

## VERTEILTE MIKRORECHNER-STEUERUNGEN IN NACHRICHTENVERMITTLUNGSSYSTEMEN

### - STRUKTUREN, ORGANISATION UND VERKEHRSANALYSE

Prof. Dr.-Ing. Paul J. Kühn

F.G. Nachrichtentechnik, Universität Gesamthochschule Siegen

Zusammenfassung: Ausgehend von der vermittlungstechnischen Aufgabenstellung werden grundsätzliche Struktur- und Organisationsmerkmale verteilter Mikrorechner-Steuerungen vorgestellt und diskutiert. Zur Leistungsbewertung derartiger Steuerungen werden Verkehrsmodelle für Realzeit-Prozessoren, Kommunikations-Subsysteme zwischen verteilten Steuerungsmodulen sowie die aus diesen Elementen gebildeten komplexen Gesamtsysteme entwickelt. Die Verfahren zur Leistungsanalyse werden kurz gegenübergestellt. Einige ausgewählte Beispiele geben Aufschluß über die Aussagekraft der so gewonnenen Ergebnisse für Entwicklung und Betrieb verteilter Steuerungen.

#### 1 Einführung

Fernsprech- und Datenvermittlungen werden zunehmend mit Hilfe von Mikrorechner-Bauelementen gesteuert, welche je nach Aufgabenaufteilung in einer hierarchischen Anordnung, gänzlich dezentral oder einer Mischform aus beidem strukturiert sind. Die Vermittlungsaufgabe wird dabei von mehreren Mikrorechner-Steuerungen arbeitsteilig realisiert. Die Gründe für eine derartige Strukturierung sind vielfältig wie

- Erhöhung der Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit
- Realisierung eines weiten wirtschaftlichen Ausbaubereiches
- Individuelle Anpassung an unterschiedliche Schnittstellen (Teilnehmer, Signalisierungssysteme)
- Integration unterschiedlicher Dienste.

Verteilte Steuerungen mit höherer Intelligenz sind erst mit den Fortschritten in der Hardware-Technologie (Mikrorechner, hochintegrierte Speicher) ermöglicht worden. Die Entwicklung derartiger Systeme wirft jedoch eine Reihe neuer Probleme auf, welche die Beherrschung der entsprechenden organisatorischen Methoden (Software-Management und Engineering) erfordern. Als typische Probleme seien genannt:

- Funktionelle Modularisierung der Kommunikations-Verarbeitungsfunktionen sowie der Zustandsdatenspeicherung
- Organisation der Interprozess- und Interprozessor-Kommunikation (Betriebssystem, Protokolle)
- Begrenzung des Verwaltungsaufwands infolge erhöhter Steuerdatenflüsse und Ereignis-Unterbrechungen
- Bestimmung der Steuer-Verkehrsleistung (Durchsatz, Reaktionszeiten)
- Sicherung der Systemfunktionen bei Überlast
- Selbsttätige Funktionsprüfung und Fehlerlokalisierung.

Die Behandlung derartiger Probleme erfolgt mit Methoden der Realzeit-Betriebssystemtheorie, des strukturierten Programmentwurfs, der Nachrichtenverkehrstheorie sowie durch Einsatz problemorientierter Hochsprachen.

Im nachfolgenden Beitrag werden zunächst in Kapitel 2 verschiedene Architekturen verteilter Steuerungen nach systematischen Gesichtspunkten vorgestellt. In Kapitel 3 wird speziell auf den Aspekt der Modellierung und verkehrsmäßigen Leistungsanalyse eingegangen; hierbei soll in diesem Rahmen weniger auf die mathematisch anspruchsvollen Analyseverfahren als auf die grundlegenden Modelle und deren Eigenschaften abgehoben werden. Der Beitrag schließt mit einem Ausblick auf neue Fragestellungen.

## 2 Architektur verteilter Steuerungen

In diesem Kapitel werden zunächst grundsätzliche Aufgaben bei der Steuerung von Vermittlungsproblemen besprochen. Es folgt eine Systematik typischer Steuerungsstrukturen in Hard- und Software sowie eine Diskussion der damit verbundenen Problemstellungen.

### 2.1 Steuerung von Vermittlungsprozessen

Die prinzipiellen Steuerungsaufgaben seien an einem vereinfachten Beispiel für die bekannte Fernsprechvermittlung erläutert, vergl. Bild 1. Das Schema zeigt den funktionellen Ablauf (Szenario) für einen Verbindungsaufbauvorgang zwischen einem rufenden Teilnehmer A und dem gerufenen Teilnehmer B.

Wie aus Bild 1 ersichtlich, kann der Vermittlungsprozeß beschrieben werden als endlicher Automat, d. h. durch eine Folge von Zuständen, deren Übergänge durch Ereignisse ausgelöst werden. Als Zustände können die einzelnen Abschnitte des Teilnehmers bzw. des logischen Verbindungsprozesses innerhalb der Vermittlung angesehen werden, welche durch Ereignisse (z. B. "Belegen", "1. Wählziffer" usw.) sowie die dadurch jeweils ausgelösten Vermittlungsfunktionen ineinander übergeführt werden. Die einzelnen ablaufenden Prozesse bei Teilnehmern und in der Vermittlung informieren sich gegenseitig durch den Austausch von Signalen (Signalisierung und Prozeßsynchronisation). Die physikalische Realisierung der Signale ist dabei für den logischen Ablauf der Vorgänge uninteressant. Je nach Anwendungsfall und Technologie können derartige Signale in Form von elektrischen Spannungen und Strömen, Impulsfolgen oder adressierten Daten dargestellt sein, welche an den Geräte- oder Modulschnittstellen entsprechend umgewandelt werden müssen.

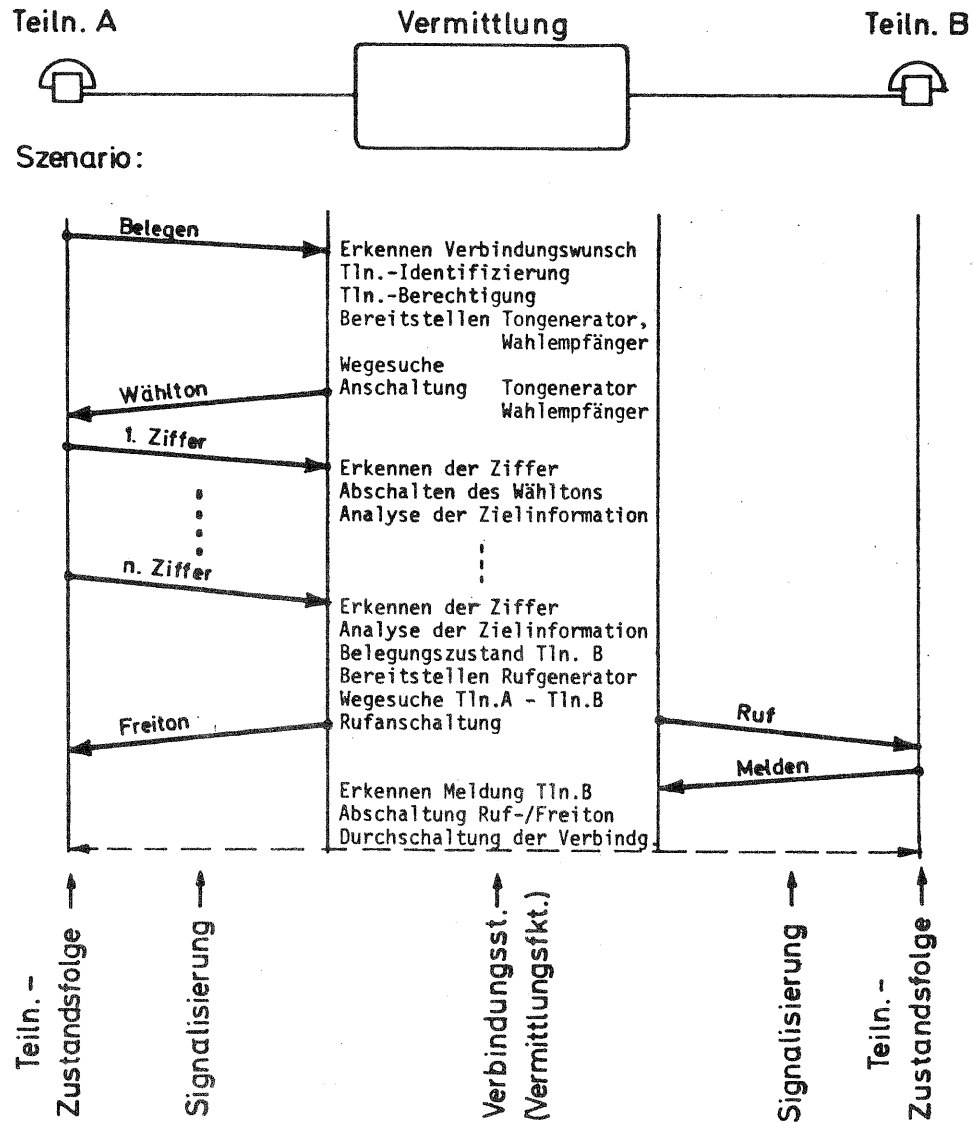


Bild 1. Funktionsablauf beim Aufbau einer Fernsprechverbindung

Die an dem einfachen Beispiel von Bild 1 dargestellte Beschreibungsmethodik kann ganz allgemein auf die Kommunikation beliebiger Prozesse innerhalb einer Vermittlungsstelle oder innerhalb von Netzen angewandt werden. Die formale Beschreibung derartiger Abläufe ist grundlegend für die Systemspezifikation und Implementierung bei der Entwicklung. Hierzu sind verschiedene Sprachen entwickelt worden; Bild 2 zeigt einen Ausschnitt eines Vermittlungsprozesses in der besonders anschaulichen Ablaufdiagramm-Technik mit grafischen Symbolen (SDL: Specification and Description Language nach CCITT). Ziel ist es, diese problemorientierte Funktionsbeschreibung möglichst automatisch in niedere Sprachebenen bis hinunter zu den Elementarfunktionen der

Hardwareebene zu übersetzen.

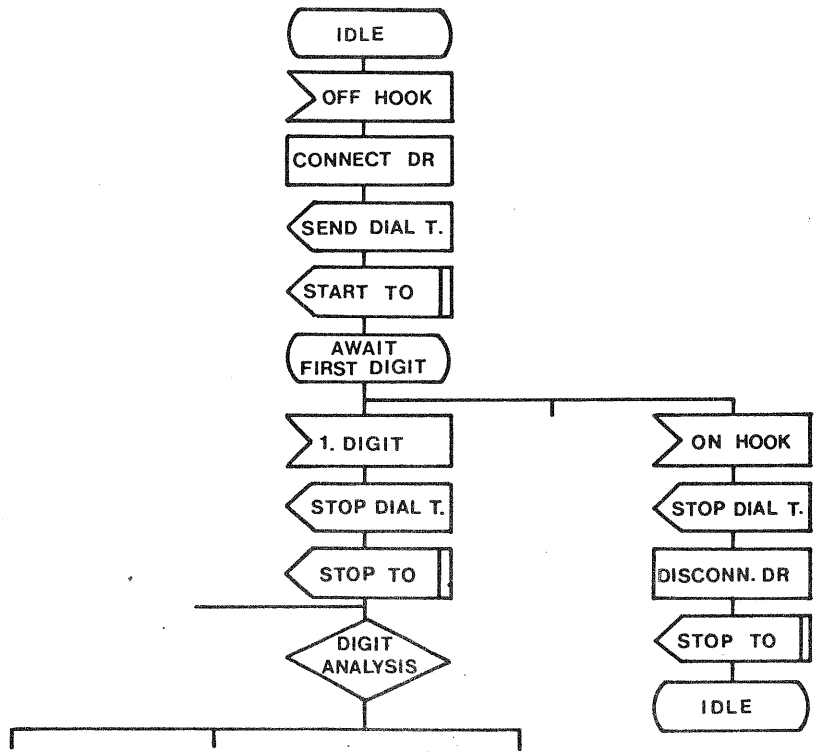







Bild 2.

Funktionelle Beschreibung von Vermittlungsprozessen mittels SDL.

Beispiel:

Ausschnitt aus dem Verbindungsaufbauvorgang in einer Fernsprechvermittlungsstelle.

Abkürzungen:

- DR digit receiver
- DIAL T dial tone
- TO time out
-  Zustand
-  Ereignis
-  Signal
-  Task
-  Entscheidung

## 2.2 Systematik von Steuerungsarchitekturen

Die Einteilung von Struktur- und Organisationsformen soll anhand einiger Begriffspaare verdeutlicht werden:

- zentrale Steuerung - dezentrale Steuerung
- konzentrierte Steuerung - verteilte Steuerung
- Funktionsteilung - Lastteilung.

Bei zentraler Steuerung werden die Hauptfunktionen durch ein oder wenige gleichartige Universalsteuerwerke realisiert, wohingegen bei dezentraler Steuerung sich in der Regel eine Vielzahl funktionspezifischer Teilsteuerungen die Aufgaben teilen. Konzentrierte Steuerung liegt vor, wenn die Steuerungsfunktionen eines Vermittlungssystems in einer Steuerungseinheit zusammengefaßt sind; bei verteilter Steuerung werden dagegen Teile der Steuerungsaufgaben auf örtlich getrennte (Peripherie-) Steuerwerke aufgeteilt. Eine Aufgabenteilung nach Funktion bzw. Last liegt schließlich vor, wenn die vermittlungstechnischen Funktionen von mehreren spezialisierten, funktions-spezifischen Steuerwerken ("Funktionsteilung") bzw. von mehreren gleichartigen, universellen Steuerwerken nach Gesichtspunkten der dynamischen Lastaufteilung ("Lastteilung") ausgeführt werden. Reale Systeme weisen meist

eine Mischform dieser Prinzipien auf, welche von vielfältigen Randbedingungen (Hardware, Software, Sicherheit, Kosten) her begründet sind.

In Bild 3 sind drei grundlegende Steuerungsstrukturen für Fernsprechvermittlungssysteme skizziert, die zentrale Steuerung (Bild 3a), eine gemischt zentral/dezentrale Steuerung (Bild 3b) sowie eine dezentrale Steuerung (Bild 3c).

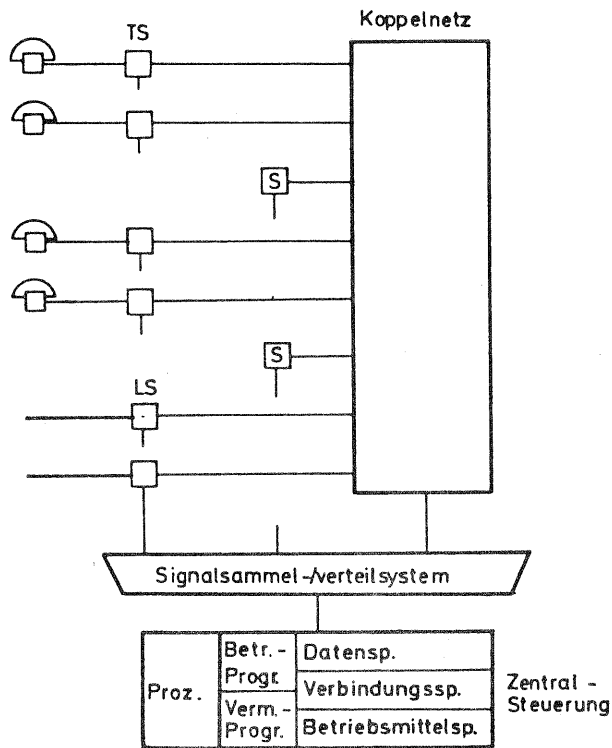


Bild 3a. Zentrale Steuerung

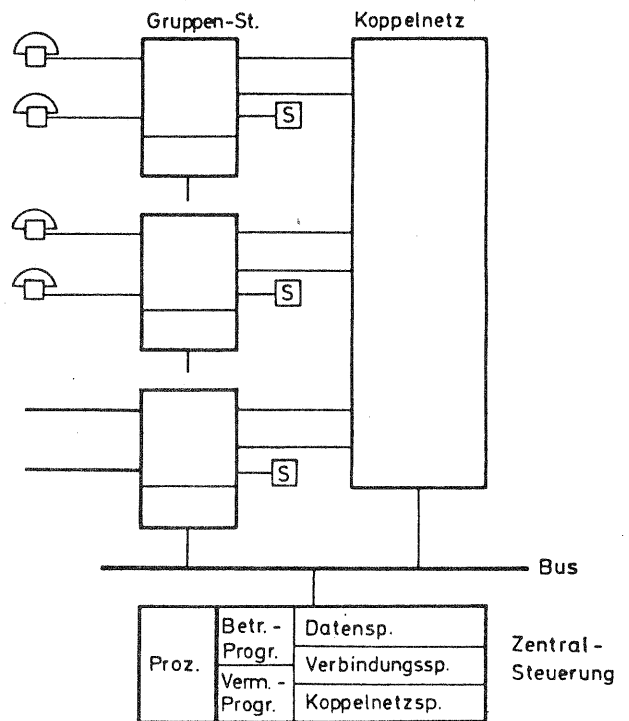


Bild 3b. Gemischt zentral/dezentrale Steuerung

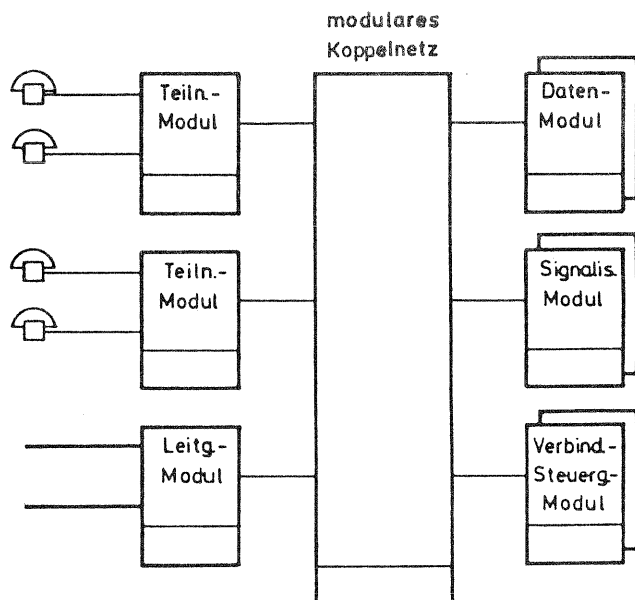


Bild 3c. Dezentrale Steuerung

Bild 3.

Grundstrukturen von Steuerungen für Fernsprechvermittlungssysteme

- 3a. Zentrale Steuerung
- 3b. Gemischt zentral/dezentrale Steuerung
- 3c. Dezentrale Steuerung

Abkürzungen:

- TS Teilnehmersatz
- LS Leitungssatz
- S Signalisierungssatz

Bei der zentralen Steuerung ist die gesamte Intelligenz (Funktionen, Daten) des Systems in einem Steuerrechner konzentriert. Dieses Prinzip erfordert einen sehr hohen Steuerdatentransport zwischen Peripherie und zentraler Steuerung (Signale, Befehle). Bei der gemischt zentral/dezentralen Steuerung werden leitungsnahe (insbesondere mit der Signalisierung zusammenhängende) Teilfunktionen in periphere Gruppen-Steuerwerke ausgelagert; dies sind zugleich oft und parallel durchführbare Funktionen, welche i. a. wenig Daten benötigen und welche die zugehörigen peripheren Betriebsmittel, wie Wahlsätze, Konzentrationskoppelnetz u. ä. m. eigenständig verwalten. Dagegen bleiben die übergeordneten rufbezogenen Funktionen, semipermanente Daten sowie die Verwaltung zentraler Betriebsmittel (z. B. Zentralkoppelnetz) zentralisiert. Hierdurch findet eine erhebliche Entlastung der zentralen Steuerungsebene statt. Bei der dezentralen Steuerung sind diese restlichen zentralen Aufgaben schließlich auch noch auf mehrere Spezialsteuerwerke nach Gesichtspunkten der Funktions- und Lastteilung verteilt. Um die Sicherheit derartig redundanter Strukturen zu garantieren, muß das Kommunikationssystem für den Steuerdatenaustausch (in der Regel das digitale Koppelnetz selbst) ebenfalls modular gestaltet sein. An der Abwicklung einer Verbindung ist eine Vielzahl von Modulen beteiligt, was sich in einem entsprechend hohen Steuerdaten-Verkehrsvolumen ausdrückt.

Neben der eben beschriebenen Hardware-Modularisierung weist auch die Software für Vermittlungs- und Betriebsaufgaben eine nach Funktionen gegliederte Struktur auf, vergl. Beispiel Bild 4.

Die in Bild 4 eingetragenen Funktionsmodule können entweder zusammen in einer zentralen Steuerung oder aufgeteilt auf dezentrale und zentrale bzw. rein dezentrale Steuerwerke implementiert werden. Die Aufteilung von Funktionen und Daten bestimmt die erforderliche Interprozeß- bzw. Interprozessor-Kommunikation innerhalb eines Steuerwerkes bzw. zwischen unterschiedlichen Steuerwerken.

Ähnlich wie bei modernen Fernsprechvermittlungen weisen auch Datenvermittlungen eine stark modularisierte Struktur auf. Bild 5 zeigt als Beispiel die Prinzipstruktur eines Paketvermittlungsknotens. An der Peripherie liegen Module für den Netzwerk-Zugang (Anschlüsse von Terminals, Host-Rechnern, Datenübertragungsleitungen); in diesen Modulen sind die Geräte- bzw. Leitungsprotokolle implementiert. In den darüberliegenden Modulen erfolgt die Verbindungssteuerung mit den Funktionen wie Auf- und Abbau virtueller

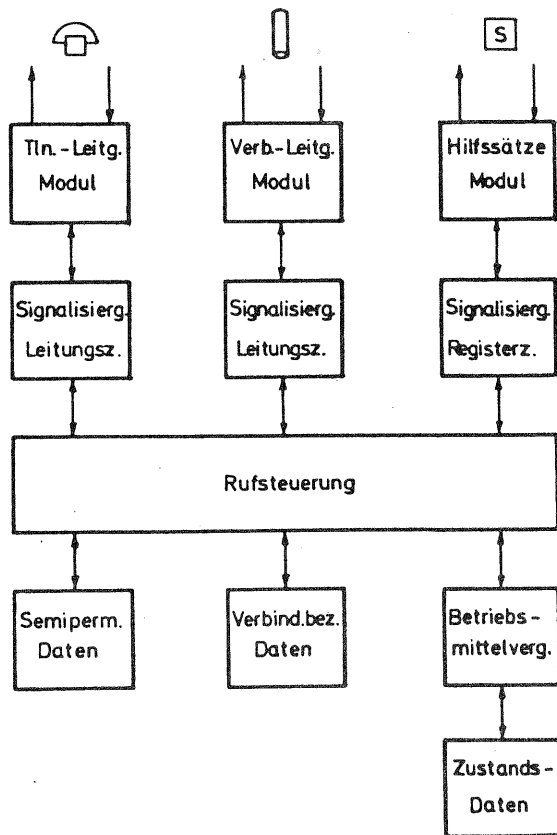


Bild 4.

Modulare Software-Struktur für Fernsprechvermittlungssysteme

Beispiel für Funktionsaufteilung:

- a) Zentrale Steuerung
  - alle Module
- b) Zentrale/dezentrale St.
  - Zentral: Rufsteuerung  
Daten
  - Dezentral: Leitungsmodule  
Hilfssätze  
Signalisierung
- c) Dezentrale Steuerung
  - Module verteilt auf einzelne Steuerwerke.
  - Rufsteuerung i.a. verteilt auf mehrere (z.B. 2) Steuerwerke.

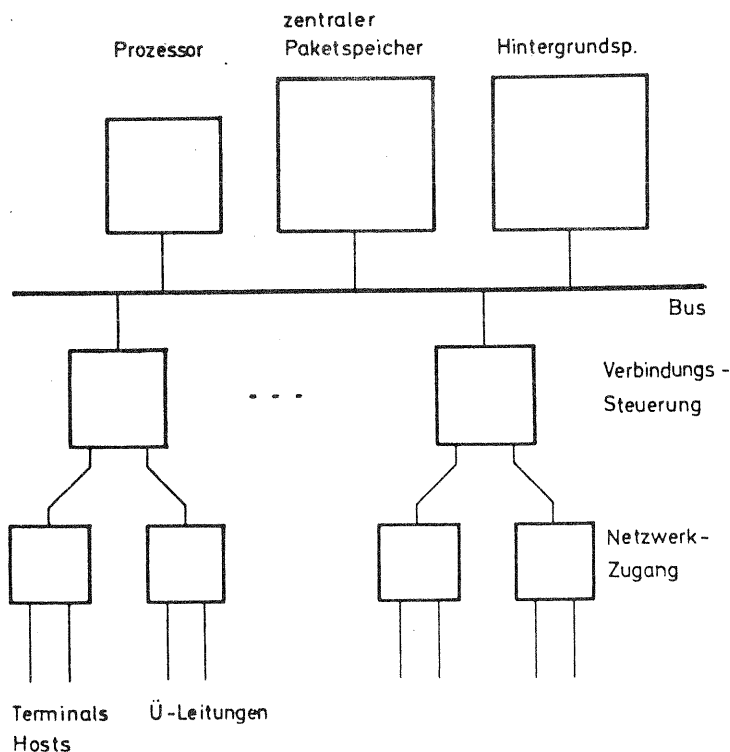


Bild 5.

Hierarchische Struktur eines Datenvermittlungsknotens nach dem Paketvermittlungsprinzip

Beispiel für Funktionsaufteilung:

- a) Netzwerkzugang
  - Leitungsprotokolle
  - Terminal-/Host-Protokolle
- b) Verbindungssteuerung
  - Auf-/Abbau virtueller Verb.
  - Datenflußsteuerung
  - Paketierung/Depaketierung
- c) Zentralebene
  - Verkehrslenkung (routing)
  - Vermittlung (switching)
  - Verwaltung (admin., maint.)

Verbindungen, Paketierung/Depaketierung (PAD) sowie End-zu-End-Datenflußsteuerung. Auf zentraler Ebene werden die Paketvermittlungsfunktionen (Verkehrsrückführung) sowie evtl. weitere Merkmale (Zustellung auf Abruf, Teilnehmer-Unterstützung etc.) realisiert. Die einzelnen Module sind jeweils aus einem oder mehreren Mikrorechnern aufgebaut, welche über Bussysteme oder abfragegesteuerte Leitungssysteme miteinander verbunden sind.

### 2.3 Problemstellungen

Neben den gewünschten Vorteilen bringen verteilte Steuerungen eine Reihe neuer Problemstellungen mit sich:

- Festlegung von Funktionseinheiten
- Verteilung von Funktionen auf Mikrorechner-Steuerwerke
- Datenspeicherung und Verwaltung verteilter Datenbestände
- Protokolle zur Interprozeß- bzw. Interprozessor-Kommunikation
- Organisation der Betriebsabläufe
- Auslastung einzelner Funktionseinheiten, Reaktionszeiten und Durchsatz.

Auf alle damit verbundenen Einzelfragen kann im Rahmen dieses Beitrages nicht ausführlicher eingegangen werden. Die Untersuchung derartiger Fragen kann nur im Zusammenhang mit einer detaillierten Systemspezifikation erfolgen und ist Teil des Entwicklungsprozesses selbst. Fragen der Leistungsanalyse verteilter Steuerungen werden im folgenden Kapitel 3 einer ausführlicheren Betrachtung unterzogen.

## 3 Verkehrsmodelle zur Leistungsbewertung verteilter Steuerungen

Aufbauend auf einige grundlegende Bemerkungen über Verkehrsmodelle werden in diesem Kapitel Modelle entwickelt, welche auf Realzeit-Prozessoren, Kommunikations-Subsysteme zum Steuerdatenaustausch sowie daraus zusammengesetzte komplexe Anordnungen anwendbar sind.

### 3.1 Komponenten eines Verkehrsmodelles

Ein Verkehrsmodell hat die Aufgabe, das zufallsabhängige reale Ablaufgeschehen mit Hilfe weniger standardisierter Elemente zu beschreiben und damit einer quantitativen Analyse zugänglich zu machen. Ein Verkehrsmodell weist folgende Komponenten auf:



- Struktur
  - Bedienstationen (server) zur Beschreibung von Prozeßdauern für Verarbeitungs- oder Übertragungsvorgänge
  - Warteschlangen (queues) zur Pufferung von Anforderungen bei momentanem Engpaß
  - Netztopologie
- Organisation
  - Abfertigungsdisziplinen (Abfertigungsreihung, Prioritäten)
  - Übergabe-Mechanismen
- Verkehr
  - Stochastischer Prozeß der Bedienungs-Anforderungen
  - Stochastischer Prozeß der Betriebsmittel-Belegungen.

Ein einfaches Beispiel für ein Verkehrsmodell mit einer zweistufigen Bedienanordnung zeigt das Bild 6. Die einzelnen Anforderungen durchlaufen das Netz und erleiden dabei zufallsabhängige Verzögerungen durch Warten bzw. Bedienung. Die quantitative Analyse von Durchsatz und Verzögerungen ist Aufgabe der Verkehrstheorie.

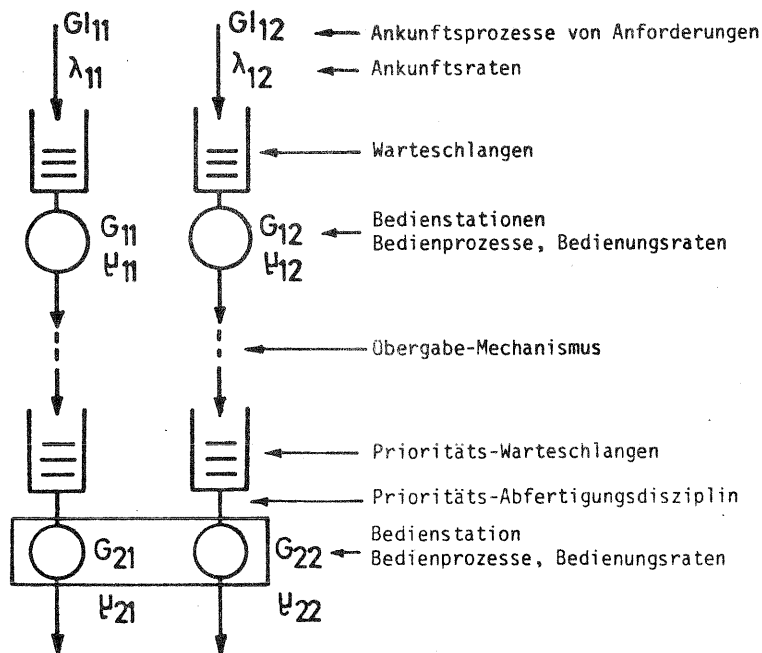


Bild 6. Beispiel für ein Verkehrsmodell mit zweistufiger Bedienanordnung

Symbole:

- G allg. Bedienprozeß (general)
- GI allg. Erneuerungs-Ankunftsprozeß (general independent)
- $\lambda$  Ankunftsrate (Anf./sec)
- $\mu$  Bedienrate

### 3.2 Prozessormodelle

Unter Prozessormodellen sollen einstufige Bedienungssysteme verstanden werden, welche typische Merkmale von Realzeit-Prozessoren aufweisen (Prioritätsstruktur, Ein/Ausgabe-Verwaltung). Die meisten Fälle können auf eines der folgenden Grundmodelle zurückgeführt werden:

- a) Ereignisgesteuerte Verarbeitung (Unterbrechende Prioritäten)
- b) Programmgesteuerte Verarbeitung (Nichtunterbrechende Prioritäten)
- c) Ereignisgesteuerte + programmgesteuerte Verarbeitung (Mischform aus a und b)
- d) Ereignisgesteuerte Eingabe + programmgesteuerte Verarbeitung
- e) Taktgesteuerte Eingabe + programmgesteuerte Verarbeitung
- f) Abfragegesteuerte Verarbeitung (Polling)

Die Modelle c)-f) berücksichtigen explizit den mit der Eingabe von Meldungen verbundenen Verwaltungsaufwand (Overhead), der sich mindernd auf die maximale Verarbeitungskapazität auswirkt und zu höheren Reaktionszeiten führt. In jedem der Modelle werden P Klassen von Anforderungsströmen mit unterschiedlicher Dringlichkeit betrachtet, um auf die Erfordernisse hinsichtlich kurzer Reaktionszeiten mit Bevorrechtigung reagieren zu können.

Bild 7 zeigt ein typisches Prozessmodell für den Fall a). Eine Bedienungseinheit (Prozessor) bedient P Klassen von Prioritätsanforderungen. Die Prioritätsklassen besitzen individuelle Ankunftsraten und Bedienprozesse. Das Ablaufgeschehen ist in den Zeitdiagrammen für die Anzahl x von Anforderungen im System skizziert. Entsprechend geänderte Abläufe ergeben sich für die Fälle b) bzw. c) bei nichtunterbrechenden Prioritäten bzw. Mischformen.

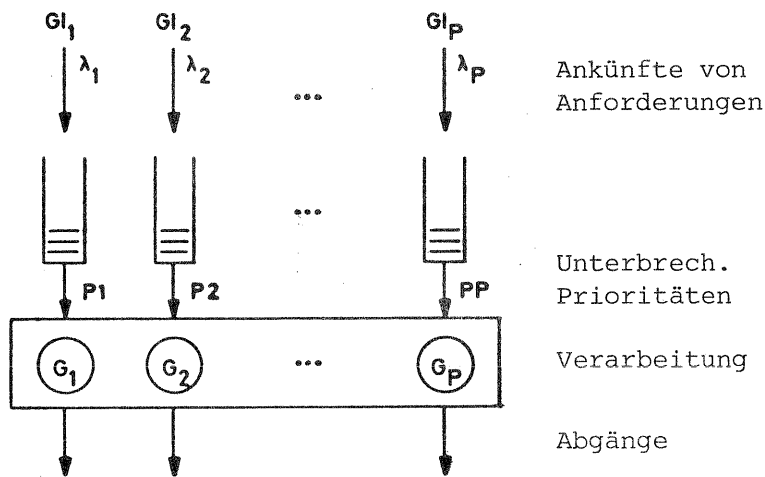
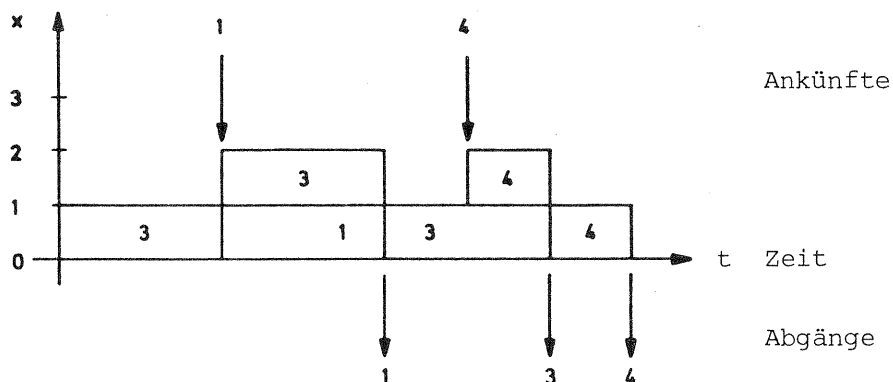


Bild 7.  
 Prozessmodell für ereignisgesteuerte Verarbeitung ohne Eingabe-Verwaltung



Realistischere Modelle erhält man, wenn der Verwaltungsaufwand bei ereignisgesteuerter Eingabe der Einzelmeldungen (Bild 8) bzw. taktgesteuerter Eingabe (Bild 9) berücksichtigt wird; zwischen den Eingabephasen werden die wartenden Meldungen typischerweise programmgesteuert mit nichtunterbrechenden Prioritäten abgefertigt. Der mit den Einzelmeldungen verbundene Overhead kann zu einer starken Kapazitätsreduzierung führen, welche mit taktgesteuerter Eingabe z. T. gemindert werden kann.

E/A-Unterbrechungen  
 P Klassen 1...P

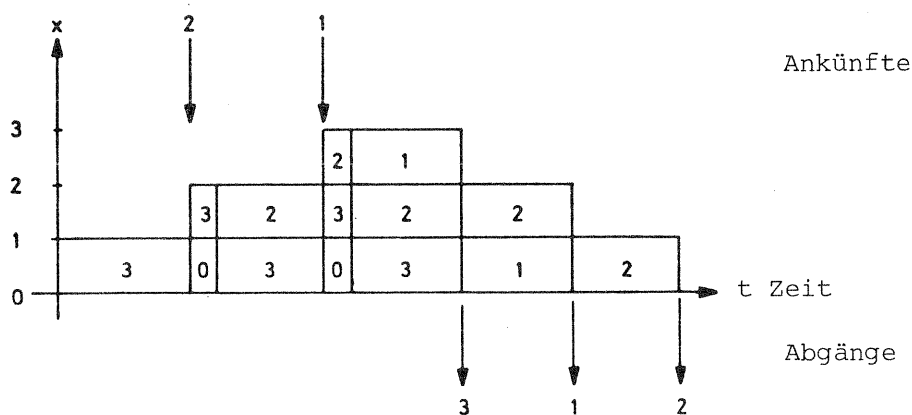
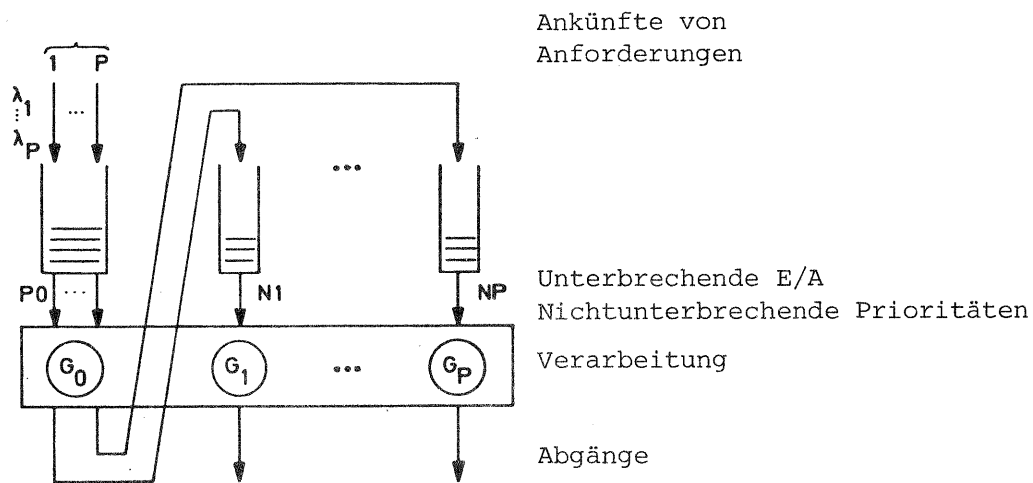


Bild 8. Prozessmodell mit ereignisgesteuerter Eingabe und programmgesteuerter Verarbeitung

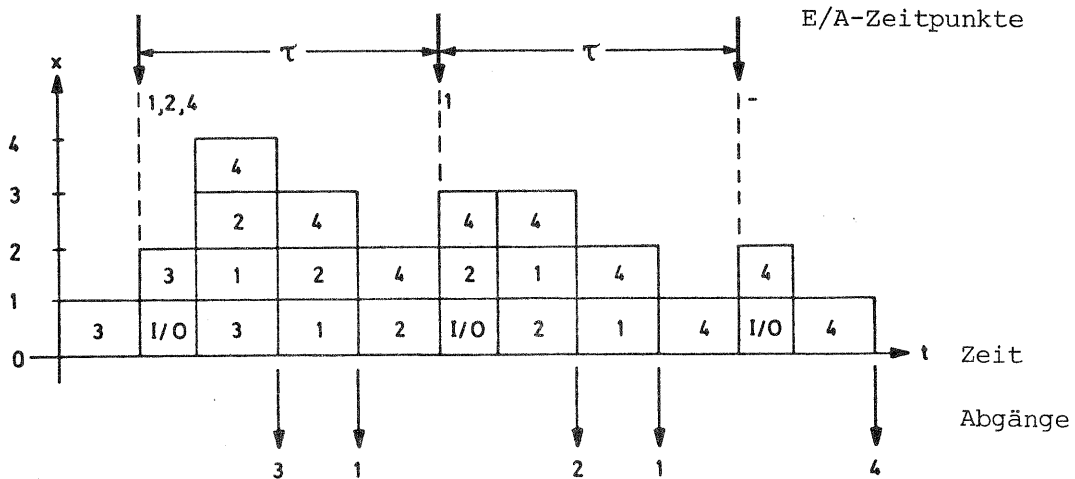
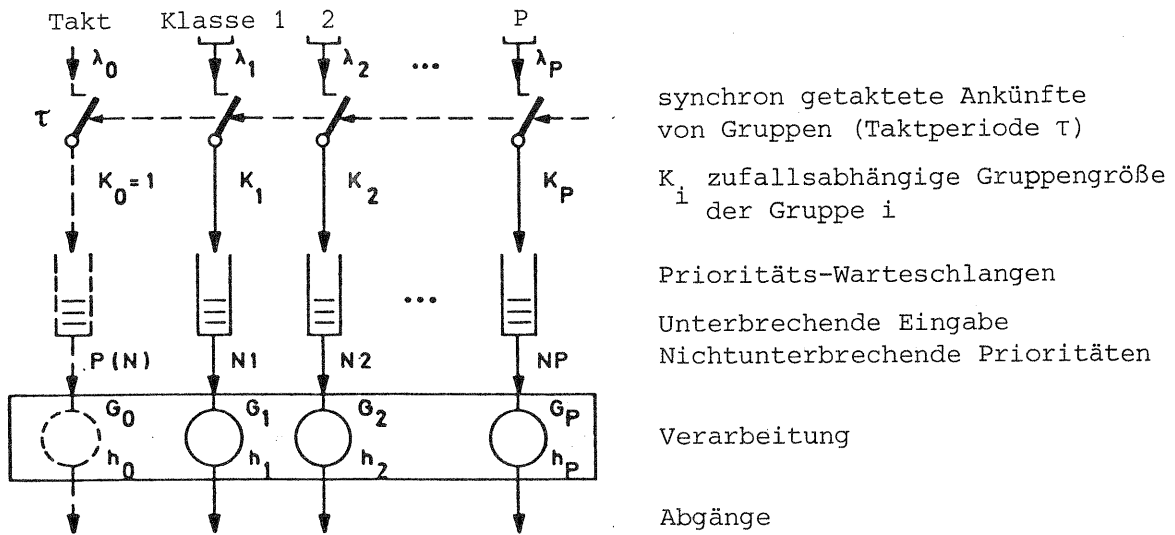


Bild 9. Prozessormodell mit taktgesteuerter Eingabe und programmgesteuerter Verarbeitung

Als letztes Beispiel sei die abfragegesteuerte Verarbeitung in Bild 10 angeführt. Der Prozessor fragt nach jedem Bedienungsende die Wartepuffer ab, z. B. in einfacher zyklischer Reihenfolge oder mit zyklischen Prioritäten durch erhöhte Abfragefrequenz der bevorrechtigten Gruppe. Zusätzlich zu jedem Abfragevorgang kann eine Verwaltungsphase berücksichtigt werden. Modelle mit Abfragesteuerung (Polling) sind ferner auch auf multiplexierte Übertragungskanäle mit blockweiser Übertragung anwendbar.

Die analytische Untersuchung der Leistungsfähigkeit, auf welche in diesem Rahmen nicht näher eingegangen werden kann, erfolgt mit Methoden der Warteschlangentheorie, vergl. z. B. [1]. Die Behandlung mehrerer (Prioritäts-) Ströme erfordert i. a. mehrdimensionale Prozesse für diskrete Zustandsvariable. Die allgemein vorausgesetzten Bedienzeiten können bei Ankunftsprozessen mit Markoff-Eigenschaften mit Hilfe der eingebetteten Markoff-Ketten behandelt werden. Wenn nur die Mittelwerte der einzelnen Wartezeiten gefragt

sind, kann die Methode der Momentenanalyse auf der Basis der Erneuerungstheorie sowie des Mittelwerttheorems nach Little angewandt werden. Für die Klasse der o. a. Prozessmodelle ist eine größere Anzahl von Untersuchungen bekannt, vergl. [2-7].

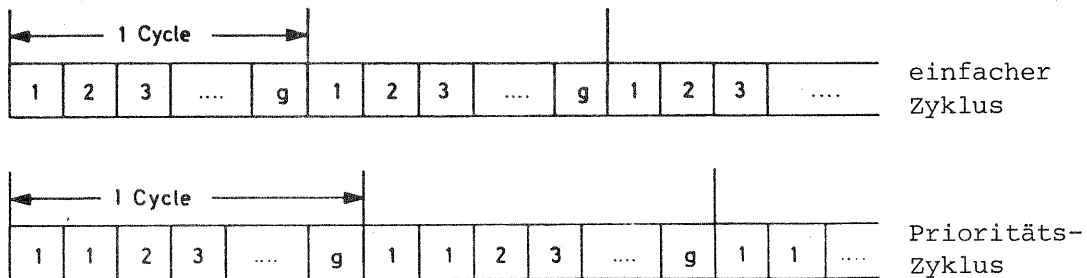
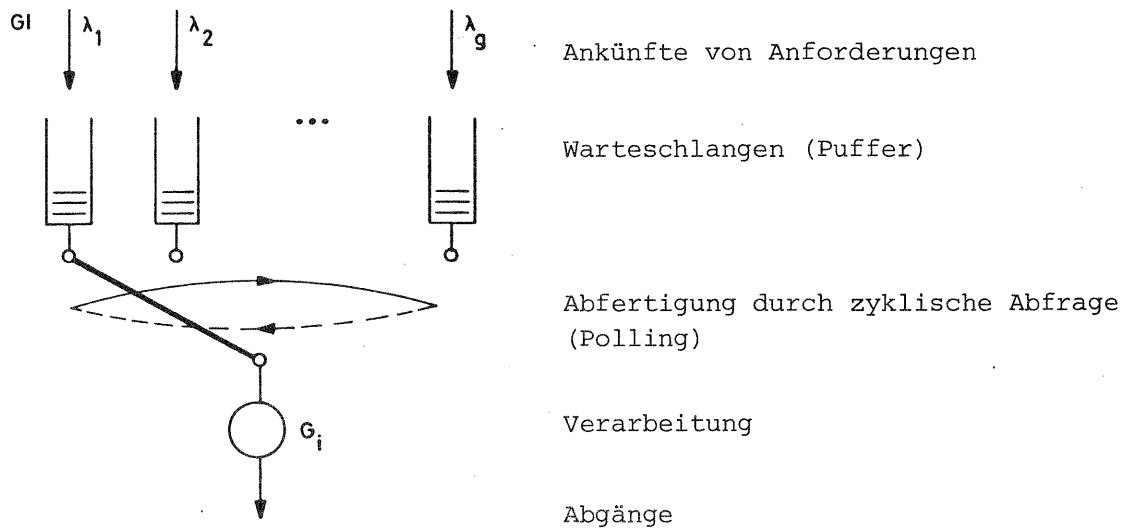


Bild 10. Prozessmodell mit abfragegesteuerter Verarbeitung

Stellvertretend für diese Untersuchungen sollen 2 Ergebnisse angeführt werden. Das erste Beispiel zeigt die Wirksamkeit verschiedener Prioritätsmechanismen anhand des Modells M/D/1 (Markoff-Ankünfte/konstante Bedienzeiten/eine Bedieneinheit) ohne Verwaltungsaufwand für die Ein-/Ausgabe, vergl. Bild 11. Die mittleren Wartezeiten können mit Hilfe von Prioritäten an die Erfordernisse der jeweiligen Anwendung angepaßt werden.

Ein zweites Beispiel soll die grundsätzlichen Eigenschaften der Ein-/Ausgabeorganisation verdeutlichen. In Bild 12 sind für die beiden Grundmodelle der ereignisgesteuerten bzw. taktgesteuerten Eingabe für jeweils nur eine Klasse von Anforderungen, aber endlichem Unterbrechungsaufwand, die mittleren Gesamtwartezeiten angegeben [4]. Die Ergebnisse zeigen deutlich die Überlegenheit der ereignisgesteuerten Eingabe bei kleiner Last bzw. der taktgesteuerten Eingabe bei hoher Last. Dieses prinzipielle Verhalten setzt sich auch bei mehreren Prioritätsströmen fort.

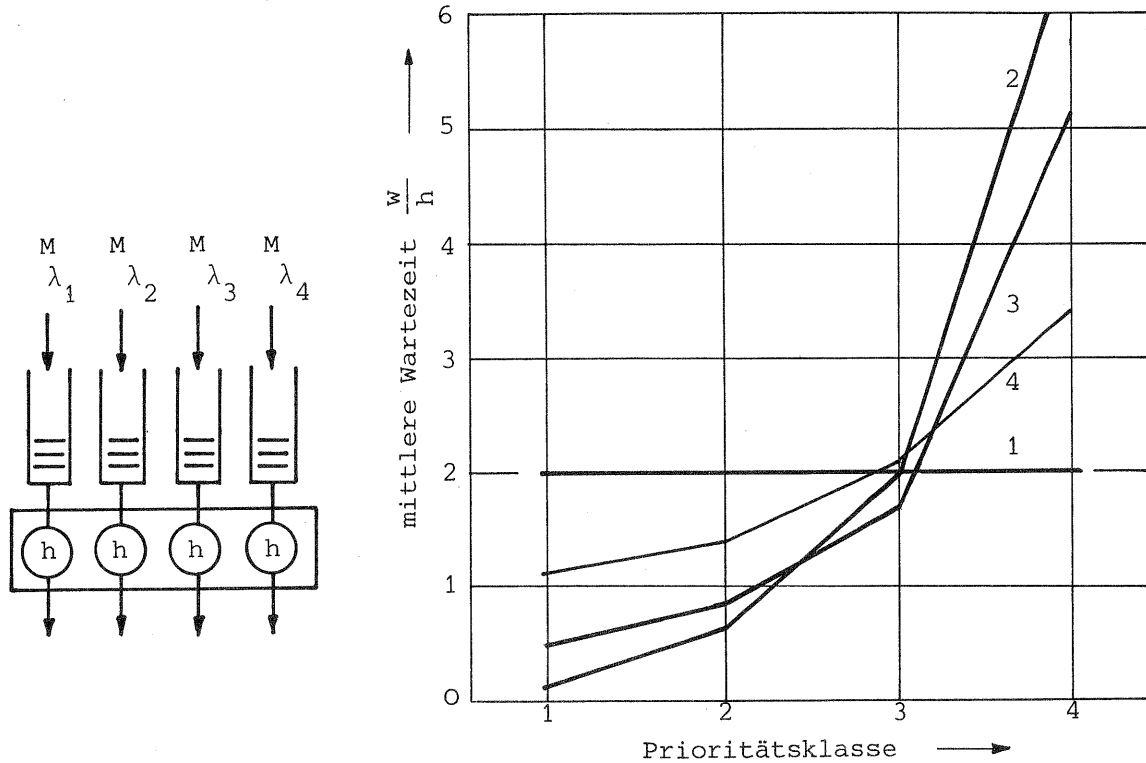
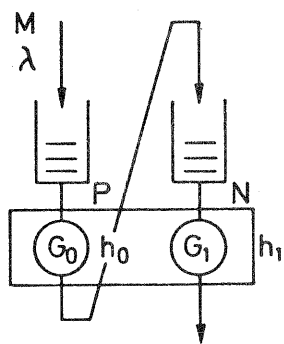
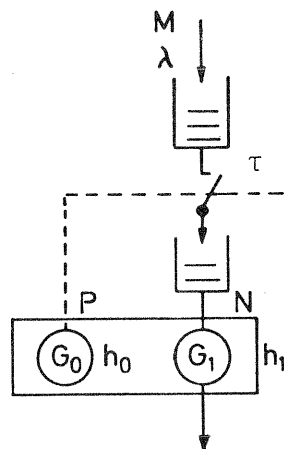


Bild 11. Mittlere Wartezeiten im Prioritätsmodell M/D/1 ohne Verwaltung  
 Modell 1: keine Prioritäten      Modell 2: unterbrechende Prioritäten  
 Modell 3: nichtunt.Prioritäten    Modell 4: zyklische Prioritäten  
 gemeinsame Parameter: Auslastung  $\rho = 0,8$ , gleiche Last/Klasse



Modell 1



Modell 2

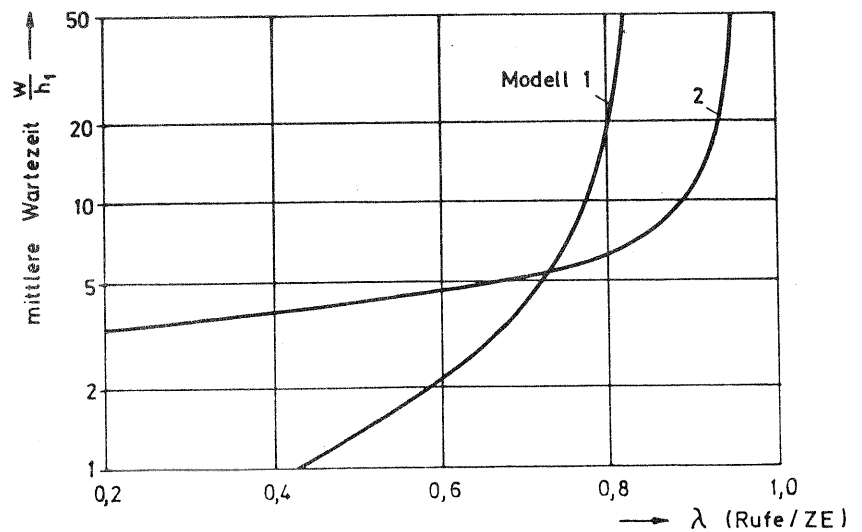


Bild 12. Mittlere Wartezeiten bei ereignisgesteuerter und taktgesteuerter Eingabe mit Verwaltung

Modell 1: ereignisgesteuerte Eingabe  
 Modell 2: taktgesteuerte Eingabe

Parameter: konstante Unterbrechungszeit (D)  
 konstante Bedienzeit (D)

$$h_0/h_1 = 0,2$$

$$\tau/h_1 = 5$$

### 3.3 Kanalmodelle für Kommunikations-Subsysteme

Unter Kanalmodellen sollen Verkehrsmodelle für den Steuerdaten- bzw. Nutzdaten-Austausch zwischen verschiedenen Steuermodulen (Prozessoren) verstanden werden. Die Gemeinsamkeit der entsprechenden Kanalmodelle liegt in der Modellierung des Betriebsmittels "Übertragungskanal", welcher beim Informationstransport zum Engpaß werden kann. Dieses Betriebsmittel kann nach unterschiedlichen Methoden den Anforderungen zugeteilt werden. Der Übertragungsvorgang selbst unterliegt i.a. einem Übertragungs-Protokoll, welches zusätzlichen Verwaltungsaufwand (Overhead) bedingt.

Von der Zuteilungsmethode her gesehen, lassen sich vier Kategorien von Kanalmodellen unterscheiden:

- a) Feste Zuteilung (fixed assignment)
- b) Bedarfsweise Zuteilung (demand assignment)
- c) Abfragegesteuerte Zuteilung (polling)
- d) Wettbewerbsgesteuerte Zuteilung (contention mode)

Bei fester Zuteilung existiert ein individueller Kanal zwischen zwei Steuerungsmodulen (z.B. in Form einer fest zugeteilten Zeitlage innerhalb eines Multiplexkanals), während sich bei bedarfsweiser Zuteilung i.a. eine Vielzahl von Steuerungsmodulen wenige Kanäle dynamisch teilt, z.B. nach Reihenfolge- oder Prioritätsregeln. Beide Kanalmodelle führen entweder auf elementare Warteschlangenmodelle oder ähnliche Modelle wie bei Prozessoren.

Ein häufig angewandtes Prinzip ist die abfragegesteuerte Zuteilung durch eine zentralisierte "Primärstation", welche den Übertragungskanal steuert (polling), vergl. Bild 13. Kanalmodelle mit Abfragesteuerung können ferner ausgezeichnet sein durch die Merkmale

- Halb-Duplex- bzw. Voll-Duplex-Übertragung
- Quittungssignalisierung mit automatischer Wiederholung (automatic repeat request, ARQ)
- Datenflußsteuerung durch einen Fenster-Mechanismus sowie durch Timeout-Wiederholung.

Die aufgeführten Eigenschaften sind Merkmale des Übertragungsprotokolls (link level protocol, wie z.B. HDLC). Modelle, welche derartige Merkmale beinhalten, weisen eine größere Komplexität auf und sind sowohl mittels Simulation als auch analytisch untersucht worden, vergl. [8,9]; diese Untersuchungen beinhalten die wesentlichsten Systemparameter und geben Aufschluß über Durchsatz- und Verzögerungseigenschaften.

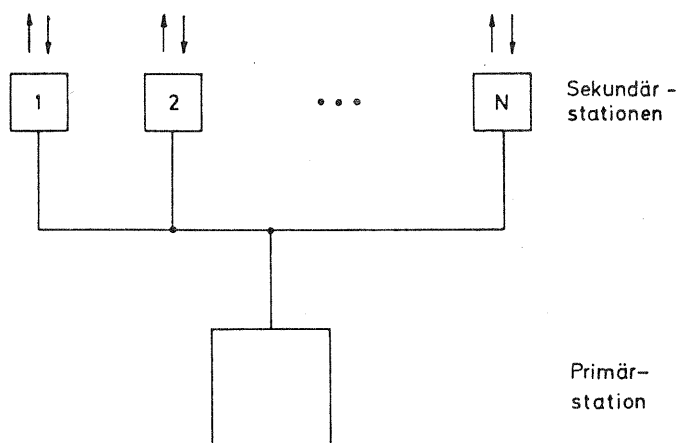


Bild 13.

Grundstruktur für Kanalmodelle mit abfragegesteuerter Zuteilung

Kanäle mit wettbewerbsgesteuerter Zuteilung wurden bislang für den Bereich von lokalen Rechnernetzen oder zum Anschluß örtlich verteilter Datenstationen diskutiert; der erreichte Entwicklungsstand zeigt jedoch, daß dieses Prinzip in Zukunft auch für verteilte Steuerungen von Interesse sein kann. Bei wettbewerbsgesteuertem Betrieb sind alle Stationen (Module) an einem breitbandigen Übertragungsmedium angeschlossen ohne eine übergeordnete Steuerung, d.h. alle Stationen agieren selbständig. Durch das Fehlen einer übergeordneten Steuerung können Kollisionen während des Übertragungsvorganges nicht ausgeschlossen werden. Im Falle von Kollision muß ein dezentral organisierter Algorithmus die Wiederholung veranlassen. Zur Reduktion der Kollisionshäufigkeit wurden verschiedene Verfahren vorgeschlagen, vergl. [10] :

- Kanalzustandsprüfung (carrier sensed multiaccess, CSMA)
- Unmittelbare Kollisionserkennung (collision detection, CD)
- Verzögertes Senden nach Kollision (random, p-persistent).

Ein neues Protokoll CSMA-CD-DR mit dynamischen Sendeprioritäten in Form von gestaffelten, determinierten Sendeverzögerungen nützt die an alle Stationen ausgesendete Quittierungssignalisierung explizit dazu aus, das völlig dezentral organisierte System in einen höheren Ordnungszustand zu bringen [11]. Das Grundmodell ist in Bild 14 dargestellt. Analytische und simulative Untersuchungen haben gezeigt, daß dieses Protokoll die Vorteile von Contention Mode bei niedriger Last und Polling bei hoher Last vereint und die Kollisionshäufigkeit auf ein Minimum beschränkt, vergl. Bild 15.



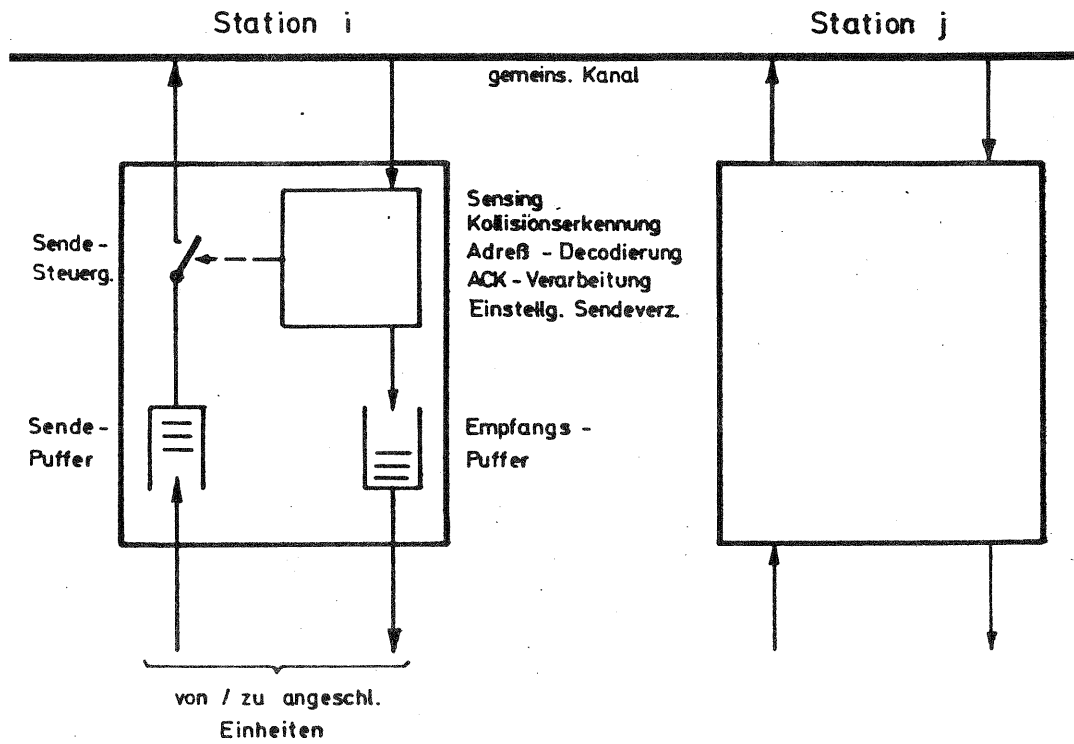


Bild 14. Grundstruktur eines Kanalmodelles mit wettbewerbsgesteuerter Zuteilung

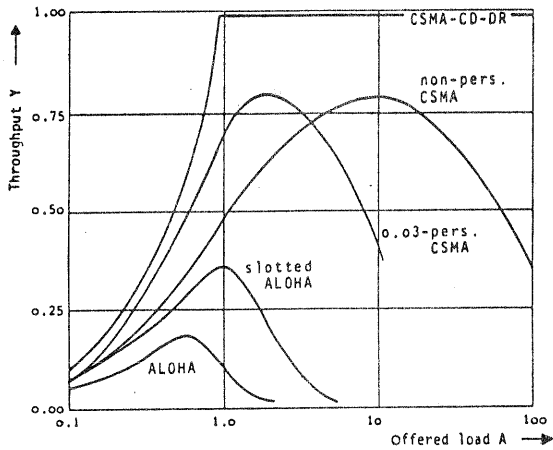


Bild 15a.

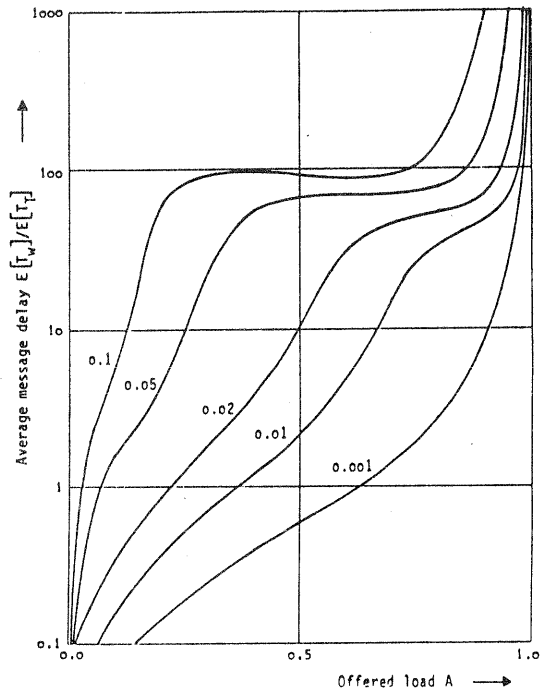


Bild 15b.

Bild 15. Durchsatz und Verzögerungen bei wettbewerbsgesteuerter Zuteilung

15a. Durchsatz  $Y$  verschiedener Protokolle in Abhängigkeit des Angebots  $A$

15b. Rel. Verzögerungen des Protokolles CSMA-CD-DR

Parameter:  $N = 100$  Stationen

minimale rel. Sendeverzögerung 0,001 ... 0,1

Markoff-Ankünfte, konstante Nachrichtenlängen (Bezugsgr.)

### 3.4 Netzmodelle

Unter Netzmodellen sollen Verkehrsmodelle verstanden werden, welche größere Steuerungskomplexe zusammenhängend beschreiben. Logisch lassen sich derartige Modelle strukturieren in

- Lastmodelle zur Beschreibung der (Realzeit-)Anforderungen
- Prozessmodelle für Verarbeitungsfunktionen
- Kanalmodelle für den Steuerdatentransport
- Anforderungs-Szenarios zur Beschreibung der sequentiellen bzw. parallelen Inanspruchnahme von Betriebsmitteln.

Allgemein führt die Modellierung auf Warteschlangennetze, welche durch folgende Merkmale gekennzeichnet sind:

- beliebige Struktur
- mehrere Klassen von Anforderungsströmen
- beliebige Wegeauswahl je Anforderungsklasse
- Prioritäten
- sofortiger oder taktweiser Informationstransfer zwischen den Stationen des Netzmodelles
- Prozessor-Subsysteme mit unterschiedlichen Ein-/Ausgabe- und Abfertigungsstrategien
- Kommunikations-Subsysteme mit unterschiedlichen Zuteilungsstrategien
- begrenzte Speicherkapazität von Warteschlangen und passiven Betriebsmitteln (Datenspeichern)
- allgemeine Ankunfts- und Bedienprozesse
- adaptive Steuerungsalgorithmen, z.B. zur Überlast-Abwehr oder Datenflußsteuerung

Die mathematische Analyse, zum Teil auch noch die Modellierung selbst wie im Falle adaptiver Steuerungsalgorithmen oder paralleler Inanspruchnahme von Betriebsmitteln, erlaubt erst die Untersuchung von Teilaspekten dieser Netzmerkmale. Als Beispiele seien genannt:

- homogene Warteschlangennetze mit Markoffschen Prozessen und mehreren Klassen von Anforderungen nach der Methode der Produktlösungsform sowie daraus abgeleiteten Verfahren [12-14]
- homogene und inhomogene (d.h. durch unterschiedlichen Informationstransfer und Abfertigungsdisziplinen gekennzeichnete) Warteschlangennetze mit allgemeinen Prozessen nach Verfahren der Dekomposition [15-16]
- Netze mit adaptiven Datenflußsteuerungsalgorithmen [17]
- Netze mit passiven Betriebsmitteln und begrenzter Speicherkapazität [18].

Die Ansätze in dieser Richtung können in diesem Rahmen nicht erschöpfend gewürdigt werden. Stellvertretend sei ein Beispiel eines inhomogenen Netzes angeführt, welches den Eingabeteil des Steuerungsnetzes eines Fernsprechvermittlungssystems mit zentraler Steuerung modelliert, vergl. Bild 16.

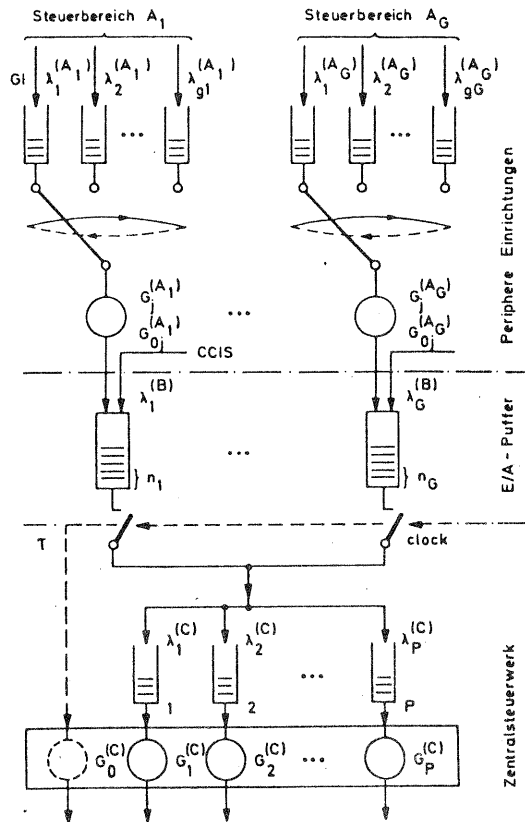


Bild 16.

Netzmodell des Steuerungsteils eines Fernsprechvermittlungssystems mit zentraler Steuerung (Eingabeteil)

Das Modell nach Bild 16 gliedert sich in mehrere periphere Einrichtungen mit abfragegesteuerter Steuersignal-Übertragung, den Ein-/Ausgabe-Puffern als Schnittstelle zum Zentralsteuerwerk sowie einem zentralen Prozessor mit taktgesteuerter Ein-/Ausgabe bei endlichem Verwaltungsaufwand und nichtunterbrechenden Prioritäten zur programmgesteuerten Verarbeitung. Das Modell wurde mit Hilfe des Dekompositionsverfahrens untersucht, bei welchem Teilmodelle isoliert analysiert werden und die gegenseitige Interaktion durch Berücksichtigung zweier Momente der Eingangs- und Ausgangsprozesse beschrieben wird [16]. Als Ergebnisse werden die Teil- und Gesamtdurchlaufzeiten der Anforderungen gefunden in Abhängigkeit der berücksichtigten Systemparameter nach Bild 16, vergl. Bild 17. Die in Bild 17 eingetragenen Simulationsergebnisse zeigen die gute Brauchbarkeit dieses Dekompositionsverfahrens. Im rechten Teil von Bild 17 ist die aus den unteren beiden Ebenen gebildete mittlere Durchlaufzeit über der Taktperiode  $\tau$  aufgetragen. Die Ergebnisse sind für die Auslastungen der Zentralsteuerung bei 40% (durchgezogen) bzw. 80% (gestrichelt) jeweils für beide Prioritätsklassen angegeben. Das Ergebnis zeigt ein klares Optimum und gibt Aufschluß über die Einstellung der Taktperiode bei Normallast und Überlast.

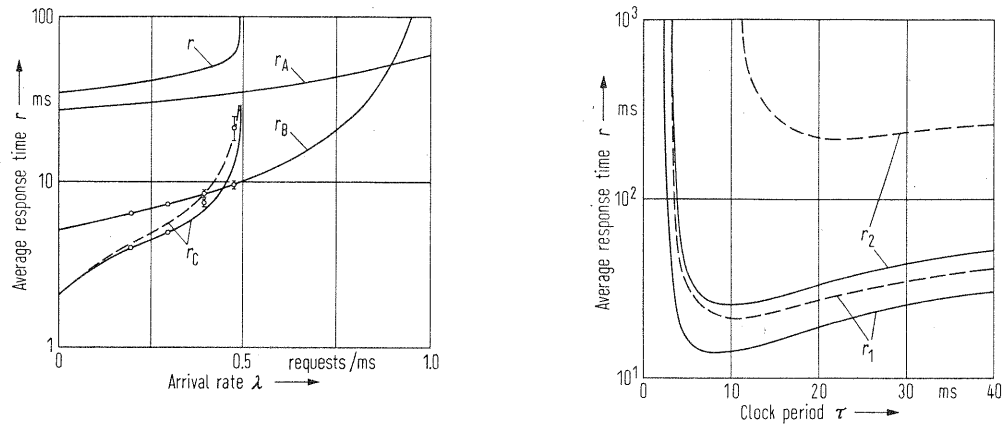


Bild 17. Mittlere Durchlaufzeiten in einem Netzmodell für den Steuerungsteil eines zentralgesteuerten Vermittlungssystems

- $r_A$  mittlere Durchlaufzeit periphere Steuereinrichtung
- $r_B$  mittlere Durchlaufzeit E/A-Puffer
- $r_C$  mittlere Durchlaufzeit Zentralsteuerwerk (ohne Prioritäten)
- $r_{1,2}$  mittlere Durchlaufzeit E/A-Puffer + Zentralsteuerwerk (2 Klassen)
- $r$  mittlere Gesamtdurchlaufzeit ( $r = r_A + r_B + r_C$ )

Parameter:

- Peripherie: 10 Steuerbereiche à 20 Gruppen
  - 2,5 msec Übertragungszeit/Nachricht (konstant)
  - 2,5 msec Polling Overhead/Gruppe (konstant)
- E/A-Puffer: 10 Puffer
  - $n = 1$  transferierte Nachrichten/Takt und Puffer
  - $\tau = 10$  msec Taktperiode (linkes Bild)
- Zentralst.: 2 msec Verarbeitungszeit/Nachricht und Klasse
  - 0 msec Eingabe-Verwaltungszeit (linkes Bild)
  - 2 msec Eingabe-Verwaltungszeit (rechtes Bild)

4 Zusammenfassung und Ausblick

Zukünftige Vermittlungssysteme werden durch eine stark verteilte Steuerungsstruktur gekennzeichnet sein. In dem Beitrag wurde versucht, einige Systemmerkmale verteilter Steuerungsarchitekturen herauszuarbeiten, insbesondere im Hinblick auf die Modellierung zur verkehrsmäßigen Leistungsanalyse. Wesentlich erscheint dabei, daß gerade die typischen Merkmale von Protokollen, Ein-/Ausgabesystemen, Realzeit-Steuerungen und Anforderungen berücksichtigt werden. Es wurden einige numerische Beispiele angegeben, welche die Wirksamkeit bzw. den Einfluß typischer Systemparameter aufzeigen. Derartige Ergebnisse können für den Entwicklungsprozeß und die Systemplanung von grundlegender Bedeutung sein.

Neue Problemstellungen sind insbesondere in den letzten Abschnitten deutlich geworden. Weitere Untersuchungen über adaptive Steuerungsalgorithmen und komplexe, inhomogene Netze sind erforderlich. Die adequate Beschreibung der Systemlast in verteilten Systemen, einschließlich der system- und teilnehmerbedingten Rückkopplungen, ist Voraussetzung für zuverlässige Aussagen der Analyse. Damit zusammenhängend ist die Berücksichtigung instationärer Verkehrsphänomene, welche bei stoßartigen Belastungen bzw. bei adaptiven Steuerungen auftreten und zu gänzlich anderen Ergebnissen führen als die Analyse stationärer Prozesse. Schließlich sollte nicht unerwähnt bleiben, daß nur eine kontinuierliche Messung innerhalb von Systemen mit verteilter Steuerung Aufschluß geben kann über den tatsächlichen Nutzen der eingesetzten Betriebsmittel und die angewandten Steuerungsverfahren.

Schrifttum

- |     |                         |   |
|-----|-------------------------|---|
| [1] | Kleinrock, L.           | Queuing Systems, Vol. 1 and 2.<br>J. Wiley and Sons, New York, 1976.  |
| [2] | Jaiswal, N.K.           | Priority Queues.<br>Academic Press, New York/London, 1968.  |
| [3] | Herzog, U.              | Priority Models for Communication Processors<br>Including System Overhead.<br>ITC 8, Melbourne, 1976. Congressbook 623/1-7.   |
| [4] | Langenbach-<br>Belz, M. | Vergleich zweier Warteschlangenmodelle für Real-<br>zeit-Rechnersysteme mit Interrupt- bzw. takt-<br>gesteuerter Übernahme von Anforderungen aus der<br>Peripherie.<br>Lecture Notes in Comp. Science, No. 1.<br>Springer-Verlag, Berlin, 1973, S. 304-313. |

- [5] Manfield, D.R.  
Tran Gia, P.      Queuing Analysis of Scheduled Communications Phases in Distributed Processing Systems. Performance '81, Amsterdam, Nov. 4-6, 1981.
- [6] Kühn, P.J.      Analyse zufallsabhängiger Prozesse in Systemen zur Nachrichtenvermittlung und Nachrichtenverarbeitung. Habilitationsschrift, Univ. Stuttgart, 1981.
- [7] Kuehn, P.J.      Multiqueue Systems with Nonexhaustive Cyclic Service. BSTJ, Vol. 58, 1979, S. 671-698.
- [8] Kuehn, P.J.      Performance of ARQ-Protocols for HDX-Transmission in Hierarchical Polling Systems. Performance Evaluation, Vol. 1, 1981, S. 19-30.
- [9] Bux, W.  
Kümmerle, K.  
Truong, H.L.      Balanced HDLC Procedures - A Performance Analysis. IEEE Trans. on Communications, Vol. COM-28, Nov. 1980, S. 1889-1898.
- [10] Tobagi, I.A.      Multiaccess Protocols in Packet Communication Systems. IEEE Trans. on Communications, Vol. COM-28, April 1980, S. 468-488.
- [11] Kiesel, W.M.  
Kuehn, P.J.      CSMA-CD-DR: A New Multi-Access Protocol for Distributed Systems. Proc. Nat. Telecomm. Conf. (NTC), New Orleans, La., Nov. 29-Dec. 3, 1981.
- [12] Baskett, F.  
et.al.      Open, Closed and Mixed Networks of Queues with Different Classes of Customers. J. ACM, Vol. 22, April 1975, S. 248-260.
- [13] Chandy, K.M.  
Herzog, U.  
Woo, I.      Parametric Analysis of Queuing Networks. IBM J. Res. and Develop., Vol. 19, Jan. 1975, S. 36-42.
- [14] Reiser, M.  
Lavenberg, S.S.      Mean-Value Analysis of Closed Multichain Queuing Networks. J. ACM, Vol. 27, April 1980, S. 313-322.
- [15] Kuehn, P.J.      Approximate Analysis of General Queuing Networks by Decomposition. IEEE Trans. on Communications, Vol. COM-27, 1979, S. 113-126.
- [16] Kuehn, P.J.      Analysis of Switching System Control Structures by Decomposition. ITC 9, Torremolinos, 1979. Congressbook No. 514/1-8. AEÜ Bd. 34, 1980, S. 52-59.
- [17] Reiser, M.      A Queuing Network Analysis of Computer Communication Networks with Window Flow Control. IEEE Trans. on Communications, Vol. COM-27, Aug. 1979, S. 1199-1209.
- [18] Tran Gia, P.      Modeling and Analysis of Software Resources in Modular SPC-Switching Systems - Some Aspects of Dimensioning and Overload Control. Proc. 4th Int.Conf. on Software Engineering for Telecommunication Switching Systems. IEEE Conf.Publ. No. 198, S. 172.176.