

HEINRICH-HERTZ-INSTITUT - BERLIN-CHARLOTTENBURG

Technischer Bericht Nr. 188

Untersuchung der Struktur
des Verkehrsaufkommens von Fernsprechteilnehmern

von

Dr.-Ing. Rolf Evers

Ing. grad. Klaus E. Anders

Berlin

1 9 7 5

EINSTEINUFER 37

1000 BERLIN 10





Technischer Bericht Nr. 188

Untersuchung der Struktur des Verkehrsaufkommens von Fernsprechteilnehmern

Zusammenfassung:

Für den Entwurf von Nachrichtennetzen ist die Kenntnis der von ihnen zu verarbeitenden Nachrichtenflüsse Voraussetzung. Den größten Anteil am gesamten Nachrichtenverkehrsaufkommen hat der Fernspreverkehr und wird ihn auch in überschaubarer Zukunft haben. Entwurf und Optimierung eines Netzes, in dem der Fernsprechdienst und gegebenenfalls zusätzlich weitere Dienste abgewickelt werden sollen, werden daher überwiegend in Hinblick auf die Struktur des Fernspreverkehrs erfolgen. Bei der Verwendung von Ergebnissen aus Verkehrsmessungen muß jedoch berücksichtigt werden, daß das vorhandene Netz einen erheblichen Einfluß auf die Verkehrsverteilung hat. Am geringsten ist dieser Einfluß beim Verkehrsaufkommen des einzelnen Teilnehmers. Daher werden Ergebnisse einer Messung an Teilnehmeranschlußleitungen in einem Vermittlungsstellenbereich des Ortsnetzes Berlin für eine Analyse der Struktur des Verkehrsaufkommens verwendet.

Zunächst werden die Einflußgrößen diskutiert, von denen die Verteilung der Nachrichtenflüsse abhängt. Danach wird in Abhängigkeit von der Teilnehmerklasse die zeitliche und die Entfernungsverteilung der registrierten Anrufe dargestellt und diskutiert.

Heinrich-Hertz-Institut

Die Bearbeiter

R. Evers

(Dr.-Ing. Rolf Evers)

Klaus E. Anders

(Ing. (grad) Klaus E. Anders)

Der Abteilungsleiter

R. Evers

(i.V.Dr.-Ing. R. Evers)

Der Geschäftsführer

H. Ohnsorge

(Dr.-Ing. H. Ohnsorge)

Berlin-Charlottenburg, den 18.12.1975

Inhalt	Seite
1. Einleitung	1
2. Die Verteilung der Verkehrsflüsse in einem Gebiet	3
2.1 Die Verteilung der Verkehrsquellen und -senken	5
2.2 Das Verkehrsaufkommen der einzelnen Verkehrsquellen	7
3. Analyse der Struktur des Verkehrsaufkommens von Teilnehmern aus Meßdaten	12
3.1 Die zeitliche Verteilung der Anrufe über den Tag	13
3.2 Die Entfernungsverteilung der Anrufe	23
4. Literaturverzeichnis	30



1. Einleitung

Die heute bestehenden Nachrichtennetze sind größtenteils aus kleinen örtlichen Netzeinheiten entstanden und haben im Laufe von Jahrzehnten durch Zusammenschluß von kleinen Netzeinheiten zu größeren Ortsnetzen oder durch Zusammenfassung zu Bereichen der nächsthöheren Hierarchieebene ihre heutige Struktur erhalten. Für die Optimierung insbesondere der Topologie der Ortsnetze sind leistungsfähige Verfahren entwickelt worden, z.B. /1/. Bei der praktischen Planung sind jedoch eine Reihe von Nebenbedingungen zu berücksichtigen, z.B. die Lage verfügbarer Grundstücke und die Lage von Systemkomponenten des vorhandenen Netzes. Grundlage der Netzplanung ist eine genaue Kenntnis der Teilnehmerverteilung und des Verkehrsaufkommens sowie ein Prognoseverfahren für Zeiträume bis zu 30 Jahren.

Entwürfe optimal strukturierter Netze unabhängig vom vorhandenen Netz und von sonstigen, oben erwähnten Bedingungen sind unmittelbar für konkrete Planungsaufgaben von geringer Bedeutung, sind jedoch aus folgenden Gründen von großem Interesse.

- Der Optimalentwurf bietet die Möglichkeit, die Abhängigkeit des Optimums hinsichtlich Größe und Lage der Vermittlungsbereiche, Lage von Vermittlungsknoten und Anzahl der Hierarchieebenen von der Teilnehmer- und Verkehrsverteilung zu untersuchen. Es lassen sich Aussagen darüber machen, ob bei Annahme bestimmter Bedarfsentwicklungen eine Netzerweiterung bei Beibehaltung der vorhandenen Struktur zweckmäßig ist oder ob eine Strukturänderung, z.B. eine Änderung der Hierarchieebenen, angestrebt werden sollte.
- Neue Technologien, z.B. der Glasfaserkanal, bieten die Möglichkeit, Netze mit einer von den bisherigen Lösungen sehr verschiedenen Struktur, z.B. dezentrale Verzweigungs- oder Ringstruktur, zu entwerfen. Derartige Netze werden bestehende Einrichtungen nur zum Teil verwenden können.

Für Verfahren, die dem Entwurf und der Optimierung komplexer Netze dienen, benötigt man im Gegensatz zu Planungsverfahren keine exakten Teilnehmer- und Verkehrsverteilungen, sondern Modellverteilungen, die die tatsächlichen Verteilungen möglichst gut annähern und dabei möglichst einfach sind. Andererseits genügt für den Entwurf großer Netze, insbesondere für solche mit dezentraler Struktur, nicht die Angabe der Größe des Verkehrsaufkommens der Teilnehmer, sondern es muß auch die Zielverteilung des Verkehrs bekannt sein.

Im Jahr 1974 ist eine Messung in einer Ortsvermittlungsstelle des Ortsnetzes Berlin, die nahe dem Geschäftszentrum von Berlin (West) gelegen ist, durchgeführt worden. Über Ergebnisse, die die Erfolgswahrscheinlichkeit von Anrufversuchen und das Verhalten der Teilnehmer insbesondere nach erfolglosen Versuchen beschreiben, ist in /2/, /3/ und /4/ berichtet worden. Im vorliegenden Bericht werden die Meßwerte dazu verwendet, die Größe des Verkehrsaufkommens sowie die zeitliche und die Entfernungsverteilung der Anrufe in Abhängigkeit von der Teilnehmerklasse darzustellen. Die gefundenen Verteilungen können mit großen Einschränkungen dazu verwendet werden, zu ersten grob angenäherten Modellen über die Verkehrsverteilungen zu kommen. Die wichtigsten Einschränkungen sind:

- Die Ergebnisse gelten für Einzelanschlüsse im Bereich der Vermittlungsstelle, in der die Messung durchgeführt wurde, d.h. für Teilnehmer, die nahe dem Zentrum einer Großstadt wohnen. Rückschlüsse auf Teilnehmer in Orten mittlerer und kleinerer Größe und in Randgebieten sind nicht ohne weitere Untersuchungen zulässig.
- Die besondere Situation Berlins ergibt in Bezug auf den Fernverkehr eine Besonderheit: Der Nahverkehr fehlt, da die Stadt vom natürlichen Umland abgetrennt ist. Anrufe im Selbstwählerdienst (SWFD) haben daher eine Mindestentfernung von ca. 150 km.

- Zum Zeitpunkt der Messung war eine Gebührenordnung in Kraft, bei der sich im SWFD der von 7 bis 18 Uhr geltende Tagestarif zwischen 18 und 1 Uhr auf ca. 2/3 verringerte, während der auf ca. 22 % verringerte Nachttarif II nur ab 1 Uhr nachts gültig war. Bei einer Verallgemeinerung der Ergebnisse über die zeitliche Verteilung der Anrufe im SWFD muß man die Abhängigkeit des Teilnehmerverhaltens von der Tarifstruktur berücksichtigen.

2. Die Verteilung der Verkehrsflüsse in einem Gebiet

Die Verteilung der Verkehrsflüsse in einem Gebiet läßt sich durch ein sogenanntes flächenhaftes Verkehrsprofil beschreiben. Es ergibt sich aus den Anrufaktivitäten aller Teilnehmer und läßt sich durch die resultierenden Verkehrsflüsse von jedem beliebigen Punkt zu jedem beliebigen Punkt des betrachteten Gebietes beschreiben. Die nach außen gehenden und die von außen kommenden Verkehrsflüsse lassen sich durch Quellen und Senken auf dem das Gebiet umschließenden Rand nachbilden. Da man bei der Verlegung von Kabeln und Leitungen an bestimmte Gegebenheiten der Siedlungsstruktur gebunden ist (Straßenführung, Zugang zu Grundstücken vom öffentlichen Straßenland aus), teilt man sinnvollerweise das ganze Gebiet in Flächengrundeinheiten ein, indem man im einfachsten Fall ein quadratisches Raster mit einer Kantenlänge von je nach Siedlungsstruktur ca. 100 bis 200 m über das Gebiet deckt. Das Verkehrsprofil reduziert sich dann auf die Gesamtheit der Verkehrsflüsse von allen Flächengrundeinheiten zu allen Flächengrundeinheiten.

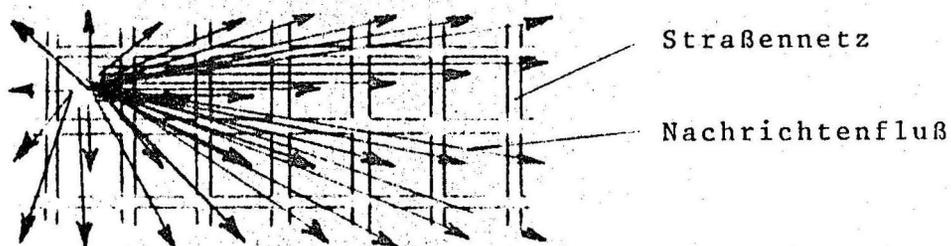


BILD 1: VERKEHRSLÜSSE VON EINER FLÄCHENGRUNDEINHEIT ZU ALLEN ANDEREN FLÄCHENGRUNDEINHEITEN EINES BETRACHTETEN GEBIETES

Für das Ortsnetz von Hamburg (ca 1000 km², siehe /5/) ergibt sich bei einem 100 m-Raster eine Matrix von 10¹⁰ Elementen. Zwar wird man die Matrix durch Zusammenfassung von größeren Freiflächen reduzieren können; aber die Beschreibung des Verkehrsprofils durch eine Verkehrsflußmatrix ist zumindest für Verfahren, mit denen ausgedehnte Netze entworfen und optimiert werden sollen, nicht geeignet. Man muß daher auf eine angenäherte Beschreibung durch Verteilungsfunktionen zurückgreifen. Die Struktur des Verkehrsaufkommens eines Teilnehmers ist von der Teilnehmerklasse (Geschäfts-, Privatteilnehmer etc.) abhängig, und es ist zu erwarten, daß sich für Teilnehmer der gleichen Klasse eher Gesetzmäßigkeiten der Struktur des Verkehrsaufkommens finden lassen als für die Gesamtmenge aller Teilnehmer, deren Zusammensetzung von Flächengrundeinheit zu Flächengrundeinheit verschieden ist. Das Verkehrsprofil läßt sich dann darstellen als

$$\begin{aligned}\underline{V}(\underline{x}) &= \sum_k \underline{V}_k(\underline{x}) \\ &= \sum_k T_k(\underline{x}) \cdot \underline{VT}_k\end{aligned}$$

$\underline{V}(\underline{x})$ Matrix der Verkehrsflüsse von einer Flächengrundeinheit mit dem Ortsvektor \underline{x} zu allen anderen Flächengrundeinheiten

$T_k(\underline{x})$ Absolute Häufigkeit der Teilnehmer der Klasse k in einer Flächengrundeinheit mit dem Ortsvektor \underline{x}
 $\hat{=}$ Teilnehmerprofil

\underline{VT}_k Matrix der Verkehrsflüsse eines Teilnehmers der Klasse k

k Teilnehmerklasse

Bei Verwendung eines Verteilungsmodells \underline{VT} für das Verkehrsaufkommen eines Teilnehmers der Klasse k kann man mit Hilfe des Teilnehmerprofils $T(\underline{x})$, der Verteilung der Verkehrsquellen und -senken, das Verkehrsprofil für das betrachtete Gebiet errechnen. Die Aufspaltung des Verkehrsprofils in ein Teilnehmerprofil und in eine Verteilung des Verkehrsaufkommens eines Teilnehmers hat außerdem den Vorteil, daß das Profil sowohl für den Entwurf von

dezentralen Strukturen als auch für den Entwurf von Netzen mit zentraler Vermittlung verwendet werden kann, da man im letzteren Fall bei dem Entwurf der Netzgrundeinheiten vom Teilnehmerprofil ausgeht.

2.1 Die Verteilung der Verkehrsquellen und -senken

Da zwischen Entwurf und Aufbau eines Nachrichtennetzes ein erheblicher Zeitraum liegt und auch bestehende Netze nur schrittweise allmählich an eine veränderte Struktur angepaßt werden können, benötigt man genaugenommen nicht das Teilnehmerprofil zum Entwurfszeitpunkt, sondern ein zukünftiges. Man geht, da man noch für lange Zeit mit einem steigenden Versorgungsgrad rechnen kann, zweckmäßig von der Verteilung der Haushalte und der Arbeitsstätten aus. Die benötigten Daten sind als Ergebnis von Volkszählungen bei den Statistischen Landesämtern gespeichert. Für den Versorgungsgradwichtige Größen sind

a. bei Haushalten

- Lage der Wohnung
- Anzahl der Personen im Haushalt
- Alter der Personen im Haushalt
- Schulabschluß (Volks/Hauptschule, ..., Ingenieurschule, Hochschule)
- Stellung im Beruf (Arbeiter, Angestellter etc.) für die erwerbstätigen Personen im Haushalt

b) bei Arbeitsstätten

- Lage des Betriebes
- Geschäftszweig (Kleinhandel, Produktionsbetrieb etc.)
- Anzahl der Beschäftigten, aufgegliedert nach Berufs-
klasse (Arbeiter, Angestellte, Beamte etc.)
- Betriebsfläche .

Für den Entwurf neuer Nachrichtennetze muß aus den ermittelten Werten mit Hilfe von Prognosen über die Entwicklung der Bevölkerungs- und Wirtschaftsstruktur die zukünftige Verteilung abgeschätzt werden. Sie stellt die Verteilung der potentiellen Teilnehmer TP eines Nachrichtensystems dar.

Um die Teilnehmergeverteilung selbst zu bekommen, muß man den Versorgungsgrad kennen. Der Versorgungsgrad ist gegeben durch die Anzahl der Anschlüsse je Haushalt bzw. Arbeitsstätte. Wenn die Fernmeldeverwaltung jeden Wunsch nach Einrichtung eines Anschlusses sofort befriedigen kann, ist er gleich der Nachfrage. Diese ist bei Arbeitsstätten je nach Geschäftszweig ≈ 1 oder auch > 1 . Bei privaten Haushalten hängt sie, wie in /6/ gezeigt wird, wesentlich von der Stellung im Beruf und dem Haushaltseinkommen ab. Im Gegensatz zur Stellung im Beruf ist die Einkommenshöhe nicht aus den Daten der Statistischen Landesämter ersichtlich; jedoch besteht sicher eine hohe Korrelation zwischen Einkommen einerseits und Alter, Ausbildung und Stellung im Beruf andererseits.

Die absolute Häufigkeit der Verkehrsquellen und -senken, d.h. der Teilnehmer, $T(\underline{x})$, läßt sich somit folgendermaßen beschreiben:

$$T(\underline{x}) = \sum_k T_k(\underline{x}) = \sum_k P_k \cdot TP_k(\underline{x})$$

, P_k Versorgungsgrad von Teilnehmern der Klasse k
 TP_k absolute Häufigkeit der potentiellen Teilnehmer mit der Teilnehmerklasse k

$T(\underline{x})$ hängt natürlich vom Dienst ab, den das Nachrichtensystem anbietet; z.B. ist die Teilnehmerstruktur für den Fernsprecheinstellung eine völlig andere als für den Telexdienst. Die Unterschiede werden durch unterschiedliche Versorgungsgrade beschrieben. Für eine bestimmte Dienstklasse d ist dann das Teilnehmerprofil

$$T_d(\underline{x}) = \sum_k P_{k,d} \cdot TP_k(\underline{x})$$

2.2 Das Verkehrsaufkommen der einzelnen Verkehrsquellen

Das Verkehrsaufkommen eines Teilnehmers \underline{VA} ist für eine bestimmte Teilnehmerklasse k gleich der Matrix der Verkehrsflüsse \underline{VF}_k . \underline{VA} ist abhängig von der Teilnehmerklasse des betrachteten Teilnehmers, seiner geografischen Lage, der Tageszeit, der Entfernung der Zielteilnehmer, der Teilnehmerklasse der Zielteilnehmer und - betrachtet man das Verkehrsprofil eines Netzes mit Integration der Dienste - von der Dienstklasse. Neben der Abhängigkeit von der Tageszeit sind natürlich auch mittel- und langfristige Schwankungen vorhanden, so daß man schreiben muß:

$$\underline{VA} = \underline{VA} (k, \underline{x}, t, e, k^*, d, \tau_1, \tau_2, \tau_3)$$

- k Teilnehmerklasse des betrachteten Teilnehmers
- k^* Teilnehmerklasse des Zielteilnehmers
- t Tageszeit
- τ_1 Zeitpunkt innerhalb der Woche
- τ_2 Zeitpunkt innerhalb des Jahres
- τ_3 Zeitpunkt im Prognosezeitraum (5 bis 30 Jahre)
- \underline{x} Ortsvektor des betrachteten Teilnehmers
- e Entfernung des Zielteilnehmers
- d Dienstklasse (Fernsprechen, Fernschreiben etc.)

Für Entwurfs- und Optimierungsverfahren ist ein einfaches Modell des Verkehrsaufkommens notwendig. Ein gangbarer Weg ist die Aufspaltung in mehrere Modelle, die gegebenenfalls überlagert werden müssen. Damit können entfallen

- die Abhängigkeit von d ; für ein Netz mit Integration der Dienste müssen dann mehrere Verkehrsprofile überlagert werden.
- die Abhängigkeit von k ; für jede Teilnehmerklasse entsteht dann ein eigenes Verkehrsprofil, und das Gesamtprofil für eine Dienstklasse wird durch Überlagerung gebildet.
- die Abhängigkeit von t, τ_1, τ_2 . Interessant ist für Netzentwurf und -optimierung nur der Zeitpunkt höchster Belastung, der für einen bereits vorhandenen Dienst, z.B. Fernsprechen, durch Verkehrsmessungen bekannt ist. Für noch nicht eingeführte Dienste muß er durch Überlegungen, Analogiebetrachtungen o.ä.

abgeschätzt werden.

- die Abhängigkeit von τ_3 . Diese Abhängigkeit kann entweder durch Trendextrapolation aus Langzeitbeobachtungen des Teilnehmerverhaltens oder mit Hilfe anderer Prognosetechniken ermittelt werden.

Damit wird das Verkehrsaufkommen eines Teilnehmers einer betrachteten Teilnehmerklasse für einen bestimmten Dienst und einen vorgegebenen Zeitpunkt

$$\underline{VA}_{k,d,t,\tau_1,\tau_2,\tau_3} = \underline{VA}_{k,d,t,\tau_1,\tau_2,\tau_3}(\underline{x},e,k^*)$$

Es ist für einen bestehenden Dienst unmittelbar durch Messungen an der Teilnehmeranschlußleitung zu bestimmen. Benötigt werden lediglich Zeitpunkt des Einfallens und Endens der Belegungen und die gewählte Rufnummer. Für eine analytische Beschreibung ist es jedoch zweckmäßig, das Verkehrsaufkommen als Produkt darzustellen.

$$\underline{VA}_{k,d,t,\tau_1,\tau_2,\tau_3}(\underline{x},e,k^*) = A_k \cdot f_k(\underline{x},e) \cdot \underline{G}_k(k^*)$$

A_k Verkehrswert des gesamten abgehenden Verkehrs eines Teilnehmers der Klasse k

$f_k(\underline{x},e)$ Entfernungsverteilung der Anrufe eines Teilnehmers der Klasse k

$\underline{G}_k(k^*)$ Zielverteilung der Anrufe eines Teilnehmers der Klasse k

Es wird hier zunächst angenommen, daß A_k von der geografischen Lage des Teilnehmers, z.B. von der Größe des Wohnortes, unabhängig ist; jedoch müßte dieses durch vergleichende Messungen in verschiedenen Ortsnetzen und in verschiedenen Vermittlungsstellen eines Ortsnetzes nachgeprüft werden. $f_k(\underline{x},e)$ gibt die Entfernungsverteilung der Anrufe eines Teilnehmers, bezogen auf gleiche Teilnehmeranzahl im Zielgebiet, an. Auch hier muß durch Messungen geprüft werden, ob eine Abhängigkeit von der geografischen Lage des rufenden Teilnehmers besteht, oder ob lediglich die Teilnehmeranzahl im Zielgebiet einen Einfluß auf die Verteilung hat. Es würde eine bedeu-

tende Vereinfachung des Modells zur Folge haben, wenn es eine ortsunabhängige Entfernungsverteilung $f_k(e)$ gäbe.

$G_k(k^*)$ berücksichtigt die Anzahl der Teilnehmer in einem Zielgebiet und ihre Verteilung auf Teilnehmerklassen; denn man kann davon ausgehen, daß ein Teilnehmer einer bestimmten Klasse bestimmte Teilnehmergruppen häufiger anruft als andere. Ob die Abhängigkeit von der Klasse der Zielteilnehmer entfernungsabhängig ist, müßte überprüft werden.

Wenn es gelingt, für die Anrufe eines Teilnehmers der Klasse k die Anrufverteilung als Funktion der Entfernung und der Zielverteilung, d.h. der Verteilung der Zielteilnehmer, zu beschreiben, läßt sich das Verkehrsprofil verhältnismäßig einfach berechnen, da die Zielverteilung aus dem ohnehin benötigten Teilnehmerprofil errechnet werden kann.

Die Frage ist, wie die Entfernungs- und die Zielabhängigkeit getrennt bestimmt werden können.

Eine einfache Teilnehmerklassifizierung anhand der Zieladresse von registrierten Anrufen, d.h. der gewählten Rufnummern, wäre nur möglich, wenn die Rufnummernverzeichnisse so gespeichert wären, daß anhand der Rufnummer die in den Teilnehmerakten festgehaltenen Daten von einem Rechnerprogramm abgerufen werden können. Eine allerdings sehr aufwendige Zuordnung von Rufnummer und Teilnehmeranschrift kann man mit Hilfe der Amtlichen Fernsprechbücher vornehmen; gleichzeitig läßt sich eine wenn auch sehr grobe Klassifizierung in private und geschäftliche Teilnehmer, unterteilt nach Geschäftszweig, anhand der Eintragungen im Fernsprechbuch durchführen.

Ein Verfahren unabhängig von Verkehrsmessungen und aufwendigen Zuordnungen ist die Teilnehmerbefragung. Private und geschäftliche Teilnehmer werden mit Hilfe des Amtlichen Fernsprechbuches zufällig ausgewählt und gebeten, in einem Fragebogen einige Angaben über eine bestimmte Anzahl von Anrufen zu machen. Der Fragebogen muß so gestaltet sein, daß die Ausfüllung während des Meldeverzugs (ca. 9 s im Mittel) möglich ist. Die für einen Anruf auszufüllende Zeile hat etwa folgendes Aussehen:

Zeit des Anrufs													Teilnehmerklasse des Angerufenen							Rufnummer											
8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	privat	Behörden etc.	Produkt.	Handel	Arzt Vertr.	Vers. Bank	Sonstige	1.	2.	3.							
Uhr																											Ziffer				
	X														X														0	8	9

Mit Hilfe der dadurch gewonnenen Information kann $G_k(k^*)$ abhängig von der Teilnehmerstruktur bestimmt werden. Betrachtet man eine Flächeneinheit F mit dem Ortsvektor \underline{y} (Bild 2) und dem Abstand $e = |\underline{y} - \underline{x}|$ vom betrachteten (sendenden) Teilnehmer mit Ortsvektor \underline{x} , dann ist die Zielverteilung der Anrufe, die von einem Teilnehmer der Klasse k nach F gehen,

$$G_k(\underline{y}) = T_e \cdot \sum_{k^*} g_k(k^*, e) \cdot \mathcal{J}_{k^*}(\underline{y})$$

$T_{k^*}(\underline{y})$ absolute Häufigkeit von Teilnehmern der Klasse k^* in einer Flächeneinheit F mit dem Ortsvektor \underline{y}

T_e absolute Häufigkeit von Teilnehmern in allen Flächeneinheiten F , die den Abstand e vom sendenden Teilnehmer haben:

$$T_e = \sum_{\underline{y} \mid |\underline{y} - \underline{x}| = e} \sum_{k^*} T_{k^*}(\underline{y})$$

$$\mathcal{J}_{k^*}(\underline{y}) = T_{k^*}(\underline{y}) / T_e$$

$g_k(k^*, e)$ Gewichtungsfaktor

$$g_k(k^*, e) = K \cdot \frac{A_{k, k^*, e}}{T_{k^*}(e)}$$

$A_{k, k^*, e}$ Verkehr, der von einem Teilnehmer der Klasse k zu allen Teilnehmern der Klasse k^* im Abstand e fließt.

K wird durch die folgende Normierungsbedingung bestimmt:

$$\sum_{\underline{y} \mid |\underline{y} - \underline{x}| = e} \sum_{k^*} g_k(k^*, e) \cdot \mathcal{J}_{k^*}(\underline{y}) = 1$$

Der Gewichtungsfaktor ist proportional der Wahrscheinlichkeit, mit der ein Teilnehmer der Klasse k einen Teilnehmer der Klasse k^* anruft. Er kann entfernungsabhängig sein.

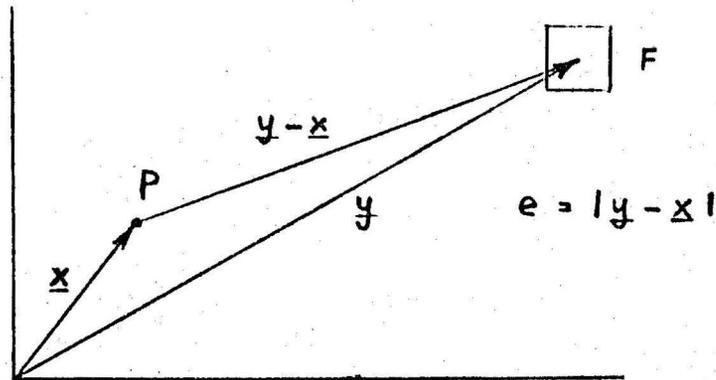


BILD 2: RICHTUNG EINES ANRUFES EINES TEILNEHMERS AM ORT P AN EINEN TEILNEHMERS IN EINER FLÄCHENGRUNDEINHEIT F

Die Entfernungsverteilung, bezogen auf einen Teilnehmer im Zielgebiet, $f_k(e)$, ist gleich dem Verkehrsanteil, der in alle Flächeneinheiten im Abstand e vom sendenden Teilnehmer fließt, dividiert durch die absolute Häufigkeit von Teilnehmern in diesen Flächeneinheiten.

$$f_k(e) = \frac{A_{k,e}}{A_k} \cdot \frac{1}{T_e}$$

$A_{k,e}$ Verkehr, der von einem Teilnehmer der Klasse k in alle Flächeneinheiten im Abstand e fließt

Um die Entfernungsverteilungen verschiedener Teilnehmerklassen k besser miteinander vergleichen zu können, kann man auch schreiben

$$f'_k(e) = a \cdot f_k(e) \quad , \quad a = \left[\sum_e f_k(e) \right]^{-1} \quad (\text{Normierungsfaktor})$$
$$\sum_e f'_k(e) = 1$$

Wenn durch die oben erwähnten Verkehrsmessungen bzw. Teilnehmerbefragungen nachgewiesen werden kann, daß man die einmal bestimmten Größen A_k , g_k und f_k allgemein jedem Teilnehmer der Klasse k zuordnen kann, dann ist die Verteilung des Verkehrsaufkommens eines einzelnen Teilnehmers leicht aus dem Teilnehmerprofil zu bestimmen.

Summiert man die Teilverkehre eines Teilnehmers der Klasse k über das gesamte betrachtete Gebiet, d.h. über alle Flächengrundeinheiten F mit dem Ortsvektor \underline{y} , dann ergibt sich $\sum_{\underline{y}} VA_k(\underline{x}, \underline{y}) = A_k(\underline{x})$.

Die Verteilung aller Verkehrsflüsse aus einer Flächengrundeinheit mit dem Ortsvektor \underline{x} ergibt sich durch Zusammenfassen der Verkehrsflüsse aller Teilnehmer in dieser Flächengrundeinheit, und das gesamte Verkehrsprofil entsteht durch Berechnung der Verkehrsflußverteilung aller Flächengrundeinheiten.

3. Analyse der Struktur des Verkehrsaufkommens von Teilnehmern aus Meßdaten

Wie in Kapitel 2 gezeigt wurde, setzt eine einfache Berechnung eines Verkehrsprofils für ein Versorgungsgebiet voraus, daß sich die Struktur des Verkehrsaufkommens eines Teilnehmers durch gewisse Gesetzmäßigkeiten auszeichnet, z.B. durch eine für alle Teilnehmer bzw. für eine Teilnehmergruppe gültige Funktion, die die Entfernungsverteilung der Anrufe näherungsweise beschreibt. Um einige Anhaltspunkte über die Verkehrsverteilung eines Fernsprechteilnehmers zu erhalten, wurden Ergebnisse einer Messung analysiert, in der ca. 13 000 Anrufe von Einzelanschlüssen im Orts- und Fernverkehr (Selbstwählferndienst) registriert wurden. Die Teil-

nehmer wurden in folgende Klassen eingeteilt:

1. nach der Nutzung ihres Anschlusses
 - a. Teilnehmer mit vorwiegend geschäftlicher Nutzung
 - b. Teilnehmer mit vorwiegend privater Nutzung
2. nach dem mittleren Gebührenaufkommen pro Monat
 - a. Teilnehmer mit 500 oder mehr Gebühreneinheiten (GE)
 - b. Teilnehmer mit 100 oder mehr, aber weniger als 500 GE
 - c. Teilnehmer mit weniger als 100 GE.

Untersucht wurde die zeitliche Verteilung der Anrufe über den Tag und ihre Entfernungsverteilung.

Es muß hier noch einmal darauf hingewiesen werden, daß die Daten aus einer Messung in e i n e r Ortsvermittlungsstelle des Ortsnetzes Berlin stammen, so daß Rückschlüsse auf Verhältnisse in anderen Gebieten nur mit größter Vorsicht gezogen werden können. Zweck der Analyse ist es, zu untersuchen, ob überhaupt gewisse Gesetzmäßigkeiten erkennbar sind.

3.1 Die zeitliche Verteilung der Anrufe über den Tag

Bei dem Entwurf und der Dimensionierung von Fernsprechnetzen berücksichtigt man die Tatsache, daß die höchste Verkehrsbelastung während der vormittäglichen Hauptverkehrsstunde (HVSt), die etwa zwischen 10 und 12 Uhr liegt, auftritt. Ihre Lage wird eindeutig von den geschäftlich genutzten Anschlüssen, insbesondere von den Nebenstellenanlagen, bestimmt, die den weitaus größten Verkehrsanteil erzeugen. Es ist jedoch zu berücksichtigen, daß die Zunahme der Anzahl der Fernsprechhauptanschlüsse überwiegend durch die Zunahme privat genutzter Anschlüsse bedingt ist, da der Versorgungsgrad privater Haushalte in der Bundesrepublik im internationalen Vergleich gesehen gemessen am privaten Einkommen relativ niedrig ist. Wenn das mittlere Verkehrsaufkommen des

einzelnen Privatanschlusses in der Regel auch wesentlich geringer als das eines Geschäftsanschlusses ist, so ist doch anzunehmen, daß der Anteil des privaten Fernsprechverkehrs in der Zukunft zunimmt. Wegen der zunehmenden Anzahl von Ein-Personen-Haushalten und der großen Anzahl berufstätiger Ehefrauen kann man davon ausgehen, daß die HVSt privater Anschlüsse nicht während der Geschäftszeit, sondern in den Abendstunden liegt.

Beim Entwurf und der Optimierung von Fernsprechnetzen muß geprüft werden, ob die zu verschiedenen Tageszeiten unterschiedlichen Verkehrsverteilungen zu stark unterschiedlichen Lösungen führen und ob es zweckmäßig ist, vom auf die vormittägliche HVSt bezogenem Optimum abzuweichen. Weiter ist zu prüfen, ob sich durch geschickte Gruppierung von Teilnehmern verschiedener Klassen eine möglichst gleichmäßige zeitliche Auslastung der technischen Einrichtungen erreichen läßt.

Die Bilder 4 bis 7 zeigen die zeitliche Verteilung abgehender Anrufe über den Tag für die oben angegebenen Teilnehmerklassen. In den Bildern 8 und 9 sind die entsprechenden Verteilungen für ankommenden Verkehr hinzugefügt, obwohl sie nicht so interessant für Entwurfs- und Optimierungsverfahren sind, da sich der ankommende Verkehr aus der Verteilung der abgehenden Verkehre ergibt.

Die Bilder 3 und 4 zeigen abgehende Anrufe an Teilnehmer im gleichen Ortsnetz (Berlin). In Bild 3 ist die Anrufrate (Anzahl der Anrufe je Teilnehmer und Stunde) über der Tageszeit aufgetragen. Die ausgezogenen Linien bezeichnen alle, also auch die erfolglosen Anrufversuche, die darunterliegenden gestrichelten Linien nur die erfolgreichen Anrufe. Bei vorwiegend geschäftlich genutzten Anschlüssen (c) ist die morgendliche Verkehrsspitze (von 9-13 Uhr) sehr ausgeprägt; aber auch die nachmittägliche Spitze (von 15-16 Uhr) ist gut zu erkennen. In der Mittagszeit von (13-15 Uhr) und nach 16 Uhr sinkt die Anrufrate stark ab. Bei vorwiegend privat genutzten Anschlüssen (e) sind dagegen die Schwankungen über den Tag sehr gering; es gibt drei etwa gleich große Verkehrsspitzen: zwischen 10 und 12, von 16 - 17 Uhr und von 19 - 20 Uhr.

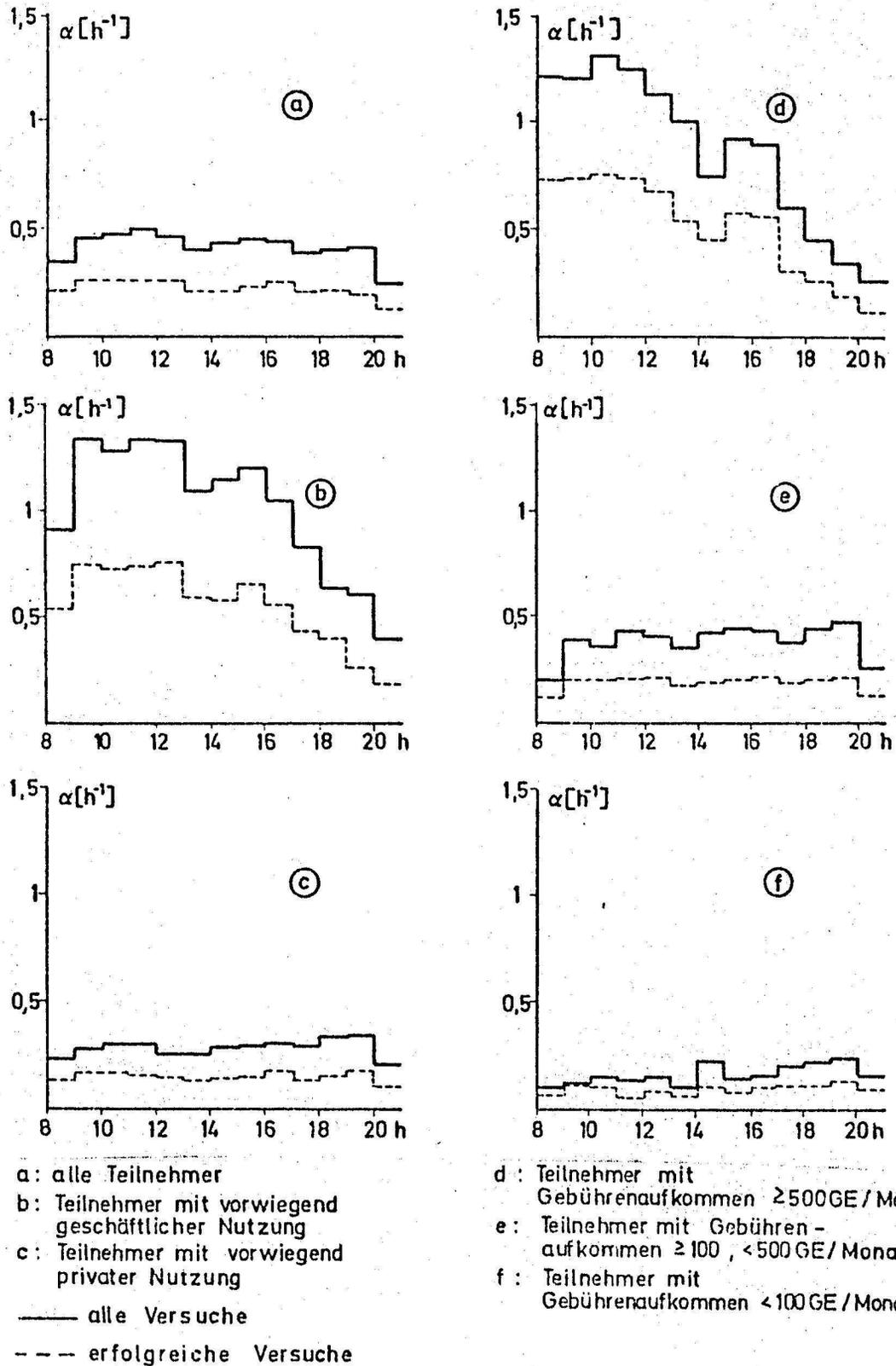
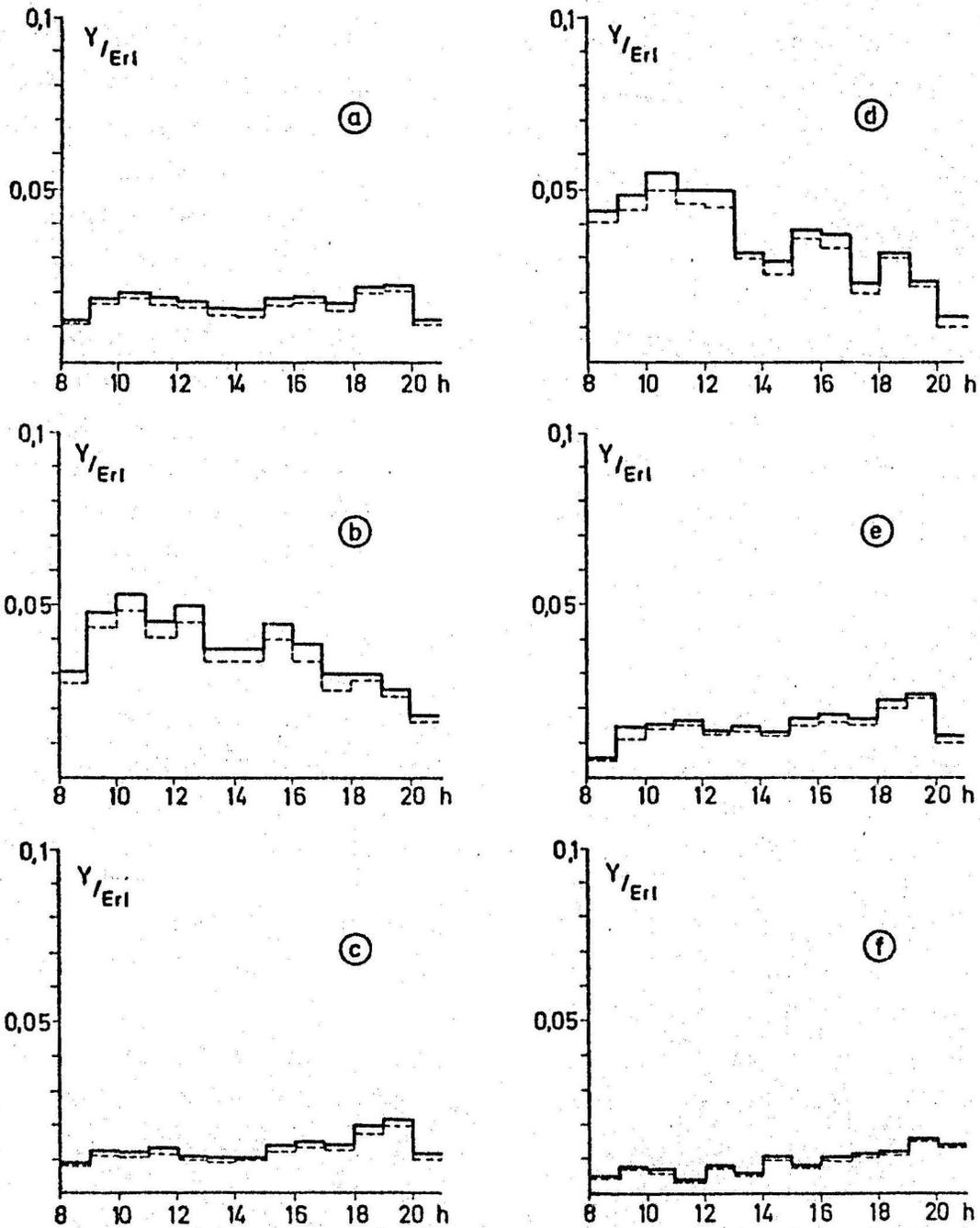


BILD 3: ANRUFRATE α JE TEILNEHMER IM ORTSVERKEHR IN ABHÄNGIGKEIT VON DER TAGESZEIT



a: alle Teilnehmer

b: Teilnehmer mit vorwiegend geschäftlicher Nutzung

c: Teilnehmer mit vorwiegend privater Nutzung

— alle Versuche

- - - erfolgreiche Versuche

d: Teilnehmer mit

Gebührenaufkommen ≥ 500 GE / Monat

e: Teilnehmer mit Gebührenaufkommen $\geq 100, < 500$ GE / Monat

f: Teilnehmer mit Gebührenaufkommen < 100 GE / Monat

BILD 4: VERKEHRSWERT Y JE TEILNEHMER IM ORTSVERKEHR IN ABHÄNGIGKEIT VON DER TAGESZEIT

Wenn nun, wie hier bei der Auswertung geschehen, eine geringe Anzahl Teilnehmer mit geschäftlicher Nutzung (b) und hohem mittleren Verkehrsaufkommen mit einer großen Anzahl Teilnehmer mit privater Nutzung (c) und niedrigem Gebührenaufkommen zusammengefaßt werden können, dann ergibt sich insgesamt eine sehr gleichmäßige Ausnutzung des Systems über den Tag (a).

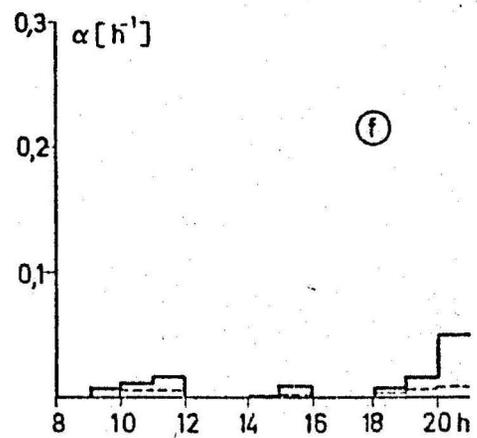
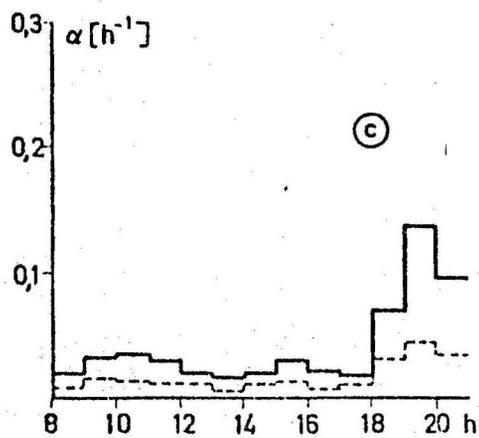
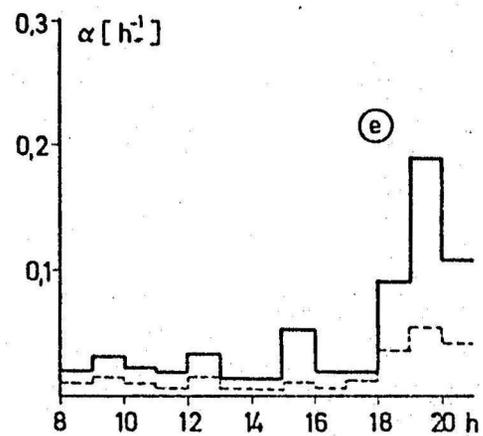
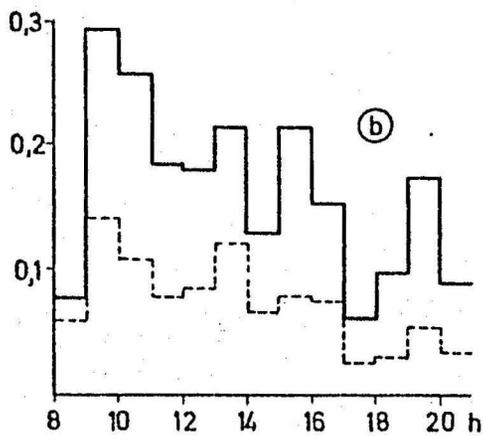
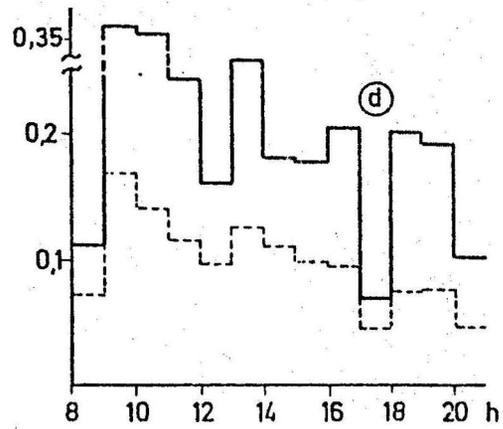
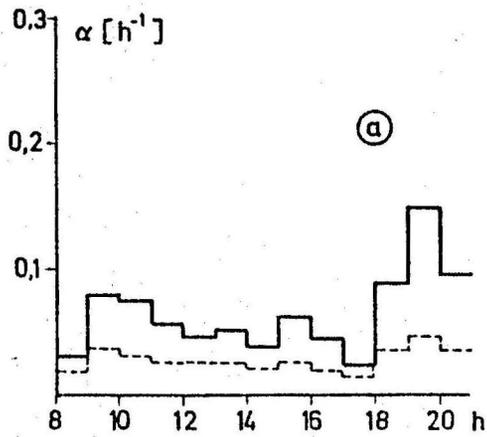
Betrachtet man die Teilnehmer in Abhängigkeit vom mittleren Gebührenaufkommen, (d), (e), (f), dann kann man bezüglich der zeitlichen Struktur der Anrufraten sagen, Teilnehmer mit Gebührenaufkommen ≥ 500 GE/Monat entsprechen etwa den Geschäftsanschlüssen, die beiden Klassen mit niedrigerem Aufkommen etwa den Privatanschlüssen.

Im Gegensatz zu Bild 3 zeigt Bild 4 den Verkehrswert Y der abgehenden Ortsanrufe in Erlang. Man sieht sofort, daß der Unterschied zwischen den Verteilungen für alle Anrufversuche und denen nur für erfolgreiche Anrufe sehr viel geringer ist als bei den Anrufraten. Der Grund dafür ist die gegenüber erfolgreichen Anrufen wesentlich geringere Belegungsdauer erfolgloser Versuche.

Im Falle geschäftlich genutzter Anschlüsse (b) entspricht der zeitliche Verlauf in etwa dem in Bild 3. Kennzeichnend für Einzelanschlüsse mit vorwiegend geschäftlicher Nutzung scheint die relativ spät liegende mittägliche Pause bis 15 Uhr zu sein; sie ist, wie später zu sehen ist, auch bei Fernanrufen und ankommenden Anrufen zu erkennen.

Im Gegensatz zu Bild 3 ist in Bild 4 das Maximum der zeitlichen Verteilung zwischen 18 und 20 Uhr, da, wie in /4/ gezeigt wurde, die mittlere Dauer der Belegungen abends deutlich länger ist als tagsüber. Daher ist auch im Diagramm (a) die abendliche Verkehrsspitze stärker ausgeprägt als in Bild 3. Der Verlauf in Diagramm (d) ist dem in (b) ähnlich, während (e) und (f) etwa dem Diagramm (c) entsprechen.

Die Bilder 5 und 6 zeigen den zeitlichen Verlauf von Anrufrate und Angebot bei Anrufen von Berlin ins Bundesgebiet im Selbstwählferndienst (SWFD). In Bild 5 fallen sofort zwei Unterschiede zum Ortsverkehr (Bild 3) ins Auge.



a: alle Teilnehmer
 b: Teilnehmer mit vorwiegend geschäftlicher Nutzung
 c: Teilnehmer mit vorwiegend privater Nutzung
 — alle Versuche
 --- erfolgreiche Versuche

d: Teilnehmer mit Gebührenaufkommen ≥ 500 GE/ Monat
 e: Teilnehmer mit Gebührenaufkommen ≥ 100 , < 500 GE/ Monat
 f: Teilnehmer mit Gebührenaufkommen < 100 GE/ Monat

BILD 5: ANRUFRATE α JE TEILNEHMER IM SWFD IN ABHÄNGIGKEIT VON DER TAGESZEIT

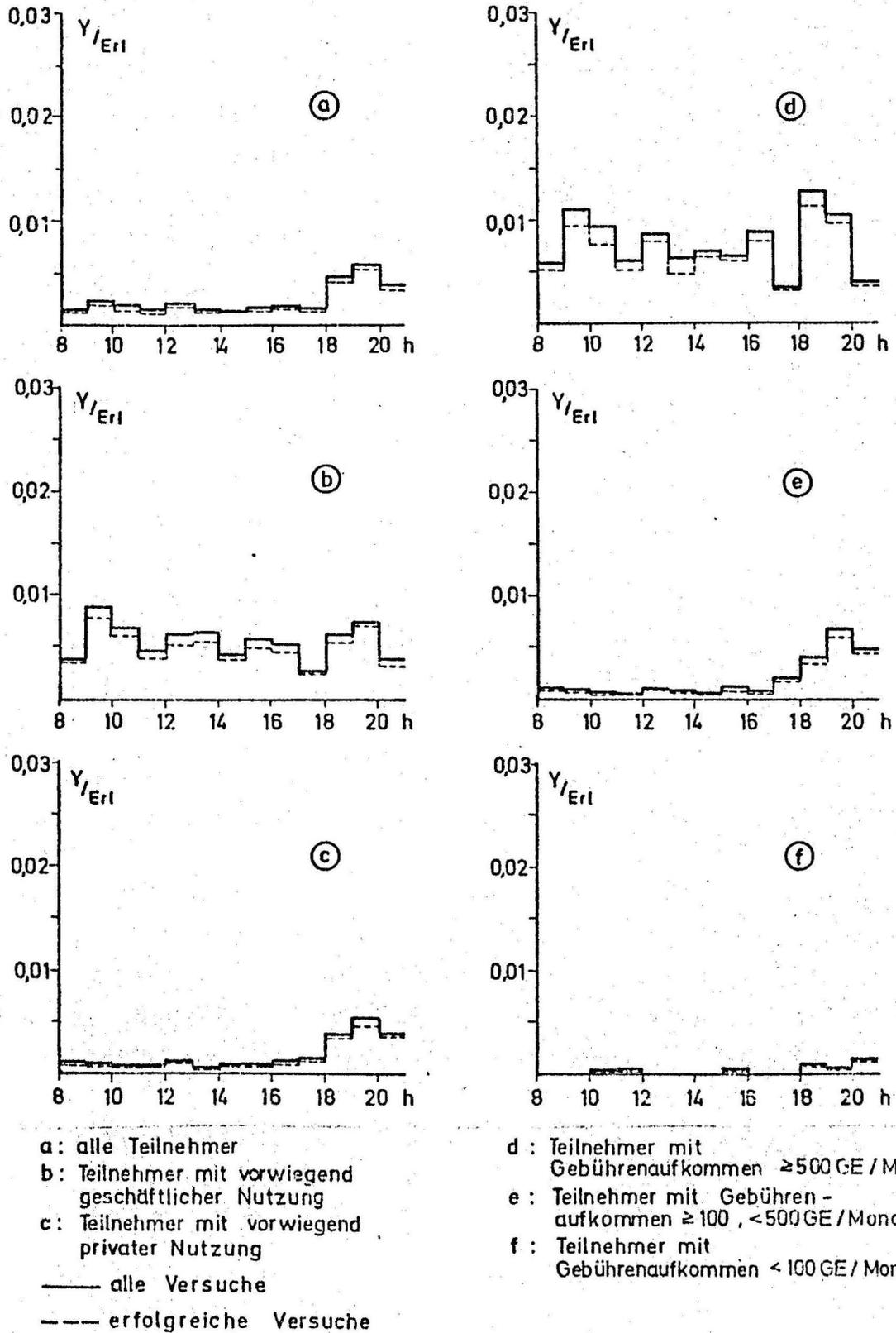


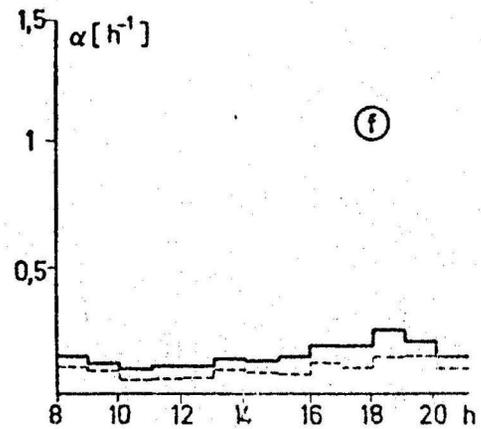
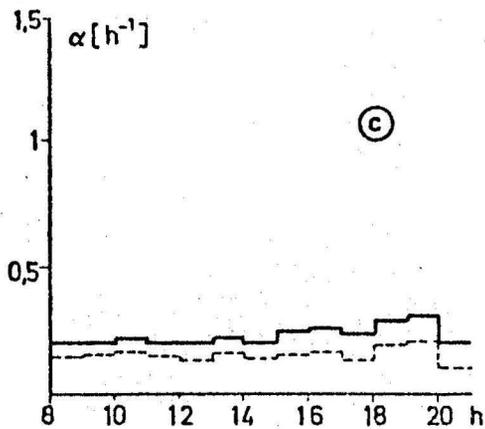
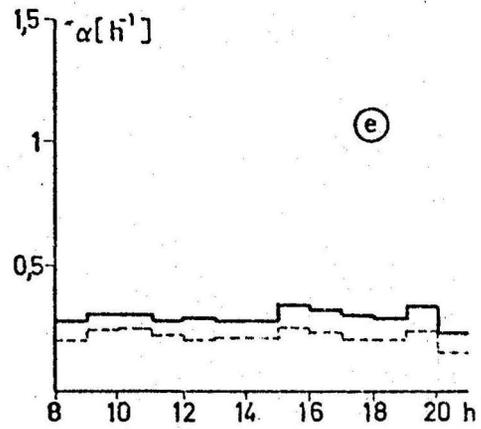
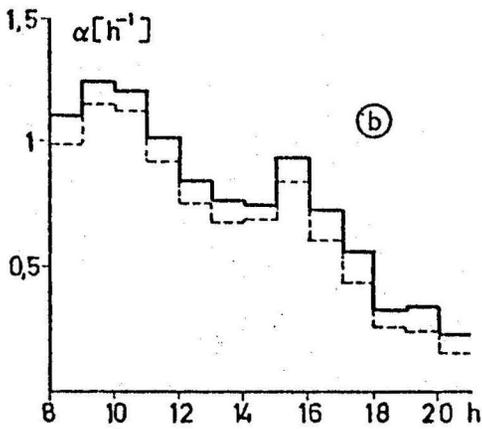
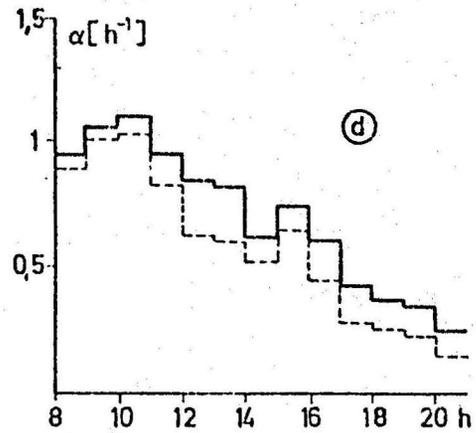
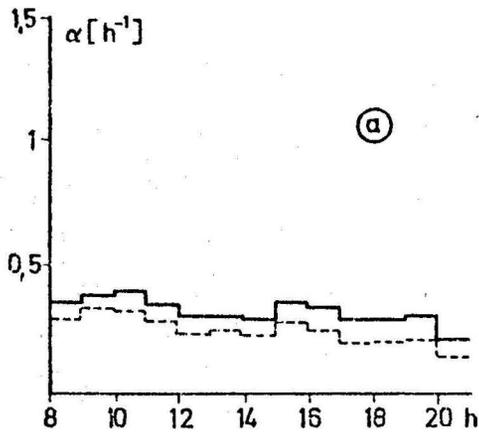
BILD 6: VERKEHRSWERT Y JE TEILNEHMER IM SWFD IN ABHÄNGIGKEIT VON DER TAGESZEIT

- Der Unterschied zwischen allen Anrufversuchen insgesamt und erfolgreichen Anrufen ist erheblich höher als bei Ortsanrufen. Darin zeigt sich die gegenüber Ortsverkehr erheblich höhere Gassenbesetztwahrscheinlichkeit im SWFD.
- Gegenüber Ortsverkehr fällt ein erheblich höherer Verkehrsanteil in die Zeit nach 18 Uhr, auch bei vorwiegend geschäftlich genutzten Anschlüssen. Die Gebührenherabsetzung nach 18 Uhr veranlaßt also auch Teilnehmer mit vorwiegend geschäftlicher Nutzung, soweit wie möglich Ferngespräche in die Zeit nach Geschäftsschluß zu verlagern. Der Vergleich zwischen den Diagrammen (b) und (c) zeigt, daß die absolute Anzahl von Anrufen im SWFD nach 18 Uhr nur geringfügig voneinander abweicht. Eine mögliche Deutung ist, daß der Verkehrsanteil nach 18 Uhr in Diagramm (b) durch private Nutzung entsteht.

Auch für den SWFD gilt, daß Diagramm (d) dem Diagramm (b) und daß (e) und (f) dem Diagramm (c) im Verlauf ähnlich sind.

Gemessen am Verkehrswert (Bild 6) ist bei Teilnehmern mit vorwiegend geschäftlicher Nutzung und solchen mit sehr hohem Gebührenaufkommen die abendliche Verkehrsspitze etwa gleich der morgendlichen, während bei privaten Anschlüssen und bei Teilnehmern mit Gebührenaufkommen < 500 GE/Monat die abendliche Spitze erheblich höher ist als die Werte, die während des Tages erreicht werden. Bei Teilnehmern mit weniger als 100 GE/Monat (Diagramm f) wurden nur wenige Fernanrufe registriert; aber auch hier sind deutlich drei Verkehrsspitzen zu erkennen: die morgendliche zwischen 10 und 12 Uhr, die nachmittägliche zwischen 15 und 16 Uhr und die abendliche ab 18 Uhr.

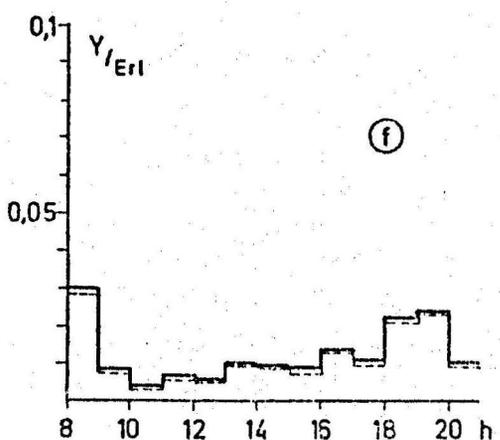
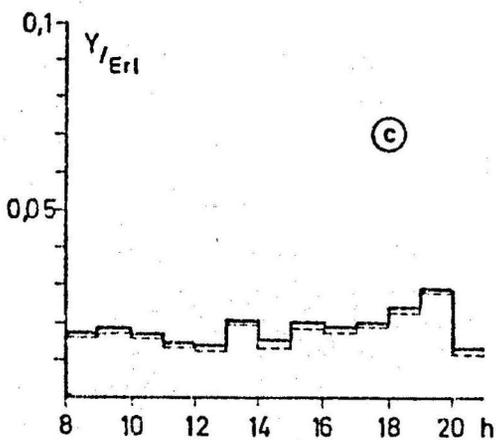
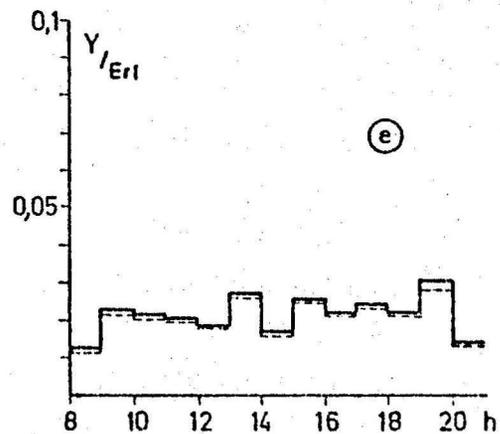
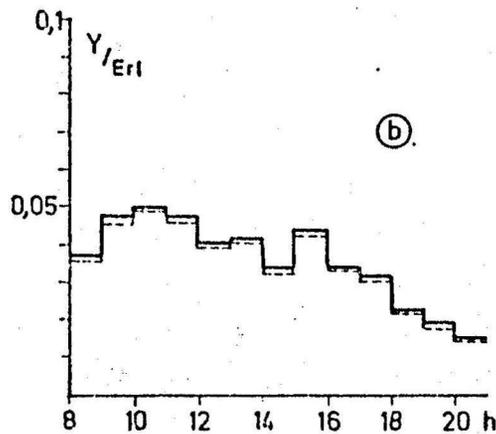
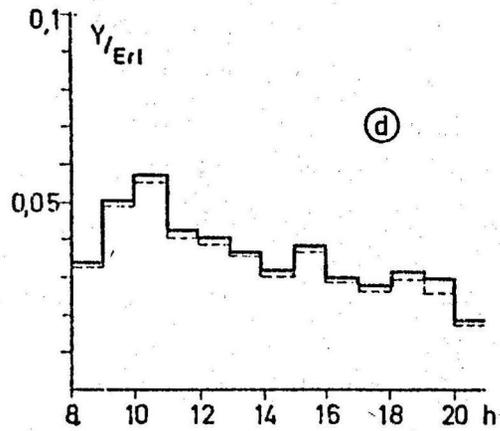
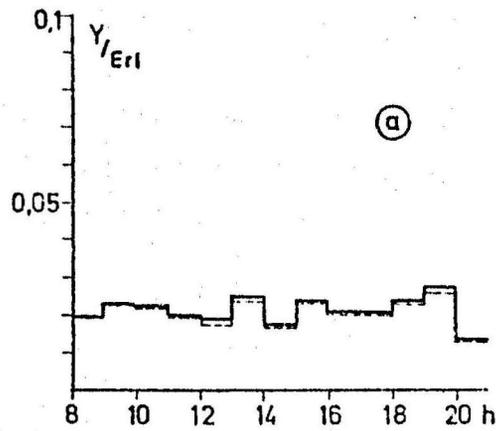
An dieser Stelle sei noch einmal darauf hingewiesen, daß die nach der Durchführung der Messung eingeführte Änderung der Tarifstruktur (erheblich verbilligter Tarif (Nachtgebühr II) ab 22 Uhr) vermutlich zu einer teilweisen Verschiebung des Verkehrs aus der Zeit von 18 - 22 Uhr in den Zeitraum ab 22 Uhr geführt hat.



a: alle Teilnehmer
 b: Teilnehmer mit vorwiegend geschäftlicher Nutzung
 c: Teilnehmer mit vorwiegend privater Nutzung
 — alle Versuche
 - - - erfolgreiche Versuche

d: Teilnehmer mit Gebührenaufkommen ≥ 500 GE/Monat
 e: Teilnehmer mit Gebührenaufkommen ≥ 100 , < 500 GE/Monat
 f: Teilnehmer mit Gebührenaufkommen < 100 GE/Monat

BILD 7: ANRUFRATE α JE TEILNEHMER BEI ANKOMMENDEM VERKEHR IN ABHÄNGIGKEIT VON DER TAGESZEIT



- a: alle Teilnehmer
- b: Teilnehmer mit vorwiegend geschäftlicher Nutzung
- c: Teilnehmer mit vorwiegend privater Nutzung
- alle Versuche
- - - erfolgreiche Versuche

- d: Teilnehmer mit Gebührenaufkommen ≥ 500 GE / Monat
- e: Teilnehmer mit Gebührenaufkommen ≥ 100 , < 500 GE / Monat
- f: Teilnehmer mit Gebührenaufkommen < 100 GE / Monat

BILD 8: VERKEHRSWERT Y JE TEILNEHMER BEI ANKOMMENDEM VERKEHR IN ABHÄNGIGKEIT VON DER TAGESZEIT

Die Bilder 7 und 8 zeigen die Anrufrate und den Verkehrswert ankommender Anrufe. Registriert wurden aus meßtechnischen Gründen nur Anrufe, die auf einen freien Anschluß trafen; die Differenz zwischen erfolgreichen Anrufen und allen Anrufversuchen entsteht also ausschließlich durch Versuche ohne Antwort des B-Teilnehmers.

Auch bei ankommendem Verkehr ist der Unterschied zwischen Teilnehmern mit vorwiegend geschäftlicher und solchen mit vorwiegend privater Nutzung deutlich: bei den ersteren gibt es eine ausgeprägte Verkehrsspitze morgens, eine kleinere nachmittags, und nach 16 Uhr flaut der Verkehr ab, während bei den letzteren einem geringen Verkehrsaufkommen tagsüber die abendliche Verkehrsspitze gegenübersteht. Diagramm (d) hat wiederum Ähnlichkeit mit (b) und (f) mit (c), während (e) nicht eindeutig einzuordnen ist. Es ist vorstellbar, daß in dieser Kategorie (100 bis 500 GE/Monat) bestimmte Berufe stark vertreten sind, z.B. Vertreter, die tagsüber (wegen Abwesenheit) wenig abgehend telefonieren, jedoch viel angerufen werden (Kundenanrufe). Solche Anschlüsse verhalten sich also abgehend wie private, ankommend wie geschäftliche Teilnehmer.

Über die hier gemachten Aussagen hinausgehende Feststellungen sind mit der vorgenommenen Klassifizierung nicht möglich. Jedoch ist zwischen Teilnehmern mit vorwiegend geschäftlicher und solchen mit vorwiegend privater Nutzung ein deutlicher Unterschied erkennbar. Bei Kenntnis weiterer Teilnehmerdaten (Zahl der Personen im Haushalt, berufliche Stellung der Personen; Art des Betriebes, Anzahl der Beschäftigten) lassen sich aber sicher weitere Aussagen machen.

3.2 Die Entfernungverteilung der Anrufe

Während man davon ausgehen kann, daß die zeitliche Verteilung der Anrufe eines Teilnehmers im wesentlichen von der Nutzungsart und nur geringfügig von der geografischen Lage des Teilnehmers abhängt, kann man bei der Entfernungverteilung der Anrufe eines Teilnehmers nicht ausschließen, daß je nach geografischer Lage Unterschiede zwischen Teilnehmern auftreten. Aber abgesehen von derartigen Unterschieden, die auf den Nahbereich beschränkt sein dürften, gilt

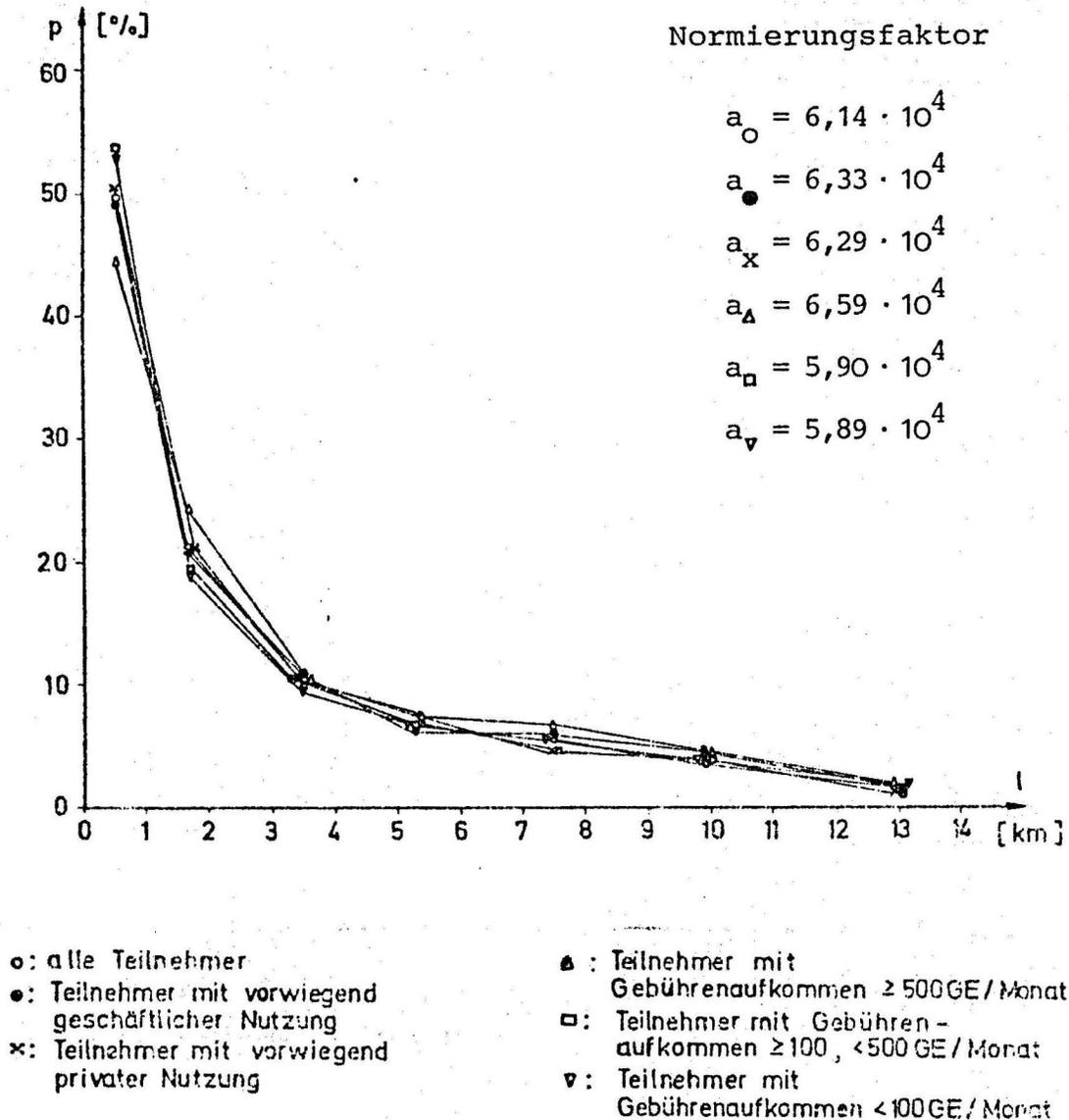
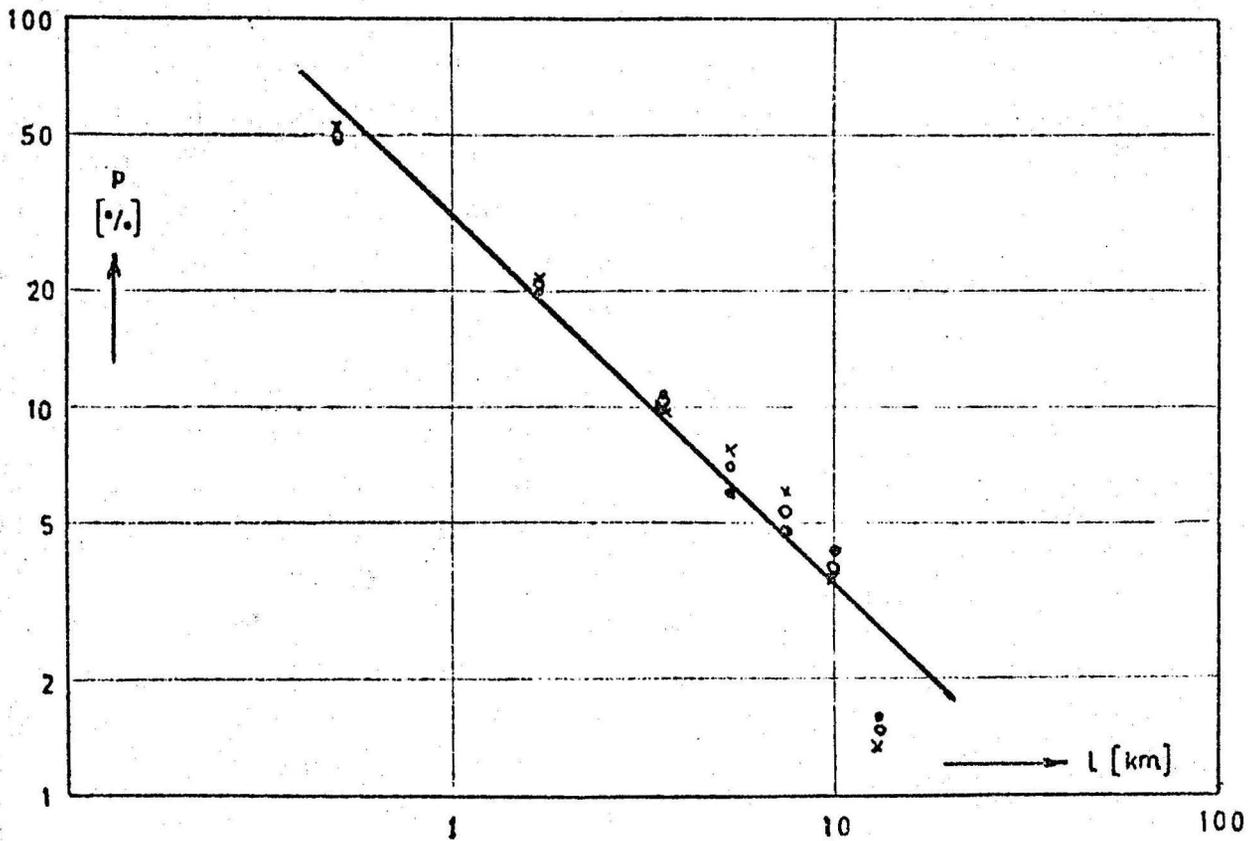


BILD 9A: WAHRSCHEINLICHKEIT P, DASS ZWISCHEN URSPRUNGS-
 VERMITTLUNGSSTELLE UND ZIELVERMITTLUNGSSTELLE
 EINES ORTSANRUFES DIE ENTFERNUNG L LIEGT -
 LINEARE ORDINATEN- UND ABSZISSENTEILUNG



- o alle Teilnehmer
- Teilnehmer mit vorwiegend geschäftlicher Nutzung
- x Teilnehmer mit vorwiegend privater Nutzung

BILD 9B: WAHRSCHEINLICHKEIT P , DASS ZWISCHEN URSPRUNGS-
VERMITTLUNGSSTELLE UND ZIELVERMITTLUNGSSTELLE
EINES ORTSANRUFES DIE ENTFERNUNG L LIEGT -
LOGARITHMISCHE ORDINATEN- UND ABSZISSENTEILUNG

wohl für die Mehrzahl der Teilnehmer, daß die Anzahl der Anrufe, bezogen auf die gleiche Anzahl Zielteilnehmer, mit der Entfernung abnimmt. Diese Annahme geht von der Überlegung aus, daß die Wahrscheinlichkeit, einen anderen Menschen zu kennen oder mit einer Organisation geschäftlich zu tun zu haben, umso größer ist, je benachbarter diese sind. Das Kommunikationsbedürfnis hat einen derartigen Kontakt zur Voraussetzung und dürfte der Intensität des Kontaktes proportional sein.

Bild 7a zeigt die Entfernungsverteilung von Ortsanrufen, die in einer Ortsvermittlungsstelle in Berlin registriert wurden. Da die Anschrift der rufenden und der Zielteilnehmer nicht bekannt waren, wurde anstelle des Abstandes zwischen ihnen der Abstand zwischen Ursprungs- und Zielvermittlungsstelle verwendet. Die Anzahl der Zielteilnehmer in den Zielvermittlungsstellenbereichen wurde anhand von Bevölkerungsdaten geschätzt. Es gilt daher $p(l) \approx f'(e)$ (siehe Abschnitt 2.2, S. 12). Bild 9a zeigt, daß ein erheblicher Anteil des Verkehrs in die unmittelbare Umgebung des rufenden Teilnehmers geht und daß die Wahrscheinlichkeit von Anrufen mit der Entfernung abnimmt. Ferner ist zu erkennen, daß die Entfernungsverteilung nur sehr wenig von der Klasse des rufenden Teilnehmers abhängt. Um die Möglichkeit zu untersuchen, die empirischen Kurven durch eine Näherungsfunktion zu ersetzen, wurden die Werte in Bild 9b in doppeltlogarithmischem Papier aufgetragen. Bis auf den Wert für 13 km liegen die Meßwerte verhältnismäßig gut auf der Regressionsgeraden. Man kann also mit allem Vorbehalt hinsichtlich einer Verallgemeinerung eine Näherungsfunktion $p(l) = K \cdot l^c, c < 0$ angeben.

Wenn man die Entfernungsverteilung von Fernanrufen im Inlands-SWFD betrachtet, muß man zunächst berücksichtigen, daß im Falle Berlins die ersten 150 km entfallen. Um die Entfernungsverteilung bestimmen zu können, wurde das Bundesgebiet in Entfernungszonen aufgeteilt, wie es in Bild 10 zu sehen ist. Die Anrufe wurden nach der Ortskennzahl in die Knotenvermittlungsbereiche des Zielgebietes eingeordnet; die Anzahl der Zielteilnehmer in den Entfernungszonen

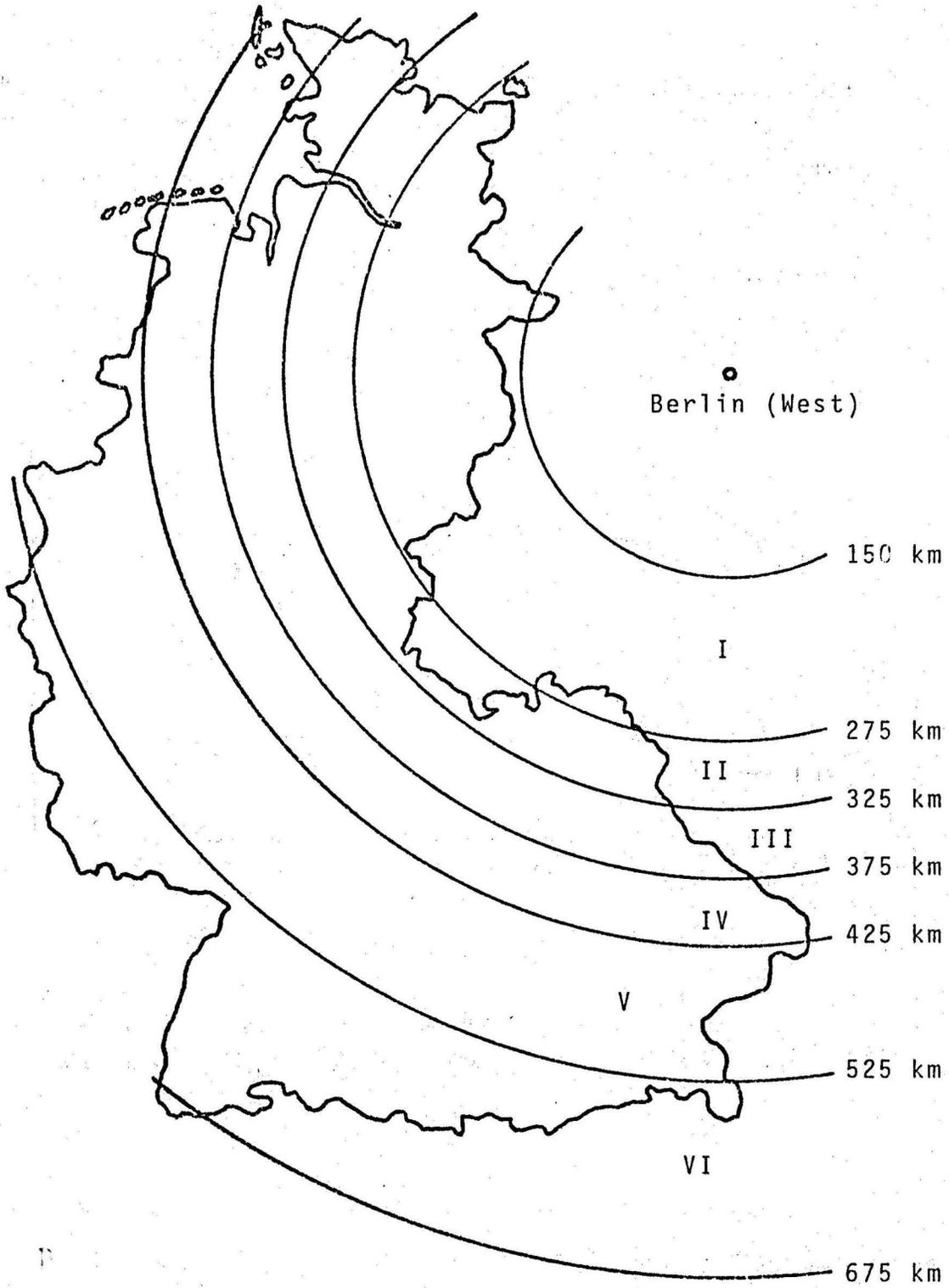


BILD 10: AUFTEILUNG DES BUNDESGBIETES IN ENTFERNZONEN, VOM ORTSNETZ BERLIN AUS GESEHEN

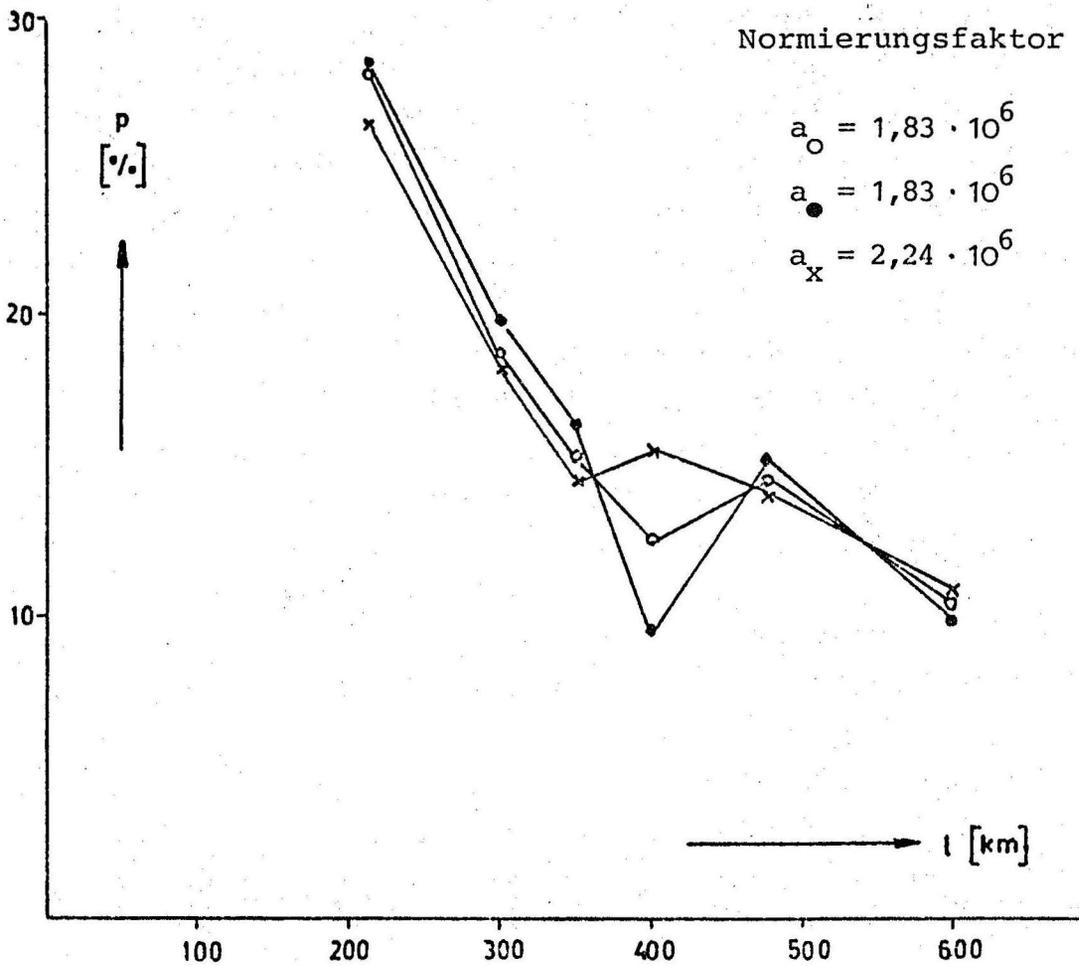


BILD 11: WAHRSCHEINLICHKEIT P, DASS ZWISCHEN URSPRUNGSORTSNETZ UND ZIEL-KNOTENVERMITTLUNGSBEREICH EINES ANRUF IM SWFD DIE ENTFERNUNG L LIEGT

wurde aus Bevölkerungsstatistiken geschätzt. Es gilt also auch hier $p(l) \approx f'(e)$. Die sich aus der Einordnung der registrierten Anrufe ergebende Entfernungsverteilung zeigt Bild 11. Man sieht, daß, wie oben erwähnt, der Nahbereich bis 150 km aus der Betrachtung ausgeklammert werden muß. Weiter ist zu sehen, daß auch im Fernverkehr Unterschiede zwischen Teilnehmern mit vorwiegend geschäftlicher und solchen mit vorwiegend privater Nutzung nicht sehr erheblich sind. Die gemessene Verteilung läßt sich nicht so gut wie die in Bild 9a durch eine einfache Funktion annähern, obwohl die Entfernungszonen wegen der relativ geringen Anzahl von Meßwerten unterschiedlich breit gemacht wurden, damit in den Randzonen mehr Anrufe ausgewertet werden konnten. Der Verlauf zwischen 200 und 500 km läßt sich mit dem zur Verfügung stehenden Zahlenmaterial nicht näher interpretieren. Immerhin kann man Bild 11 entnehmen, daß auch für den Fernverkehr eine Abnahme des Verkehrsanteils mit zunehmender Entfernung gilt. Ob die Abweichungen von einer monoton fallenden Funktion zufälliger Natur sind oder durch nicht berücksichtigte Einflußgrößen verursacht werden, muß durch weitere Beobachtungen untersucht werden.

Unser Dank gilt den Herren H. Brüggener, Dipl.-Ing. H. Ehlers, F. Finkbein, K. Kleine und M. Konitzer für ihre wertvolle Hilfe bei der Auswertung des umfangreichen Datenmaterials,

Herrn Dr.-Ing. R. Hoffmann für wertvolle Anregungen und Diskussionsbeiträge,

dem Fachbereich 20 der Technischen Universität für die Genehmigung zur Benutzung der Rechenanlage CAE 90/40 und den Mitarbeitern an der Rechenanlage für ihre Unterstützung,

der SIEMENS AG, München, Bereich Fernsprechtechnik, für die finanzielle Förderung des Vorhabens,

dem Fernmeldetechnischen Zentralamt der Deutschen Bundespost, das durch seine Genehmigung die Durchführung des Vorhabens möglich machte, sowie den Bediensteten der Landespostdirektion Berlin für ihre Unterstützung bei der Gewinnung der Meßdaten.

Literaturverzeichnis

1. G. Bretschneider
E. Goldbrunner
Ein Beitrag zur Bestimmung der wirtschaftlich optimalen Lage von Ortsvermittlungsstellen mit Hilfe von Datenverarbeitungsanlagen
NTZ 19 (1966), S.455ff.
2. R. Evers
K.-E. Anders
Untersuchung über das Verhalten von Teilnehmern am öffentlichen Fernsprechverkehr
Technischer Bericht Nr. 185 des Heinrich-Hertz-Instituts Berlin - Charlottenburg (1975)
3. R. Evers
K.-E. Anders
Teilnehmerabhängige Zeitintervalle innerhalb von Belegungen im öffentlichen Fernsprechnet
Technischer Bericht Nr. 186 des Heinrich-Hertz-Instituts Berlin - Charlottenburg (1975)
4. R. Evers
K.-E. Anders
Belegungsdauern und Wiederholabstände bei Anrufversuchen im öffentlichen Fernsprechverkehr
Technischer Bericht Nr. 187 des Heinrich-Hertz-Instituts Berlin - Charlottenburg (1975)
5. H. Schön
Lösung der Tarifgrenzen von den Ortsnetzgrenzen durch Einführung des Nahdienstes im öffentlichen Fernsprechverkehr
Jahrbuch des elektrischen Fernmeldewesens Nr. 23 (1972), S. 113-158
6. E. Böhm
Modelle für Entwicklungsprognosen im Fernsprechwesen
Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung, Universität Stuttgart, Prof. Dr.-Ing. A. Lotze, 13. Bericht über verkehrstheoretische Arbeiten (1971)

