Lokale Netze – Eine neue Technologie für die digitale Nachrichtenübermittlung

Local Area Networks – A New Technology for Digital Data Communications

Bernhard Walke, FernUniversität Hagen

Es werden zwei konkurrierende Übermittlungsprinzipien für Daten im lokalen Bereich detailliert vorgestellt. Insbesondere werden lokale Netze (LAN) und sprach- und datenvermittlungstüchtige Nebenstellenanlagen (CBX) behandelt und bezüglich ihrer Eignung für bestimmte Anwendungen verglichen. Dabei wird zwischen dialog- und stapelorientierten, sowie Fernseh/Grafik- und Bürokommunikations-Diensten unterschieden. Es zeigt sich, daß sowohl LAN- wie CBX-Systeme je für bestimmte Anwendungen besonders gut, für viele andere aber noch zufriedenstellend gut geeignet sind, so daß sich bzgl. der Eignung weite Bereiche der Überdeckung ergeben. Daraus resultiert auch die Prognose für ein Zusammenwachsen beider in ein zukünftiges integriertes System.

Two concurrent techniques for data communication in local area applications are presented in detail, namely local area networks (LAN) and the computerized branch exchange (CBX). For both systems it is discussed how useful they are to serve the transmission needs of such different services as interactive- and batch mode of computer terminals, video/graphic- and, finally, automated office data communications. After demonstrating that both systems are optimized in their functioning to each serve some special applications but are also well suited to cover the transport needs of many other applications by either system, a development process leading into an integrated system is predicted.

1 Einleitung

Viele Anzeichen sprechen dafür, daß unsere Gesellschaft am Anfang einer Informations-Revolution steht, deren soziale Auswirkungen denen der industriellen Revolution des 19. Jahrhunderts vergleichbar sein werden, wobei sich unsere heutige arbeitsintensive Gesellschaft in eine überwiegend mit der Handhabung und Verarbeitung von Kenntnissen bzw. Wissen befaßte Gesellschaft verwandeln wird. Der Hauptantrieb dieser Revolution ist der Wunsch nach wirtschaftlichem Wachstum durch Produktivitätssteigerung.

Die Informationsindustrie zählt zu den größten und am schnellsten wachsenden Segmenten der Wirtschaft. Die traditionelle Aufteilung der Volkswirtschaft in Agrarwirtschaft, Industrie und Dienstleistungen verdeckt die Tatsache, daß das Sammeln, Verarbeiten und Verteilen von Informationen und der Betrieb der dazu notwendigen Einrichtungen – zusammen als ein Industriezweig betrachtet – schon heute etwa die Hälfte des Bruttosozialprodukts ausmachen. Damit die Produktivität der Informationsindustrie weiter wachsen kann, sind flächendeckende, arbeitsplatzbezogene, billige und schnelle Zugriffsmöglichkeiten zu Informationsspeichern bzw. Übertragungseinrichtungen erforderlich.

Um diese Bedürfnisse zu befriedigen, wurden ein weltumspannendes Fernsprechnetz eingerichtet, Rundfunk und Fernsehen eingeführt, die Rechnerindustrie als neuer Industriezweig aufgebaut, Kommunikationssatelliten entwickelt und positioniert und die Mikroelektronik als Voraussetzung für einen kostengünstigen Betrieb aller dieser Systeme massiv gefördert und technisch vorangetrieben.

Gegen Ende dieses Jahrhunderts werden die genannten Bereiche bzw. ihre Produkte zu einem großen Gesamtsystem verschmolzen werden, wobei die heutige Funktionsaufteilung in Information sammelnde, transportierende, speichernde und verarbeitende Systeme nicht mehr erkennbar sein wird.

Der Automatisierungsprozeß als Kennzeichen des fortgeschrittenen Maschinenzeitalters wird durch die Telematik-Dienste des Informationszeitalters ganz erheblich gefördert werden. Die Telematik – ein neues Kunstwort aus der Zusammenziehung von Telekommunikation und Informatik (den Computerwissenschaften) – wird für die zukünftige Informationsgesellschaft dieselbe Bedeutung haben wie die Einführung von Maschinen und des elektrischen Stroms für die arbeitsorientierte Gesellschaft von gestern.

Kommunikationsnetze sind ein integraler Bestandteil der Infrastruktur unserer Gesellschaft und passen sich deren Bedürfnissen durch Bereitstellung kostengünstiger digitaler Teilnehmerschnittstellen als Zugangspunkte zu einem weit gefächerten Spektrum sogenannter Kommunikationsdienste an. Beispiele solcher Dienste sind Fernsprechen, TELEX (Fernschreiben), TELETEX (Bürofernschreiben), TELEFAX (Fernkopieren), leitungs- bzw. paketvermittelte Datenübertragung (Datex-L bzw. Datex-P), Bildschirmtext usw., wie sie von der Deutschen Bundespost über Fernnetze mit größtenteils noch analoger Übertragungstechnik angeboten werden.

Diese z. Z. als überwiegend getrennt nebeneinander existierenden Netze werden, gemäß den weltweiten Pla-

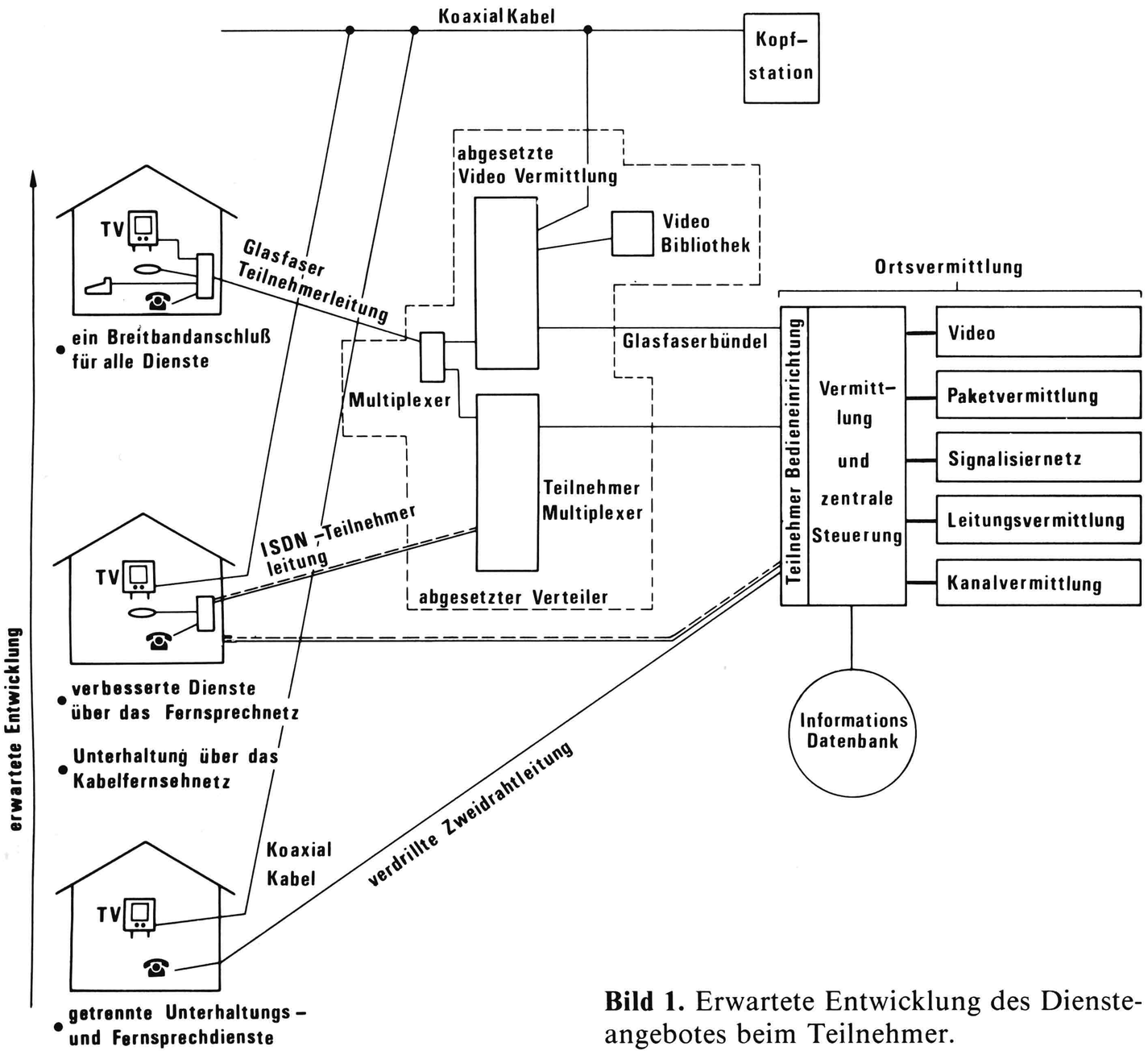


Bild 1. Erwartete Entwicklung des Dienste-angebotes beim Teilnehmer.

nungen aller Post- und Netzbetreiber-Gesellschaften, in ein diensteintegrierendes digitales Netz ISDN (integrated services digital network) zusammengefaßt werden, das über einen dem heutigen Fernsprechhauptanschluß vergleichbaren Netzzugang die digitale Übertragung (64 kbit/s) von Sprache (heute 95% des gesamten Fernverkehrs in Netzen) und Daten (64 kbit/s) gleichzeitig ermöglichen wird. In Deutschland ist Ende der achtziger Jahre mit der schrittweisen Einführung des Netzes zu rechnen. In einer späteren Phase werden aller Voraussicht nach auch sogenannte Breitbanddienste für die Fernsehbildübertragung über denselben Teilnehmeranschluß verfügbar sein, vgl. Bild 1.

2 Lokale Datenkommunikationseinrichtungen

Neben den erwähnten Telekommunikations-Diensten öffentlicher Netze findet man im privaten Bereich innerhalb von Firmen, Banken, Verwaltungen, Forschungseinrichtungen usw. lokale Kommunikationseinrichtungen, welche in den meisten Fällen den vom Fernsprechen her bekannten Nebenstellenanlagen (NStAn) in ihrer Netzstruktur entsprechen, zunehmend aber auch durch sog. lokale Netze **(LAN, local area network)** realisiert sind.

Gemeinsam ist diesen lokalen Kommunikationseinrichtungen, daß

- sie in ihrer Ausdehnung auf private Grundstücke beschränkt sind (die DBP hat das Monopol für die nachrichtentechnische Verbindung zwischen Teilnehmern verschiedener Grundstücke),
- der Großteil der datenkommunikationsfähigen Endgeräte nur indirekt über die lokale Kommunikationseinrichtung Zugang zum Fernnetz hat,
- die Endgeräte im lokalen Bereich direkt untereinander, ohne Benutzung des Fernnetzes, kommunizieren können und daß dieser lokale Verkehrsanteil mit 70% erheblich größer ist als der externe über das Fernnetz abgewickelte Verkehr (30%),
- gegenüber Fernnetzen für viele Anwendungsfälle im lokalen Bereich zusätzliche besonders attraktive Dienstmerkmale verfügbar sind, welche von Fernnetzen erst in Zukunft angeboten werden können, u.U. aber wegen der zu erwartenden Gebühren im Fernbereich nicht wirtschaftlich sein werden, z.B. hohe Übertragungsraten, elektronischer Briefkasten, Kompatibilisierungseinrichtungen (um an sich nicht kompatible Endgeräte kommunikationsfähig zu machen), Echtzeitübertragung usw.

Viele dieser genannten Gesichtspunkte haben nur für die Datenkommunikation Bedeutung und dies ist auch der Aspekt, der uns im folgenden allein interessiert.

Unterschiedlich ist bei diesen beiden Typen von Kommunikationseinrichtungen

- die Topologie. Nebenstellenanlagen sind immer sternförmig strukturiert, während lokale Netze entweder als aneinandergereihte Punkt-zu-Punkt-Verbindungen von Stationen mit einer Struktur als Stern, Ring, Baum (hierarchische Struktur), voll oder teilvermaschtes Netz, verkoppelte Ringe oder als Rundspruchnetz in Gestalt eines Bus-, Funknetz- oder Ringsystems ausgebildet sein können, vgl. Bild 2,
- die mögliche Datenübertragungsrate (hier sind LANs besonders attraktiv),
- die Kosten pro Teilnehmeranschluß (hier sind LANs teuerer),
- die Vermittlungstechnik.

Datenvermittlungseinrichtungen mit einer Struktur und Funktionsweise entsprechend herkömmlichen Fernsprechnebenstellenanlagen bilden – solange sie die bisher üblichen sternförmigen Leitungsnetze zur Sprach- und/oder Datenübertragung verwenden – eine eigene Klasse lokaler Kommunikationseinrichtungen, die nicht als lokale Netze, sondern als rechnergesteuerte Nebenstellenanlagen **(CBX, computerized branch exchange)** bezeichnet werden. Gemäß Tabelle 1 verbinden sie als Fernsprech-, Telex-, Daten- und ISDN-CBX jeweils die zugehörigen Endgeräte untereinander.

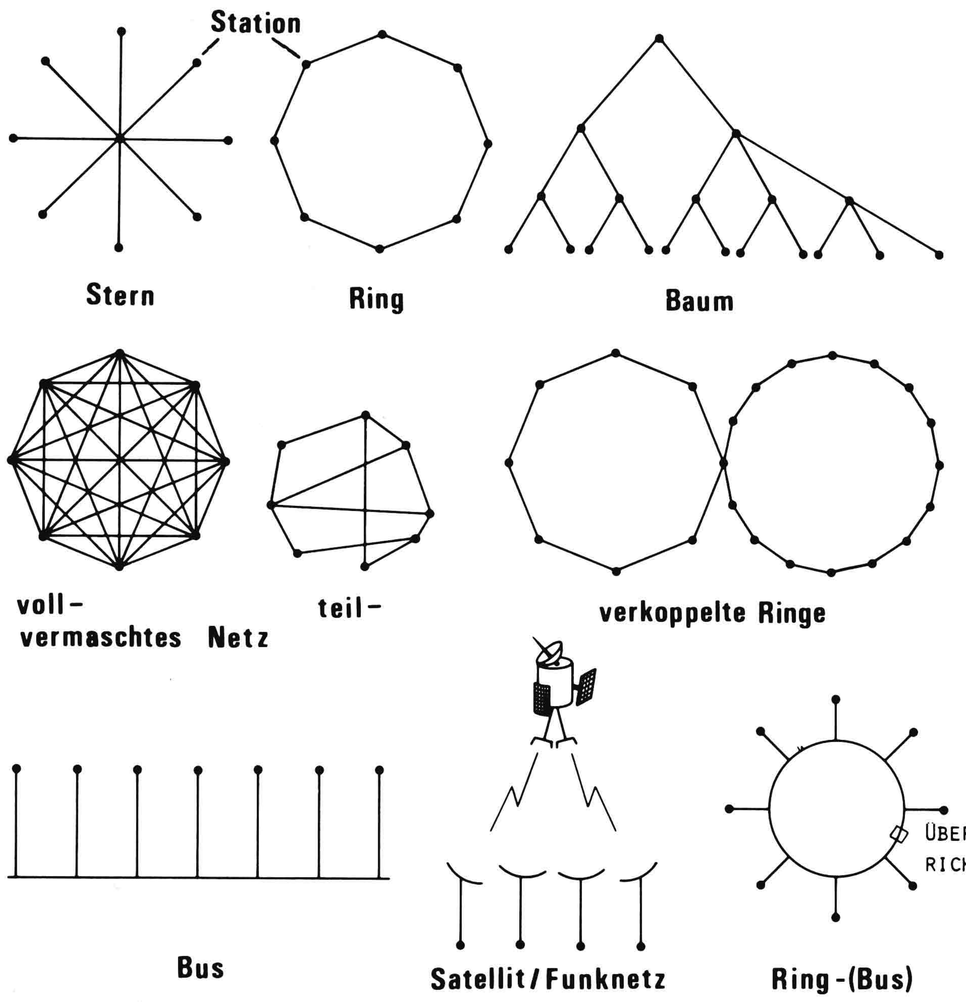


Bild 2. Topologien lokaler Netze [1]
1. Systeme mit geordnetem Zugriff; Stern, Ring, ... verkoppelte Ringe.
2. Systeme ohne strukturbedingte Zugriffsreihenfolge (Bus, Funknetz, Ringbus).

Für den zukünftigen Einsatz von Nebenstellenanlagen im lokalen Bereich spricht in vielen Fällen, daß

- sie und die notwendige Verkabelung (bis in den letzten Winkel der Organisation) bereits vorhanden sind,
- der Zugang zum Fernsprechnetz besteht und die Aufrüstung als Datenvermittlung mit Zugang zu einem oder mehreren Datennetzen kostengünstig möglich ist.

Tabelle 1. Klassifizierung von Netzwerken.

	Lokale Netzwerke		Fern-Netze
	Netz mit Vermittlungszentrale	Local Area Network (LAN)	DV-Netz
Steuerung	(vorwiegend) zentrale Vermittlungsknoten	Verteilte Intelligenz steuert die Benutzung des gemeinsamen Mediums	Front-End-Prozessor
Vermittlungsaufgabe	Vermittlung intern und nach außen	Vermittlung intern und über Gateway nach außen	Vermittlung zwischen DV-Anlagen und Datenendgeräten
Beispiele	A) Nebenstellenanlagen (CBX) für: – Sprache – Telex – Daten – ISDN-Dienste B) Datenvermittlung: – X.25-Vermittlung – Private Btx-Zentrale	Ethernet Wangnet ARC-Net Cluster/One Net/One Planet 3M-Netz Cheapernet u.v.a.m.	SNA (IBM) DECNet (Dig. Equipm.) Transdata (Siemens)

Dagegen spricht u. U., daß eine vorhandene Vermittlung oft schon alt, d. h. noch mit elektromechanischen Wähl- und Vermittlungseinrichtungen ausgestattet ist, und noch lange Jahre gut für Sprachkommunikation verwendbar ist. Solche Einrichtungen sind jedoch für die Datenkommunikation ungeeignet, schlecht aufrüstbar, haben zu große Verbindungsaufbaudauern, sind in ihrer Kapazität weitgehend ausgelastet und verfügen generell nur über eine, nicht für alle Datenkommunikationsanwendungen ausreichende, Übertragungskapazität ihrer Anschlußleitungen.

Gemäß Bild 3 kann eine CBX die gesamte innerhalb mehrerer geografisch benachbarten Bereiche auftretende Kommunikation abwickeln.

Die Alternative zur CBX ist das lokale Netz LAN, das seiner Herkunft nach eine Verbindungseinrichtung zwischen Systemteilen von Rechenanlagen ist und dabei insbesondere den Anschluß von digital übertragenden Teilnehmerstationen (Sichtgerät, Fernschreiber, Stapelstation) an den Rechner ermöglicht, vgl. Bild 4. Mit fortschreitender Verbilligung von Verarbeitungsleistung als Folge der Großintegration von Rechnerprozessoren und Ein-/Ausgabebausteinen entstanden zunehmend in den letzten 10 Jahren anstelle der bis dahin üblichen zentralisierten Strukturen (Bild 4) verteilte Rechensysteme und damit der Bedarf nach leistungsfähigeren und vielseitigeren Verbindungseinrichtungen, Bild 5. Dieser Trend hat sich fortgesetzt, so daß heute prak-

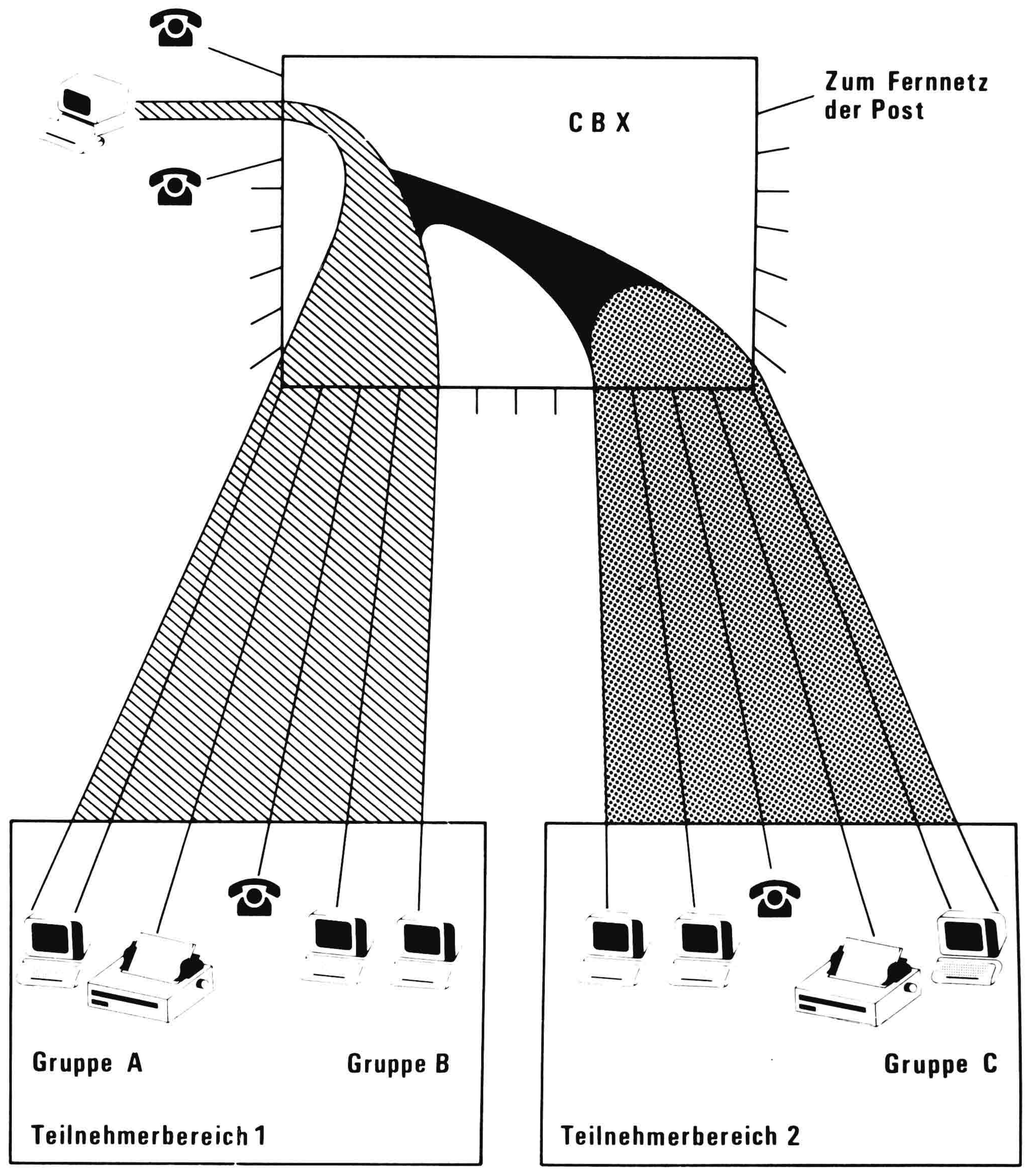


Bild 3. Lokale digitale Sprach- und Datenkommunikation mittels rechnergesteuerter Nebenstellenanlage, CBX.

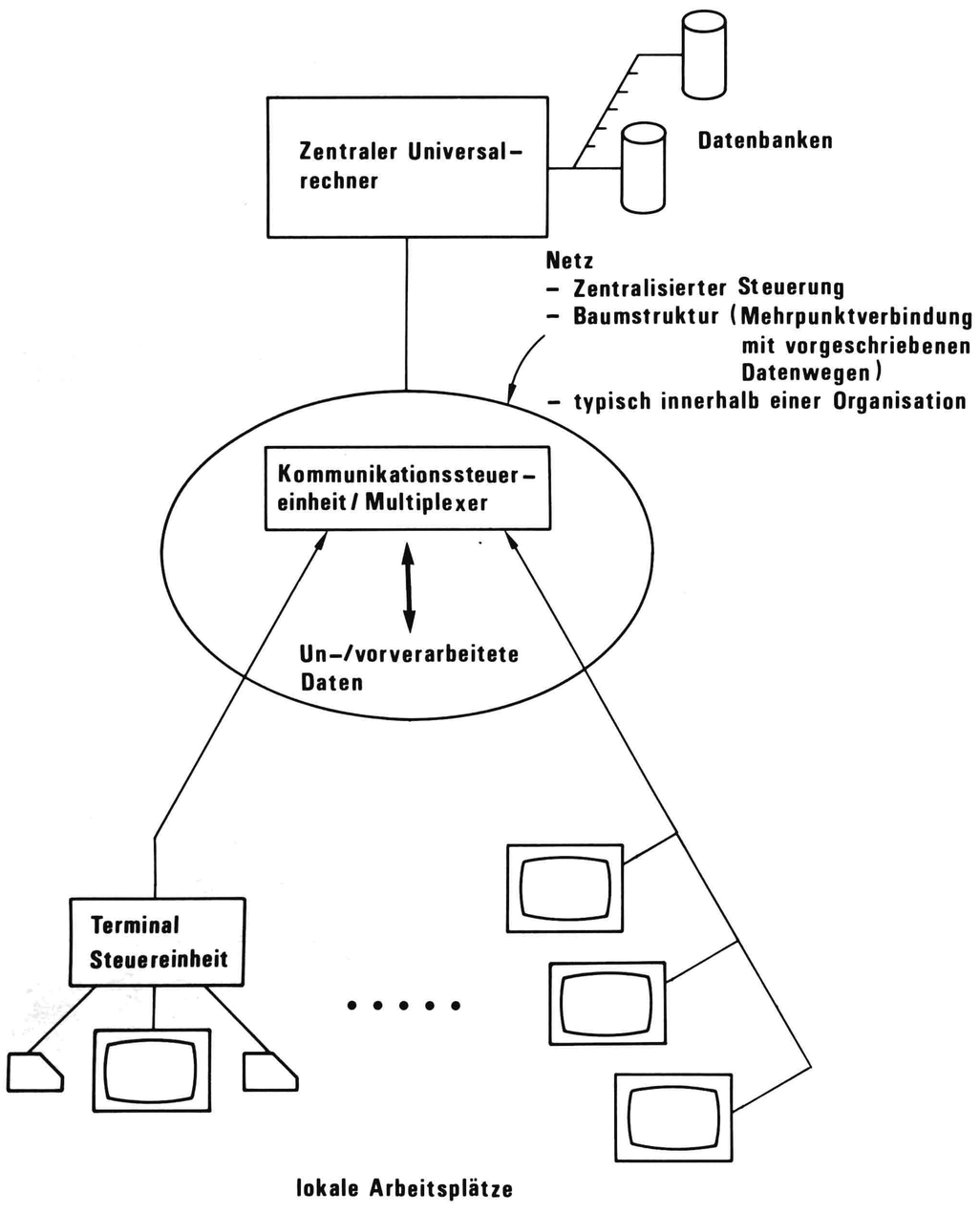


Bild 4. Anfänge lokaler Netze als Mehrpunktverbindung (multi-drop line) mit zentralisierter Kommunikationssteuereinheit im Aufrufbetrieb (polling) bzw. als im Zeitmultiplex verfügbare Punkt-zu-Punkt Verbindung mit zentralisiertem Multiplexer.

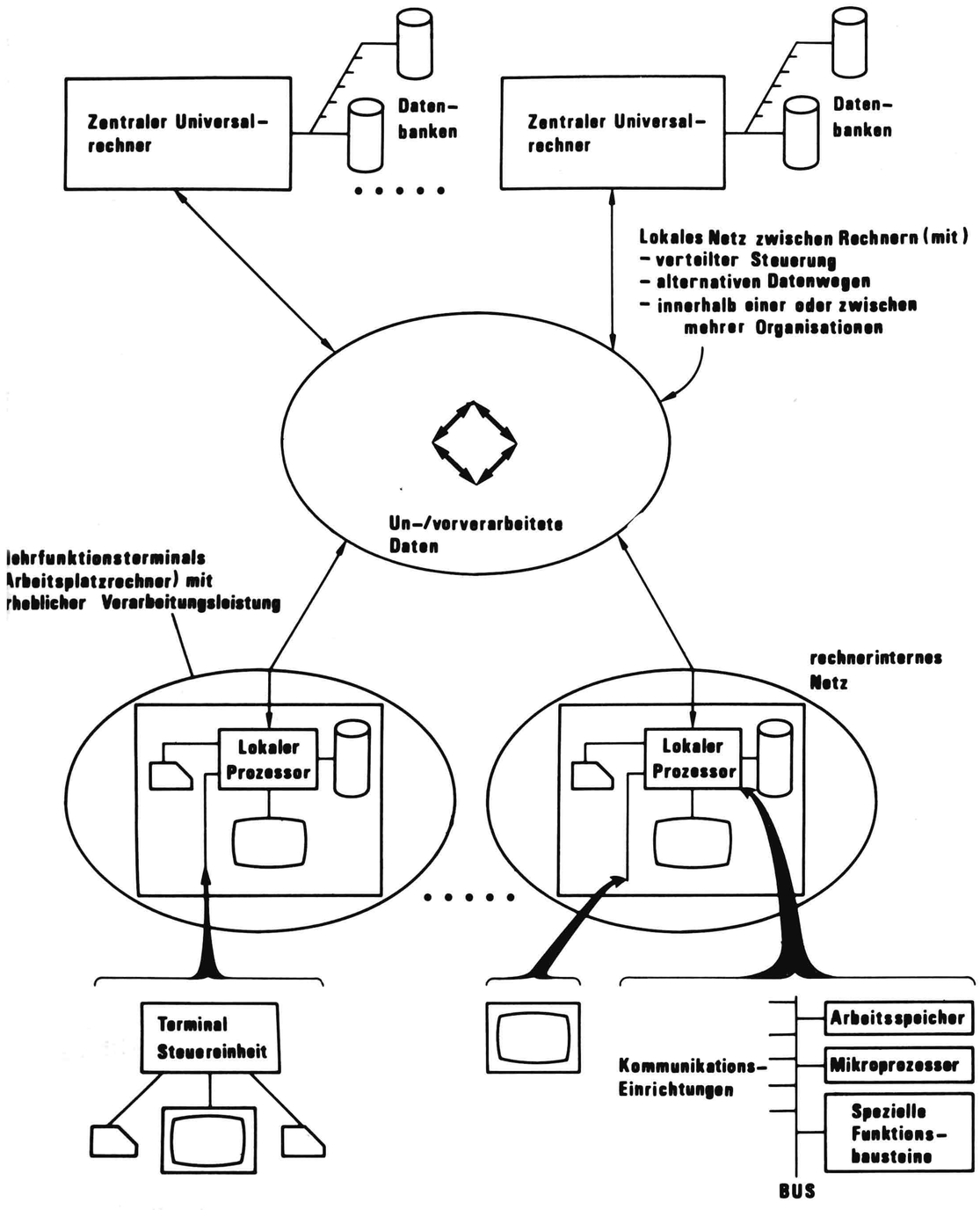


Bild 5. Ein Anwendungsschwerpunkt heutiger lokaler Netze ist die wahlfreie Verbindung weitgehend selbständiger Rechensysteme untereinander.

tisch alle Endgeräte mikroprozessorgesteuert sind und damit über genügend eigene Intelligenz verfügen, um untereinander selbständig über ein LAN zu kommunizieren, wie es in den gerade am Markt erscheinenden Bürokommunikationssystemen der Fall ist, vgl. Tabelle 1 und Bild 6. Ebenso trifft man LANs heute in industriellen Anlagen zur Prozeßautomatisierung und in Forschungs- und Entwicklungslabors als Verbindungseinrichtung zwischen Meßgeräten und Rechnern an.

Für den zukünftigen Einsatz von LANs spricht, daß sie

- viele bei der CBX nicht verfügbare Leistungsmerkmale anbieten (dezentrale Organisation, einfacher Anschluß weiterer Stationen, hohe Übertragungsrate, realzeitgeeignet, mit Glasfasertechnik realisierbar (d. h. störungsunempfindlich)),
- besonders auf die Bedürfnisse der Kommunikation zwischen Rechnern (von einem Speicher in den anderen) zugeschnitten sind,
- dank großintegrierter Bausteine für die lokale Kommunikationssteuerung in jeder Station zunehmend konkurrenzfähig zur CBX werden,
- bzgl. der Geräteschnittstellen nicht an die CCITT Empfehlungen gebunden sind.

Dagegen sprechen

- die hohen Einstiegskosten für das System und der hohe Preis pro Teilnehmeranschluß,
- die bisher geringen Erfahrungen und Verbreitung der Systeme
- die Gefahr der mechanischen Beschädigung des Übertragungskabels (und damit des Ausfalls des Vermittlungssystems) und allgemein ihre nicht ganz befriedigende Zuverlässigkeit.

Diese Nachteile sind z. T. durch die Neuartigkeit der Technologie bedingt und werden sicher in der nachfolgenden Generation teilweise behoben sein.

Neben den eben besprochenen lokalen Netzwerken für die Sprach- und Datenkommunikation gibt es sog. Rechnernetze, die überwiegend für die Datenkommunikation über Fernsprechleitungen konzipiert sind und große Bedeutung als Fern-Netze haben, natürlich aber auch im lokalen Bereich arbeitsfähig sind und angewandt werden, vgl. Tabelle 1.

2.1 Zum Kommunikationsverhalten lokaler Teilnehmer

Man kann die Kommunikationsbeziehungen im lokalen Bereich, z. B. in einem Büro, entsprechend den Bildern 3 und 6, in vier Klassen einteilen:

1. Kommunikation innerhalb derselben Teilnehmergruppe, z. B. innerhalb derselben Abteilung einer Firma. Der größte Teil des gesamten Nachrichtenverkehrs gehört zu dieser Klasse.
2. Kommunikation mit anderen Gruppen im (aus meist organisatorischen Gründen) gleichen geografischen Bereich einer Organisation.

3. Kommunikation innerhalb der eigenen Organisation aber zwischen verschiedenen geografischen Bereichen (z. B. Zweigstellen innerhalb einer Stadt).
4. Kommunikation mit „dem Rest der Welt" z. B. Kunden, Lieferanten, Verwaltungen usw.

Ein LAN eignet sich wegen seiner Architektur und Topologie mehr für die ersten beiden Klassen und ist dort vorteilhafter als die CBX, wenn hohe Datenraten gefordert werden. Dagegen eignet sich die CBX mehr für die Klassen 3 und 4.

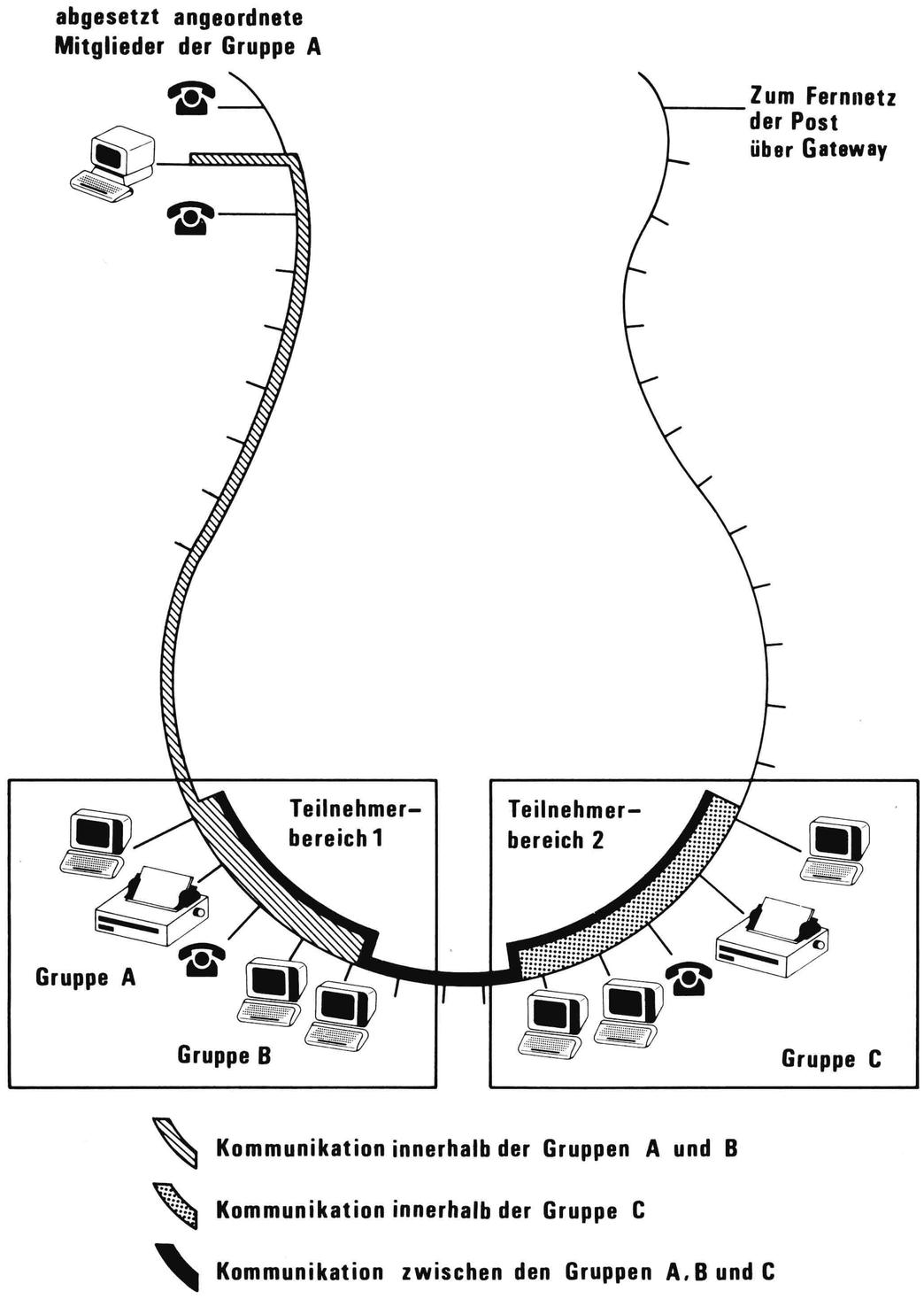


Bild 6. Anwendung eines lokalen Netzes bei der Bürokommunikation.

2.2 Die konkurrierenden Verfahren der lokalen Datenübermittlung

Bei der Datenübermittlung wird häufig zwischen Leitungs- bzw. Kanaldurchschaltung einerseits und Paketvermittlung andererseits unterschieden.

2.2.1 Paketvermittlung bei lokalen Netzen

Bei **Paketvermittlung** werden zu übertragende Daten in sog. Pakete zerlegt, vgl. Bild 7, und nach dem Prinzip der Speichervermittlung zwischen Datenquelle und Datensenke evtl. über dazwischenliegende Vermittlungsknoten übertragen. Wesentlich bei Paketvermittlung ist, daß ein Übertragungsmedium hoher Übertragungsrate

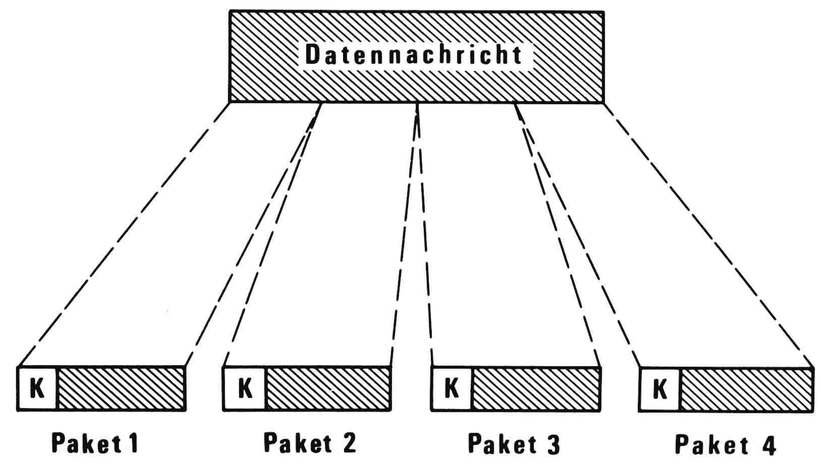


Bild 7. Zum Prinzip der Datenübertragung mit Paketen. K = Paketkopf mit Adreß- und Steuerinformation.

(einigen Mbit/s bei LANs) im Zeitmultiplexbetrieb zur quasi gleichzeitigen Realisierung mehrerer (vieler) Kommunikationsbeziehungen eingesetzt wird, indem jeder für die Übertragungsdauer eines Paketes die volle Übertragungskapazität des Mediums verfügbar gemacht wird. Dies setzt voraus, daß die Teilnehmerstationen ihre Pakete entsprechend schnell ausgeben bzw. einspeichern können, also über eine **breitbandige** Teilnehmerschnittstelle verfügen.

Realisiert wird diese zeitliche Aufteilung durch eine Multiplexfunktion, welche die geordnete Übertragung unabhängig voneinander bei verschiedenen Stationen des LAN anfallender Datenpakete auf dem Medium organisiert. Bild 8 zeigt beispielhaft drei Teilnehmerstationen A, B und C, welche zu unterschiedlichen Zeitpunkten Datenpakete in ihren Stations-Ausgabepuffern ablegen und durch einen hier zentralisiert gezeichneten logischen Multiplexer derart bedient werden, daß ihre Pakete zeitlich nacheinander auf dem Medium des LAN übertragen werden. Üblicherweise ist die Multiplexfunktion durch ein sogenanntes Zugriffsprotokoll (zum Übertragungsmedium) realisiert, das allen Stationen des LAN bekannt ist und von ihnen befolgt wird. Dadurch wird erreicht, daß die zentrale Multiplexeinrichtung überflüssig wird und die Zuteilung des Übertragungsmediums – gestützt auf die Intelligenz der Stationen – dezentral erfolgen kann. Später wird ein Beispiel eines solchen Protokolls gegeben.

Ein Bedarf an derartigen lokalen Netzen mit breitbandiger Teilnehmerschnittstelle entstand in Zusammenhang mit dezentralen oder lokalen Systemen von Rechnerkomponenten. Die hohe Datenrate ist vor allem für den Verkehr zwischen Rechnern (über Pufferspeicher) und zwischen Rechner und Hintergrundspeicher nötig,

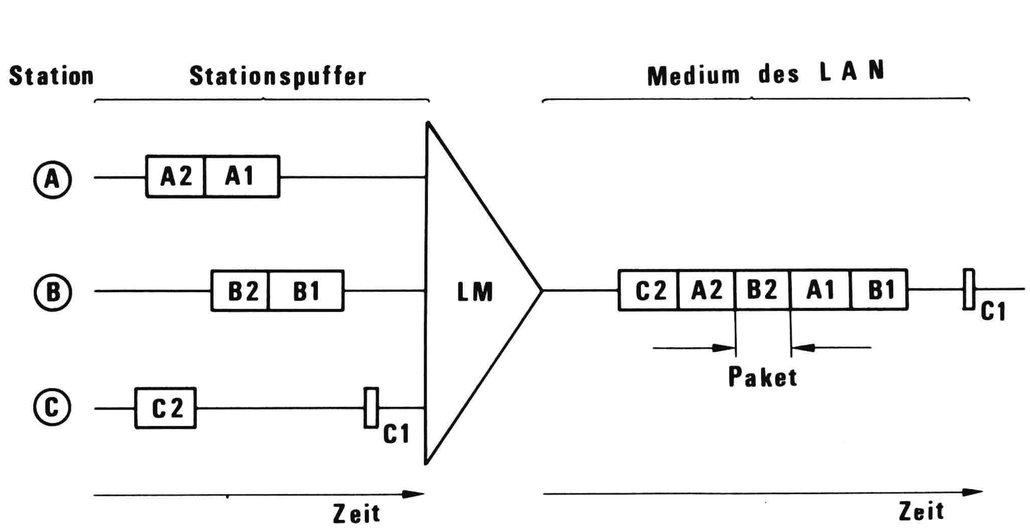


Bild 8. Zur technischen Realisierung des asynchronen Zeitmultiplexverfahrens.

wenn die Übertragungsdauer in die Dauer der Verarbeitung wesentlich eingeht.

Aus dieser Sicht hat das lokale Netz eine ähnliche Bedeutung wie der interne Bus bzw. Hochgeschwindigkeitskanäle in einem zentralen Rechensystem. Andere Rechtfertigungen für die Forderung nach so hohen Datenraten sind

- die Übertragung sehr großer Datenmengen, die bei zu kleiner Datenrate des Kanals einen Rückstau beim Sender erzeugen würden
- menschliche Wartezeiten auf Ausgabe von zur Übertragung angeforderten Daten.

Lokale Netze existieren schon seit Jahren als Produkt bei fast allen Herstellern von Minicomputern. Dort werden sie für Aufgaben der verteilten Verarbeitung (distributed processing) verwendet. Der Durchbruch dieser Technologie auch für Anwendungen in der Prozeßsteuerung, Labor- und Büroautomatisierung erfolgte fast gleichzeitig mit dem Angebot billiger leistungsstarker Arbeitsplatzsrechner in den letzten zwei bis drei Jahren.

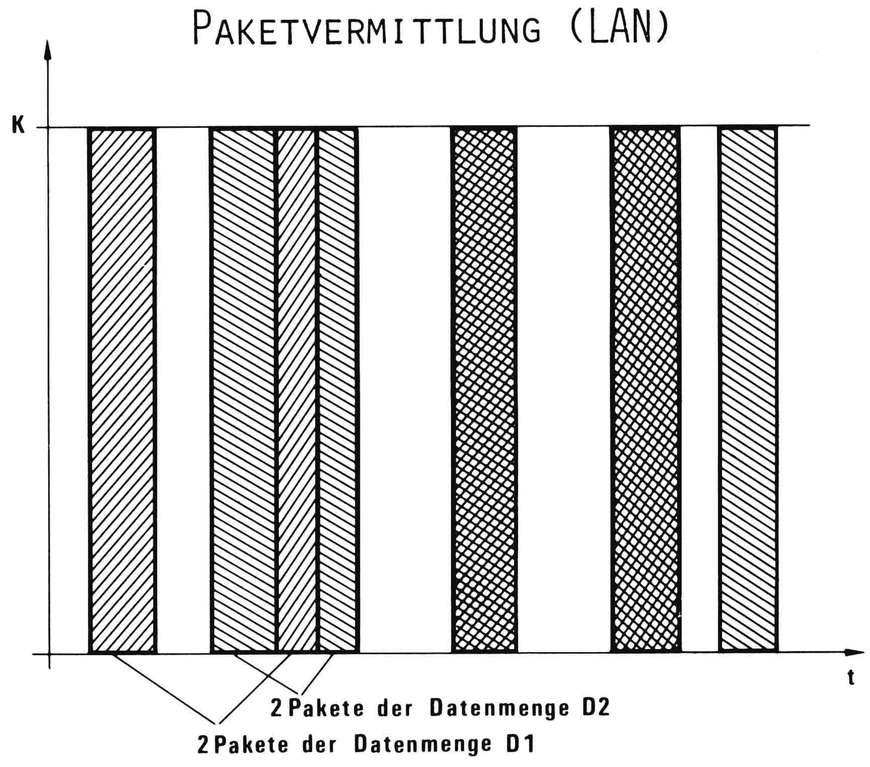
Datenverkehr zwischen Rechnerkomponenten hat die Eigenschaft, daß

- er mit einer hohen Bitrate (mehrere Mbit/s) erfolgen kann
- die Datenquellen mit einer solchen Bitrate meist nur einen kleinen Zeitanteil senden müssen
- die Datenübertragung in Datenpakete, mit variablen Zeiten dazwischen, stückelbar ist.

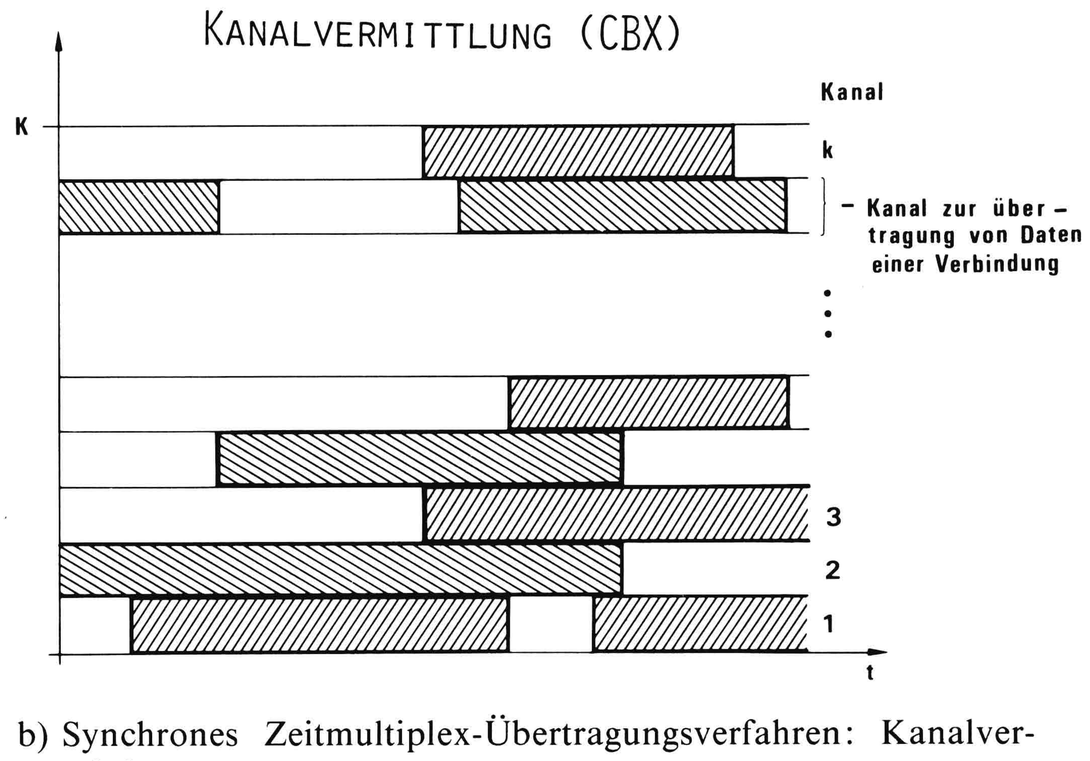
Lokale Netze mit breitbandiger Teilnehmerschnittstelle sind an die o.g. Eigenschaften gut angepaßt: Einem sendewilligen Teilnehmer wird die gesamte Übertragungskapazität zur Verfügung gestellt. Während einer Übertragung kann der Teilnehmer einen Datenblock bzw. ein Datenpaket transportieren und blockiert solange andere sendewillige Teilnehmer. Aus diesem Grunde wird die Paketgröße üblicherweise beschränkt, so daß sich eine maximale Übertragungsdauer z. B. im ms-Bereich einstellt. Bei Bitraten im Mbit/s-Bereich ergeben sich Paketgrößen im kbit-Bereich.

Vor der Übertragung muß ein sendewilliger Teilnehmer das Zugriffsrecht auf den Bus erhalten. Die Organisation der Vergabe des Zugriffsrechtes hat einen wesentlichen Einfluß auf die Wartedauer (Mittelwert und Streuung) für den sendewilligen Teilnehmer. Die Wartedauer auf Bus-Zugriff wird in Abschnitt 4 diskutiert; sie kann im ms-Bereich aber auch weit darüber liegen. Wegen der paketweisen Übertragung werden größere Datenmengen nicht synchron sondern **asynchron** übertragen. Der Begriff asynchron bezieht sich nicht auf die Datenbits innerhalb eines Paketes – sie werden synchron übertragen – sondern auf die zusammengehörigen Pakete einer Datenmenge: ihr zeitlicher Abstand auf dem Übertragungsmedium unterliegt Zufallsgesetzen.

Bild 9a) zeigt schematisch die zeitliche Belegung der Kapazität K des Mediums. Zu jeder Zeit kann nur genau eine Übertragung abgewickelt werden.



a) Asynchrones Zeitmultiplex-Übertragungsverfahren: Paketvermittlung



b) Synchrones Zeitmultiplex-Übertragungsverfahren: Kanalvermittlung

Bild 9. Nutzung der verfügbaren Übertragungskapazität K für die Datenübertragung im LAN (a) und bei der CBX (b)

2.2.2 Kanaldurchschaltung bei zentralisierten lokalen Datenvermittlungsanlagen

Die für die Realisierung lokaler Netze unterschiedenen Prinzipien „Übermittlungssystem mit Kanaldurchschaltung" und „Lokales Netz mit breitbandiger Teilnehmerschnittstelle" haben trotz verschiedener Herkunft und Arbeitsweise folgendes gemeinsam: In beiden Fällen wird mit einer festen Bitrate übertragen; im ersten Fall ist diese jedoch gering und steht während einer gesamten Verbindungsdauer zur Verfügung; im zweiten Fall umfaßt sie die gesamte Bitrate des LAN-Systems, steht aber nur für eine begrenzte Dauer zur Verfügung.

Digitale Fernsprechvermittlungssysteme arbeiten verbindungsorientiert mit Kanaldurchschaltung. Gemäß den CCITT-Empfehlungen für das ISDN werden dem Teilnehmer je ein 64 kbit/s-Duplexkanal für PCM-Sprache und transparente Datenübertragung, sowie ein weiterer paralleler 16 kbit/s-Kanal zur Verbindungssteuerung und für paketvermittelte Datenübertragung

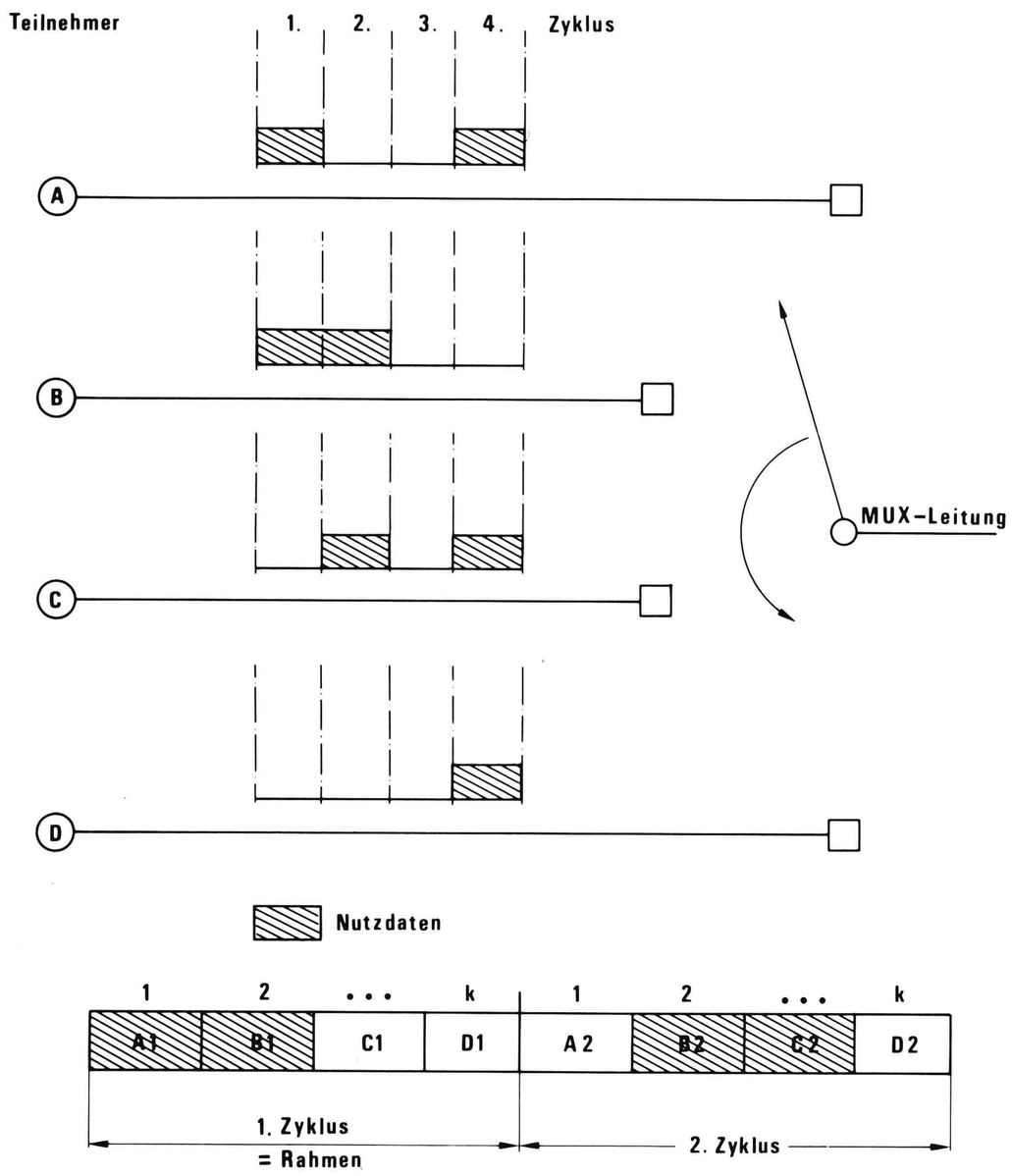


Bild 10. Zur technischen Realisierung des synchronen Zeitmultiplexverfahrens (Kanaldurchschaltung). Anstelle der zentralisierten sind auch dezentralisierte Lösungen möglich.

zur Verfügung stehen. Für den Verbindungsauf- und -abbau werden dann nur wenige ms (anstelle von 8–10s heute) benötigt werden. Diese Teilnehmerschnittstelle wird hier als für die CBX typisch angenommen.

Wegen der sich periodisch wiederholenden Zeitschlitze wird das Verfahren – unabhängig ob zentral oder dezentral – auch als **synchrones Zeitmultiplex Übertragungsverfahren** (Synchronous Time Division Multiplexing) **STDM** bezeichnet.

Digitale Fernsprechvermittlungssysteme werden gegenwärtig weltweit und auch von der deutschen Fernmeldeindustrie entwickelt und sind dabei, auf dem Markt zu erscheinen. Für die Kanaldurchschaltung wird üblicherweise zunächst auf Zeitmultiplexleitungen, – auch Highways genannt – konzentriert. Auf einer Zeitmultiplexleitung wird die Zeit in periodisch wiederkehrende Zeitrahmen unterteilt, wobei jeder Rahmen k Zeitschlitze (z. B. k = 32) enthält. Jeder Zeitschlitz stellt einen Kanal dar, der für die Dauer einer Verbindung dem entsprechenden Teilnehmerpaar fest zugeordnet ist, vgl. Bild 10. Die wahlfreie Durchschaltung der Kanäle von Eingangs-Zeitmultiplexleitungen auf die Kanäle der Ausgangs-Zeitmultiplexleitungen erfolgt mittels sog. Zeitkoppler und/oder Raumkoppler. Die Zeitkoppler erlauben die wahlfreie Umordnung der Zeitschlitze auf ein und derselben Zeitmultiplexleitung, Raumkoppler erlauben die wahlfreie Durchschaltung gleichzeitiger Zeitschlitze zwischen verschiedenen Zeitmultiplexleitungen. Bild 11 zeigt das Prinzipbild einer zentralen Vermittlung. Es sind auch dezentral nach demselben Verfahren arbeitende Systeme bekannt.

Wesentliches Merkmal aller Übermittlungssysteme mit Kanaldurchschaltung ist – unabhängig ob zentral oder dezentral – daß gleichzeitig viele Kanäle für die Dauer der einzelnen Verbindungen durchgeschaltet werden können. In Bild 9b) ist ein Kanal/Zeit-Belegungsmuster für ein solches Übermittlungssystem skizziert.

Ungenutzte Kapazität in vergebenen Kanälen kann nicht für andere Verbindungswünsche genutzt werden. Das System ist nicht ständig voll ausgelastet; von den k Kanälen des Systems sind gleichzeitig nur ein Teil belegt.

Die Belegungsbalken im Bild entsprechen direkt den Verbindungen, Schraffur bedeutet Datenübertragung. Die Verbindungsaufbauphasen sind nicht dargestellt. Das Prinzip der Kanaldurchschaltung erlaubt für besondere Anwendungen mit hohem Bedarf an die Datenrate (z. B. gesprächsbegleitende Bildübertragung) statt eines Kanals auch Mehrfachkanäle (z. B. 2× oder 4 × 64 kbit/s) zu vermitteln.

Zwischen LAN (Paketvermittlung) und CBX (Kanaldurchschaltung) bestehen aus der Sicht des Teilnehmers folgende Unterschiede:

- Die Übertragungsrate ist beim LAN hoch, bei der CBX deutlich kleiner. Dementsprechend ist die Übertragungsdauer für eine gegebene Datenmenge beim LAN klein, bei der CBX größer.
- Beim LAN wird das Übertragungsmedium nur für die Dauer eines Paketes belegt. Eine **Verbindung** zwischen sendendem und empfangendem Teilnehmer, wie sie bei der CBX für die Dauer einer Datenübertragung als Kanal eingerichtet wird, gibt es beim LAN nicht.
- Freie Kapazität kann beim LAN bei Bedarf von jedem Teilnehmer sofort genutzt werden. Bei der CBX gilt dies nur bzgl. freier Kanäle.

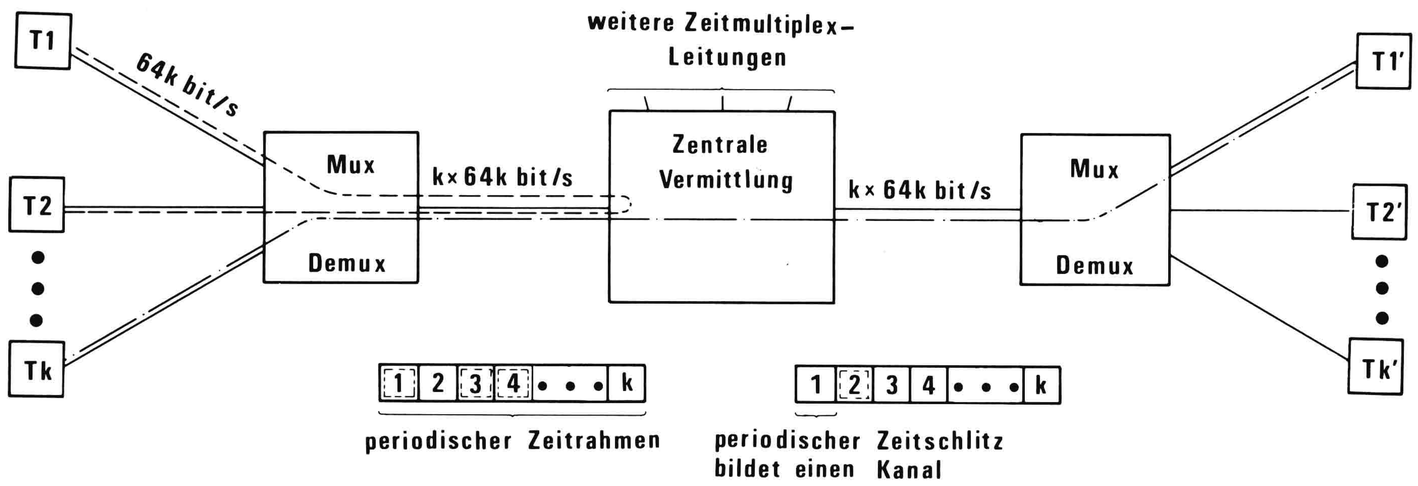


Bild 11. Prinzipbild einer zentralen Multiplexvermittlung für die Kanaldurchschaltung zwischen Teilnehmern
Mux/Demux = (De-) Multiplexeinrichtung

2.3 Kommunikationsbedarf im lokalen Bereich

Die Realisierbarkeit von Kommunikationsdiensten in lokalen Netzen wird hier nur bzgl. der Übermittlung durch 64 kbit/s-Kanaldurchschaltung bzw. durch LAN-Systeme verglichen. Andere Aspekte, wie z. B. die Verträglichkeit der Protokolle dieser Dienste, werden nicht berührt.

Bei dem Vergleich spielen nur wenige Eigenschaften und Anforderungen dieser Dienste eine Rolle, nämlich

- die Informationsmenge, welche die Quelle als Übermittlungseinheit anliefert
- der mittlere zeitliche Abstand, in welchem die Quelle diese Einheiten anliefert und
- die tolerable Verzögerung für die Übermittlung dieser Einheiten, die sich aus Wartezeiten und eigentlicher Übertragungszeit zusammensetzt.

In Tabelle 2 sind die genannten Eigenschaften und Anforderungen von Kommunikationsdiensten zusammengestellt. Der Datenumfang pro Übertragungswunsch und der mittlere Abstand zwischen den Sendungen orientieren sich an üblichen Durchschnittswerten. Statt der tolerablen Verzögerungszeit wird die Übertragungszeit für einen 64 kbit/s-Kanal sowie für eine Bitrate von 3 Mbit/sec angegeben. Letztere Bitrate ist typisch für eine Klasse kostengünstiger LAN-Systeme.

2.3.1 Eigenschaften der Kommunikationsdienste und ihre Erfüllbarkeit durch LAN- bzw. CBX-Systeme

Die Kommunikationsdienste im lokalen Bereich lassen sich gemäß Tabelle 2 in Gruppen einteilen, nämlich

- gebäudebezogene Dienste
- Fernseh/Grafik Dienste
- Datendienste der Bürokommunikation
- Fernsprechdienst
- Terminal-Rechner-Kommunikation
- Rechner-Rechner-Kommunikation

Für jeden der Dienste ist in Tabelle 2 auch die erforderliche Datenübertragungsrate angegeben worden.

Alle **dialogorientierten Dienste,** bei denen der Mensch durch Dateneingabe und Warten auf die Reaktion des übertragenden und evtl. eines bearbeitenden Systems beteiligt ist, erfordern entsprechend kurze Reaktionszeiten. Das Übertragungs- und Verarbeitungssystem sollte so ausgelegt sein, daß auf eine Eingabe in ca. 3 sec. eine zugehörige Ausgabe erfolgt.

Stapelorientierte Dienste wie Telex, Teletex, Telefax, Filetransfer, Rechner-Rechner-Kommunikation erfordern lediglich, daß der mittlere Abstand zwischen Übertragungen kleiner sein muß, als die Übertragungsdauer pro Sendung. D. h. das Übertragungssystem darf nicht gesättigt sein.

Gebäudebezogene Dienste haben ein so geringes Datenaufkommen, daß sie in ihren Übertragungsansprüchen auch durch wesentlich leistungsschwächere Systeme als LAN oder CBX befriedigt werden könnten.

Fernseh- und Grafikdienste erfordern Bitraten, wie sie durch eine CBX nicht und durch das in Tabelle 2 unterstellte LAN nur mit Mühe befriedigt werden können. Es gibt jedoch wesentlich breitbandigere LAN-Systeme (bekannt als Broadband-System), bei denen Videoübertragung ein üblicher Dienst ist.

Tabelle 2. Kommunikationsdienste: Anforderungen und deren Erfüllbarkeit in lokalen Netzen.

DIENST	geforderte Rate (Bit = b)	Datenumfang je Sendung	Abstand zwischen den Sendungen	Übertragungsdauer bei 64 kbit/s	Übertragungsdauer bei 3 Mbit/s
Gebäudebezogene Dienste					
– Alarme (Rauch, Einbruch usw.)	10–100 b/s	0,5 kbit	min.-Std.	8 ms	0,2 ms
– Betriebsmittelüberwachung	0,1–1,0 kb/s	1 kbit	sec	4 ms	0,1 ms
– Klimatisierung	0,1–1,0 kb/s	1 kbit	sec	4 ms	0,1 ms
Fernsehen/Grafikdienste					
– Schmalbandvideo	1,5 Mb/s	512 kbit	8 sec	8 sec	162 ms
– interaktive Grafik	96 Mb/s	4 Mbit	20 msec	64 sec	1,3 sec
Datendienste d. Bürokommunikation					
– Bildschirmtext	2,4–64 kb/s	8 kbit	sec	0,125 sec	3 ms
– TELEX	0,1–0,3 b/s	16 kbit	sec	0,25 sec	5 ms
– TELETEX	2,4–9,6 kb/s	32 kbit	bis	0,5 sec	11 ms
– TELEFAX	4,8–64 kb/s	1 Mbit	Std.	16 sec	333 ms
– Handskizze	500 b/s	0,5 kbit	1 sec	8 ms	0,2 ms
– Elektronische Post	4,8–64 kb/s	32 kbit	min bis Std.	0,5 sec	11 ms
– Video mit geringer Bildfrequenz	64 kb/s	512 kbit	8 sec	8 sec	162 ms
Fernsprechen					
– 64 kbit/s-PCM	64 kb/s	8 bit	125 μs	125 μs	(3 μs)
– 64 kbit/s-PCM, 50ms-Pakete		3,2 kbit	50 ms	(50 ms)	1,1 ms
– 9,6 kbit/s-SBC, 50ms-Pakete		480 bit	50 ms	(7,5 ms)	0,16 ms
Terminal-Rechner-Kommunikation					
– Dialog-Verkehr	4,8–9,6 kb/s	4 kbit	sec	63 ms	1,3 ms
– Stapel-Verkehr	0,1–5 Mb/s	4 Mbit	sec-Std.-Bereich	63 sec	1,3 sec
Rechner-Rechner-Kommunikation	64 kb/s	1 Mbit	sec	16 sec	333 ms

Bei den **Datendiensten der Bürokommunikation** entspricht einem Schirmbild von 1000 Zeichen die Informationseinheit von 8 kbit bei Bildschirmtext (BTX), das sind z. B. 25 Zeilen mit je 40 Zeichen. Der zeitliche Abstand zwischen den Informationseinheiten im Sekundenbereich gilt während des Dialogs. In ähnlicher Weise entsprechen 16 kbit bei TELEX bzw. 32 kbit bei TELETEX und elektronische Post einer knappen Seite bzw. ca 1½ Seiten Schreibmaschinentext. Die Informationsmenge von 1 Mbit bei TELEFAX entsteht aus einer DIN-A4-Dokumentenseite bei mittlerer Auflösung und bildpunktweiser Codierung oder bei höherer Auflösung (vgl. Xerox-Kopie) verbunden mit einer redundanz-mindernden Codierung. Abhängig von dem Vorlagematerial kann im letzteren Fall statt der genannten Datenmenge auch eine bis zum Faktor 5 kleinere Datenmenge entstehen. Der zeitliche Abstand zwischen den Informationseinheiten schwankt für TELEX, TELETEX und TELEFAX in einem weiten Bereich und ist hier von untergeordneter Bedeutung. Gesprächsbegleitende Mischkommunikation mittels Handskizzen erfordert eine Kodierung mit 500 bit/s und sekündliche Übertragung. Diskutiert wird auch die Übertragung redundanzarm kodierter Fernsehbilder mit geringer Bildfolgefrequenz, wofür 64 kbit/s ausreichend sind.

Zusammenfassend kann man sagen, daß die Datendienste der Bürokommunikation sowohl über ein CBX- als auch ein LAN-System zufriedenstellend übertragbar sind. Denn auch bei 64 kbit/s treten so kurze Übertragungszeiten auf, daß sie als Anteil von Reaktionszeiten im Dialogbetrieb vernachlässigbar sind.

Beim **Fernsprech-Dienst** und üblicher PCM-Codierung ergibt sich nach jeweils 125 μs (8 kHz) ein Abtastwert für das Sprachsignal von 8 bit, was auf eine Bitrate von 64 kbit/s führt. Diese Bitrate ist für die digitale Sprachübertragung eingeführt und ist bei CBX-Systemen Standard. Jedoch lassen sich Sprachsignale durch aufwendigere Codierverfahren (z. B. subband coding, SBC) auch mit geringeren Bitraten (z. B. 9.6 kbit/s) darstellen, wobei durchaus 64 kbit/s-PCM-Qualität erreicht wird.

Eine weitere wichtige Eigenschaft von Fernsprechen (im Sinne von Gegensprechen) ist eine recht hohe tolerable Laufzeit, welche bei der paketweisen Sprachübertragung über Bus-Systeme in Anspruch genommen werden muß. Z. B. weisen Fernsprechverbindungen über einen Satelliten eine Schleifenlaufzeit von ca. 500 ms auf, und es ist bekannt, daß dafür schon eine gewisse Gesprächsdisziplin erforderlich ist. Aus Untersuchungen weiß man, daß Schleifenlaufzeiten von $\leq$200 ms nicht bemerkt werden. Der Aufwand der Übertragung paketierter Sprache über LAN-Systeme ist erheblich. 400 Abtastwerte zu 8bit ergeben während 50 ms Dauer ein Paket mit 3.2 kbit. Zusammen mit der Wartezeit auf Übertragung ($\leq$50 ms) und der Übertragungsdauer (1 ms) kann die genannte Schleifenlaufzeit (Sprecher-Empfänger und zurück) durchaus eingehalten werden. Hinzu kommt ein Sprachqualitätsproblem als Folge der erforderlichen Umsetzung der paketierten Sprache in kanalvermittelte Sprache, wenn auch über Fernsprechnetze kommuniziert werden soll. LAN-Systeme sind deshalb für Fernsprechen weniger geeignet.

Neuerdings werden auch LANs angeboten, die jeder Station sowohl paket- als auch kanalvermittelte Dienste anbieten, so daß Sprache nach der PCM-Empfehlung übertragen werden kann.

Bei **Terminal-Rechner-Kommunikation** wird zwischen Dialog- und Stapelverkehr unterschieden. Dialogverkehr, üblicherweise von einem Bildschirmgerät betrieben, ist dem bereits behandelten Bildschirmtext vergleichbar. Bei Stapel-Verkehr sind die Informationsmengen je Einheit sehr viel größer: Die Menge von 4 Mbit entspricht für die Eingabe einem Stapel von ca. 6000 Lochkarten bzw. für die Ausgabe ca. 100 Schnelldruckerseiten.

Die erneute Eingabe eines Stapelauftrages liegt im Stundenbereich. Während für Dialogdienste die Übertragungsrate kanalvermittelnder Systeme völlig ausreicht, bevorzugt man für Stapelverkehr höhere Datenraten, so daß LAN-Systeme u. U. bevorzugt werden. Prinzipiell sind jedoch beide Systemarten geeignet.

Die **Rechner-Rechner-Kommunikation** könnte auch als anlageninterne Datenkommunikation bezeichnet werden, bei der nicht mehr Menschen sondern nachrichtentechnische Anlagenteile oder Rechnerkomponenten die Quelle und Senke des Verkehrs darstellen. Selbstverständlich können sich hinter einer solchen Anlagenkomponente eine große Zahl von menschlichen Verkehrsquellen oder -senken verbergen, deren Einzelverkehre aber bereits durch Multiplexer konzentriert worden sind.

Beispiel: Unter FILE-Transfer versteht man einen größeren Datentransport in einem verteilten aber lokalen Netz von Rechnern (z. B. zwischen einem Dateispeicher und einem rechnerindividuellen Arbeitsspeicher). Im Gegensatz zum Stapelverkehr bei der Teminal-Rechner-Kommunikation treten FILE-Transfers zwischen Rechnern in sehr viel kürzeren Abständen (z. B. im sec-Bereich) auf.

Folgende Ergebnisse kann man festhalten:

- LAN-Systeme wurden speziell für die Rechner-Rechner-Kommunikation entwickelt. CBX-Systeme sind hier weniger geeignet.
- Rechner-Rechner-Kommunikation benötigt die hohe Datenrate von LAN-Systemen, Video und Grafik erfordert Breitband-LANs.
- Fast alle Datendienste der Bürokommunikation und der Terminal-Rechner Dialogverkehr kommen mit den von CBX-Systemen verfügbaren Datenraten gut aus.
- Fernsprechen spielt im Fern- und Nahbereich mit 95/80% gegenüber Datenverkehr 5/20% zur Zeit eine so dominierende Rolle, daß sich Datenkommunikationseinrichtungen leichter als Zusatz zu Fernsprechnetzen, denn als eigenständiges System einführen lassen.
- LAN-Systeme sind für Sprachkommunikation wenig geeignet.

2.3.2 Stand der Entwicklung und Anwendung

LAN-Systeme

Das Angebot an LANs nimmt beständig zu. Tabelle 3 vermittelt einen Überblick über die Vielfalt des Angebotes (ohne den Anspruch auf Vollständigkeit zu erheben). Es ist bemerkenswert, daß die technischen Merkmale in vielen Ausprägungen kombiniert werden, so daß sich die Systeme alle nennenswert voneinander unterscheiden.

Eine jüngst durchgeführte Erhebung des BIFOA erbrachte, daß gegenwärtig rund 200 LANs in der Bundesrepublik Deutschland installiert sind. Das Anwendungsspektrum ist breit. Es reicht von der Steuerung technischer Anlagen bis zur hochentwickelten Bürokommunikation mit multifunktionalen Arbeitsstationen. Zahlenmäßig stechen besonders Netzwerke hervor, die Kleinrechner und Personalcomputer miteinander verbinden.

Digitale Nebenstellenanlagen (CBX)

ISDN-tüchtige CBX-Systeme haben in Deutschland noch Einführungsprobleme, weil sie z. Z. (1986) fast ausschließlich (bis auf einige Pilotversuche der DBP) isoliert zur Vermittlung von ISDN-Diensten auf dem privaten Grundstück eingesetzt werden können. Natürlich sind sie auch zur Vermittlung analoger Sprache und von Daten (über Modem) mit Zugang zum Fernsprechnetz ausgestattet. Betroffen sind davon insbesondere folgende Systeme deutscher Hersteller [3].

- **Nixdorf:** Digifon-System (Datenvermittlung DVS 8818 mit dem Sprach- und Datenkommunikationsterminal Digifon)
- **Philips:** Sopho-S mit dem digitalen Telefon KT 64 (auch zum Anschluß für Datenendgeräte)
- **Telenorma (TN):** Integral 222 und 333 mit den ISDN-Endgeräten TK 80 (Telefon + Anschluß für Datenendgeräte) und TX 80 (Multifunktionsterminal)

Tabelle 3. Das Angebot an LANs nach [2].

Produktbezeichnung	Hersteller/Vertreiber	Medium	Geschwindigkeit	Verfahren	Topologie	Typ
Basisband-Systeme						
ARC	Datapoint	KX	2,5 Mbps	Token	Bus	AP
CAMBRIDGE RING	Cambridge University	VK	10 Mbps	Slot	Ring	IP
CLUSTER/ONE	Nestar/Zynar	FK	0,25 Mbps	CSMA/CA	Linie/Stern/Baum	AP
DIKOS	ANT	LWL	10 Mbps	TDM	Linie/Stern	IP
DOMAIN	Apollo Computer	KX	12 Mbps	Token	Ring	AP
EMS 5800 DOCUMENT	(Xerox)/Siemens	KX	10 Mbps	CSMA/CD	Bus	AP
HYPERBUS	Network	KX	10 Mbps	CSMA/CA	Bus	IP
HYPERCHANNEL	Systems	KX	50 Mbps	CSMA/CA	Bus	IP
NET/ONE	Ungermann-Bass/Kontron	KX	10 Mbps	CSMA/CD	Bus	IP
NS 8000	Xerox	KX	10 Mbps	CSMA/CD	Bus	AP
OMNILINK	Northern Telecom	KX	40 Mbps	Token	Ring	AP
OMNINET	Corvus	VK	1 Mbps	CSMA/CA	Bus	AP
PLANET	Racal-Milgo	KX	10 Mbps	Token	Ring	IP
PRIMENET	Prime Computer	KX	8 Mbps	Token	Ring	AP
SILK	Hasler	KX LWL	16,8 Mbps	TDM	Ring	IP
Z-NET	Zilog	KX	0,8 Mbps	CSMA/CD	Bus	AP
Breitband-Systeme						
LOCALNET	Sytek	KX	0,128 Mbps 1,3 Mbps	CSMA/CD	Baum	IP
NET/ONE	Ungermann-Bass/Kontron	KX	5 Mbps	CSMA	Baum	IP
WANGNET	Wang	KX	12 Mbps (Wangband)	CSMA/CD (Wangband)	Baum	IP/AP
3-M-NETZ	Interactive Systems/3M	KX	5 Mbps	TDM	Baum	IP

Abkürzungen:

- Medium: KX = Koaxialkabel; LWL = Lichtwellenleiter; FK = 16adriges Flachbandkabel; VK = verdrilltes Kupferkabel
- Verfahren: CSMA/CD = Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection; CSMA/CA = Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance; TDM = Time Division Multiplexing
- Typ: IP = Infrastrukturorientiertes Produkt; AP = Anwendungsorientiertes Produkt

- **SEL:** System 12 B Kommunikationssystem SEL 6500 mit dem digitalen Telefon Digitel
- **Siemens:** HICOM mit Sprachterminal HICOM 260 und Multiterminal 3510

Neben diesen Systemen sind, insbesondere in Nordamerika, schon viele sprach- und datenvermittlungstüchtige digitale NStAn auf dem Markt, die jedoch nur z.T. die ISDN Schnittstelle anbieten (vgl. Tabelle 4). Überwiegend werden die Datenendgeräte und die Fernsprecher analog über Modem angeschlossen, in der Vermittlung digitalisiert und dann vermittelt.

Tabelle 4. Liste digitaler NStAnl. [2].

Hersteller	Modell
American Bell (AT&T)	System 85
American Telecom	Focus III
Anderson Jacobson	IDX-1000
AT&T	System 85
Datapoint	ISX
Gandalf	PACX-IV
GTE	GTD-1000/4600
Hitachi	DX-30
Infotron	TL 460
Intecom	IBX
Lexar	LBX
Mitel	SX-2000
NEC	NEAX-22
Nixdorf	DVS 8818
Northern Telecom	SL-1
Plessey	IDX
Rockwell International	580 DVSS
Rolm	CBX
Seiscor	Panda II
Siemens USA	Saturn III
Telesciences	X 80
Ztel	AXIS

3 Dezentrale Zugriffsprotokolle bei LAN-Systemen

Der Begriff Multiplexen, d.h. ein Übertragungsmedium gleichzeitig für mehrere Kommunikationsbeziehungen verfügbar machen, wurde bereits eingeführt und erklärt. Auch die Begriffe synchrones und asynchrones Zeitmultiplexverfahren zur Datenübertragung sind bereits bekannt.

Ohne hier näher darauf eingehen zu können, soll ein weiteres Multiplexverfahren erwähnt werden, bei dem ein für die analoge Signalübertragung verfügbares Frequenzband in Teilbänder unterteilt und jedes Teilband gleichzeitig zur Datenübertragung benutzt wird. Dieses **Frequenzmultiplex** genannte Verfahren wird, z.T. in Kombination mit den Zeitmultiplexverfahren (innerhalb von Teilbändern), bei einer Klasse von LAN-Systemen eingesetzt, die als Breitband (Broadband) Systeme bezeichnet werden und u.a. besonders für Videoübertragung geeignet sind. Für das Verständnis ist es ausreichend anzunehmen, daß die betrachteten Zeitmultiplexverfahren u.U. innerhalb eines Teilbandes eines Frequenzmultiplexsystems angewandt werden.

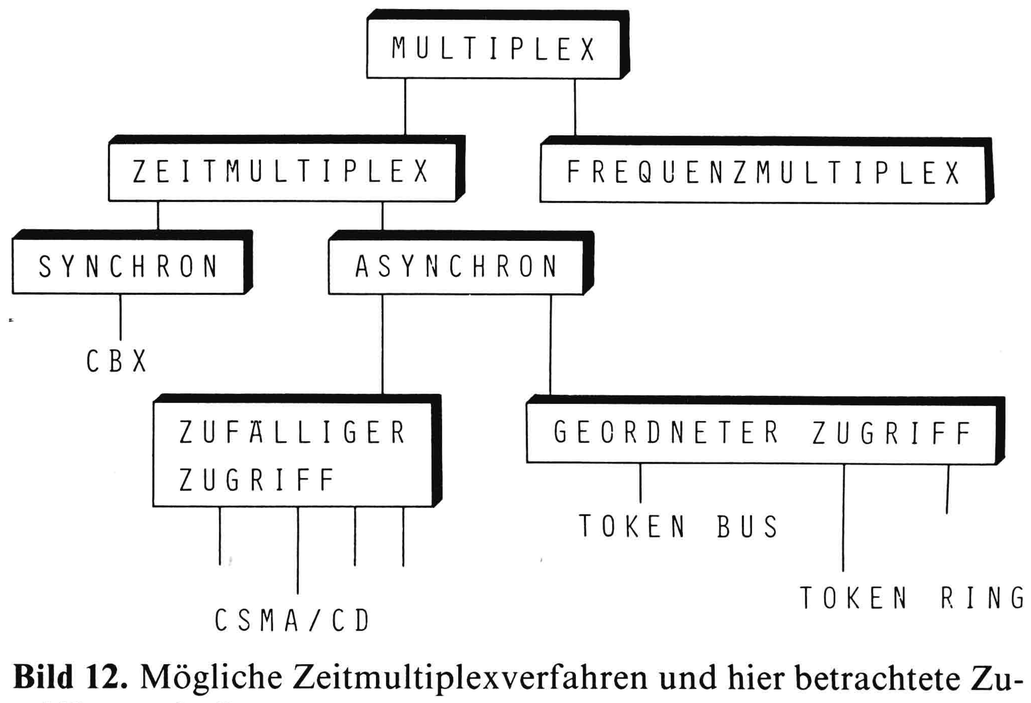


Bild 12. Mögliche Zeitmultiplexverfahren und hier betrachtete Zugriffsprotokolle.

Wir werden uns nachfolgend mit einigen Zugriffsprotokollen für Zeitmultiplexsysteme beschäftigen, um zu demonstrieren, wie trotz völlig dezentraler Organisation bei LAN-Systemen ein geordneter Kommunikationsablauf möglich wird. Gemäß Bild 12 handelt es sich um Protokolle im Rahmen des asynchronen Zeitmultiplex-Übertragungsverfahrens.

Unter einem **Protokoll** versteht man bei der Datenkommunikation ein Regelwerk, das zwei oder mehreren Teilnehmern einen geordneten Datenaustausch ermöglicht. Da für die Datenkommunikation mit all ihren denkbaren Anwendungen und den in Betracht kommenden Übertragungsnetzen und -medien ein umfangreiches Regelwerk erforderlich ist, hat man das Regelwerk modularisiert und für jeden Modul ein eigenes Protokoll festgelegt. Zugriffsprotokolle befassen sich mit dem Aspekt der geordneten Zuteilung des Übertragungsmediums an übertragungswillige Teilnehmerstationen. Man unterscheidet zwischen Zugriffsprotokollen ohne Koordination der Stationen („zufälligem Zugriff") und geordnetem Zugriff. Die drei in Bild 12 genannten Zugriffsprotokolle

- CSMA/CD (carrier sense multiple access with collosion detection)
- token bus
- token ring

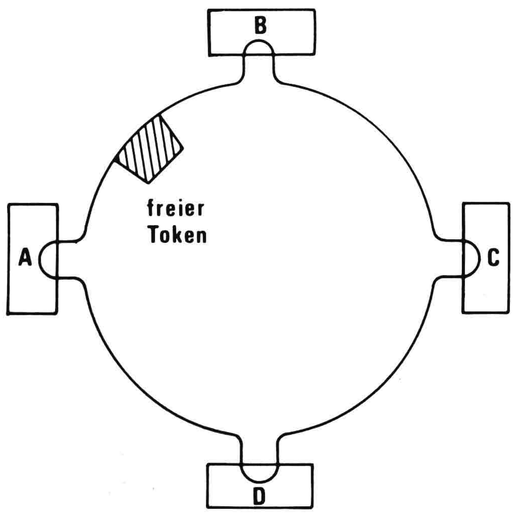
sind gerade weltweit für LAN-Systeme standardisiert worden (IEEE 802). Daneben gibt es eine Vielzahl weiterer Zugriffsprotokolle.

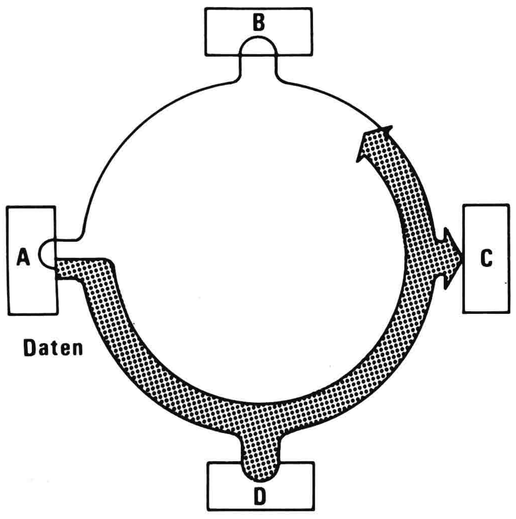
3.1 Token Ring und Token Bus

Der Token („Berechtigung") ist ein Übertragungsrecht in Gestalt eines für andere Zwecke bei der Datenübertragung nicht zugelassenen Zeichens, dessen Besitz das Übertragungsrecht auf einem LAN beinhaltet.

Wir betrachten zunächst eine Ringstruktur des LAN-Systems.

Gemäß Bild 13 sind benachbarte Stationen des Ringes paarweise über das Übertragungsmedium verbunden. Das Token Ring Protokoll legt fest, welche der Stationen bei Inbetriebnahme des LANs einen freien Token





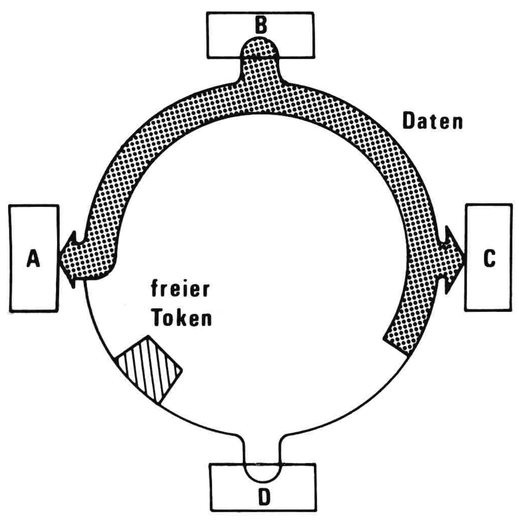


Bild 13. Funktionsweise des Token Ring LAN-Systems.
Sender A wartet auf den freien Token, wandelt ihn in „belegt" und hängt die Übertragungsdaten an
Empfänger C kopiert an ihn adressierte Daten
Sender A erzeugt freien Token, sobald Datenkopf bei ihm angekommen ist

erzeugen muß. Der Datenfluß läuft in einer Richtung, wobei der Token sequentiell eine Station nach der anderen passiert. Jede übertragungswillige Station darf den Token in den Zustand „belegt" verändern, einen adressierten Datenblock begrenzter Länge anfügen und kann so der adressierten Station Daten schicken. Diese kopiert die Daten, läßt aber den Token unverändert. Die Sendestation empfängt schließlich den Kopf der selbst gesendeten Daten wieder, gibt den Token als frei weiter und löscht ihre Daten.

Ein derartiges Ringsystem erlaubt beispielsweise den Anschluß von maximal 256 Stationen. Jede Station verzögert den durchlaufenden Bitstrom um ca. 2 Bittakte, z. B. bei 10 Mbit/s Übertragungsrate um 0,2 μs. Während dieser Dauer vergleicht sie den passierenden Datenstrom mit ihrer eigenen Stationsadresse, um an sie selbst gerichtete Sendungen erkennen und ggfs. kopieren zu können. Der Umlauf eines Tokens wird bei 256 aktiven Stationen um 51,2 μs verzögert, so daß Datenblöcke mit mehr als 511 bit Länge den Ring zeitweise völlig belegen (man spricht von der Speicherkapazität des Ringes). Hinzu kommt noch eine weitere, durch die Signalausbreitungsgeschwindigkeit auf dem Übertragungsmedium bedingte Signallaufzeit.

Beim **Token Bus** ergibt sich, anders als beim Ring, keine zwingende Reihenfolge der Stationen, weil beim Bus stets alle Stationen gleichzeitig die übertragene Information lesen können. Ersatzweise werden deshalb jeder Station die Adressen der Vorgänger- und Nachfolgerstation einprogrammiert. Der Token besitzt hier zusätzlich ein Adreßfeld, mit dessen Hilfe das Übertragungsrecht an die jeweils nächste (Nachfolger-)Station weitergegeben wird. Bild 14 zeigt, wie mit Hilfe des adressierten Tokens auch mit einem Bussystem ein logischer Ring realisiert werden kann. Vorteilhaft beim Token Bus ist, daß während eines Ringzyklus einzelne, besonders viel Datenverkehr erzeugende Stationen auch mehrfach das Übertragungsrecht zugewiesen erhalten können.

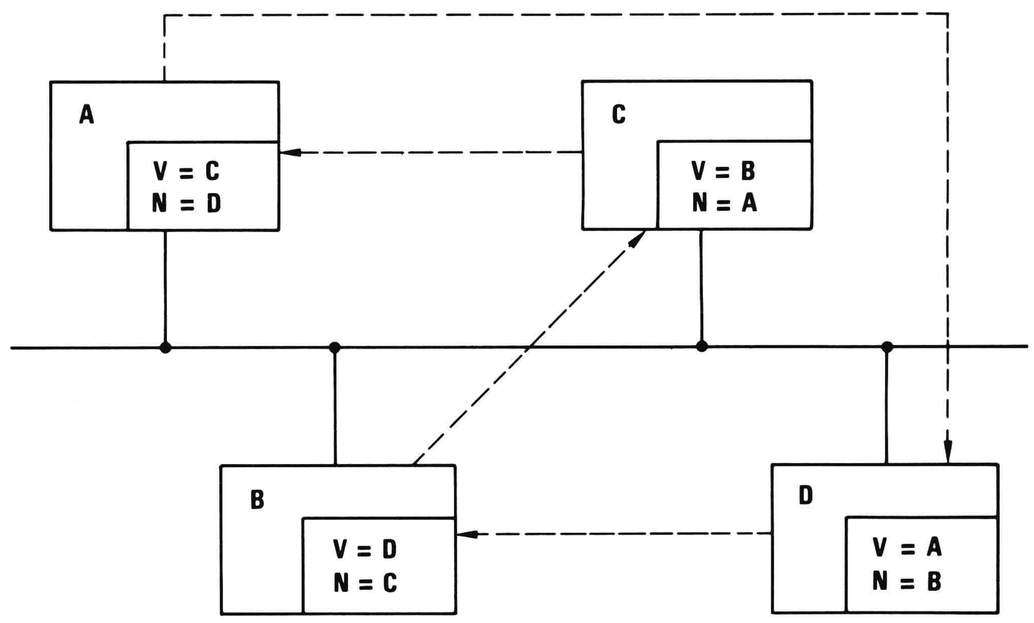


Bild 14. Token Bus
V = Vorgänger, N = Nachfolger

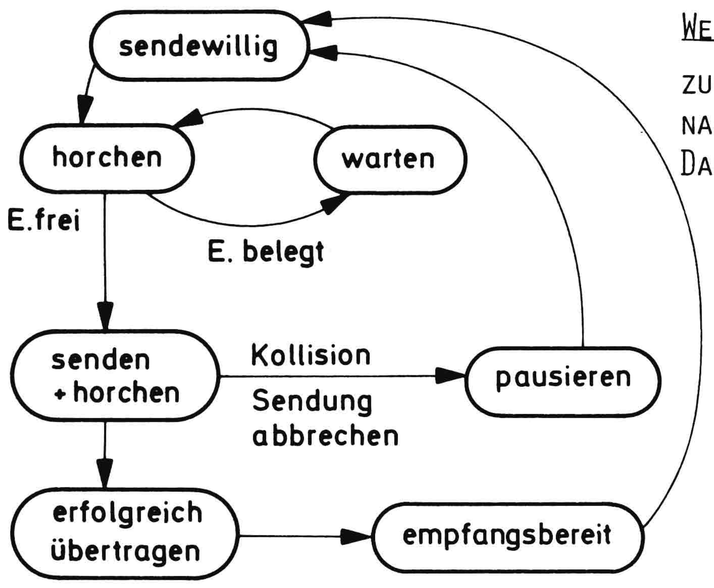
Die in Bild 9 als „Logischer Multiplexer" eingeführte Funktion wird bei den beiden eben beschriebenen Token-Systemen völlig dezentralisiert aber geordnet mittels des Tokens organisiert. Das Zugriffsprotokoll realisiert die Multiplexfunktion. Die Leistungsmerkmale von LANs nach dem Token Prinzip ähneln denen des nachfolgend etwas ausführlicher besprochenen Systems mit zufälligem Zugriff.

3.2 Bussystem mit zufälligem Zugriff (ETHERNET)

Das heute wohl am weitesten verbreitete Zugriffsverfahren kommt ohne geordnete Vergabe des Übertragungsmediums aus: Jede übertragungswillige Station benutzt nur lokal ermittelbare Information über das Gesamtsystem. Ordnung kommt in den Ablauf, weil sich alle Stationen gleichartig, gemäß dem Zugriffsprotokoll CSMA/CD verhalten.

Bild 15 zeigt das Zustandsschaubild einer sendewilligen Station. (Andere nicht gezeigte Zustandsschaubilder beschreiben die empfangsbereite bzw. die abgeschaltete Station.) Da dieses Protokoll durch einen Hersteller im Zusammenhang mit einem ETHERNET genannten Produkt eingeführt wurde, sprechen wir hier auch vom ETHERNET-Protokoll.

Gemäß Bild 15 **horcht** eine sendewillige Station zunächst am Übertragungsmedium „ETHER" um festzustellen, ob das Medium belegt oder frei ist. Die elektrische Signalübertragung erfolgt im sog. Basisband und



WESENTLICH:

ZUFÄLLIG DAUERNDE PAUSE
NACH KOLLISION
DAUER: 0, 1, 2,... SLOTS

Bild 15. Zustände einer Teilnehmerstation bei Ethernet.

deshalb kann jede Station leicht am Vorhandensein oder Fehlen des mit der Übertragung von Daten verbundenen getakteten Signalmusters den Belegtzustand des Systems erkennen. Die Station wartet, bis eine gerade laufende Sendung beendet ist und sendet dann sofort ihr Nachrichtenpaket.

Das zur Übertragung verwendete Bussystem ist an seinen Enden reflektionsfrei abgeschlossen, so daß jedes einem Bit entsprechende Signal nur für die Dauer des Bits auf dem Bus existiert. Sollten sich gleichzeitig eine oder mehrere Stationen zur Übertragung entschlossen haben, so überlagern sich deren Signale.

Jede sendende Station ist gleichzeitig empfangsbereit und vergleicht die von ihr gesendete Signalfolge mit der empfangenen. Senden also gleichzeitig mehrere Stationen, so kann jede Station diese Kollision nach einer – durch die Signallaufzeit auf dem Bus bedingte – maximalen Dauer T (slot) erkennen. Wird eine Kollision erkannt, dann beendet jede beteiligte Station ihre Sendung und der Bus wird frei.

Gegebenenfalls können sofort einige oder alle an der Kollision beteiligten Stationen, zusammen mit weiteren neu sendewillig gewordenen Stationen senden und wieder kollidieren.

Um das wiederholte Kollidieren zu vermeiden, pausiert jede beteiligte Station für die Dauer keiner, einer oder mehrerer slots. Die Anzahl der freiwillig pausierten slots wird zufällig, gemäß einem für alle Stationen gleichen Algorithmus ermittelt. Man erkennt, daß die logische Multiplexfunktion gemäß Bild 9 dezentral durch das Zugriffsprotokoll realisiert wird.

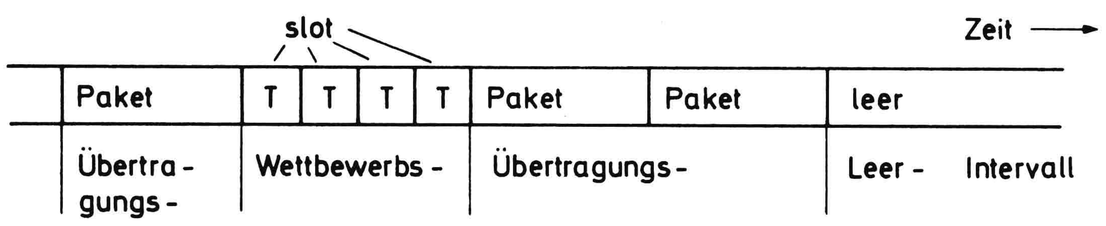


Bild 16. Beispiel des zeitlichen Ablaufs auf dem Bus
SLOT = Zeitspanne, nach der eine Kollision erkannt und die Übertragung abgebrochen wird

Man kann rechnerisch zeigen, daß bei geeigneter dynamischer Festlegung der Parameter dieses Algorithmus – trotz völlig dezentraler Steuerung – ein stabiles Übertragungssystem entsteht, auf dem man gemäß Bild 16 über der Zeit drei sich unregelmäßig abwechselnde Intervalle beobachten kann: Übertragung, Wettbewerb (ein oder mehrere Kollisionsslots), keine Übertragung (leer).

4 Zum Leistungsvergleich von CBX- und LAN-Systemen

In der Verkehrstheorie berechnet man, unter Berücksichtigung von Struktur und Eigenschaften der Datenverkehrsflüsse, anhand eines Modells des betrachteten Systems sein Leistungsverhalten, z. B. die Abhängigkeit der **mittleren Verweilzeit** eines Paketes vom **Angebot.** Das Angebot ist dabei die Wahrscheinlichkeit dafür, daß zu jedem beliebigen Zeitpunkt irgendeine Station übertragen will und hängt offenbar direkt von der pro Zeiteinheit auftretenden Zahl von Übertragungswünschen und ihrer Übertragungsdauer ab. Die mittlere Verweildauer möge beim Zeitpunkt des Vorliegens eines übertragungsbereiten Paketes im Ausgabepuffer einer Station beginnen und nach erfolgter Übertragung enden.

Nachfolgend sollen Rechenergebnisse zweier Zeitmultiplexsysteme verglichen werden, nämlich

- CBX mit Übertragung nach dem synchronen Zeitmultiplexverfahren
- ETHERNET als Beispiel eines nach dem asynchronen Zeitmultiplexverfahren übertragenden LAN-Systems.

Unterstellt sind

- eine für beide Systeme gleichgroße Summenübertragungs-Bitrate B
- eine bei der CBX gleichmäßig auf alle N aktiven Stationen aufgeteilte Kanalbitrate B/N
- Vernachlässigung der Wartedauer, weil das in der eigenen Station vorangegangene Paket evtl. noch nicht übertragen wurde.

Bild 17 zeigt Ergebnisse für drei Annahmen bzgl. der angeschlossenen Stationszahl N (=8,16,32). Zu vergleichen sind jeweils mit gleichem N bezifferte Kurven des CBX- bzw. ETHERNET-Systems.

Bei der CBX steht pro Kanal nur B/N als Bitrate zur Übertragung zur Verfügung; deshalb dauert bei kleinem Angebot G die Paketübertragung fast N mal solange wie bei dem LAN-System, das bekanntlich die volle Bitrate B für jedes Paket verfügbar macht. Mit

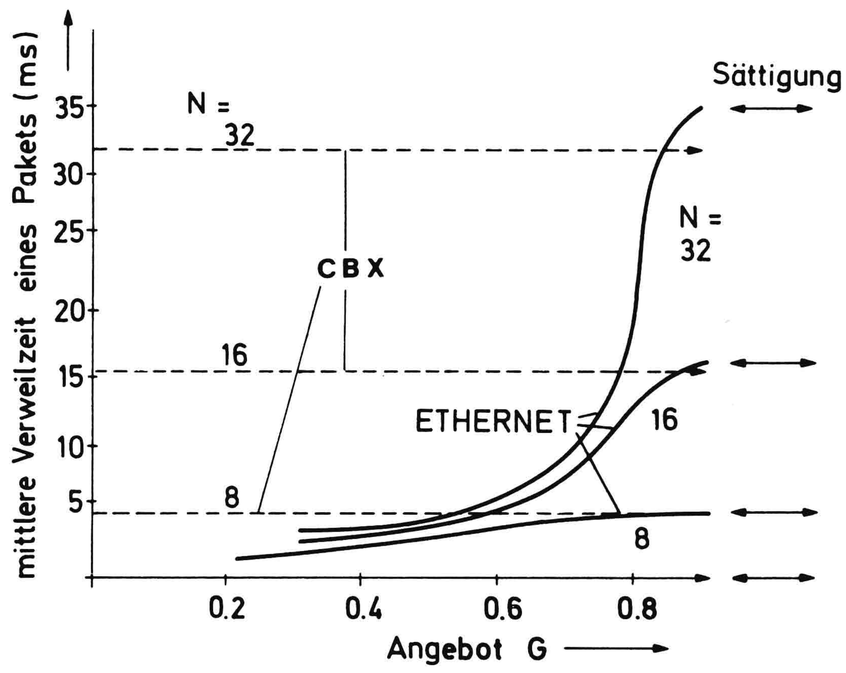


Bild 17. Mittlere Verweilzeit pro Paket als Funktion des Angebotes für ein CBX-System bzw. Ethernet (als Vertreter von LAN-Systemen) bei N aktiven Stationen. Zu vergleichen sind Kurven von CBX und LAN mit gleicher Zahl N von Stationen.

steigendem Angebot ändert sich bei CBX-Systemen bzgl. der mittleren Verweilzeit nichts, denn jede Station verfügt über einen exklusiven Kanal, den sie im Grenzfall $G \rightarrow 1$ ständig (geordnet) mit Paketen belegen kann. In diesem Grenzfall erweist sie sich, im Vergleich mit LAN-Systemen, als geringfügig vorteilhafter, da die CBX keine Übertragungskapazität für Wettbewerbsintervalle benötigt und Pakete nie auf ein freies Medium zur Übertragung warten müssen.

Beim LAN-System (ETHERNET) steht für jedes Paket die volle Rate B zur Verfügung. Entsprechend kurz ist die Verweilzeit bei kleinem Angebot. Mit zunehmendem Angebot finden Stationen das Medium zunehmend wahrscheinlicher belegt vor und müssen deshalb warten, außerdem treten Kollisionen und zugehörige freiwillige Wartepausen auf. Deshalb schneiden LAN-Systeme bei Sättigung ($G \rightarrow 1$) weniger gut ab.

Es sind andere Zugriffsprotokolle für LAN-Systeme entwickelt worden, welche nicht nur bei kleinem sondern auch großem Angebot den Leistungsvergleich mit der CBX nicht zu scheuen brauchen.

5 Zusammenfassung

Es mag nun am Schluß der Eindruck entstanden sein, daß LAN-Systeme *die* zukünftige Technik für die lokale Datenkommunikation sein werden, und daß die CBX hier wenig Chancen hat. Fassen wir jedoch alle relevanten Gesichtspunkte zusammen, so wird dieser Eindruck wieder korrigiert.

Bei LAN-Systemen besteht generell der Vorteil, daß jeder Teilnehmer (nur eingeschränkt durch die Summenbitrate und eine maximale Paketdauer) die gesamte hohe Bitrate des Systems solange in Anspruch nehmen kann, wie er sie braucht. Andererseits steht die Kapazität anderen Teilnehmern nach jeder Paketübertragung voll zur Verfügung. Diese Eigenschaft führt auch bei den Daten-Dialogdiensten auf eine hohe Ausnutzbarkeit des Übertragungsmediums.

Aus der Sicht des Benutzers, d. h. der Übertragungszeiten, können die Datendienste der Bürokommunikation und auch die Terminal-Rechner-Kommunikation, bei denen mindestens ein Kommunikationspartner ein Mensch ist, von den beiden Übermittlungssystemen gut bedient werden.

Unabhängig von der Wertung, ob gegebene Aufgaben mit einer digitalen Nebenstellenanlage oder einem LAN-System besser gelöst werden können, ist zu erwarten, daß sich beide Systeme nebeneinander für dieselbe Aufgabenstellung einführen werden: Ein Hersteller von Büroautomaten, der es vorteilhafter findet, seine Geräte untereinander verbindbar zu machen, selbst aber keine digitalen Nebenstellen herstellt, wird anstreben, ein eigenes LAN-System anzubieten. Er ist dann nicht auf das Vorhandensein einer CBX angewiesen, die sich erst im Laufe der Jahre verbreiten wird. In der Zwischenzeit haben auf den Datenverkehr spezialisierte LAN-Systeme eine gute Chance.

5.1 Ausblick

Die Sprachkommunikation wird bis auf weiteres die vom Verkehrsaufkommen umfangreichste Anwendung im lokalen Bereich bleiben. Auch wenn Sprache in Zukunft digital übertragen werden wird, werden CBX- und nicht LAN-Systeme den Großteil der lokalen Netze für die digitale Nachrichtenkommunikation stellen.

Mittelfristig werden CBX- und LAN-Systeme zu einem integrierten lokalen Kommunikationsnetz für Sprache und Daten verschmelzen, vgl. Bild 18. Dabei werden die Stärken beider Systeme im Prinzip für jeden Dienst verfügbar sein, insbesondere ist jedoch ein Übergang für die Datenkommunikation zwischen beiden Medien dann leicht möglich.

Längerfristig stehen für den lokalen Bereich Lösungen in Aussicht, bei denen auch die CBX eine dezentrale Struktur haben wird, ähnlich der eines LAN-Systems. Die Sprachver-

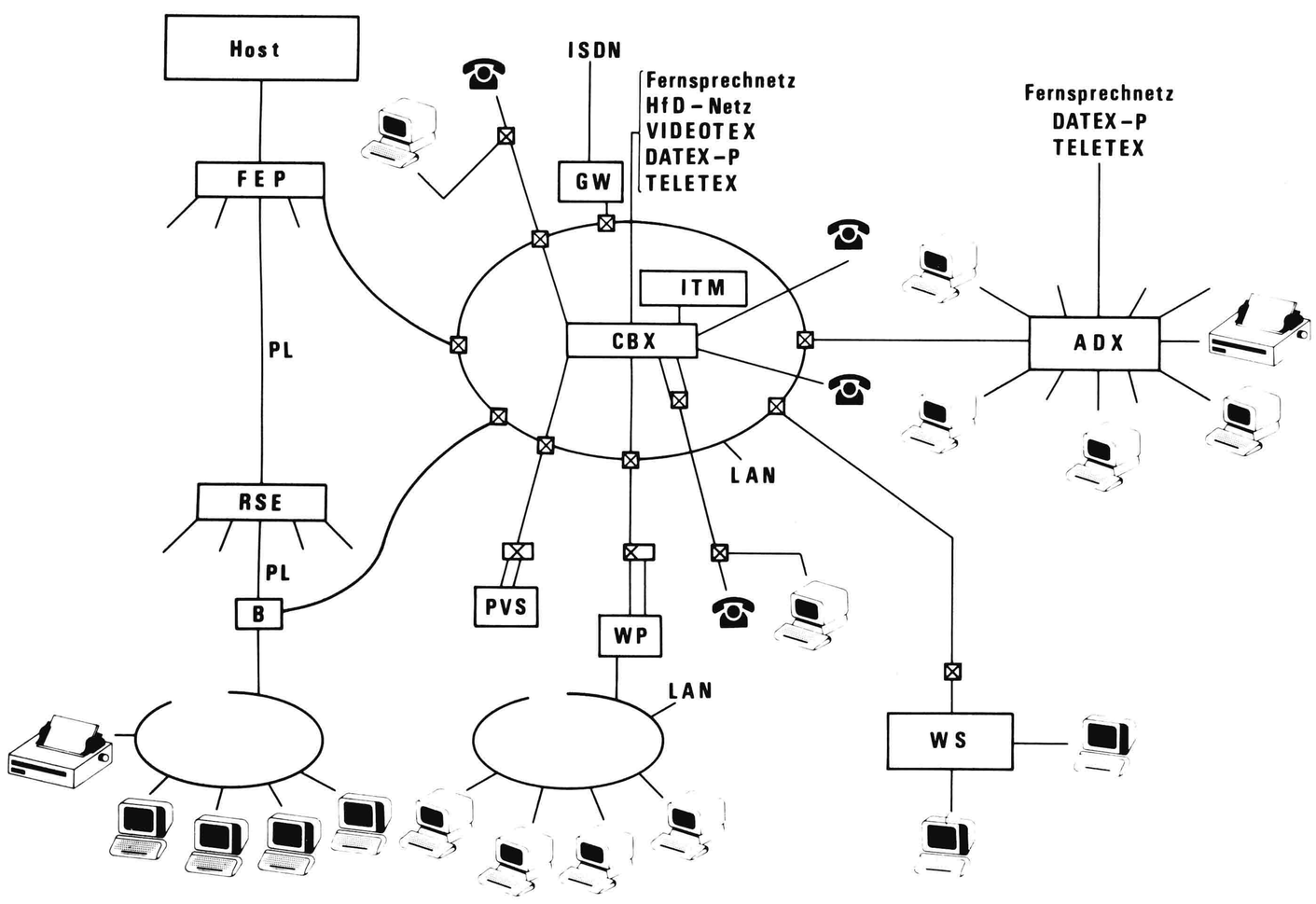


Bild 18. Integration von LAN-Systemen (Ringe) und digitalen Nebenstellenanlagen CBX (Sprache und Daten) bzw. ADX (Daten) in ein lokales Kommunikationssystem.

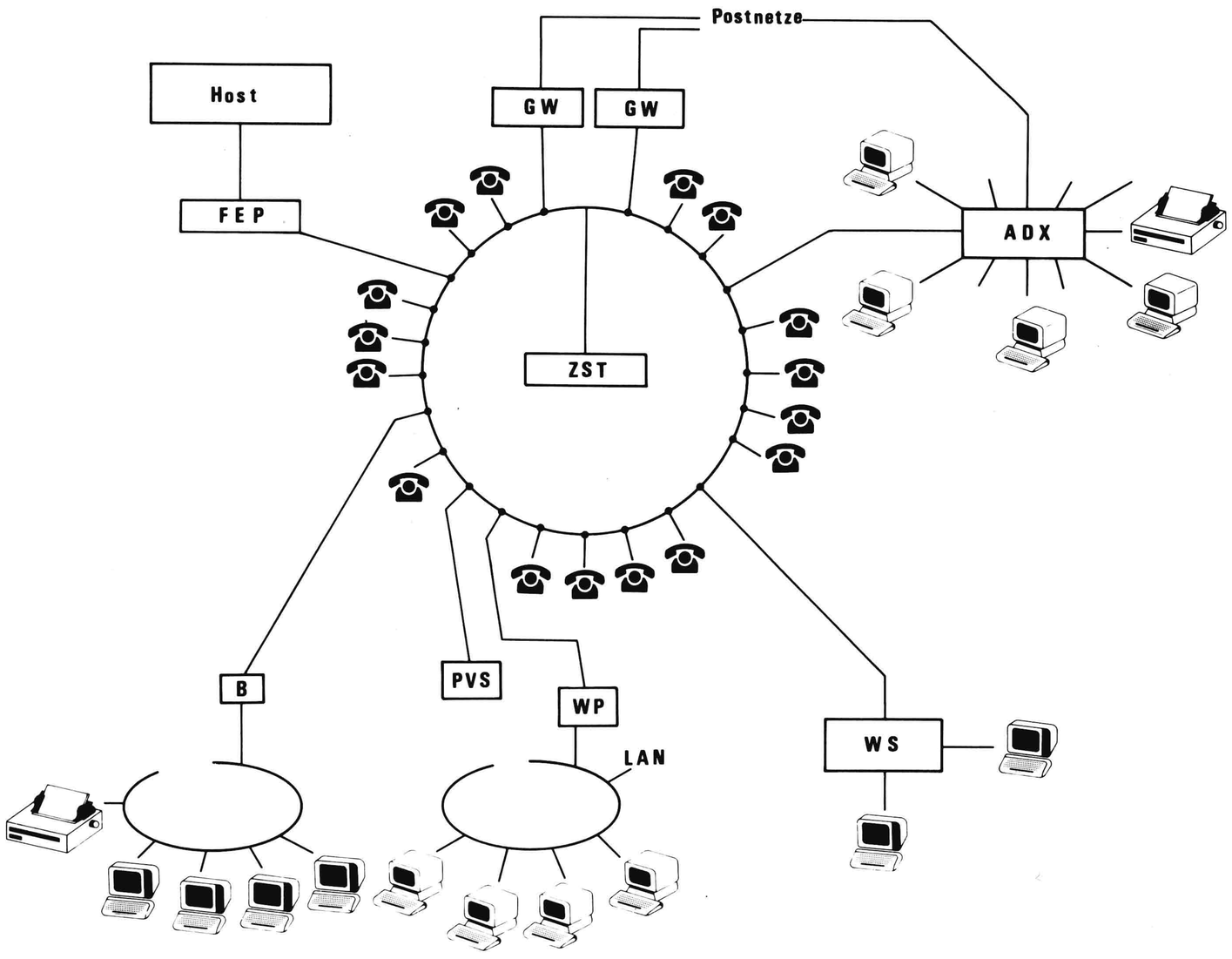


Bild 19. Das hybride lokale Kommunikationsnetz der Zukunft ZSt = Zentrale Steuerung/ Überwachung (kann evtl. entfallen) übrige Legende: vgl. Bild 18.

mittlung wird dabei, ähnlich wie die Datenvermittlung bei LAN-Systemen, dezentral durch intelligente Einrichtungen in der Nähe der Endgeräte durchgeführt werden. Auf dem digitalen Übertragungsmedium, das typisch als Koax- oder Glasfaserkabel ausgeführt ist, werden gleichzeitig kanalvermittelte (STDM-) und paketvermittelte (ATDM-)Verkehre übertragen werden können. Es wird also wahrscheinlich ein hybrides System entstehen, welches die Vorzüge kanal- und paketvermittelter Systeme gleichzeitig verfügbar macht, vgl. Bild 19.

Literatur

[1] *W. Stallings:* Local Networks: An Indroduction Macmillan, New York 1984.

[2] *K. Höring:* Interne Kommunikation über digitale Nebenstellenanlagen und LANs. Entwicklungsstand und Zukunftsperspektiven. In: Stand und Entwicklungsaussichten der Daten- und Textkommunikation Professorenkonferenz des Fernmeldetechnischen Zentralamtes 1983, S. 165–177.

[3] (Anonym): ISDN-fähige Kommunikationssysteme für den Weltmarkt. net 39 (1985), Heft 1, S. 11–12 und Heft 4, S. 151–155.

Prof. Dr.-Ing. *B. Walke* (45) erwarb 1965 bzw. 1975 seinen Dipl.-Ing. bzw. Dr.-Ing. Titel von der Fakultät für Elektrotechnik der Universität Stuttgart. Von 1965 bis 1983 war er zunächst wiss. Mitarbeiter, später Gruppenleiter im Forschungsinstitut und später Abteilungsleiter für Verkehrstheorie und Datenkommunikation im Geschäftsbereich Hochfrequenztechnik der AEG AG in Ulm.

Seit 1983 gehört er dem Fachbereich Elektrotechnik der FernUniversität als ordentlicher Professor für Datenverarbeitungstechnik an. Seine Forschungsinteressen liegen bei der Organisation und Leistungsbewertung von Systemen mit Rechnern. Prof. Walke ist Mitglied der GI und der NTG.

Anschrift des Verfassers: Fernuniversität, Frauenstuhlweg 31, D-5860 Iserlohn.

Teile dieser Arbeit sind während der Zugehörigkeit des Autors zur AEG AG entstanden.