implementation vorliegenden Erfahrungen [1] mit dem BBC-PEARL-Subset PAS2 [2] und auch Prozeß-FORTRAN haben wir uns trotz der weiter unten geschilderten Nachteile im Handling für ersteres entschieden.

Bild 10 zeigt ein Blockschaltbild der Prozessrechnerkonfiguration (Zentraleinheit und Benutzerperipherie) im Zusammenwirken mit dem Schaltanlagenoperator, dem Netzingenieur und dem Prozeß.

4.2 Softwaretechnologische Probleme bei der Implementierung der Bildschirmfunktionen.

Die Tabellendarstellung der wichtigsten für die Führung des Prozesses relevanten Daten, die gleichermaßen sowohl dem Operator als auch den im Rechner ablaufenden Rechenprozessen zur Verfügung stehen müssen, und die Forderung nach ihrer ständigen Aktualität im Verein mit der gleichzeitigen Dialogführung über das im Semiduplex-Betrieb arbeitende Bildschirmterminal bringt eine Menge Probleme für die Programmierung in PAS2. Diese und ihre Lösungen seien nachfolgend kurz gestreift. Ihre ausführliche Darstellung mit Algorithmen für ihre Lösung findet sich in [3].

4.2.1 Quasiparalleler Zugriff von verschiedenen Rechenprozessen auf die Bildschirmtabellen

Die in den Bildschirmtabellen angezeigten Werte müssen stets für alle im System quasiparallel ablaufenden Rechenprozesse zugreifbar, d.h. änderbar und lesbar sein.

Lösung: Zu jeder Bildschirmtabelle existiert ein Hauptspeicherresidentes Abbild in Form einer Datenstruktur. Bei jeder Änderung erfolgt der Eintrag zuerst dort. Anschließend wird die Änderung selektiv im Bild auf dem Schirm eingetragen.

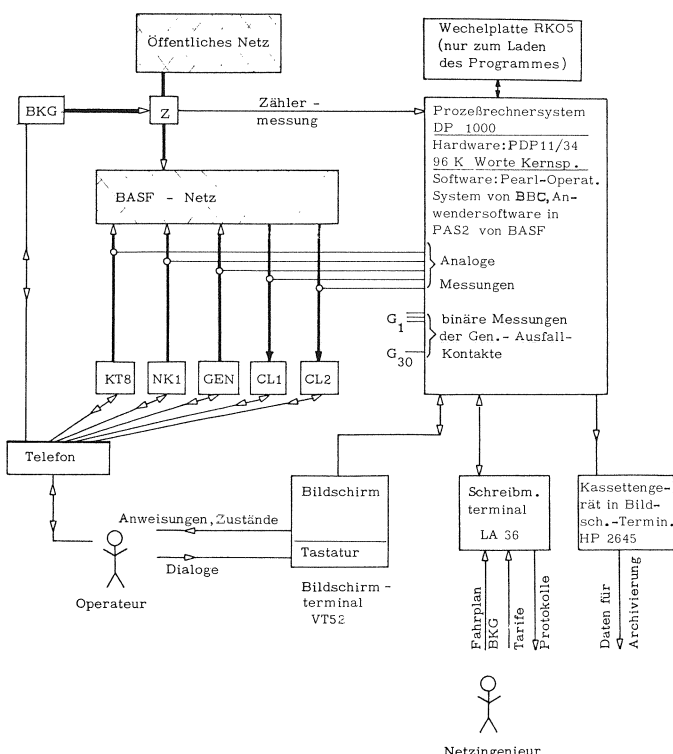


Bild 10. Blockschaltbild des Informationssystems

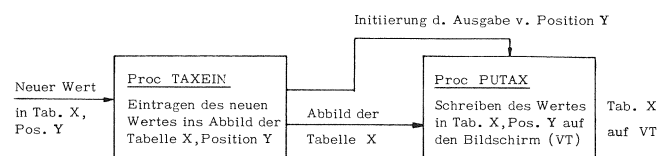


Bild 11. Prinzip des Ablaufs einer Eintragung in eine Bildschirmtabelle

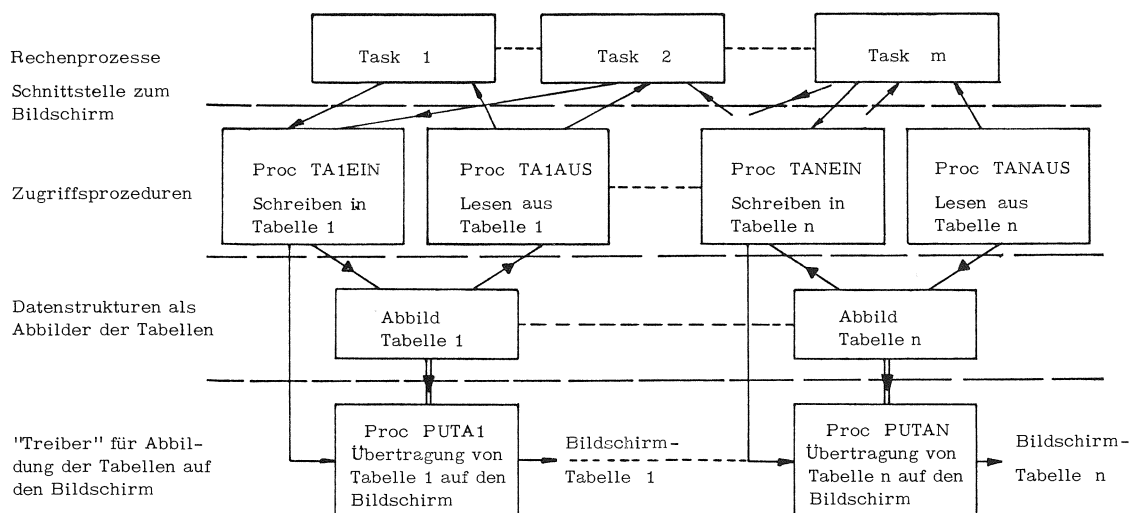


Bild 12. Schichtenmodell für die virtuelle Bildschirmmaschine

Für den Zugriff auf die verschiedenen Tabellen, d.h. zum Eintragen und Lesen von Werten, werden globale Prozeduren angelegt, die für die Programmierer der verschiedenen Rechenprozesse (Tasks) die Schnittstelle zum Bildschirm, eine virtuelle Maschine, darstellen.

4.2.1 Unterbrechbarkeit der Dialoge

Während der Abwicklung eines Dialogs müssen Neueinträge in den Bildschirmtabellen möglich sein, ohne daß der Dialog abgebrochen werden muss oder das Bild der Dialogzeile gestört wird.

Lösung: a) An definierten Stellen innerhalb der Dialogsequenzen, vor jeder Ausgabe der Strings ' : ' , die jedesmal erfolgt, bevor der den Dialog abwickelnde Rechenprozess auf eine Eingabe von der Tastatur des Terminals wartet, besteht die Möglichkeit für andere Tasks in alle Tabellen des Bildschirms zu schreiben. Der String ' : ' wird vor seiner Ausgabe generell neu positioniert (in Zeile 23, Spalte S_i)

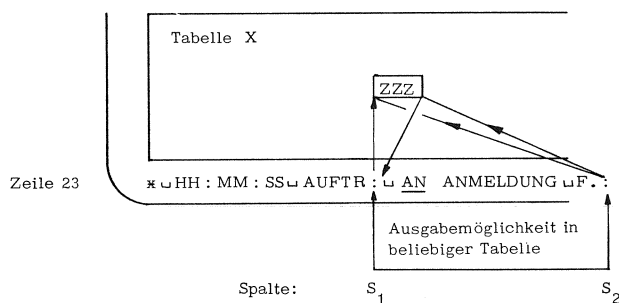


Bild 13. Sollunterbrechungsstellen der Dialoge für Ausgaben in Bildschirmtabellen

b) Während das Dialogprogramm auf eine Eingabe von der Tastatur des Bildschirmterminals wartet, ist die Ausgabe auf dem Schirm blockiert (Semiduplex-Betrieb).

Wartet also die Dialogtask (BDIAL) während der Abarbeitung einer Dialogsequenz auf eine Eingabe und steht gleichzeitig eine Ausgabe auf dem Bildschirm von einer anderen Task an, (im nachfolgenden Beispiel STRATG), so wird BDIAL nach einer vorgegebenen Zeit abgebrochen, falls die Eingabe dann noch nicht abgeschlossen ist und damit anschließend die Ausgabe an einer Sollunterbrechungsstelle erfolgen konnte. Nach dem Abbruch von BDIAL kann STRATG nun die Ausgabe machen und BDIAL wird anschließend bei der unterbrochenen Eingabe wieder aufgenommen. Der Vorgang ist in Bild 14 dargestellt und nachstehend beschrieben.

Die Abarbeitung der Dialogsequenz durch Task BDIAL erreicht die durch das Element (L_i) eines den Sourcecode der ganzen Task an allen Eingabestellen überdeckenden Markenfeldes markierte Stelle. Anschließend daran wird die Eingabebereitschaft durch Durchlaufen eines GET-Statements eingeleitet und BDIAL

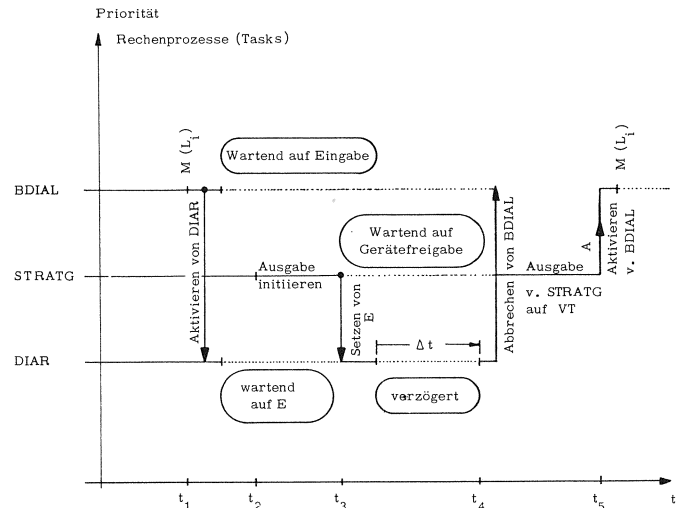


Bild 14. Unterbrechung einer Dialogeigabe zur Durchführung einer Ausgabe in Bildschirmtabellen

geht in den Zustand "Wartend auf Eingabe". Vor dem Einlaufen in das GET-Statement wird der Index L_i des Markenfeldes in einer statischen Variablen L abgespeichert und die Hilfstask DIAR aktiviert. Diese wartet dann vorerst auf das Setzen der Ereignisvariablen E.

Nun läuft eine andere Task, im Beispiel STRATG, an (Zeitpunkt t_2). Sie will zum Zeitpunkt t_3 eine Ausgabe auf dem Bildschirm machen (PUT-Statement). Die Initialisierungsroutine für diese Ausgabe setzt u.a. E. Dann will sie den Bildschirm exklusiv belegen, was aber nicht möglich ist, da dieser noch für die Eingabe belegt ist. STRATG geht also in den Zustand "Wartend auf Gerätefreigabe". DIAR läuft nun nach dem Setzen von E weiter und geht in den Zustand "Wartend auf Ablauf einer Zeitverzögerung". Während dieser Wartezeit wird der Bediener durch akustische, aufgrund einer Betriebssystemeigenschaft erzeugte Signale darauf aufmerksam gemacht, daß er die Eingabe abschließen soll. Ist dies bis zum Ablauf der Verzögerungszeit Δt von DIAR nicht geschehen, so bricht DIAR zum Zeitpunkt t_4 BDIAL ab. STRATG kann nun Ausgaben in einer oder auch mehreren Tabellen machen und aktiviert vor ihrem Ende BDIAL wieder, die bei $M(L)$ ihre Aktivität wieder aufnimmt.

4.3 Modulare Aufteilung und Hauptspeicherbelegung des Systems

Alle Daten und Programme des Systems sind hauptspeicherresident. Das System wird beim Start von der Platte geladen, auf der es gelinkt wurde. Diese wird aber während des Betriebs nicht mehr benötigt. Dieses Konzept erhöht die Ausfallsicherheit.

Daten, die bei einem Neustart des Systems aus der vorherigen Arbeitsphase übernommen werden müssen, werden nach dem Anhalten auf Lochstreifen gedumpt und nach dem Neustart wieder in den zugehörigen Hauptspeicherbereich geladen.

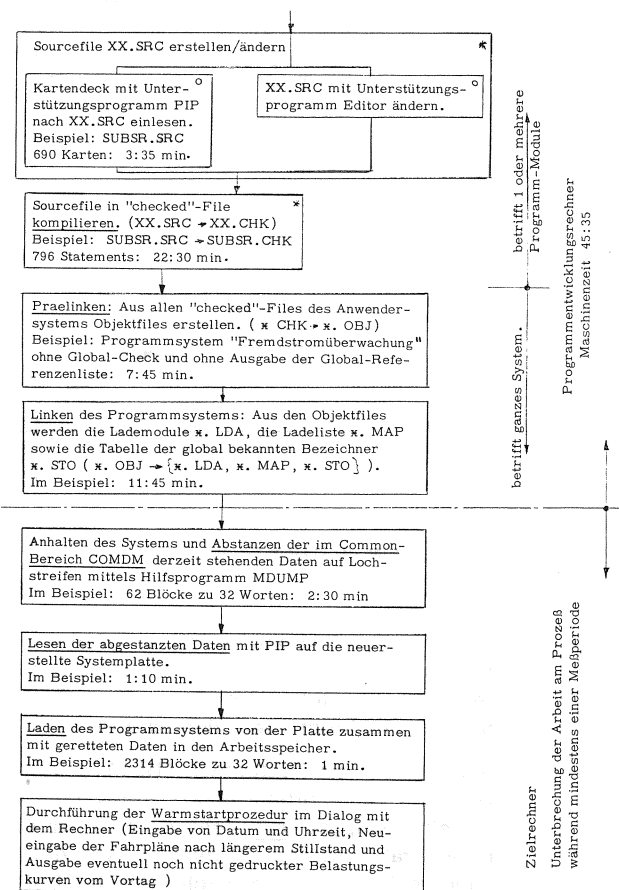
Das Programm ist in funktionsorientierte Module aufgeteilt. Ihre Lage im Hauptspeicher mit einer Kennzeichnung der wahrgenommenen Funktion und einer Längenangabe ist in Bild 15 dargestellt.

Modul-anfang	Modul-bezeichnung	Modullänge in Worten zu 16 Bit	Funktionsbeschreibung des Moduls	
0	POS	17 571	Realzeitbetriebssystem POS	System
	ODT	4 081	On-Line-Debugging-Technique	
	MDUMP	210	Dumpen eines Hauptspeicherbereichs auf Lochstreifen (Off-Line)	
22 560	COMDM	2 204	Daten, die bei Stilllegung des Systems gerettet werden müssen	
	COMXX	1 474	Restliche globale Daten	
	HAUPT	1 902	Haupt-Modul: Steuertabellen für den Realzeitbetrieb	Daten
28 192	SUBST	4 612	Initialisierung der Systemsteuertabellen (Scheduler). Dialoge zur Erfassung des Anlagenzustands bei Systemstart.	
	SUBMW	3 666	Erfassung der analogen und binären Messungen	
	SUBTA	1 074	Berechnung der zulässigen Leistung P_{zu} aus der aktuellen Zeit (Kalender)	
	SUBBP	3 802	Prozeduren zum Zugriff auf die Bildschirmstabellen (virtuelle Bildschirm-Maschine)	
	SUBPR	905	Globale Prozeduren für verschiedene Zwecke	Algorithmen
	SUBME	5 163	Generierung von Meldungstexten auf dem Bildschirm- und Schreibmaschinenterminal	
	SUBBD	4 371	Erzeugung der Dialogsequenzen auf dem Bildschirm	
	SUBSP	2 757	Globale Prozeduren für Strategie und Bildschirmdialoge	
	SUBSR	5 197	Zyklische Ausgaben auf dem Bildschirm und Berechnung von Anweisungen nach der Strategie	
	SUBSD	5 637	Tabellarische Eingaben und Auskünfte über den Anlagenzustand, Fahrpläne und den Zustand des Rechnersystems per Schreibmaschinenterminal	
	SUBPL	4 350	Generierung der Lastflusstabellen und Belastungsdiagramme (Druck auf der Schreibmaschine).	
	SUBHP	1 304	Übertragung der Tagesbelastungskurven auf das Kassettenband eines Bildschirmterminals HP 2645 A	
	SUBRE	651	Aktivitäten bei Wiederstart nach Netzspannungsausfall und Überwachung von Programmlaufzeiten zur Lösung und Analyse von Deadlocksituationen	
	SUBTE	2 132	Hilfsprozesse zur Erzeugung von Bildschirmzugriffen und Schreibmaschinenausdrucken zu Testzwecken und für Laufzeitprüfungen	
74 048	Stackbereich des Programms			Stack
83 153				

Bild 15. Funktion der Programm-Module und Belegung des Hauptspeichers

kompilieren sind, mehrere Übersetzungsläufe durchgeführt. Anschließend ist ein alle Programm-Module umfassender Prelinklauf durchzuführen (Task- und Stackplanung des Systems), sodann das ganze System neu zu linkern.

Bis dahin wurden alle Aktivitäten auf dem Programm-entwicklungssystem durchgeführt. Da dort kein Multiuserbetrieb möglich ist, muß die zur Verfügung stehende Arbeitszeit mit anderen Benutzern, die ein bereits seit 1975 in Betrieb befindliches, in PAS2 programmiertes System [1] pflegen oder das besprochene System weiterentwickeln, geteilt werden. Anschließend erfolgt die Datenübernahme aus dem Vorgängersystem und das Laden des Programms mit Neustart auf dem Zielrechner. Die Prozedur ist als Flussdiagramm in Bild 16 dargestellt.



* Bedeutet: Wiederholung von Aktivitäten.
o Bedeutet: Selektion von Aktivitäten

Bild 16. Aktivitäten bei der Programmentwicklung

4.4 Der Zyklus der Programmentwicklung

Zur Programmentwicklung und Pflege muß der Programmierer in der Regel verschiedene Aktivitäten in einer festen Reihenfolge vornehmen. Diese werden am Beispiel einer Änderung im Programm-Modul SUBSR des besprochenen Anwendersystems dargestellt. Dabei wird die für diese Tätigkeit erforderliche Maschinenzzeit (Eingabe der Bedienerkommandos und Rechenzeit) gemessen an einem speziell für die Programmentwicklung dienenden System DP1000, das mit einer PDP 11/34 und einem Tally-Drucker vom Typ 2000 ausgerüstet ist. Zuerst müssen einer oder mehrere (*) Sourcefiles auf dem Entwicklungssystem erstellt bzw. geändert werden. Dann wird einer oder, falls eine Wiederholung wegen Fehlern erforderlich wird oder mehrere Module zu

Aus den angegebenen Zeiten erkennt man den hohen Zeitaufwand für Änderungen am Programmsystem, sofern diese nicht mehr am Zielrechner durch Eingriffe am Assemblercode möglich sind. Zusätzlich steht das System wegen des Neuladens und einer damit notwendigen Warmstartprozedur (verschiedene Eingaben in einem Dialog sind erforderlich) dem Prozess für eine Meßperiode T_p nicht zur Verfügung.

Wünschenswert wäre daher ein in PEARL zu programmierendes System, das

- Multiuserfähigkeiten für die Programmentwicklung besäße,

- eventuell sogar die Möglichkeit für eine Programmentwicklung im Hintergrund böte,
- das Linken und Austauschen einzelner Programm-Module während des Betriebs ermöglichen.

Schrifttum

[1] M a u r e r, K. : Datenstrukturen und Algorithmen zur Generierung von Alarmen und Meldungstexten und zur Erzeugung von verschiedenartigen Protokollen bei einem in PEARL programmierten Anwenderprogrammsystem für eine große Meßwertverarbeitungsaufgabe an einem chemischen Prozeß.

Zur Veröffentlichung vorgesehener interner Bericht der BASF, Abteilung TEI

[2] B r o w n, B o v e r i & C i e A G, Mannheim: BBC-PEARL-Subset, Prozeßautomatisierungssprache, Sprachbeschreibung. Best.-Nr. D BBC 70049 D, Juli 1977.

[3] M a u r e r, K. : Softwaretechnologische Methoden und Mechanismen zum Beschreiben eines semiduplex betriebenen, im Random-access-mode beschriebenen Bildschirmterminals mit Dialogführung in einem prozeßtechnischen Informationssystem.

Zur Veröffentlichung vorgesehener interner Bericht der BASF, Abteilung TEI, Ber.-Nr. 380.025.