

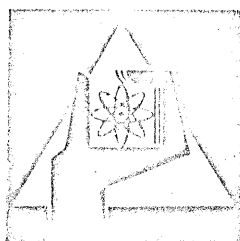
KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

Mai 1973

KFK 1845

Methodik der rechnergestützten Simulation
Fachgespräche vom 10. – 11. Mai 1973

veranstaltet vom
Institut für Datenverarbeitung in der Technik
Gesellschaft für Kernforschung, Karlsruhe
und dem
Institut für Informatik
Universität Stuttgart



GESELLSCHAFT
FÜR
KERNFORSCHUNG M.B.H.
KARLSRUHE

SIMULATION VON RECHNERNETZEN MIT GETAKTETER

INFORMATIONSÜBERNAHME

von U. Herzog, G. Kampe und M. Langenbach-Belz

Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung
(Universität Stuttgart)

1. Einleitung

In Rechnernetzen oder rechnergesteuerten Daten- oder Fernsprechnetzen müssen sowohl zwischen den einzelnen Rechnern als auch zwischen einem Rechner und seiner zugehörigen Peripherie Informationen ausgetauscht werden. Dabei müssen die Informationen nacheinander verschiedene Baueinheiten (z.B. Register) durchlaufen, wodurch sie vor ihrer endgültigen Verarbeitung Wartezeiten und weitere Verarbeitungszeiten erfahren. In Realzeitsystemen sind harte Forderungen bezüglich solcher Wartezeiten gestellt, d.h. die Zeit zwischen der Entstehung einer Information und ihrer endgültigen Verarbeitung sollte einen festgelegten Maximalwert nicht bzw. nur in einem geringen Prozentsatz aller Fälle überschreiten. Um zu prüfen, ob die gestellten Forderungen von einem geplanten System erfüllt werden, sowie Engpässe zu finden und zu beseitigen, ist es nötig, den Verkehrsfluß (der Informationen) durch das System zu analysieren und Wartezeiten, Speicherbelastungen etc. zu bestimmen. Die komplexe Feinstruktur solcher Netze und die z.T. auftretenden Abhängigkeiten der Informationen voneinander lassen es oft nicht zu, den Verkehrsfluß mit Hilfe verkehrstheoretischer Verfahren exakt zu berechnen. Deshalb ist man zur Untersuchung des geschilderten Problemkreises neben Näherungsrechnungen größtenteils auf die Simulation angewiesen, d.h. Netzstruktur und Verkehrsfluß werden auf einem Digitalrechner nachgebildet (vgl. auch /2/). Doch auch die Simulation kann nicht in unbegrenztem Ausmaß angewendet werden. So ist es z.B. auch selbst auf den größten Datenverarbeitungsanlagen oft aus Gründen des Speicherplatzbedarfes nicht möglich, die oben beschriebenen Systeme als Ganzes zu simulieren. Außerdem würden auf Grund der Komplexität der Simulationsprogramme die Programmlaufzeiten unverträglich groß werden. Schließlich sei noch darauf hingewiesen, daß die Simulationsprogramme auch noch ein gewisses Maß an Übersichtlichkeit besitzen sollten (einfachere und verständlichere Dokumentation) und auch mit erträglichem Aufwand sicher ausgetestet werden können. Aus diesen Gründen ist es sinnvoll, ein Gesamtsystem (vollständiges Netz) in einzelne, kleinere Teilsysteme aufzugliedern und dann die einzelnen Teilsysteme zu simulieren. Ein dabei auftretendes Problem ist die Wahl der Schnittstellen zwischen den Teilsystemen. Insbesondere ist die Nachbildung der an den Schnittstellen auftretenden Verkehre von besonderer Bedeutung, da die charakteristischen Eigenschaften dieser Ersatzverkehre (z.B. Ankunftsabstandsverteilungsfunktion) wesentlichen Einfluß auf die charakteristischen Verkehrsgrößen (z.B. Speicherbelastungen, Wartezeiten etc.) der simulierten Teilsysteme ausüben.

Einerseits sollten die Ersatzverkehre möglichst einfach im Simulationsmodell realisiert werden können, andererseits aber sollten sie keine Verfälschungen der Ergebnisse bei der Simulation eines Teilsystems gegenüber der Simulation des Gesamtsystems verursachen.

In den folgenden Abschnitten wird zunächst die prinzipielle Struktur und der Verkehr der untersuchten Gesamt-Netze beschrieben. Anschließend folgt die Einteilung des Gesamt-Netzes in Teilsysteme. Die dabei auftretenden Schnittstellenprobleme werden am Beispiel einer Schnittstelle erläutert. Es wird gezeigt, wie für diese Schnittstelle durch eine systematische Untersuchung ein Ersatzverkehr gefunden wurde, der simulationstechnisch ähnlich einfach zu realisieren ist wie ein Poisson-Verkehr und welcher sehr wirklichkeitstreue Ergebnisse liefert.

Es sei an dieser Stelle bemerkt, daß in dem vorliegenden Bericht nicht detailliert eine Modellbildung gezeigt werden soll (vgl. dazu /1/, /2/, /3/, /4/) oder eine Beschreibung des realisierten, umfangreichen Simulationsprogrammes gegeben werden soll. Vielmehr werden einige prinzipielle Gedanken und Erfahrungen dargelegt, welche während der Erstellung des Programmes auftraten.

2. Struktur und Verkehr der untersuchten Netze

2.1 Struktur

Die prinzipielle Struktur der untersuchten Netze ist in Bild 1 dargestellt.

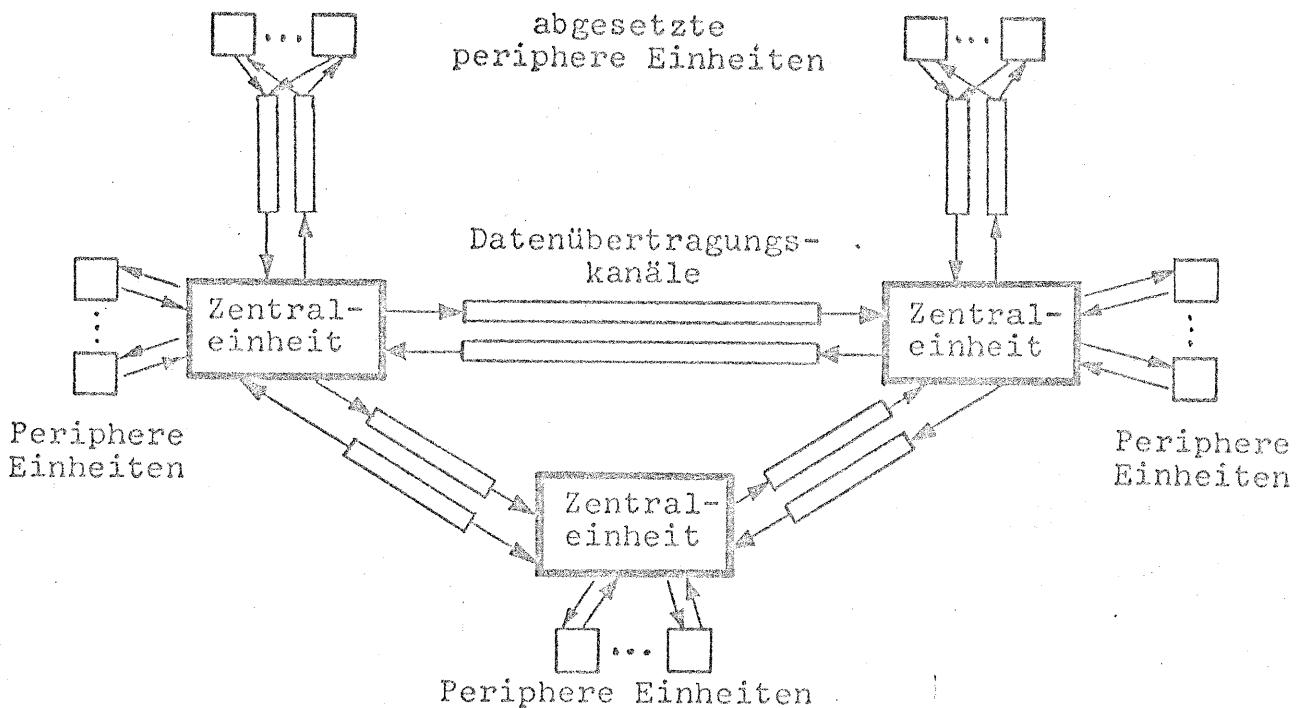


Bild 1: Prinzipielle Struktur der untersuchten Netze

Die in Bild 1 vereinfacht dargestellten Einheiten wie Zentraleinheit (Rechner), Datenübertragungskanäle und periphere Einheiten bestehen in Wirklichkeit aus mehreren Wartespeichern (Registern) und Bedienungseinheiten.

Die Zentraleinheiten sind untereinander jeweils mit einem Paar einseitig gerichteter Datenübertragungskanäle verbunden. Je Zentraleinheit können periphere Einheiten entweder direkt oder über Datenübertragungskanäle (abgesetzte periphere Einheiten) angeschlossen sein.

Als Beispiel für das Auftreten solcher Netzstrukturen in der Praxis können Netze für Steuerinformationen in zukünftigen und z. Zt. in Entwicklung befindlichen rechnergesteuerten Fernsprechnetzen genannt werden. Es kann sich aber auch um Rechnernetze handeln, bei welchen die peripheren Einheiten z.B. Terminals, Hintergrundspeichern oder auch Satellitenrechnern entsprechen können.

2.2 Verkehr

Der Verkehrsfluß in dem Netz wird außer durch die Feinstruktur des Netzes durch den Entstehungsprozeß von Informationen (Anforderungen), den Bedienungsprozeß in den einzelnen Bedienungseinheiten und die Abfertigungsstrategien in den einzelnen Warteschlangen bestimmt. Diese Prozesse bzw. Strategien müssen im Simulationsmodell möglichst genau den tatsächlichen Verhältnissen nachgebildet werden (vgl. /2/).

In dem Netz nach Bild 1 entstehen verschiedene Typen von Anforderungen zufallsmäßig in den peripheren Einheiten. Die Ankunftsabstände zwischen zwei Anforderungen werden durch eine negativ-exponentielle Verteilung beschrieben ("Poisson-Ankünfte"), welche für die meisten in der Praxis auftretenden Fälle eine gute Näherung darstellt (aus Messungen bekannt). Die in der Peripherie entstandenen Anforderungen werden in die Zentraleinheit (Rechner) gebracht, wo sie nach einer evtl. Wartezeit von einer Bedienungseinheit abgearbeitet werden. Die Verarbeitung einer Anforderung in der Bedienungseinheit der Zentraleinheit kann weitere Meldungen an die Peripherie oder an die anderen Zentraleinheiten zur Folge haben, welche ihrerseits wieder weitere Rückmeldungen verursachen können etc. (Folgeinformationen). Durch diese Abhängigkeiten der Informationen voneinander entsteht gewissermaßen ein "rückgekoppelter Informationsfluß" zwischen Zentraleinheit und Peripherie bzw. eine gegenseitige Beeinflussung der Verkehrsflüsse auf den Datenübertragungskanälen.

Die Bedienungseinheit einer Zentraleinheit benötigt zur Verarbeitung der Anforderungen pro Informationstyp ("ursprüngliche Anforderungen" und "Folgeinformationen") eine spezifische, konstante Zeit.

Die Informationsübernahme zwischen den Datenübertragungskanälen bzw. den peripheren Einheiten und den Zentraleinheiten erfolgt in vielen Systemen getaktet, d.h. nur zu bestimmten, festen Zeitpunkten. Es wird also z.B. immer in Taktzeitpunkten von der Zentraleinheit geprüft, ob auf den an sie angeschlossenen Datenübertragungskanälen bzw. in den peripheren Einheiten Anforderungen auf ihre Übernahme in die Zentraleinheit warten. Durch diese Betriebsweise können in den Taktzeitpunkten mehrere Anforderungen gleichzeitig in der Zentraleinheit ankommen (Gruppenankünfte).

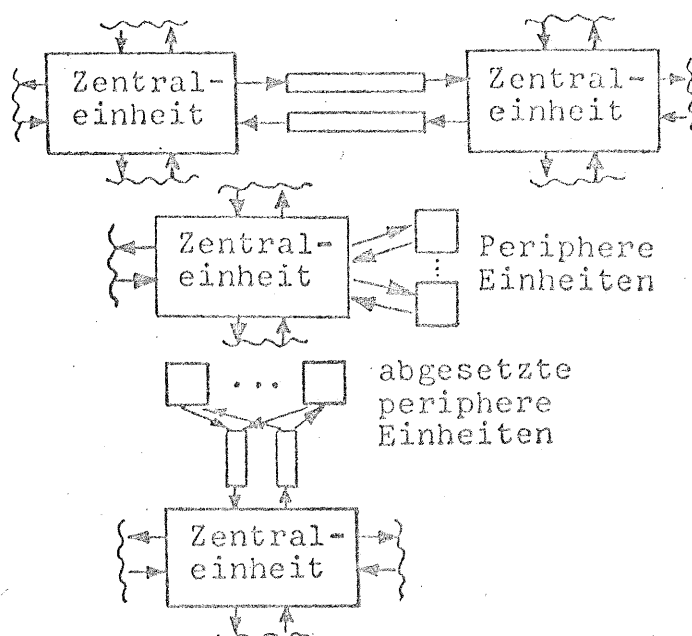
3. Aufgliederung in Teilsysteme

Wie schon in Abschnitt 1 näher erläutert wurde, ist es aus verschiedenen Gründen nicht sinnvoll oder sogar unmöglich, das gesamte Netz als Ganzes zu simulieren. Deshalb ist eine Aufgliederung in Teilsysteme erforderlich, für welche jeweils ein eigenes Simulationsmodell bzw. -programm erstellt wird.

Bei der Aufgliederung in Teilsysteme sollte darauf geachtet werden, daß die einzelnen Teilsysteme so weit wie möglich in sich geschlossene Systeme darstellen, d.h., daß sie möglichst wenig Schnittstellen zu anderen Teilsystemen besitzen. Dadurch wird i.a. gewährleistet, daß ein einzelnes Teilsystem von möglichst wenig Parametern der anderen Teilsysteme abhängig ist.

Bei der Netzstruktur nach Bild 1 und dem in Abschnitt 2.2 beschriebenen Datenverkehr bietet sich deshalb die Einteilung in drei Teilmodelle an, nämlich (vgl. auch Bild 1):

- 1) Datenverkehr zwischen zwei Zentraleinheiten
- 2) Datenverkehr zwischen einer Zentraleinheit und direkt angeschlossenen peripheren Einheiten
- 3) Datenverkehr zwischen einer Zentraleinheit und über Datenübertragungskanäle angeschlossene periphere Einheiten (abgesetzte periphere Einheiten)



Bei jedem dieser Teilmodelle liegt die Schnittstelle zu den anderen Teilmodellen bei der Zentraleinheit (vgl. auch Abschnitt 4). Der von den nicht im Detail mitsimulierten Teilen des Netzes, d.h. von den anderen Teilmodellen, an dieser Schnittstelle ankommende Verkehrsfluß muß durch einen "Ersatzankunftsprozeß" nachgebildet werden, welcher möglichst genau der Wirklichkeit entspricht. Dabei ist von besonderem Interesse, wie sich Vereinfachungen des Ersatzankunftsprozesses (wie z.B. Vernachlässigung der Korrelation der Folgeinformationen) auf die charakteristischen Verkehrsgrößen des Teilmodells auswirken. Für das 1. Teilmodell "Datenverkehr zwischen zwei Zentraleinheiten" wird in Abschnitt 4 am Beispiel der Schnittstelle zwischen Zentraleinheit und Peripherie gezeigt, wie durch systematische Untersuchungen ein geeigneter Ersatzankunftsprozeß gefunden wurde.

Die Simulationsergebnisse aller Teilsysteme müssen schließlich noch auf gegenseitige Übereinstimmung kontrolliert werden. Bei den oben erläuterten Teilmodellen ist z.B. eine von mehreren Möglichkeiten der Kontrolle dadurch gegeben, daß eine Zentraleinheit in allen Teilmodellen enthalten ist. Setzt man nun für alle 3 Teilmodelle gleiches Gesamtverkehrsaufkommen voraus, so muß sich bei allen 3 Modellen für die Wartespeicherbelastung, mittlere Wartezeit etc. in der Zentraleinheit ein vergleichbarer Wert ergeben. Andernfalls müssen die Teilmodelle einer Modifikation unterzogen werden.

Aus den Simulationsergebnissen aller Teilsysteme lassen sich dann Schlüsse auf das Gesamtsystem ziehen (wobei allerdings die Abhängigkeit der einzelnen Teilsysteme voneinander nicht außer Acht gelassen werden darf !).

4. Beispiel für die Nachbildung des Verkehrsflusses an einer Schnittstelle eines Teilsystems

In diesem Abschnitt soll für das Teilmodell "Datenverkehr zwischen zwei Zentraleinheiten" am Beispiel der Schnittstelle zwischen Zentraleinheit und Peripherie gezeigt werden, wie ein geeigneter Ersatzankunftsprozeß gefunden wurde (vgl. Bild 2).

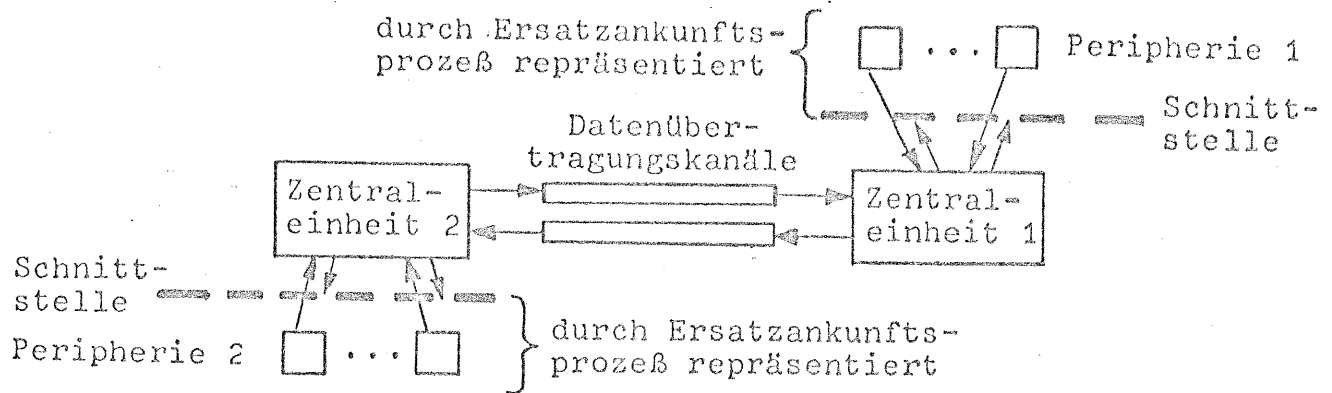


Bild 2: Teilmodell "Datenverkehr zwischen zwei Zentraleinheiten"

Im folgenden wird nun mit Hilfe schrittweise vereinfachter Modelle untersucht, wie der Ersatzankunftsprozeß (vgl. Bild 2) gewählt werden muß, welcher den von der Peripherie kommenden Verkehrsfluß repräsentieren soll. Dabei wird von der Zielvorstellung ausgegangen, den Ersatzprozeß simulationstechnisch möglichst einfach realisieren zu können, andererseits aber dadurch den Verkehrsfluß zwischen den Zentraleinheiten nicht zu verfälschen.

4.1 Ausführliches Schnittstellenmodell (Modell 1)

Um den Einfluß der Vereinfachungen des Ersatzankunftsprozesses von der Peripherie auf die Wartezeiten in der Zentraleinheit zu untersuchen, ist es zunächst einmal nötig, als Ausgangspunkt ein Modell für den Datenverkehr zwischen Peripherie und Zentraleinheit aufzustellen und zu simulieren. Bild 3 zeigt ein Beispiel für ein solches Modell.

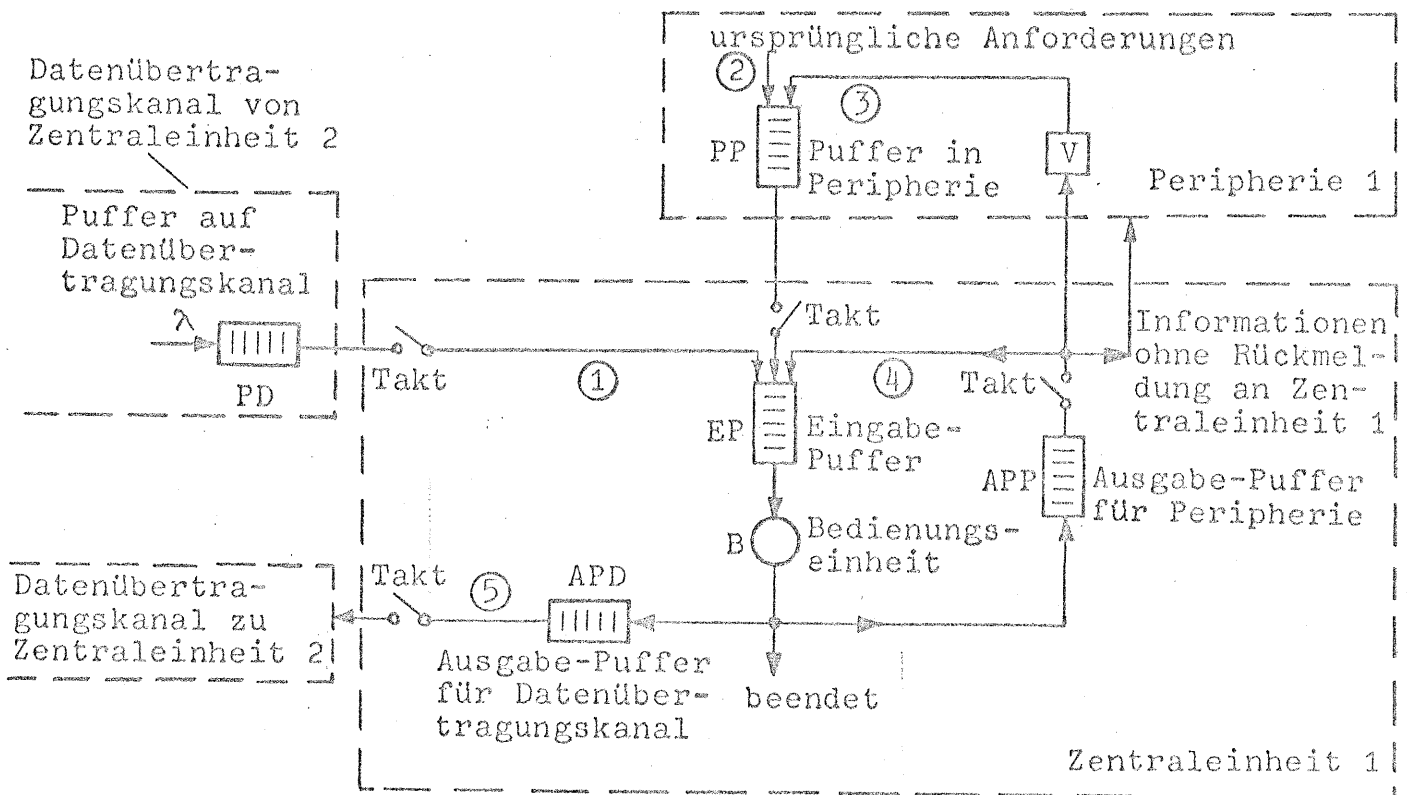


Bild 3: Modell für Datenverkehr zwischen Zentraleinheit und Peripherie (Modell 1). Der taktmäßige Austausch der Informationen zwischen Datenübertragungskanal bzw. Peripherie und Zentraleinheit ist durch die mit "Takt" bezeichneten Schalter dargestellt. Pro Takt wird aus jedem Puffer maximal 1 Anforderung entnommen.

In der Peripherie 1 entstehen Anforderungen (ursprüngliche Anforderungen ② in Bild 3) mit negativ exponentiell verteilten Ankunftsabständen, welche im PP (vgl. Bild 3) bis zu ihrer Abholung durch den Takt warten müssen. Nach ihrer Übernahme in den EP der Zentraleinheit 1 werden sie nach einer evtl. Wartezeit von der Bedienungseinheit B bearbeitet. Hat die Verarbeitung der Anforderung eine Folgeinformation an die Zentraleinheit 2 zur Folge, so wird diese anschließend in den APD eingeschrieben. Entsprechendes geschieht mit einer Folgeinformation an die Peripherie 1, welche in den APP eingeschrieben wird. Schließlich kann es auch vorkommen, daß die verarbeitete Anforderung keine weitere Folgeinformation verursacht. Diese 3 verschiedenen Möglichkeiten sind in Bild 3 durch die Verzweigung unterhalb der Bedienungseinheit angedeutet. Eine ähnliche Verzweigungsstelle befindet sich auch nach der getakteten Entnahme der Informationen aus dem APP. Entweder haben aus dem APP entnommene Informationen keine Rückmeldung mehr an die Zentraleinheit zur Folge, oder sie haben eine direkte Rückmeldung zur Folge, welche in den EP geschrieben wird (z.B. Quittungen, daß bestimmte Informationen die Zentraleinheit verlassen haben) oder aber sie haben erst nach einer bestimmten Verzögerungszeit V in der Peripherie eine Rückmeldung zur Folge, welche in den PP eingeschrieben wird. Damit ist ein rückgekoppeltes Wartesystem entstanden, welches die zeitliche Korrelation der einzelnen Folgeinformationen sowie die taktmäßige Übernahme der Informationen aus der Peripherie berücksichtigt.

Es ist noch zu erwähnen, daß in Bild 3 nur prinzipiell die möglichen Wege des Verkehrsflusses eingezeichnet sind. Bei der Simulation wurde wesentlich detaillierter zwischen verschiedenen Informationstypen unterschieden (bis zu 13 Typen) und deren Weg durch das Modell 1 eindeutig festgelegt.

Wie aus Bild 3 ersichtlich ist, werden alle an der Zentraleinheit 1 eintreffenden Informationen in dem gemeinsamen EP zwischengespeichert und von einer einzigen Bedienungseinheit B nacheinander abgearbeitet. Das bedeutet, daß der interessierende Verkehrsfluß ① von Zentraleinheit 2 zur Zentraleinheit 1 bzw. der Verkehrsfluß ⑤ von Zentraleinheit 1 zur Zentraleinheit 2 durch die Verkehrsflüsse ②, ③ und ④ in der Zentraleinheit 1 beeinflusst wird. So hängen z.B. die Wartezeiten der Informationen des Verkehrsflusses ① im EP u.a. vom Ankunftsprozeß und den Bedienungszeiten der Informationen der Verkehrsflüsse ②, ③ und ④ ab. Als e i n B e w e r t u n g s k r i t e r i u m für die Güte eines Ersatzankunftsprozesses, welcher die Verkehrsflüsse ②, ③ und ④ repräsentieren sollte, wurde deshalb die m i t t l e r e W a r t e z e i t von Informationen im EP gewählt. Um die prinzipiellen Einflüsse eines Ersatzankunftsprozesses auf die mittlere Wartezeit im EP zu untersuchen, ist es nicht unbedingt nötig, den exakten Ankunftsprozeß am PD der von der Zentraleinheit 2 kommenden Informationen zu verwenden. Deshalb wurde der Einfachheit halber für diesen Ankunftsprozeß am PD ein Poisson-Ankunftsprozeß mit der Ankunftsrate λ (Ankünfte pro Zeiteinheit) angenommen.

Im Hinblick auf den vorgesehenen Ersatzankunftsprozeß am EP für die Verkehrsflüsse ②, ③ und ④ wurde bei der Simulation des Modells 1 insbesondere die mittlere Wartezeit w der Informationen im EP der Zentraleinheit (vgl. Bild 7, Kurve 1) sowie die Verteilung der Ankunftsabstände der aus den Verkehrsflüssen ②, ③ und ④ am EP eintreffenden Informationen (vgl. durchgezogene Linie in Bild 4) gemessen.

Bei der Messung der Ankunftsabstandsverteilung zeigte sich, daß die Meßpunkte bei ganzzahligen Vielfachen der Taktzeit (vgl. Kreuze in Bild 4) in halblogarithmischer Darstellung in sehr guter Näherung durch eine Gerade verbunden werden können (vgl. gestrichelte Gerade in Bild 4).

Deshalb wurden in erster Näherung anstelle der getakteten Ankünfte die betrachteten Ankunftsabstände als unabhängig voneinander und negativ exponentiell verteilt angesehen. Dadurch entstand das in Abschnitt 4.2 beschriebene, stark vereinfachte Modell.

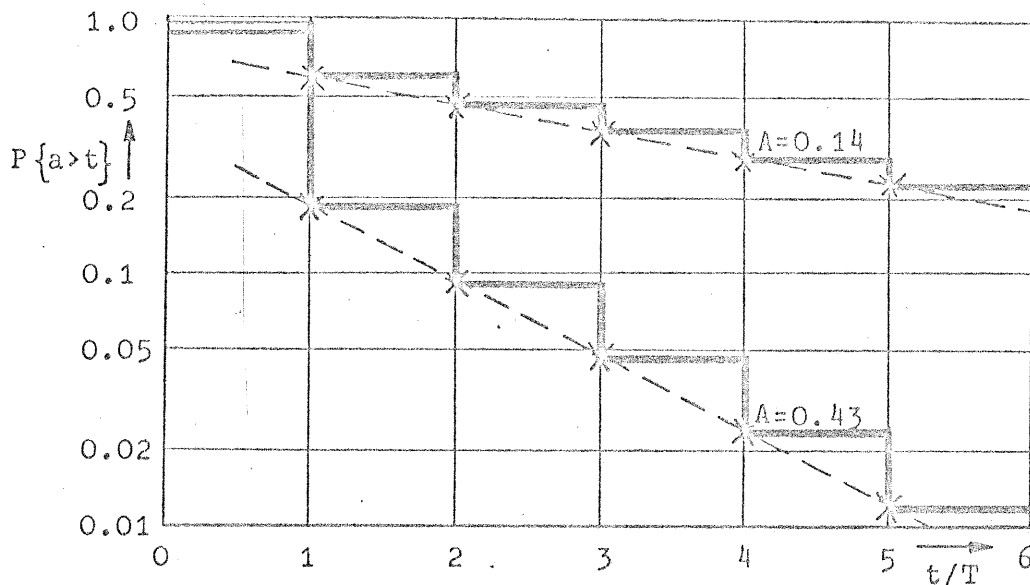


Bild 4: Meßwerte der Ankunftsabstandsverteilung $P\{a > t\}$ der Informationen aus den Verkehrsflüssen ②, ③ und ④ am EP im Modell 1 (vgl. Bild 3). Taktzeit $T=5$ Zeiteinheiten. Parameter $A = \text{Angebot an Bedienungseinheit} = \sum \lambda_i \cdot h_i$ Erlang, wobei λ_i = Ankunftsrate von Informationstyp i , h_i = Bedienungsdauer von Informationstyp i .

4.2 Stark vereinfachtes Modell (Modell 2)

In dem stark vereinfachten Modell nach Bild 5 (Modell 2) wird die gesamte in Bild 3 eingezeichnete Rückkopplung weggelassen und der von den Verkehrsflüssen ②, ③ und ④ herrührende Ankunftsprozeß am EP durch einen Poisson-Ankunftsprozeß mit gleicher Ankunftsrate ersetzt (vgl. Ende von Abschnitt 4.1). Somit ist die taktmäßige Informationsübernahme vom PP und APP in den EP vernachlässigt. Für die Informationen des Ersatzankunftsprozesses wird bei der Übernahme vom EP in die Bedienungseinheit mittels einer Zufallszahl entschieden, um welchen Informationstyp es sich handeln soll. Damit ist die zeitliche Korrelation der Folgeinformationen vernachlässigt.

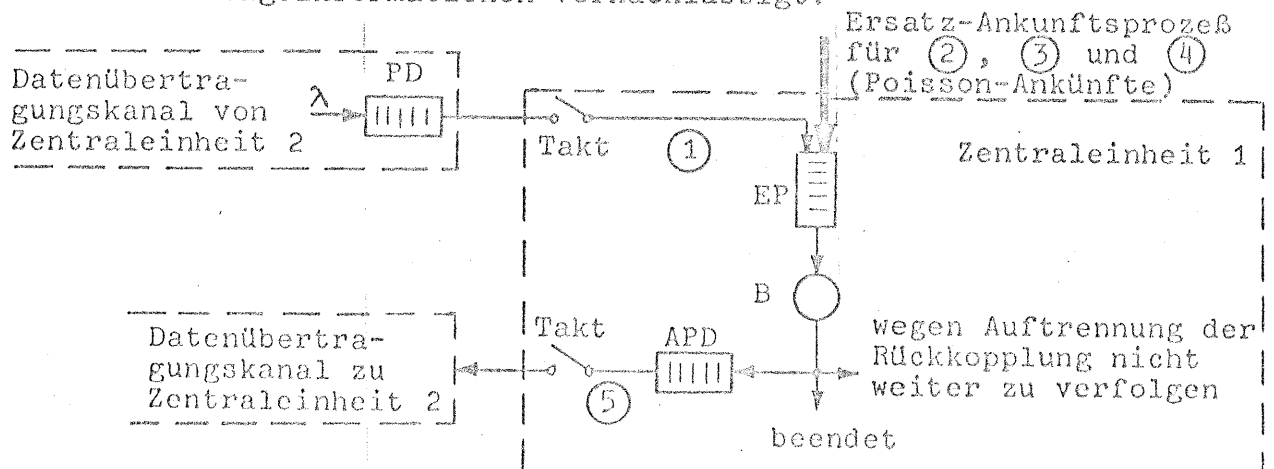


Bild 5: Stark vereinfachtes Modell für den Datenverkehr zwischen Zentraleinheit und Peripherie (Modell 2). Abkürzgn. s. Bild 3.

Ein Vergleich der Simulationsergebnisse für die mittlere Wartezeit w im EP des Modells 1 und des Modells 2 ergab, daß die Näherung mit Modell 2 gegenüber dem Modell 1 nur sehr grobe und z.T. unbefriedigende Ergebnisse lieferte (vgl. Bild 7, Kurve 2). Es mußte also nach einer besseren Näherung als einem Poisson-Ankunftsprozeß gesucht werden. Die ermittelte, bessere Näherung wird im nächsten Abschnitt 4.3 erläutert.

4.3 Verbessertes, vereinfachtes Modell (Modell 3)

Bei dem verbesserten, vereinfachten Modell (Modell 3) wurde die Struktur des Modells 2 beibehalten (vgl. Bild 5) und auch die zeitliche Korrelation der Folgeinformationen innerhalb des Ersatz-Ankunftsprozesses vernachlässigt. Allerdings wurde nun für den Ersatz-Ankunftsprozeß die getaktete Übernahme in den EP berücksichtigt.

Die im Modell 1 gemessene Verteilung der Ankunftsabstände ist eine Treppenfunktion, deren Eckpunkte bei ganzzahligen Vielfachen der Takt-dauer in halblogarithmischer Darstellung näherungsweise auf einer Geraden liegen (vgl. durchgezogene Linie in Bild 4). Die Treppenfunktion kommt durch den Takt zustande, da ja immer nur zu Taktzeitpunkten Informationen am Eingabe-Puffer ankommen können und dadurch die Ankunftsabstände nur diskrete Werte, nämlich ganzzahlige Vielfache der Takt-dauer, annehmen können. Bemerkenswert ist außerdem, daß die Wahrscheinlichkeit für einen Ankunftsabstand >0 nicht 1, sondern <1 ist! Die Ursache dafür ist, daß pro Takt mehrere Informationen in den Eingabe-Puffer übernommen werden können (Gruppenankünfte).

Für die Verteilung der Ankunftsabstände des Ersatz-Ankunftsprozesses wurde deshalb anstelle des Poisson-Prozesses in Bild 4 eine Treppenfunktion verwendet. Die Realisierung dieser Treppenfunktion im Simulationsprogramm wäre prinzipiell durch die Angabe einer Zuordnungstafel möglich, welche eine gleichverteilte Zufallsvariable in eine beliebig verteilte andere Zufallsvariable transformieren könnte. Die Anwendung dieser Möglichkeit erschien aber aus folgenden 2 Gründen nicht besonders geeignet:

- 1) Bei jeder Bestimmung eines Ankunftsabstandes hätte ein Zugriff zu der Zuordnungstafel erfolgen müssen. Da ein solcher Zugriff aber relativ viel Rechenzeit in Anspruch nimmt, wäre die Laufzeit des gesamten Simulationsprogrammes erheblich vergrößert worden.
- 2) Um überhaupt eine Zuordnungstafel eingeben zu können, wären pro Belastungsfall für das System eine große Menge von Wertepaaren (Ankunftsabst./Wahrsch.) für die Treppenfunktion nötig gewesen. Die Schwierigkeit hätte nun darin bestanden, überhaupt zu geeigneten Zahlenwerten für diese Wertepaare zu kommen.

Deshalb wurde angestrebt, die Treppenverteilung simulationstechnisch ähnlich einfach zu erzeugen wie die negativ exponentielle Verteilung. Aus diesen Überlegungen heraus entstand die folgende Näherung:

Wie schon oben erwähnt, liegen die unteren Eckpunkte der Treppenfunktion bei halblogarithmischer Darstellung näherungsweise auf einer Geraden. Deshalb wird als "untere Berandungskurve" der Treppenfunktion eine Exponentialfunktion angenommen. Diese Exponentialfunktion wird aber bei $t=0$ nicht durch 1, sondern durch $q < 1$ gelegt, um die Gruppenankünfte zu berücksichtigen (vgl. Bild 6).

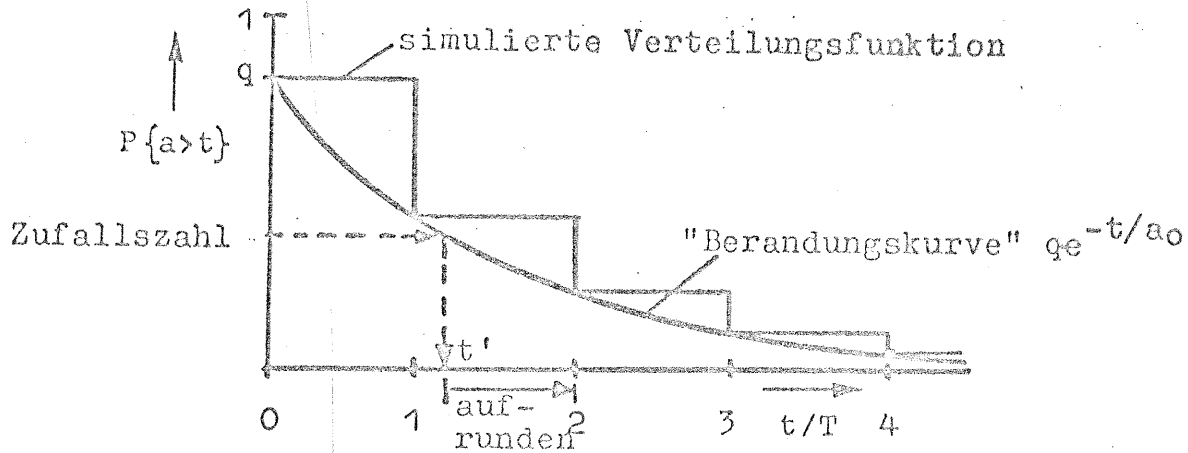


Bild 6: Simulierte Verteilungsfunktion $P\{a>t\}$ der Ankunftsabstände des Ersatz-Ankunftsprozesses

Die Bestimmung des momentanen Ankunftsabstandes erfolgt nun derart, daß man von einer zwischen 0 und 1 gleichverteilten Zufallszahl ausgeht. Liegt diese Zufallszahl zwischen q und 1 (vgl. Bild 6), so wird der momentane Ankunftsabstand gleich 0 gesetzt (d.h. Gruppenankunft findet statt). Liegt die Zufallszahl zwischen 0 und q , so wird entsprechend wie bei einem Poissonangebot rechnerisch eine zugehörige Zeit t' ermittelt, hier allerdings mittels der Berandungskurve $q \cdot e^{-t/a_0}$ (vgl. gestrichelte Pfeile in Bild 6). Der so gefundene Wert t' wird auf das nächste ganzzahlige Vielfache der Taktzeit aufgerundet und als momentaner Ankunftsabstand verwendet. Dadurch ist die Treppenfunktion simulationstechnisch ähnlich einfach verwirklicht wie beim Poisson-Angebot.

Die Frage ist nun nur noch, wie bei einem gegebenen Belastungsfall die Werte q und a_0 der Berandungskurve gewählt werden. Dazu können die folgenden Betrachtungen durchgeführt werden:

Der tatsächliche mittlere Ankunftsabstand a_m der Informationen muß durch die Treppenfunktion in Bild 6 erzeugt werden. Dieser tatsächliche mittlere Ankunftsabstand a_m läßt sich aber auch formal aus der Berandungskurve berechnen. Er ist:

$$a_m = q \cdot \frac{T}{1 - e^{-T/a_0}}, \text{ wobei } T = \text{Taktzeit.} \quad (1)$$

Gibt man den tatsächlichen Mittelwert a_m der Ankunftsabstände vor, so ergibt sich der Wert a_0 für die Berandungskurve aus Gleichung (1) zu:

$$a_0 = \frac{-T}{\ln(1 - q \cdot \frac{T}{a_m})} \quad (2)$$

Zum Vergleich der Ergebnisse des Modells 1 und des oben beschriebenen Modells 3 wurde nun noch pro Belastungsfall der Wert von q jeweils den Meßergebnissen des Modells 1 entnommen (Wahrsch. für einen Ankunftsabstand >0). Es zeigte sich dabei, daß die Ergebnisse des vereinfachten Modells 3 sehr gut mit den Ergebnissen des ausführlichen Modells 1 übereinstimmen (vgl. Bild 7, Kurve 3). Das bedeutet, daß die zeitliche Korrelation zwischen den Ankünften der Folgeinformationen (welche beim vereinfachten Modell ja nicht berücksichtigt war) von vernachlässigbarem Einfluß auf die Ergebnisse ist. Der Haupteinfluß kommt von dem

getakteten Ankunftsprozeß und den dadurch verursachten Gruppenankünften. Dies zeigte sich auch darin, daß die Ergebnisse des Modells 3 stark von dem gewählten Wert von q abhängen. Es sei noch bemerkt, daß für einen vorgegebenen Wert a_m aus Gleichung (2) die Forderung $q < a_m/T$ folgt.

Der oben beschriebene Ersatzankunftsprozeß kann nun in dem Teilmodell "Datenverkehr zwischen zwei Zentraleinheiten" (vgl. Bild 2) eingesetzt werden, indem er dort den Verkehrsfluß von der Peripherie zur Zentraleinheit wirklichkeitstreu ersetzt. Dabei sind pro Belastungsfall für den Ersatz-Ankunftsprozeß nur 2 Parameter nötig, nämlich der tatsächliche mittlere Ankunftsabstand a_m und der Wert q . Der Wert a_0 für die Berandungskurve der Treppenfunktion wird dann nach Gleichung (2) innerhalb des Simulationsprogrammes selbst ausgerechnet.

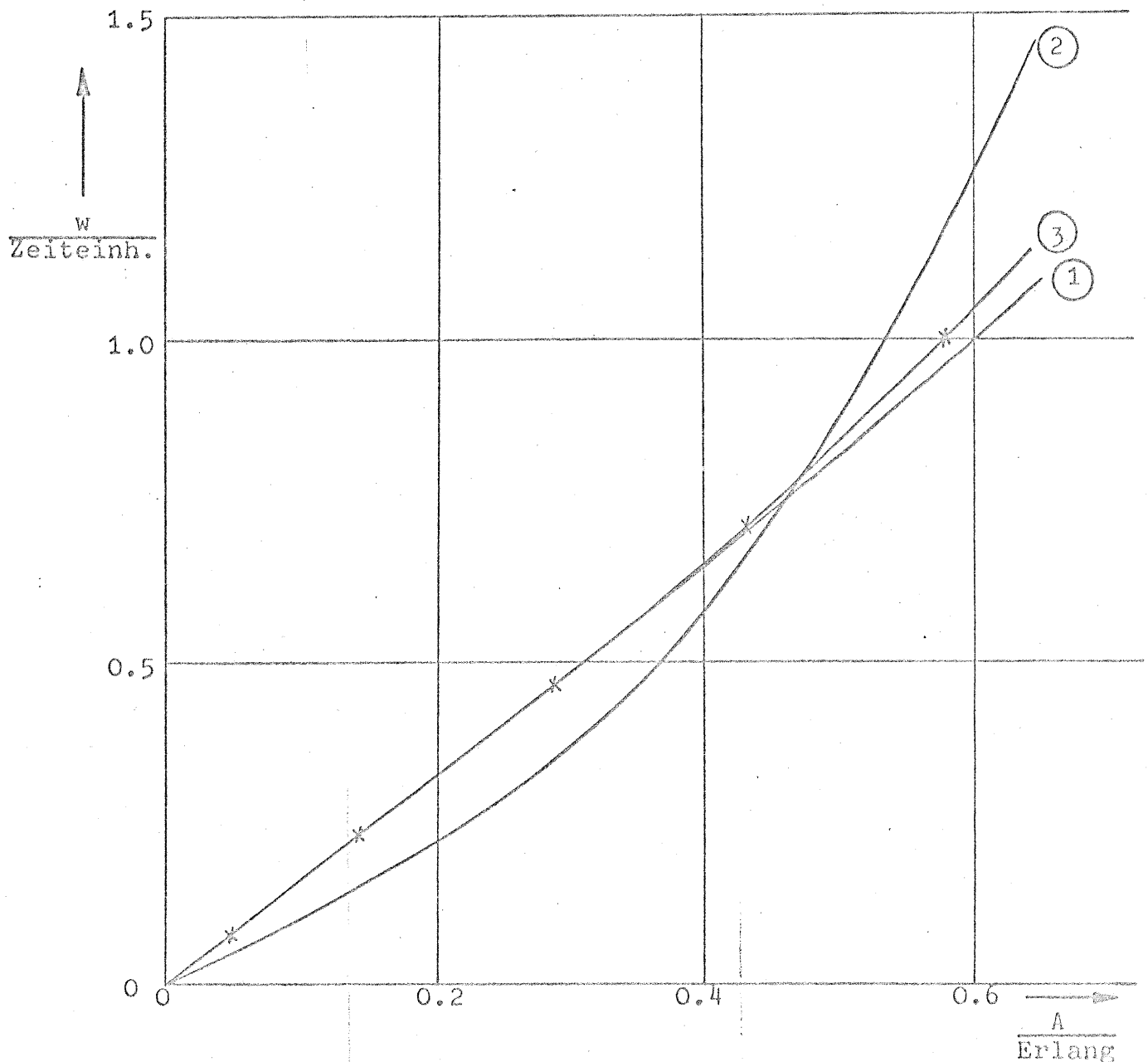


Bild 7: Mittlere Wartezeit w aller Informationen im EP als Funktion des Angebots A an die Bedienungseinheit. Bedienungsdauer aller Informationstypen einheitlich $h = 2$ Zeiteinheiten. Taktzeit $T = 5$ Zeiteinheiten

- ① : Modell 1 (Abschnitt 4.1)
- ② : Modell 2 (Abschnitt 4.2)
- ③ : Modell 3 (Abschnitt 4.3)

5. Zusammenfassung und Ausblick

In dem vorliegenden Bericht wurden einige prinzipielle Überlegungen zur Simulation von Rechnernetzen mit getakteter Informationsübernahme geschildert. Ziel der in SIMSCRIPT (vgl. /1/,/2/) durchgeführten Simulation war es, den Verkehrsfluß in den Netzen zu analysieren (Bestimmung von Wartespeicherbelastungen, Wartezeiten etc.) und Engpässe aufzudecken.

Wegen der Komplexität des betrachteten Netzes sowie einer besseren Übersichtlichkeit der Simulationsprogramme war es nötig, das Gesamtsystem in einzelne Teilmodelle aufzugliedern. Durch die Aufteilung in Teilmodelle ergaben sich Schnittstellenprobleme, insbesondere bezüglich der an diesen Schnittstellen auftretenden Verkehrsflüsse. Am Beispiel einer Schnittstelle eines Teilmodells wurde gezeigt, wie wichtig die Annahme geeigneter (einfacher, aber genauer) Ersatzankunftsprozesse von nicht im Detail mitsimulierten Teilen des Netzes für die Simulation ist. Dabei wurde mit Hilfe schrittweise vereinfachter Modelle ein Ersatzankunftsprozeß gefunden, welcher einerseits simulationstechnisch sehr einfach zu realisieren ist, der andererseits aber die realen Verhältnisse sehr wirklichkeitstreu nachbildet.

Es wäre zusätzlich noch zu bemerken, daß die gewonnenen Simulationsergebnisse auch noch dazu verwendet wurden, parallel durchgeführte analytische Näherungsrechnungen für den Verkehrsfluß auf ihre Genauigkeit und Gültigkeit hin zu prüfen.

Weiterführende Untersuchungen, welche z.Zt noch im Gange sind, befassen sich insbesondere mit dem Problem der "Verwaltungszeiten" in den Zentraleinheiten. Dabei wird wieder mit Hilfe der Simulation analysiert, wie sich Verwaltungszeiten (z.B. Eingabe/Ausgabe-Verwaltungszeiten in den Taktzeitpunkten) auf den Verkehrsfluß auswirken.

Literatur:

- | | |
|--|--|
| /1/ Kampe, G.: | Simscrip.
Vieweg-Verlag, Braunschweig, 1971. |
| /2/ Kampe, G.;
Kühn, P.,
Langenbach-Belz, M. | Simulation in der Nachrichtenverkehrstheorie:
Problemstellungen und Programmiersprachen.
Workshop über Methodik der rechnergestützten
Simulation, 10.5.-11.5.73, Karlsruhe. |
| /3/ Huber, M.,
Wagner, W.: | Simulation von Nachrichtenvermittlungssystemen.
aus: Nicht-numerische Informationsverarbeitung,
Herausgeber: R. Gunzenhäuser, Springer-
Verlag, Wien-New York, 1968. |
| /4/ Wagner, H.,
Dietrich, G.: | Bestimmung der Verkehrsleistung von Wartesystemen durch künstlichen Fernspreverkehr.
NTZ, 17 (1964) 6, S. 273-279. |
| /5/ Kümmerle, K.: | Ein Vorschlag zur Berechnung der Vertrauensintervalle bei Verkehrstests.
A.E.Ü., 23 (1969) 10, S. 507-511. |

Anmerkung:

Den Herren Dipl.-Ing. Otto Neff und Dipl.-Ing. Gebhard Thierer sei an dieser Stelle ein besonderer Dank ausgesprochen, da sie im Rahmen ihrer Diplomarbeiten aktiv an den im vorliegenden Bericht geschilderten Untersuchungen mitgearbeitet haben.