

Nachrichtenverkehrstheorie

Bericht über den 6. International Teletraffic Congress, München 1970

Vom 9. bis 15. September 1970 fand in München der 6. International Teletraffic Congress (6. ITC) statt. Rund 300 Wissenschaftler aus 29 Ländern nahmen teil; in 19 Sitzungen wurden 106 wissenschaftliche Arbeiten vorgelesen bzw. diskutiert. Dieser Kongreß wies einige erwähnenswerte organisatorische Besonderheiten auf: Alle Teilnehmer erhielten 6 Wochen vor Beginn des Kongresses das Kongreß-Buch mit sämtlichen Arbeiten zugesandt, konnten sich also auf die Diskussion vorbereiten. Beim Kongreß selbst wurde auf Parallel-Sitzungen verzichtet; etwa 60% der Arbeiten wurde in Kurzreferaten vorgetragen, der Rest nur diskutiert. Dazu fand zum Abschluß jeder Sitzung eine „panel discussion“ statt, sie wurde von „Speakern“ eingeführt und geleitet. Bei ihrer Einführung berücksichtigten die Speaker besonders die nicht vorgetragenen Arbeiten. Es ergaben sich sehr interessante und qualifizierte Diskussionen.

Es wurden die nachfolgenden Themenkreise behandelt.

1. Modellbildung und Berücksichtigung des Teilnehmerverhaltens

In der Nachrichtenverkehrstheorie wird oft angenommen, daß sowohl Anrufabstände als auch Belegungsdauern negativ exponentiell verteilt sind. Für die Praxis ist es jedoch sehr wichtig, die Gültigkeit dieser Annahme zu prüfen, damit z. B. bei der Bemessung von Bündeln die vorgeschriebene Verkehrsgüte tatsächlich eingehalten wird. Mehrere Arbeiten beschäftigten sich mit diesem Problemkreis: Anhand zahlreicher Messungen im öffentlichen Fernsprechnetz zeigten W. S. Hayward, jr. und R. I. Wilkinson (USA) (invited paper), daß die Belegungsdauerverteilung in guter Näherung als negativ exponentiell betrachtet werden kann. Es ließ sich aber feststellen, daß die Anrufabstände nicht ohne weiteres als negativ exponentiell verteilt annehmbar sind. Sie diskutierten ferner Fragen wie Spitzigkeit des Verkehrs, Tag-zu-Tag-Änderung des Angebots, wiederholte Versuche bei erfolglosen Anrufen usw. Während V. B. Iversen und J. Nygaard (Dänemark) aufgrund von Messungen in einer Fernsprech-Durchgangsvermittlungsstelle zu dem Schluß kamen, daß die Poisson-Verteilung den Anrufprozeß genügend genau beschreibt, erklärte R. R. Mina (USA), daß der Anrufprozeß besser durch eine Binomialverteilung angenähert werden sollte. K. Rahko (Finnland) kam aufgrund von Messungen im Telephon-, Daten- und Telexnetz zu dem Ergebnis, daß die Gleichzeitigkeitsverteilung der Belegungen eines Bündels über den ganzen Tag gut durch die Weibull-Verteilung beschrieben werden kann.

G. Bretschneider (BRD) sowie G. L. Jonin und J. J. Sedol (UdSSR) untersuchten ein vollkommen erreichbares Bündel mit wiederholten Anrufen unter verschiedenen Modellvorstellungen zur Beschreibung der wiederholten Anrufe. Dabei wurden sowohl der originale als auch der wiederholte Anrufprozeß als Poisson-Prozeß angenommen. Es wurden lineare Gleichungssysteme aufgestellt und mit Hilfe des Rechners numerisch gelöst. Ein vollkommenes Bündel mit endlicher Quellenzahl bei wiederholten Anrufen wurde von J. W. Fidlin (UdSSR) behandelt. Die Arbeiten von P. le Gall (Frankreich) und M. Schneps-Schneppe (UdSSR) untersuchten den Einfluß der wiederholten Anrufe im Netz. Le Gall betrachtete eine beliebige Netzstruktur, beliebige Belegungsdauerverteilung und beliebige Wiederholrate. Die Ergebnisse des Näherungsverfahrens wurden mit Simulationsergebnissen verglichen. M. Schneps-Schneppe berechnete näherungsweise die zusätzliche Belastung im Netz durch wiederholte Anrufe und beschäftigte sich auch mit der

Bemessung eines vollkommen erreichbaren Bündels mit Poisson-Input bei wiederholten Anrufen mittels eines sehr vereinfachten Modells eines reinen Wartesystems.

2. Wirtschaftliche Gesichtspunkte

Als Einleitung (invited paper) gab C. Jacobaeus (Schweden) eine Übersicht über die Anwendung der Verkehrstheorie in der Industrie und den Verwaltungen. Anhand von Beispielen (vollkommen erreichbare Bündel, Mischungen, Linksysteme, Wartesysteme, Datennetze usw.) wies er darauf hin, wie wichtig für wirtschaftlich optimale Lösungen eine sinnvolle Zusammenarbeit zwischen Theorie und Praxis ist. Als zukünftige Probleme nannte er u. a. programmgesteuerte Vermittlungen und unterschiedliche Hauptverkehrsstunden in großen Netzen.

Dieses Problem unterschiedlicher Hauptverkehrsstunden wurde in drei Arbeiten besonders behandelt. Y. Rapp (Schweden) beschrieb eine Näherungslösung zur optimalen Dimensionierung von einstufigen Überlaufsystemen in großen Netzen. Hierbei ersetzte er den zeitabhängigen Verkehr durch einen fiktiven zeitunabhängigen Verkehr. A. D. Kharkevich (UdSSR) entwickelte Netzstrukturen, bei denen Teile der Bündel automatisch, entsprechend den jeweiligen Verkehrssituationen, anderen Verkehrsbeziehungen zugeschaltet werden können. J. Casey und N. Shimasaki (USA) berichteten über eine kostenminimale Dimensionierung eines Fernmeldesatellitennetzes unter Verwendung der bei alternativer Leitweglenkung angewandten Konzepte.

D. Breary (England) beschrieb ein selbstoptimierendes Netzwerkmodell zur Langzeitplanung des Fernsprechnetzwerkes des United Kingdom. Damit können u. a. die vielfältigen Veränderungen untersucht werden, die sich durch technologische Fortschritte, neue Teilnehmerdienste usw. ergeben. G. Wikell (Schweden) berichtete über Näherungsverfahren zur Berechnung der Größe von Handvermittlungen (z. B. Zahl der Operateure). Die Qualität des Fernsprechnetzes versuchten P. de Ferra und G. Masetti (Italien) numerisch in Abhängigkeit von der öffentlichen Meinung über die Bedienungsgüte zu bestimmen und davon ausgehend zu einer Optimierung eines Fernsprechnetzes zu gelangen. I. Cappetti (Italien) berichtete über die Möglichkeiten, die sich durch die Einführung dezentraler Wahlstufen in einem großen Fernsprechnetz ergeben.

3. Neue Methoden

Neben Lösungsverfahren oder -ansätzen wurden hier auch neue exakte Lösungen von Teilproblemen behandelt. B. W. Gnedenko (UdSSR) gab eine Übersicht (invited paper) über einige ungelöste Probleme der Massenbedienungstheorie, wie z. B. die Behandlung von Systemen mit korrelierten oder zeitabhängigen Angeboten. Eine allgemeinere Beschreibung von Problemen der Verkehrstheorie und des Operations Research und deren Lösungen versuchte R. M. Fortet (Frankreich) durch die Definition von „Mutationsprozessen“ einzuführen. Man betrachtet dabei Quellen, die sich in mehreren Zuständen befinden können (z. B. belegt, frei, wartend). Durch diese Betrachtung ist eine einheitliche Behandlung vieler Probleme (z. B. mit und ohne Warten) möglich. Unendliche Markoff-Ketten behandelte L. E. N. Delbrouck (Kanada). Er zeigte, wie man für praktische Realisationen näherungsweise die unendliche Anzahl von Zuständen durch eine entsprechende endliche Anzahl ersetzen kann und brauchbare Verfahren zur Berechnung der Zustandswahrscheinlichkeiten gewinnt. E. Gatos und F. Kaiser (BRD) befaßten sich mit der Potenzierung der Matrix der

Übergangswahrscheinlichkeiten diskreter Markoff-Prozesse.

B. T. Guseinov (UdSSR) beschäftigte sich mit der Erweiterung eines Theorems von Kovalenko. Darin zeigte er die Bedingungen auf, unter denen die Zustandswahrscheinlichkeiten eines Systems unabhängig von der Bedienungsdauer-Verteilung sind, wobei gleichzeitig die Bedienungsrate abhängig von der Anzahl evtl. unbrauchbarer Bedienungselemente sein kann. V. E. Beneš (USA) befaßte sich mit Netzwerken, in welchen bestehende Gespräche innerhalb des Netzes umgeordnet werden, damit weitere Rufe aufgenommen werden können (Rearrangement). Er gab Lösungen für Verlust und Belastung spezieller mehrstufiger Koppelanordnungen an. Verlustsysteme, in denen bestehende Belegungen durch Rufe höherer Priorität unterbrochen werden können, behandelte L. Katzschner (BRD). Er gab für ein System mit beliebig vielen Prioritätsklassen deren Verluste, die Unterbrechungswahrscheinlichkeiten und die Verteilungsfunktionen der Belegungsdauern je Klasse an.

4. Verkehrsmessung, Planung und Vorhersage

In die Probleme der Fernsprechverkehrs *praxis* führte R. I. Wilkinson (USA) ein, der theoretische Überlegungen und Simulationsergebnisse mit durchgeführten umfangreichen Verkehrsmessungen verglich und auf interessante Abweichungen zwischen Theorie und Messung hinwies. Mit der Vorhersage von Entwicklungstendenzen im Fernsprechverkehr beschäftigten sich vor allem R. B. Leigh (England) und E. Böhm (BRD). R. B. Leigh schilderte das Prognoseverfahren, welches seit 1964 von der englischen Postverwaltung verwendet wird, während E. Böhm eine Methode angab, mit deren Hilfe der zusätzliche Bedarf an Fernsprecheinrichtungen, abhängig vom Einkommen der Haushalte, für die nächsten 20 Jahre abgeschätzt werden kann. Über die Parameter, die bei der Erweiterung einer Ortsvermittlungsstelle von Bedeutung sind, gab C. Mossotto (Italien) Auskunft.

H. A. Longley (England) befaßte sich mit dem Begriff der Dienstgüte (grade-of-service) bei Fernsprecheinrichtungen und mit Einflüssen, denen die Dienstgüte bei zunehmendem Fernsprechverkehr unterliegt.

P. Fleming (USA) stellte eine Meßmethode vor, mit der in einem internationalen Telexnetz Verkehrsdaten für Analysen und Prognosen aufgenommen werden. A. Elldin (Schweden) untersuchte die Frage des optimalen Gebrauchs von Betriebsmeßgeräten in Telephonnetzen. Dabei interessierte er sich besonders für Messungen zum Ermitteln von Daten für die Vorhersage. M. Anderberg und S. Westerberg (Schweden) berichteten über die Ergebnisse von mehrjährigen Messungen an verschiedenen Bündeln derselben Vermittlungsstelle. M. Harva (Finnland) gab eine einfache Schaltung zum Messen der Anzahl gleichzeitig belegter Leitungen in einem Bündel an. E. Wollner (BRD) untersuchte den bei einem bestimmten Gerät zur Messung der Anruf- und Endeereignisse auftretenden Meßfehler. P. Oberto (Italien) ermittelte die Angebotswerte mittels eines Computers aus den Meßwerten und untersuchte den Einfluß von Meßfehlern. J. M. Pillado Ortiz (Spanien) untersuchte den Einfluß, den begrenzte Meßdauern auf die zuverlässige Bestimmung der Betriebsgüte haben.

5. Einstufige Koppelanordnungen

In sechs Arbeiten wurden spezielle Probleme einstufiger Verlustsysteme behandelt: A. Klimontowicz (Polen) untersuchte die Verkehrsgüte vollkommen erreichbarer Bündel, bei denen einzelne Leitungen zufällig ausfallen können. L. A. Joys (Norwegen) verglich eigene Untersuchungen über die Belastung der letzten Leitung eines geordnet abgesuchten Bündels mit bekannten Ergebnissen. J. P. Dartois (Frankreich) berichtete über die Bemessung von Systemen, bei denen Verkehrsquellen unter-

schiedlicher Intensität nach einem bestimmten Prinzip zu Gruppen zusammengefaßt werden. G. Miranda (Italien) beschrieb ein zeitreues Simulationsprogramm bei dem zu Vergleichszwecken verschiedenartigen Mischungen genau derselbe Zufallsverkehr angeboten wird. M. M. Jung (Niederlande) berichtete über ein Näherungsverfahren, das zur Berechnung der Verlustwahrscheinlichkeit das Mischungsverhältnis berücksichtigt. B. S. Livschitz und J. W. Fidlin (UdSSR) berechneten über die Zustandswahrscheinlichkeiten den Verlust eines Systems, bei dem eine endliche Zahl von Quellen jeweils ein oder mehrere Leitungen belegen und zusätzlich noch bestimmte andere Quellen sperren kann.

J. Rubas (Australien) und U. Herzog (BRD) untersuchten das Verkehrsverhalten von Nebenstellenanlagen. Bei der Berechnung wenden sie verschiedene Verfahren an; in beiden Fällen wird aber die gegenseitige Beeinflussung interner und externer Verkehre berücksichtigt.

6. Linksysteme

G. P. Bascharin (UdSSR) (invited paper) stellte die Linksysteme in einen größeren Rahmen und gab einen Überblick über die Beschreibung und Berechnung von Systemen mit und ohne Wartemöglichkeit, mit ein- oder mehrstufigen Koppelanordnungen sowohl für Zufallsverkehr, als auch für Überlaufverkehr. Weiter behandelte er noch einige Probleme wie z. B. die Bestimmung des Streuwerts bei einem Überlauf-Wartesystem mit vollkommenen Bündeln mit endlich großem Wartespeicher; ferner zeigte er für Linksysteme die Abhängigkeit des Verlusts vom Angebot und der Stufenzahl bei einer bestimmten Zahl momentan belegter Abnehmerleitungen auf.

Während J. de Boer (Niederlande) die Linksysteme einer Ortsvermittlungsstelle durch ein kombiniertes Simulations-Berechnungsverfahren dimensionierte, beschäftigten sich die weiteren Arbeiten fast ausschließlich mit approximativen Berechnungsverfahren. O. Pedersen (USA) berichtete über Versuche zur Berechnung der effektiven Erreichbarkeit. W. Lörcher (BRD) gab ein neues Verfahren zur exakten Verlustberechnung für zweistufige Linksysteme mit Richtungswahl an. L. Hieber (BRD) entwickelte neue Verfahren zur Berechnung des Verlustes bei zweistufigen Linksystemen, sowie zur Berechnung der mittleren Wartezeit und der Wartewahrscheinlichkeit für beliebigstufige Linksysteme. K. Kümmerle (BRD) beschäftigte sich mit dem Punktverlust. Er entwickelte Approximationsverfahren zum Berechnen des Punktverlusts bei Systemen mit 3 oder 4 Stufen und zeigte die Güte dieser Verfahren anhand von Simulationsergebnissen auf.

L. A. Bassalygo, I. I. Gruschko und V. I. Neiman (UdSSR) berichteten über einen Algorithmus für die Umschaltung bestehender Verbindungswege (Rearrangement) in einem Linksystem, damit eine größtmögliche Zahl von Verbindungen gleichzeitig bestehen kann. Sie bestimmten die minimale Zahl von Umschaltungen bei Einfall eines neuen Rufes. Dieselben Autoren betrachteten in einem zweiten Beitrag die Strukturen von „einseitigen“ nicht-blockierenden Verbindungsnetzen, bei denen sich Verkehrsquellen und -senken auf derselben Seite des Linksystems befinden. Für solche Systeme werden Formeln zur näherungsweise Berechnung des Koppelpunktebedarfs angegeben. M. E. Fakhr el Din (Schweden) berichtete über Messungen an einem 2stufigen Linksystem mit Überlauf mit dem Ziel, den wirklichen Verkehr mit dem theoretisch angenommenen Verkehr zu vergleichen. J. E. Villar und B. Fontana (Spanien) beschrieben eine Methode zur Formulierung der Blockierungsfunktionen von Linksystemen. Ausgehend von Netzwerkgraphen werden über Verteilungsvektoren Formeln zur Berechnung der Zeit- und Rufblockierung abgeleitet. D. Bazlen (BRD) betrachtete beliebigstufige Linksysteme mit gemischtem Intern- und Externverkehr. Es werden verschiedene Betriebsarten beschrieben und davon ausgehend ein Nä-

herungsverfahren zur Berechnung der Verlustwahrscheinlichkeit solcher Systeme hergeleitet. Die Güte des Approximationsverfahrens wird anhand von Simulationsergebnissen nachgewiesen.

7. Vermittlung im Zeitvielfach

Zu den verkehrstheoretischen Problemen in Zeitvielfach-Vermittlungen trugen vier Verfasser bei. H. Inose (Japan) gab einen Überblick (invited paper) über den Stand der Technik und die Probleme bei der Durchschaltung in integrierten PCM-Netzen. Es wurden einige PCM-Vermittlungssysteme, die zum Teil als Versuchsmodell gebaut wurden, in bezug auf Durchschalte-Prinzipien wie Zeitlagenumsetzung, Eingangs-/Ausgangs-Sprachspeicher, zentralisierte und verteilte Sprachspeicher, kurz beschrieben. Die Analogie zwischen Zeitvielfach- und Raumvielfach-Durchschaltenetz wurde erläutert. Ferner wurden Näherungsverfahren zur Verlustberechnung für das System mit Zeitlagenumsetzung vorgestellt. M. M. Jung (Niederlande) beschäftigte sich mit der Berechnung der inneren Blockierung in einem PDX (Processor Controlled Digital Exchange). Unter einigen Annahmen wurden innere Blockierungen näherungsweise berechnet. M. Tanaka (BRD) behandelte „Nonblocking Switching“ mittels erhöhten inneren Takts im integrierten PCM-Netz. D. Bear (England) behandelte die geregelte Zeitlagenumsetzung in jeder Vermittlungsstelle im Netz. Für verschiedene Regelungsmethoden entwickelte er Näherungsverfahren zur Berechnung jenes Verkehrsanteils, der eine Zeitlagenumsetzung erfährt, und gab numerische Ergebnisse an.

8. Überlaufsysteme und Leitweglenkung

Hier standen Arbeiten über die optimale Struktur und optimale Dimensionierung hierarchischer und nicht-hierarchischer Netze im Vordergrund. C. Asgersen (Dänemark) berichtete über eine Leitweg-Strategie für das dänische Fernmeldernetz, die einen guten Überlastungsschutz mit guter Wirtschaftlichkeit vereinigt. I. Molnar (USA) wies darauf hin, daß eine adaptive Leitweglenkung bei großen Netzen eine wirtschaftlichere Ausnutzung ermöglichen würde. Dieses Problem wurde von A. V. Butrimenko (UdSSR) untersucht. Die Leitweglenkung erfolgt dabei nach einem Algorithmus, der in jedem Knoten den Belegungszustand der Nachbarknoten mitberücksichtigt. Dadurch können bei gleicher Last Verlustreduktionen um mehr als den Faktor 2 erreicht werden. S. S. Katz (USA) befaßte sich mit nichthierarchischen Netzen. Er gab einen Algorithmus an, welcher gestattet, die minimale Leitungszahl aller Bündel zu berechnen, wenn die „Punkt-Punkt-Verluste“ zwischen allen Knoten sowie die gewünschten Belastungen vorgegeben sind. P. A. C. Gallego (Spanien) und J. G. Valenzuela (Mexiko) beschrieben beide eine Methode zur wirtschaftlichen Optimierung von hierarchischen Netzen mit Leitweglenkung. Während Gallego die Verkehre durch ihren Mittelwert und ihre Varianz beschreibt, benutzt Valenzuela nur deren Mittelwert, um ein einfaches Rechnerprogramm zu erhalten. J. Arhning (Dänemark) betrachtete das Problem der Dimensionierung der abgehenden Leitungsbündel einer Vermittlungsstelle in einem Ortsnetz mit vielen Knoten und mit Leitweglenkung im Ortsnetz.

In zwei Vorträgen wurden exakte Lösungen von Überlaufanordnungen vorgestellt. So untersuchte P. J. Burke (USA) den von einem primären Bündel in ein unendlich großes Überlaufbündel fließenden Verkehr, wenn die Bedienungsdauern der angebotenen Rufe konstant sind. R. Schehrer (BRD) gab die exakte Lösung der Zustandswahrscheinlichkeiten und des Verlustes für den Fall von Überlaufstrukturen an, bei denen das Primär- oder das (endlich große) Überlaufbündel ideale oder nichtideale Mischungen enthalten.

9. Wartesysteme

In Nachrichtenvermittlungssystemen, Datenverarbeitungsanlagen und Datenetzen entstehen Verzögerungen bei der Abfertigung von Anforderungen infolge belegter Abfertigungsorgane. Die Warteschlangentheorie befaßt sich vornehmlich mit der Berechnung der Wartezeiten und stellt für die Dimensionierung von Bedienungssystemen ein wichtiges Hilfsmittel dar. Wartesysteme werden durch verschiedenartige Parameter gekennzeichnet wie z.B. Einfalls- und Abfertigungsprozeß, Systemstruktur und Systemorganisation.

C. W. Pratt (Australien) erweiterte das übliche Warteschlangenmodell mit vollkommen erreichbaren Leitungen und unter Markoffschen Voraussetzungen derart, daß die Rufe in zwei Gruppen, warte- und nichtwarteberechtigte, aufgeteilt werden. M. Segal (USA) behandelte ein Wartesystem mit einer endlichen Quellenzahl und zufallsmäßiger Abfertigung wartender Rufe. Es wurde die Wartezeitverteilungsfunktion berechnet und deren zweites Moment abgeschätzt. Wartesysteme mit vollkommen bzw. unvollkommen erreichbaren Leitungen, mehreren Warteschlangen mit begrenztem Speicherraum und verschiedenen Abfertigungsdisziplinen wurden von P. Kühn (BRD) für den Fall Markoffscher Voraussetzungen berechnet. M. Thierer (BRD) untersuchte Wartewahrscheinlichkeiten und mittlere Wartezeiten für Wartesysteme mit Mischungen im Falle konstanter Belegungsdauern. Die Lösung stellt eine Erweiterung zu früheren Arbeiten des Autors dar, in denen exponentiell verteilte Belegungsdauern zugrundegelegt wurden. In einem Beitrag von R. Böttger und K. Wallner (BRD) wurde demonstriert, wie ein Teilnehmer-Rechensystem zur Ermittlung verschiedener Charakteristika einer Klasse von Bedienungssystemen eingesetzt werden kann.

Die folgenden 7 Arbeiten behandelten verschiedene Modifikationen von Wartesystemen mit Prioritäten. Dabei wurden in den ersten vier Arbeiten Systeme mit einer Bedienungseinheit betrachtet. I. M. Dukhovny und V. I. Pankratov (UdSSR) befaßten sich mit einer Kombination von alternierenden und normalen, nichtunterbrechenden Prioritäten. Außerdem wurde noch die Unzuverlässigkeit der Bedienungseinheit berücksichtigt. G. Nakamura und O. Hashida (Japan) behandelten ein System, bei welchem sowohl zwischen die Bedienung zweier Rufe mit verschiedener Priorität als auch vor die Bedienung eines in das leere System einfallenden Rufes eine „Vorbereitungszeit“ (setup-time) geschoben wird. Von P. P. Boharov (UdSSR) wurde ein begrenzter Warteraum vorausgesetzt. Für zwei Prioritätsstrategien wurde je ein Rekursionsalgorithmus zur Berechnung der stationären Zustandswahrscheinlichkeiten hergeleitet. J. G. Brandt (BRD) behandelte eingehend ein System mit mehreren Bedienungseinheiten, begrenztem Warteraum und unterbrechenden Prioritäten. Dabei wurde u. a. die Methode des „random walk“ zur Bestimmung einiger charakteristischer Größen angewendet. M. Langenbach-Belz (BRD) zeigte, wie man auf einfache Art die mittlere Wartezeit einer beliebigen Prioritätsklasse eines Systems mit mehreren Bedienungseinheiten und beliebiger Belegungsdauerverteilung aus Wartezeiten berechnen kann, welche für Systeme ohne Prioritäten bekannt sind. W. Wagner (BRD) untersuchte das Zu- und Abnehmen von Warteschlangen, wenn das betrachtete System durch zeitlich begrenzte Angebotserhöhungen instationär wird. Dabei wurde das Schicksal der Rufe verschiedener, nichtunterbrechender Prioritätsklassen durch Simulation und ein approximatives, analytisches Modell ermittelt.

In dem von E. G. Enns (Kanada) beschriebenen System müssen die Rufe mehrmals dieselbe Bedienungseinheit durchlaufen, wobei sie jeweils in eine von mehreren Warteschlangen eingereiht werden. Für die Verteilung der Warteschlangenlängen wurde die erzeugende Funktion aufgestellt. M. Eisenberg (USA) betrachtete ein

herungsverfahrens zur Berechnung der Verlustwahrscheinlichkeit solcher Systeme hergeleitet. Die Güte des Approximationsverfahrens wird anhand von Simulationsergebnissen nachgewiesen.

7. Vermittlung im Zeitvielfach

Zu den verkehrstheoretischen Problemen in Zeitvielfach-Vermittlungen trugen vier Verfasser bei. H. Inose (Japan) gab einen Überblick (invited paper) über den Stand der Technik und die Probleme bei der Durchschaltung in integrierten PCM-Netzen. Es wurden einige PCM-Vermittlungssysteme, die zum Teil als Versuchsmodell gebaut wurden, in bezug auf Durchschalte-Prinzipien wie Zeitlagenumsetzung, Eingangs-/Ausgangs-Sprachspeicher, zentralisierte und verteilte Sprachspeicher, kurz beschrieben. Die Analogie zwischen Zeitvielfach- und Raumvielfach-Durchschaltenetz wurde erläutert. Ferner wurden Näherungsverfahren zur Verlustberechnung für das System mit Zeitlagenumsetzung vorgestellt. M. M. Jung (Niederlande) beschäftigte sich mit der Berechnung der inneren Blockierung in einem PDX (Processor Controlled Digital Exchange). Unter einigen Annahmen wurden innere Blockierungen näherungsweise berechnet. M. Tanaka (BRD) behandelte „Nonblocking Switching“ mittels erhöhten inneren Takts im integrierten PCM-Netz. D. Bear (England) behandelte die geregelte Zeitlagenumsetzung in jeder Vermittlungsstelle im Netz. Für verschiedene Regelungsmethoden entwickelte er Näherungsverfahren zur Berechnung jenes Verkehrsanteils, der eine Zeitlagenumsetzung erfährt, und gab numerische Ergebnisse an.

8. Überlaufsysteme und Leitweglenkung

Hier standen Arbeiten über die optimale Struktur und optimale Dimensionierung hierarchischer und nicht-hierarchischer Netze im Vordergrund. C. Asgersen (Dänemark) berichtete über eine Leitweg-Strategie für das dänische Fernmeldenetz, die einen guten Überlastungsschutz mit guter Wirtschaftlichkeit vereinigt. I. Molnar (USA) wies darauf hin, daß eine adaptive Leitweglenkung bei großen Netzen eine wirtschaftlichere Ausnutzung ermöglichen würde. Dieses Problem wurde von A. V. Butrimenko (UdSSR) untersucht. Die Leitweglenkung erfolgt dabei nach einem Algorithmus, der in jedem Knoten den Belegungszustand der Nachbarknoten mitberücksichtigt. Dadurch können bei gleicher Last Verlustreduktionen um mehr als den Faktor 2 erreicht werden. S. S. Katz (USA) befaßte sich mit nichthierarchischen Netzen. Er gab einen Algorithmus an, welcher gestattet, die minimale Leitungszahl aller Bündel zu berechnen, wenn die „Punkt-Punkt-Verluste“ zwischen allen Knoten sowie die gewünschten Belastungen vorgegeben sind. P. A. C. Gallego (Spanien) und J. G. Valenzuela (Mexiko) beschrieben beide eine Methode zur wirtschaftlichen Optimierung von hierarchischen Netzen mit Leitweglenkung. Während Gallego die Verkehre durch ihren Mittelwert und ihre Varianz beschreibt, benutzt Valenzuela nur deren Mittelwert, um ein einfaches Rechnerprogramm zu erhalten. J. Arhning (Dänemark) betrachtete das Problem der Dimensionierung der abgehenden Leitungsbündel einer Vermittlungsstelle in einem Ortsnetz mit vielen Knoten und mit Leitweglenkung im Ortsnetz.

In zwei Vorträgen wurden exakte Lösungen von Überlaufanordnungen vorgestellt. So untersuchte P. J. Burke (USA) den von einem primären Bündel in ein unendlich großes Überlaufbündel fließenden Verkehr, wenn die Bedienungsdauern der angebotenen Rufe konstant sind. R. Schehrer (BRD) gab die exakte Lösung der Zustandswahrscheinlichkeiten und des Verlustes für den Fall von Überlaufstrukturen an, bei denen das Primär- oder das (endlich große) Überlaufbündel ideale oder nichtideale Mischungen enthalten.

9. Wartesysteme

In Nachrichtenvermittlungssystemen, Datenverarbeitungsanlagen und Datennetzen entstehen Verzögerungen bei der Abfertigung von Anforderungen infolge belegter Abfertigungsorgane. Die Warteschlangentheorie befaßt sich vornehmlich mit der Berechnung der Wartezeiten und stellt für die Dimensionierung von Bedienungssystemen ein wichtiges Hilfsmittel dar. Wartesysteme werden durch verschiedenartige Parameter gekennzeichnet wie z. B. Einfalls- und Abfertigungsprozeß, Systemstruktur und Systemorganisation.

C. W. Pratt (Australien) erweiterte das übliche Warteschlangenmodell mit vollkommen erreichbaren Leitungen und unter Markoffschen Voraussetzungen derart, daß die Rufe in zwei Gruppen, warte- und nichtwarteberechtigte, aufgeteilt werden. M. Segal (USA) behandelte ein Wartesystem mit einer endlichen Quellenzahl und zufallsmäßiger Abfertigung wartender Rufe. Es wurde die Wartezeitverteilungsfunktion berechnet und deren zweites Moment abgeschätzt. Wartesysteme mit vollkommen bzw. unvollkommen erreichbaren Leitungen, mehreren Warteschlangen mit begrenztem Speicherraum und verschiedenen Abfertigungsdisziplinen wurden von P. Kühn (BRD) für den Fall Markoffscher Voraussetzungen berechnet. M. Thierer (BRD) untersuchte Wartewahrscheinlichkeiten und mittlere Wartezeiten für Wartesysteme mit Mischungen im Falle konstanter Belegungsdauern. Die Lösung stellt eine Erweiterung zu früheren Arbeiten des Autors dar, in denen exponentiell verteilte Belegungsdauern zugrundegelegt wurden. In einem Beitrag von R. Böttger und K. Wallner (BRD) wurde demonstriert, wie ein Teilnehmer-Rechensystem zur Ermittlung verschiedener Charakteristika einer Klasse von Bedienungssystemen eingesetzt werden kann.

Die folgenden 7 Arbeiten behandelten verschiedene Modifikationen von Wartesystemen mit Prioritäten. Dabei wurden in den ersten vier Arbeiten Systeme mit einer Bedienungseinheit betrachtet. I. M. Dukhovny und V. I. Pankratov (UdSSR) befaßten sich mit einer Kombination von alternierenden und normalen, nichtunterbrechenden Prioritäten. Außerdem wurde noch die Unzuverlässigkeit der Bedienungseinheit berücksichtigt. G. Nakamura und O. Hashida (Japan) behandelten ein System, bei welchem sowohl zwischen die Bedienung zweier Rufe mit verschiedener Priorität als auch vor die Bedienung eines in das leere System einfallenden Rufes eine „Vorbereitungszeit“ (setup-time) geschoben wird. Von P. P. Bucharov (UdSSR) wurde ein begrenzter Warteraum vorausgesetzt. Für zwei Prioritätsstrategien wurde je ein Rekursionsalgorithmus zur Berechnung der stationären Zustandswahrscheinlichkeiten hergeleitet. J. G. Brandt (BRD) behandelte eingehend ein System mit mehreren Bedienungseinheiten, begrenztem Warteraum und unterbrechenden Prioritäten. Dabei wurde u. a. die Methode des „random walk“ zur Bestimmung einiger charakteristischer Größen angewendet. M. Langenbach-Belz (BRD) zeigte, wie man auf einfache Art die mittlere Wartezeit einer beliebigen Prioritätsklasse eines Systems mit mehreren Bedienungseinheiten und beliebiger Belegungsdauerverteilung aus Wartezeiten berechnen kann, welche für Systeme ohne Prioritäten bekannt sind. W. Wagner (BRD) untersuchte das Zu- und Abnehmen von Warteschlangen, wenn das betrachtete System durch zeitlich begrenzte Angebotserhöhungen instationär wird. Dabei wurde das Schicksal der Rufe verschiedener, nichtunterbrechender Prioritätsklassen durch Simulation und ein approximatives, analytisches Modell ermittelt.

In dem von E. G. Enns (Kanada) beschriebenen System müssen die Rufe mehrmals dieselbe Bedienungseinheit durchlaufen, wobei sie jeweils in eine von mehreren Warteschlangen eingereiht werden. Für die Verteilung der Warteschlangenlängen wurde die erzeugende Funktion aufgestellt. M. Eisenberg (USA) betrachtete ein

System von mehreren parallelen Warteschlangen, welche von einer Bedienungseinheit in beliebigem Zyklus abgefertigt werden. Dabei benötigt die Bedienungseinheit eine endliche Zeit, um von einer Schlange zur anderen überzuwechseln (changeover-time). Ein Näherungsmodell zur Beschreibung der Verzögerungen bei der Anschaltung zentralisierter Register und Markierer in modernen Vermittlungssystemen mit elektronischer Steuerung wurde von W. S. Hayward, jr. (USA) vorgeschlagen. L. Kleinrock und R. R. Muntz (USA) benutzten zur Behandlung von Time-Sharing Systemen sog. Processor-Sharing-Warteschlangenmodelle. Bei diesen Modellen strebt die Größe der Bearbeitungszeitscheibe gegen Null, wodurch die analytische Behandlung wesentlich vereinfacht wird.

J. G. van Bosse (USA) behandelte ein System mit einer Bedienungseinheit, bei dem die ersten k Rufe einer Arbeitsperiode eine andere Bedienungszeitverteilung besitzen als die nachfolgenden Rufe. W. Chang (USA) betrachtete ein Wartesystem mit einem Bedienungsorgan, wobei die Verteilungsfunktion der Belegungsdauern von einer bestimmten Warteschlangenlänge abhängig gemacht wurde. Er zeigte, das sich das Problem auf die Lösung eines linearen Gleichungssystems zurückführen läßt. In einem Beitrag über Markoffsche Bedienungseinheiten mit rekurrentem Eingangsprozeß zeigte A. Descloux (USA), daß mit Hilfe der Erneuerungstheorie viele Charakteristiken voll erreichbarer Systeme mit beliebig zustandsabhängigen Enderaten relativ einfach gewonnen werden können. E. M. Johnson (USA) berechnete mit Hilfe des „gestoppten random walk“ für das allgemeine Wartesystem mit einer Bedienungseinheit verschiedene charakteristische Größen. R. Syski (USA) befaßte sich mit der bestmöglichen Vorhersage der Wartezeit eines Rufs, welcher in Zukunft in das Bedienungssystem kommt unter der Voraussetzung, daß von den Wartezeiten anderer Rufe während der unmittelbaren Vergangenheit die Kovarianzfunktion bekannt ist. Das Problem von Pufferspeichern endlicher Größe, welche Informationen kontinuierlich aufnehmen und an eine Verarbeitungseinheit weitergeben, wurde von J. W. Cohen (Niederlande) behandelt. Es interessiert hierbei insbesondere, wie oft eine eintreffende Information wegen blockiertem Speicher „überläuft“ und verlorenght.

10. Simulation

Der Themenkreis „Simulation“ wurde eingeleitet durch eine umfassende Übersicht (invited paper) von L. Kosten (Niederlande). Zunächst wurden die grundsätzlichen Eigenschaften der zeitreuen Simulation sowie die Simulation nach der Ruf- und Löschnummenmethode vorgestellt. Nach einer Betrachtung über Zufallszahlen ging L. Kosten dann auf Simulationssprachen und auf die Auswertung der Simulation ein und gab anschließend einen Ausblick auf wünschenswerte zukünftige Entwicklungen. Anschauliche Beispiele für die Anwendung der Ruf- und Löschnummenmethode gaben M. Rét (Ungarn) sowie A. Rodriguez und J. R. De los Mozos (Spanien). M. Rét beschrieb ein Simulationsprogramm für ein Warte-Verlustsystem, bei dem Rufe mit unterschiedlicher mittlerer Gesprächsdauer an einem Linksystem mit verschiedenartigem Abfertigungsmodus bedient werden. A. Rodriguez und J. R. De los Mozos gaben ein Verfahren an, wie mit der Ruf- und Löschnummenmethode auch die Verteilung der Wartezeiten in einem Wartesystem ermittelt werden kann. Mit der Genauigkeit von Schätzwerten beschäftigte sich M. Schneps-Schneppe (UdSSR), der für die Simulation eines vollkommen erreichbaren Verlustsystems verschiedene Meßverfahren untersuchte. G. Dietrich (BRD) behandelte die wirklichkeitstreue Nachbildung des Anrufprozesses bei der Simulation eines Linksystems mit verschiedenen Verkehrsarten und schlug vor, ein einheitliches Modell international zu normen. G. Gosztony (Ungarn) zeigte, daß die charakteristischen Größen eines

Wartesystems sich ändern, wenn statt eines Poisson-Prozesses ein Ankunftsprozeß angenommen wird, bei dem jeweils eine Anforderung mehrere weitere Anforderungen nach sich zieht. Von G. Lind (Schweden) wurden Formeln zur Berechnung der Varianz von Meßwerten in Verlust- oder Wartesystemen angegeben, wobei entweder die Anzahl der Stichproben oder der Beobachtungszeitraum konstant gehalten werden. J. H. Jolly (England) beschrieb die Schwierigkeiten, die auftreten, wenn für die Simulation großer Systeme nur ein Rechner mittlerer Größe (32 K Speicherplätze) zur Verfügung steht. Als mögliche Lösungen gab er die verkürzte Simulation (stratification), bei der teilweise berechnet und teilweise simuliert wird, und die Simulation unter Verwendung eines Hintergrundspeichers an. Die weiteren Themen befaßten sich mit der Simulation von rechnergesteuerten Fernsprech-Vermittlungssystemen. Durch die Simulation können die charakteristischen Größen bestimmt werden, welche die Leistungsfähigkeit solcher Systeme beeinflussen. Für die Simulationsprogramme wurde jeweils die Struktur des Systems angegeben. T. Suzuki, Y. Nunotani und O. Kaneda (Japan) zeigten anhand von Ergebnissen, welche Parameter bei der Simulation des Systems DEX-2 gemessen wurden und wie sich verschiedene Steuerungskonzepte auf diese Parameter auswirken. L. Håkansson (Schweden) erklärte ausführlich die Programmstruktur des in GPSS geschriebenen Simulationsprogramms für das A-210-System und gab für verschiedene Belastungsfälle Ergebnisse an. P. Hanglberger (BRD) beschrieb in allgemeiner Art ein modulares Simulationsprogramm, das nicht auf ein spezielles System abgestimmt ist.

11. Spezialprobleme aus verschiedenen Gebieten

H. Schwärzfel (BRD) gab einen Überblick über Telefoninformationssysteme und wies auf die bei diesen Systemen auftretenden verkehrstheoretischen Probleme hin. J. Augustus (Kanada) beschrieb ein Programm, das gestattet, aus vorgegebenen Verkehrsgrößen die Anlagenkonfiguration für eine kleine elektronische Vermittlungsstelle (Typ C-1 E-A-X) zusammenzustellen. K. Oetli (Österreich) legte dar, wie man im heute bestehenden Fernsprechnet durch geeignete Auswahl der Verbindungsleitungen eine möglichst gute Datenübertragung durchführen kann. Die folgenden beiden Beiträge befaßten sich mit Untersuchungen in rechnergesteuerten Vermittlungssystemen. R. W. Chen und L. Lee (Kanada) beschrieben ein Verfahren, das mit Hilfe eines Verkehrsflußgraphen gestattet, die Rufftonverzögerung abzuschätzen. Sie verglichen bei verschiedenen Vermittlungssystemen die Ergebnisse von Meßwerten mit Simulationsergebnissen. N. Farber (USA) entwickelte ein Modell, das benutzt werden kann, um die Leistungsfähigkeit des zentralen Steuerrechners abzuschätzen.

12. ITC - CCITT

Drei Vorträge (invited papers) befaßten sich mit der Zusammenarbeit von ITC und CCITT. A. Jensen (Dänemark) sprach über das Thema: „Was erwartet der ITC vom CCITT?“ Nach einem kurzen Überblick über die seitherige Zusammenarbeit ging Jensen auf Fragen der zukünftigen Zusammenarbeit ein und konzentrierte sich dabei auf zwei Punkte: 1. Wie können Informationen vom CCITT zu jenen ITC-Mitgliedern gelangen, die auf dem betreffenden Gebiet Forschung treiben? – 2. Wie kann das bereits vorhandene Wissen der ITC-Mitglieder an den CCITT zur praktischen Verwertung gelangen? – Weiterhin regte Jensen an, der CCITT sollte nicht nur Diskussionen über momentan wichtige Probleme anfangen, sondern auch über zukünftige Probleme. Dadurch könnte die Aktivität der ITC-Mitglieder noch mehr angeregt werden. In dem Vortrag von I. A. Newstead (USA) und I. Tånge (Schweden) wurde die Frage „Was erwartet der CCITT von der Verkehrstheorie?“ eingehender behandelt. Dabei wurde die fundamentale Bedeutung der Verkehrsplanung sowohl in wirtschaftlicher Hinsicht als

auch bezüglich der Dienstgüte von Nachrichtennetzen unterstrichen. Da der CCITT selbst aber nicht dazu ausgerüstet sei, fundamentale Forschung auf dem Gebiet der Verkehrsplanung durchzuführen, würde er sich natürlicherweise diese vom ITC erhoffen. Ein Ergebnis der Arbeit des CCITT stellte E. P. G. Wright (England) vor. Er berichtete über Verkehrsplanung in Verbindung mit dem CCITT Signal-System Nr. 6, das speziell für moderne internationale Netze entwickelt wurde. Durch Trennung der Signalpfade von den Sprechpfaden können nachteilige Charakteristiken früherer Systeme, insbesondere die Verzögerungszeiten verbessert werden. Dabei müssen beim Entwurf eines solchen Systems viele Gesichtspunkte (Bitraten, Signallängen, Fehlerkorrektur, usw.) neu überdacht werden.

13. Schlußdiskussion

Grundsätzliche Gesichtspunkte zu Verkehrsmessungen faßte A. Elldin (Schweden) zusammen. Insbesondere bei modernen automatisierten Datenerfassungsmethoden stellen die Verkehrsmessungen eine Hilfe bei der Überwachung von Anlagen und eine Kontrolle von Theorien und praktischen Berechnungsmethoden dar. Darüber hinaus schilderte er ihre Bedeutung für Voraussagen der zukünftigen Entwicklung.

Über die praktische und theoretische Behandlung des Teilnehmerverhaltens gab W. S. Hayward, jr. (USA) einen Überblick. Heute befaßt man sich hauptsächlich mit wiederholten Anrufen und den täglichen Verkehrsschwankungen. Viele Probleme sind dabei noch ungelöst. In Zukunft wird man sich aber immer mehr auch mit dem Teilnehmerverhalten unter außergewöhnlichen Bedingungen sowie Prognoseverfahren für sich änderndes Teilnehmerverhalten zu beschäftigen haben.

Prinzipielle Gedanken zum Vergleich zwischen Berechnung und Simulation eines Systems mit stochastischen

Eigenschaften (z. B. Wartesystem) stellte A. Kosten (Niederlande) dar. Er wies besonders auf die Probleme der Modellbildung und die sich daraus ergebenden Schwierigkeiten bei der Analyse realer Systeme durch Berechnung oder Simulation hin.

A. Lotze (BRD) stellte in seiner Zusammenfassung über Linkssysteme zunächst die typischen Strukturen von Linkssystemen und die wichtigsten Durchschaltearten vor. Im zweiten Teil klassifizierte er die heute bekannten verschiedenartigen Berechnungsverfahren. In einem Ausblick auf die zukünftigen Probleme wurden vor allem die Punkt-Verlust-Berechnung, Probleme bei schiefer Last, vielfältige Wartezeitprobleme und das weite Gebiet der Synthese optimaler Netze hervorgehoben.

C. W. Pratt (Australien) gab eine Übersicht über Probleme der Verkehrsplanung, die zur Zeit im CCITT behandelt werden und zu deren Lösung Verkehrstheoretiker beitragen können. Hierzu gehören u. a. Netzwerkorganisation, Verkehrs-Voraussagen, Fragen der Bedienungsgüte, Netzwerkplanung und Dimensionierung mit Hilfe von Rechenanlagen und die Einbeziehung von Rufwiederholungen in Verkehrsmodelle.

R. Syski (USA) gab zunächst einen kurzen Überblick über neue Methoden zur Behandlung von Wartesystemen (z. B. stopping-times, Anwendung der Potentialtheorie). Anschließend ging er auf Optimierungsprobleme (dyn. Programmierung) ein, welche bei der verkehrstheoretischen Untersuchung der Verkehrsflüsse in Computern und Nachrichtennetzen auftreten.

* * *

Dieser Tagungsbericht wurde von Mitarbeitern des Instituts für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung der Universität Stuttgart (Direktor: Prof. Dr.-Ing. A. Lotze) verfaßt.