

Regionales
Rechenzentrum
Erlangen

Der IT-Dienstleister der FAU

Mitteilungsblatt 97

Geschichte der Datenübertragungs- und Kommunikationsnetze an der FAU

Von der Datenfernverarbeitung zu ersten Internetstrukturen (Teil 1)

U. Hillmer

Geschichte der Datenübertragungs- und Kommunikationsnetze an der FAU

Mitteilungsblatt des Regionalen Rechenzentrums Erlangen (RRZE)
der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU)

Autor

Uwe Hillmer

Außenstellen

IZI (IT-Betreuungszentrum Innenstadt)

Bismarckstraße 1, 91054 Erlangen

IZN (IT-Betreuungszentrum Nürnberg)

Lange Gasse 20, 90403 Nürnberg

IZH (IT-Betreuungszentrum Halbmondstraße)

Halbmondstraße 6 , 91054 Erlangen

Benutzungsberechtigte Institutionen des RRZE

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Otto-Friedrich-Universität Bamberg

Universität Bayreuth

Hochschule Coburg

Georg-Simon-Ohm-Hochschule Nürnberg

Zum erweiterten Versorgungsbereich gehören:

Hochschule Ansbach

Hochschule Hof

Evangelische Hochschule Nürnberg

Herausgegeben im Auftrag des RRZE

ISSN 0172-2921

Mitteilungsblatt 97

Geschichte der Datenübertragungs- und Kommunikationsnetze an der FAU

**Von der Datenfernverarbeitung
zu ersten Internetstrukturen
(Teil 1)**

U. Hillmer

Liebe Leserinnen, liebe Leser,

die 50-jährige Geschichte des RRZE ist von enormen Entwicklungen und Fortschritten der Informationstechnologie im Allgemeinen und der Kommunikationstechnik im Besonderen geprägt. Heute erscheint es uns selbstverständlich, von jedem Platz der auf viele Standorte und Gebäude verteilten Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU) mit jedem Partner Daten austauschen oder kommunizieren zu können. Die Grundlage hierfür bietet ein leistungsstarkes, nahezu flächendeckendes Kommunikationsnetz der FAU auf Basis der Internettechnik. Dieses ist natürlich nicht „vom Himmel gefallen“, sondern Ergebnis einer langjährigen (auch heute noch nicht abgeschlossenen) Entwicklung, die teilweise sehr unterschiedliche Phasen durchlaufen hat.

Schon zur Gründung des Rechenzentrums stellten sich erste Anforderungen an entfernte („remote“) Zugriffe auf das zentral aufgestellte System, also nach Möglichkeiten einer Datenfernübertragung. Spätestens aber die Etablierung eines regionalen Rechensystems mit zwei Zentralsystemen und dem Versorgungsauftrag für die nordbayerischen Hochschulen erforderte komplexere Lösungen im Sinne eines Kommunikationsnetzes. Technische Entwicklungen ermöglichten dann im Laufe der Jahre verschiedene Gestaltungen sowie Ausbau, Leistungssteigerungen oder funktionale Erweiterungen.

Das 50-jährige Jubiläum gibt Anlass, auf die Entwicklung der Kommunikationstechnik der vergangenen Jahre zurückzublicken und die konkreten Ansätze an der FAU zu betrachten.

Uwe Hillmer hat als einer der ersten Mitarbeiter des Rechenzentrums diese Entwicklungsprozesse verfolgt und an der Realisierung entsprechender Konzepte maßgeblich mitgewirkt. Sein Bericht betrachtet die verschiedenen Phasen in ihrem zeitlichen Kontext, beschreibt die grundlegenden Techniken und skizziert deren strukturelle Umsetzungen. Darüber hinaus gibt er aus dem Blickwinkel des RRZE auch allgemeine Entwicklungen der Kommunikationstechnik wieder und zeigt u. a., wie auch schon vor dem Internet anspruchsvolle Netzlösungen verfügbar waren.

Seien Sie neugierig!

Es wünscht Ihnen eine interessante Lektüre

Ihr



Dr. Gerhard Hergenröder
Technischer Direktor des RRZE

Kapitel

Teil 1

Einführung, Überblick

- | | |
|--|---------------|
| 1. Zentralrechner und Datenfernverarbeitung (DFV) | / 1968 – 1975 |
| 2. Regionale Datenfernübertragung (Multiplexernetz) | / 1976 – 1984 |
| 3. Weitverkehrs- (X.25) und Campusnetz (LN20) | / 1985 – 1998 |
| 4. Lokale Netze (FDDI, Ethernet), Internetaufänge (IP) | / 1994 – 1999 |
| 5. Universelles Transfernetz (ATM), Virtuelle LAN (LANE) | / 1995 – 2011 |

Teil 2

- | | |
|---|---------------|
| 6. Geschichtete Netze (FE, GE und IP-Routing) | / 2000 – 2012 |
| 7. Hierarchisches Netzwerk (Core, Distribution, Access) | / 2013 – 2018 |
| 8. Zeitübergreifende Statistiken | / 1968 – 2018 |
| 9. Schlussbetrachtung | |

Einführung & Überblick

Einführung & Überblick

Das 1968 gegründete Regionale Rechenzentrum Erlangen (RRZE) der Friedrich Alexander Universität Erlangen-Nürnberg (FAU) feiert im Jahre 2018 sein 50-jähriges Bestehen. Dabei kann heute auf eine erfolgreiche Entwicklung zurückgeblickt werden, die sowohl von allgemeinen technischen Fortschritten, als auch von enormen Wandlungen und Erweiterungen des Anwendungsspektrums geprägt wurde. Hatte das Rechenzentrum ursprünglich die Aufgabe, über einen einzelnen „Großrechner“ der Universität zentrale Rechenleistung zur Verfügung zu stellen, entwickelte es sich im Laufe der Jahre zu einem umfassenden Dienstleister der Informations-Technologie (IT), der nicht nur mit dem Betrieb zahlreicher, unterschiedlicher Rechensysteme (Server) und deren Vernetzung befasst ist, sondern darüber hinaus vielfältige Unterstützung in den Bereichen der elektronischen Informationsverarbeitung bietet.

Für die Entwicklung des Rechenzentrums und der Bewältigung seiner Aufgaben wurde es bald unerlässlich, Möglichkeiten zu Datenaustausch und Kommunikation bereitzustellen. Anfangs stellte sich die Aufgabe, den zentral aufgestellten Rechner von entfernten Standorten der Universität aus (remote) nutzbar zu machen. Mit dem regionalen Auftrag (etwa ab 1976) erweiterte sich die Aufgabe um die Schaffung von Zugriffen für die nordbayerischen Hochschulen in Bamberg, Bayreuth, Coburg, Nürnberg, wobei das dann auch einsetzende Aufkommen zusätzlicher Rechensysteme (PCs, Workstations, Server) zunehmend flexiblere Kommunikationsstrukturen erforderte. Das aktuelle Kommunikationsnetz orientiert sich schließlich an einer flächendeckenden, leistungsstarken Verbreitung von Anschlüssen für die Arbeitsplatzrechner und Server innerhalb der Universitäten sowie Übergängen zu nationalen und internationalen Netzen. Auf-, Ausbau und Betrieb adäquater Kommunikationsstrukturen hatten und haben also für das RRZE eine fundamentale Bedeutung, so dass es sich lohnt, die entsprechende Historie gezielt zu betrachten.

Die unter vielen Aspekten beeindruckende Entwicklung der Kommunikationstechnik sowie deren Anwendungen an der Friedrich-Alexander-Universität stehen im Mittelpunkt der vorliegenden Aufarbeitung „Geschichte der Datenübertragungs- und Kommunikationsnetze an der FAU“. Sie gliedert sich in verschiedene inhaltlich und zeitlich definierte Phasen, die im jeweiligen Kontext des Rechenzentrums, der zugrundeliegenden Technologien sowie den konkreten Umsetzungen an der FAU beschrieben werden.

Neben persönlichen Erinnerungen und Erfahrungen des Autors, dienen vorrangig Originaldokumente, darunter Aufzeichnungen, Mitteilungen, Vortragsunterlagen des RRZE oder auch Handbücher von Geräteherstellern als Informationsquellen. Die ihnen entnommenen Illustrationen sind daher von unterschiedlicher Qualität und Gestaltungsart. Sie zeigen zwar ein etwas inhomogenes Gesamtbild, sind dafür aber authentisch.

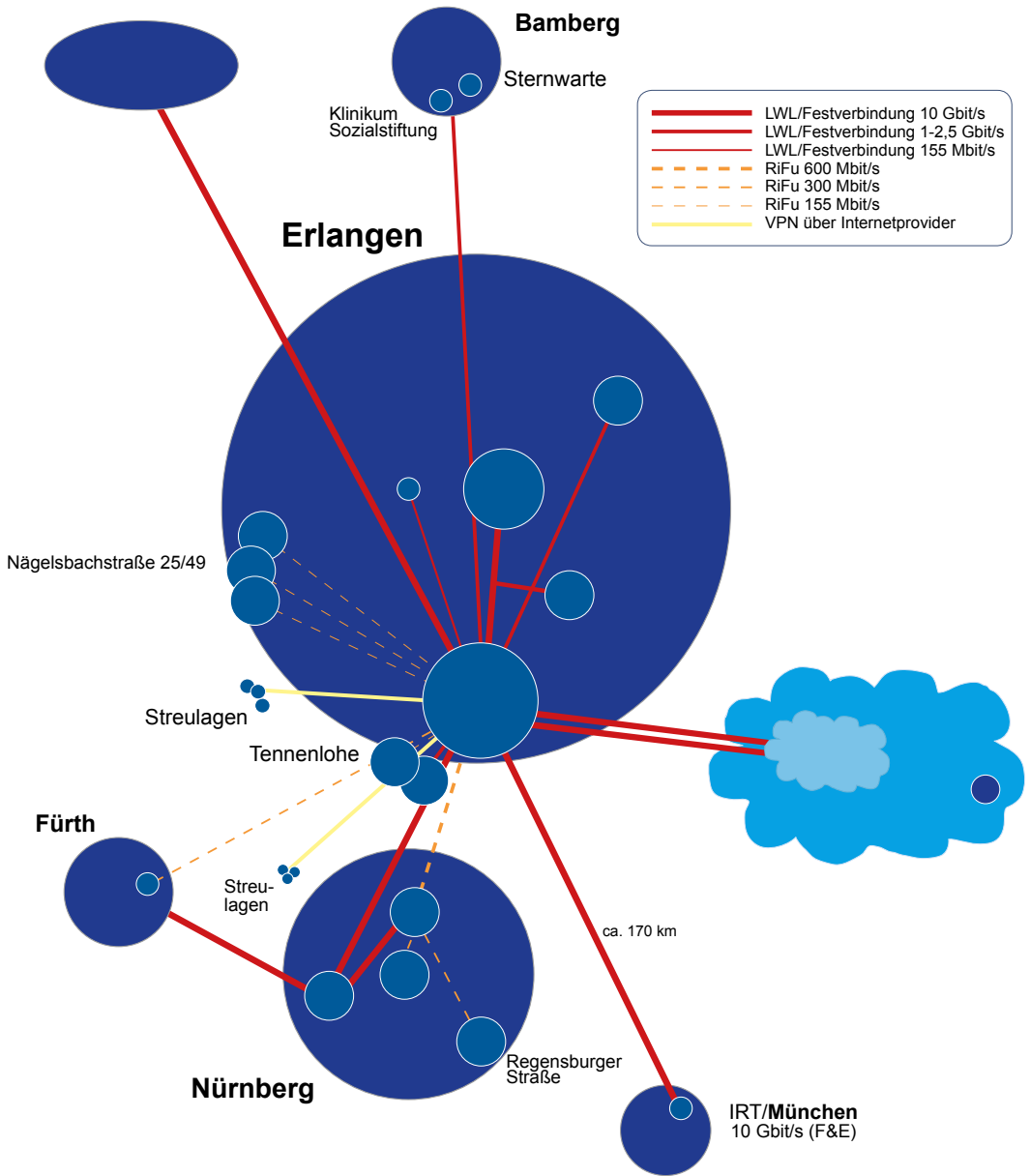
Die aus der Perspektive des RRZE beschriebene Historie gibt auch einen Teil der generellen Entwicklung von Techniken und Strukturen der Datenkommunikation wieder und beschreibt somit auch allgemeine Entwicklungen von der „klassischen“ Datenfernverarbeitung zu den vielfältigen Kommunikationsformen etwa im Rahmen des heute allseits bekannten „Internet“.

Bedeutung von Datenübertragungs- und Kommunikationsnetzen für die FAU

Die Universität Erlangen-Nürnberg gilt als die „verteilteste“ Universität Deutschlands, wobei sich die Verteilung sowohl auf mehrere Standorte innerhalb Erlangens, als auch auf verschiedene Stellen in Nürnberg bezieht. Zwischenzeitlich (ca. 1976 – 1994) sorgte die Einbeziehung nordbayerischer Hochschulen in Bamberg, Bayreuth, Coburg und Nürnberg für zusätzliche Anforderungen einer regionalen Kommunikationsstruktur. (Die regionalen Hochschulen kommunizieren untereinander inzwischen eigenständig über das Deutsche Forschungsnetz). Mit gewisser Regelmäßigkeit kommen immer wieder neue Standorte hinzu, wie etwa das AEG-Gelände in Nürnberg oder die Uferstadt in Fürth. Verbindungen der Standorte zur Zentrale sowie ihre Verknüpfungen untereinander erfordern eine entsprechende Datenübertragungs- und Kommunikationsinfrastruktur im Sinne von Weitverkehrs- (WAN, Wide Area Network) oder Stadt- (MAN, Metropolitan Area Network) Vernetzungen. Darüber hinaus entwickelte sich ein genereller Bedarf an Anschlüssen zur Datenübertragung in „allen“ Räumen der Universität, also an entsprechenden, weiter verteilenden lokalen Netzstrukturen (LAN, Local Area Network).

Auseinanderliegende Standorte spielten bereits zur Gründung des Rechenzentrums eine Rolle. Hier ging es zunächst darum, Nutzern in der Innenstadt und in Nürnberg die Möglichkeit zur Abgabe und Bearbeitung von Aufträgen an das zentrale Rechner-system im Erlanger Südgelände zu geben, ihnen also entsprechende Wege zu ersparen. Hierzu wurden sogenannte Stapelstationen über einzelne Übertragungsstrecken „remote“ angebunden. Nachdem das zentrale System auch im Dialog anwendbar wurde, entstand ein entsprechender Bedarf, diese Betriebsform nicht nur innerhalb des Rechenzentrumsgebäudes, sondern auch von anderen Orten aus nutzen zu können.

Auch dafür wurden anfangs einzelne Fernverbindungen eingerichtet, die dann z. B. im regionalen Kontext durch den Einsatz intelligenter Multiplex- und Vermittlungstechniken mehrfach nutzbar wurden. Heute sind die verteilten Standorte vor allem über Glasfaser- und Richtfunkstrecken verbunden und durch den Einsatz aktiver Netzkomponenten über ein umfangreiches Kommunikationsnetz miteinander verknüpft.



Grundstruktur des Kommunikationsnetzes der FAU, 2018

Die Abbildung „Grundstruktur des Kommunikationsnetzes der FAU“ zeigt die verteilten Standorte und deren Verbindungsstrecken auf aktuellem Stand (2018).

Neben der starken Verteilung der Standorte stellen und stellen die Entwicklungen bzgl. Quantität und Qualität der zu versorgenden Endsysteme ständige steigende Herausforderung an die Gestaltung des Kommunikationssystems der FAU dar. Deren Spektrum erweiterte sich z. B. von einem Großrechner und einzelnen Terminals (Sichtgeräten) zu einer Vielzahl von Rechensystemen (Servern), Arbeitsplatzsystemen (Terminals, PCs, Workstations) und sonstigen Endgeräten (Videokomponenten). Daraus resultierende Anforderungen konnten zunächst über weitläufige Bereitstellungen serieller Schnittstellen erfüllt werden und führten nachfolgend schließlich zu flächendeckenden, miteinander verknüpften Lokalmazstrukturen und höheren Leistungsmerkmalen.

Entsprechend dem technischen Fortschritt von Netz- und Gerätetechnik entwickelten sich, zum Teil in Wechselwirkung, auch deren Nutzungsformen. So wurden z. B. Dialoge mit Großrechnern u. a. ergänzt durch „Dateiübertragungen“ (Filetransfer), „elektronischer Post“ (E-Mail) und nicht zuletzt dem „World Wide Web“ (WWW), das zu einer erheblichen Popularisierung betreffender Techniken sowie einer starken Ausweitung des Nutzerkreises beitrug. Auch das Erschließen und Ausweiten übergeordneter Anwendungsfelder der EDV bzw. der Informationstechnologie erzeugte laufend wachsende Anforderungen an das Kommunikationsnetz. Als Beispiele seien hier die Universitätsverwaltung, Dienste des Studentenbetriebs aber auch der Bereich der medizinischen Versorgung genannt, für dessen Netzbetrieb das RRZE bis zur Gründung des eigenständigen Universitätsklinikums Erlangen (UKER) zuständig war.

Gemäß den geschilderten, im Laufe der Zeit sich verändernden Anforderungen, technischen Fortschritten oder sonstigen Randbedingungen war das RRZE mit Auf-, Ausbau und Betrieb passender Datenübertragungs- und Kommunikationsnetze befasst. Dabei lassen sich die verschiedenen Lösungen spezifischen Zeitabschnitten (Phasen) zuordnen, deren zugehörige Strukturen zudem jeweils einem durchgängigen Konzept folgten und durch zeitgemäße Technologien geprägt waren. Da ein umfangreiches Netz, wie das der FAU, nicht spontan an allen Orten gleichzeitig umstrukturiert werden kann und sein Gesamtbetrieb stets möglichst unterbrechungsfrei zu gestalten ist, war zum Wechsel zwischen verschiedenen Phasen ein planvolles, schrittweises Vorgehen erforderlich. Die einzelnen Phasen sind daher nicht strikt voneinander getrennt und auch nicht unabhängig voneinander, sondern überlappen sich teilweise.

Die Informationstechnologie generell, sowie Datenübertragungs- und Kommunikationsnetze im Besonderen waren und sind für die FAU von großer Bedeutung. Der Universitätsbetrieb ist heute ohne eine funktionierende Kommunikationsinfrastruktur kaum denkbar.

Thematische Einordnung und Abgrenzung

Verfahren zur Datenübertragung und Vernetzung von Systemen bilden die Grundlage für rechnergestützte Kommunikationen, ihre praktischen Umsetzungen somit den Kern von Kommunikationssystemen. Wie auch im Kontext der FAU unterscheiden sich entsprechende Realisierungen u. a. in ihrem zeitlichen Bezug, ihren technischen Grundlagen, spezifischen Zielsetzungen und hängen natürlich von den jeweiligen Gegebenheiten ihres Umfeldes ab.

Das internationale Normungsgremium ISO (International Organization for Standardization) hat 1979 unter der Bezeichnung OSI (Open Systems Interconnection Model) ein Referenzmodell veröffentlicht, das eine neutrale Struktur zur Kommunikation zwischen unterschiedlichen Systemen definiert. Es bietet vor allem eine allgemein anerkannte Orientierung sowie begriffliche Grundlagen zur Einordnung und Beschreibung von Kommunikationssystemen, auch wenn diese aus verschiedensten Gründen (Historie, Herstellerinteressen, Aufwand, Kosten usw.) weitgehend unabhängig von dieser Referenz konzipiert worden sind.

Das Referenzmodell gliedert die Kommunikation zwischen Systemen in verschiedene, aufeinander aufbauende Schichten (andere Bezeichnungen: Ebenen, Layers), die sich innerhalb der Endsysteme vertikal über Dienstschnittstellen und zwischen Systemen horizontal über schichtenspezifische Protokolle austauschen.

Anwendung		Application	Ebene	Gegenstand
Darstellung		Presentation	7	Anwendung
Sitzung		Session		E-Mail Directory Filetransfer Terminal Transaktionen
Transport		Transport	6	[Darstellung Code-Transformation]
Netzwerk		Network	5	[Sitzung Sicherungspunkte]
Verbindung		Link	4	Transport Ende-zu-Ende Verbindung
Physisch	Medium	Physical	3	Netzwerk globales Netz
			2	Verbindung Übertragungsabschnitt
			1	Physisch Übertragung

ISO-/OSI-Referenzmodell: 7 Schichten

Bedeutung [Hol6]

Dabei hat jede Schicht ein bestimmtes Aufgabenspektrum, nutzt zur Erfüllung die jeweils darunter liegende, und erbringt Dienste für die darüber liegende Schicht. Die konkrete Realisierung der Schichten ist in diesem modularen Konzept nicht festgelegt und daher prinzipiell austauschbar. So kann z. B. ein einheitliches Netzwerk (Schicht 3) unter Verwendung unterschiedlicher Übertragungsverfahren und Techniken (Schicht 2, 1) aufgebaut sein. Ebenso wenig fixiert das Modell die Protokolle zwischen gleichen Schichten auf unterschiedlichen Systemen. Diese müssen aber unter den Kommuni-

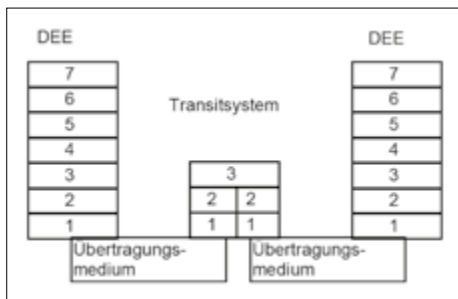
kationspartnern genau abgesprochen sein, d. h. jeweils gleichen Regeln etwa bzgl. Abläufen oder Datenformaten folgen. Die ISO hat zwar zur Ausfüllung des Modells auch Protokolle zur „offenen“ Kommunikation vorgeschlagen (OSI), diese haben sich aber in der Praxis kaum durchgesetzt.

Der Aufbau der Schichten mit ihren deutschen und englischen Bezeichnungen sowie ihren Bedeutungen, ist in den Abbildungen zum „ISO-/OSI-Referenzmodell“ dargestellt und wird durch folgenden Stichpunkte ergänzt:

- Schicht 1: Physische Schicht (Physical Layer), auch Bitübertragungsschicht, beinhaltet übertragungstechnische Verfahren, Signalaufbereitung, verwendete Medien
- Schicht 2: Verbindungsschicht (Link Layer), auch Sicherungsschicht, sorgt für „sicheren“, möglichst fehlerfreien Zugriff auf verwendete Medien, wandelt zwischen Bitströmen und Datenblöcken
- Schicht 3: Netzwerkschicht (Network Layer), auch Vermittlungsschicht, zuständig für das Schalten bzw. Aufbauen von Verbindungen (leitungsorientiert, adressbezogen), Vermitteln, Weiterleiten (Routing), Zustellen von Datenpaketen
- Schicht 4: Transportschicht (Transport Layer), leistet Ende-zu-Ende Kontrolle (Fehlerkorrektur, Flusssteuerung) zwischen Kommunikationspartnern, Segmentierung von Datenströmen der höheren Schicht in Einheiten des Netzwerks (Datenpakete), Zuordnung zwischen Anwendung und Netzverbindung
- Schicht 5: Sitzungsschicht (Session Layer), auch Kommunikationssteuerungsschicht, setzt Sicherungspunkte zum Wiederaufsetzen nach Unterbrechungen
- Schicht 6: Darstellungsschicht (Presentation Layer), bildet systemabhängige Datenformate auf unabhängige ab (z. B. durch Kodewandlung) und umgekehrt
- Schicht 7: Anwendungsschicht (Application Layer), stellt Funktionen für Anwendungen sowie die Dateneingabe und -ausgabe bereit, wie etwa für Terminal-Dialoge, Elektronische Post /E-Mail) oder Übertragung von Dateien (Filetransfer)

In Erweiterung der Beschreibung „direkter“ Kommunikationen zwischen zwei Endsystemen kann das Referenzmodell auch zur Charakterisierung dazwischen liegender Datenübertragungs- und Kommunikationsverfahren angewandt werden. So entspricht etwa eine mit Hilfe von Telefonkabeln und „Übertragungseinrichtungen“ (Modems)

aufgebaute Fernübertragungsstrecke den Schichten 1 und 2 (s. Kap. 1), während protokollgesteuerte Vermittlungssysteme, wie die durch X.25 (s. Kap. 3) oder vom Internet (s. Kap. 4) geprägten Netzwerke den Schichten 1 bis 3 des Modells zuzuordnen sind.



Datenübertragung im Referenzmodell

In der Abbildung zur „Datenübertragung im Referenzmodell“ sind die Kommunikation zweier Endsysteme (DEE, Datenendeinrichtungen), ein Übertragungsnetz aus einem Knoten (Transitsystem), die jeweiligen Übertragungsabschnitte zwischen DEE und Netz sowie die Zuordnung der Schichtennummern des Modells dargestellt.

Im Mittelpunkt dieser Aufarbeitung der Geschichte von Datenübertragungs- und Kommunikationsnetzen an der FAU stehen Transitnetze im Sinne der Abbildung bzw. deren im Laufe der Zeit verschiedenen Realisierungen. Das bedeutet auch eine Konzentration auf die unteren drei Schichten des Referenzmodells, die in ihren Grundlagen und Umsetzungen ausführlich behandelt werden. Auf die oberen Schichten, wie z. B. die Anwendungen, wird nicht näher eingegangen. Diese werden hauptsächlich im Rahmen genereller IT-Entwicklungen sowie damit verbundenen Anforderungen an die Kommunikationsbasis erwähnt und kurz charakterisiert.

Mit der Betrachtung aus der Perspektive von RRZE bzw. FAU ergibt sich ein gewisser Ausschnitt aus der generellen Geschichte von IT- und Kommunikationstechnik. Sie gibt aber auch einen darüber hinaus gehenden Einblick in allgemeine Entwicklungen, was sich etwa an den in langen Jahren vergleichbaren Umsetzungen des Deutschen Forschungsnetzes oder auch der allgemeinen Verbreitung des Internet ablesen lässt.

Aufbau und Inhalt der Dokumentation

Die Entwicklung der Datenübertragungs- und Kommunikationssysteme an der FAU lässt sich in aufeinanderfolgende Phasen einteilen, die einerseits durch ihre inhaltlichen Schwerpunkte bzw. zugrunde liegender Technologien geprägt sind, andererseits aber

auch bestimmten Zeiträumen zuzuordnen sind. Natürlich gibt es dabei auch zeitliche Überschneidungen, da sich weder technische Entwicklungen noch deren praktische Umsetzungen sprunghaft vollziehen.

Die Darstellungen der einzelnen Phasen, d. h. die zugehörigen Kapitel enthalten jeweils Abschnitte zu folgenden Punkten:

Kontext

Beschreibung des betreffenden Kontextes zur Datenkommunikation, d. h. der Ausgangslage an Rechenzentrum und Universität, daraus resultierenden Anforderungen sowie den allgemeinen Entwicklungen von IT- und Kommunikationstechnologien

Technik

Erläuterung der Grundlagen betreffender Techniken, dazu gehören u. a. Begriffsbildungen, Konzepte, Zielsetzungen, Festlegungen sowie charakteristische Eigenschaften

Komponenten

Anführung von Komponenten zur Umsetzung der Konzepte, d. h. der Bausteine zum Aufbau entsprechender Kommunikationsstrukturen

Strukturen

Beschreibung, Skizzierung konkreter Strukturen, also den im Rahmen des RRZE implementierten und betriebenen Realisierungen von Datenübertragungs- und Kommunikationsnetzen an der FAU

Stand und weitere Entwicklung

Zusammenfassende Betrachtung des jeweiligen Abschnitts und Ausblick auf nachfolgende Entwicklungen

Die verschiedenen Kapitel sind in zwei, sich überschneidenden Teilen zusammengefasst. Dabei führt der erste, „historische“ Teil (etwa 1968-2011) von der „einfachen“ Datenfernverarbeitung bis zu den ersten Netzstrukturen auf Basis der Internetprotokolle. Die angewandten Techniken haben zwar auch Einfluss auf aktuelle Entwicklungen genommen, kommen aber in ihren konkreten Umsetzungen heute kaum noch zum Einsatz. Der anschließende, zweite Teil (etwa 2010-2018) ist hingegen durch Techniken beschrieben, die bis heute die Grundlagen „aktueller“ Netzstrukturen bilden und deren Entwicklungen vor allem durch Ausbreitungen und Leistungssteigerungen gekennzeichnet sind.

Lässt man die zeitliche Überschneidung außer Acht, könnte man die Grenze zwischen den beiden Teilen auch mit dem Jahr 2000 ziehen und sie so dem „alten“ bzw. „neuen“ Jahrtausend zuordnen. Gemäß den Leitern des Rechenzentrums könnte dann auch der historische Teil mit „Ära Wolf“ (1968-2000) und der aktuelle Teil mit „Ära Hergenröder“ (seit 2000) bezeichnet werden.

Die Gesamtdokumentation der einzelnen Phasen gliedert sich in folgende Kapitel:

- 1. Zentralrechner und Datenfernverarbeitung (DFV) 1968 – 1975**
 Großrechner mit (Remote-)Zugriff von entfernten Standorten über einzelne Strecken der Datenfernübertragung
- 2. Regionale Datenfernübertragung (Multiplexernetz) 1976 – 1984**
 Zugriff auf zentrale Systeme für die Hochschulen der nordbayerischen Region über mehrfach genutzte Fernleitungen
- 3. Weitverkehrs- (X.25) und Campusnetz (LN20) 1985 – 1998**
 Regionales Weitverkehrsnetz auf Basis des genormten X.25-Protokolls (entsprechend Datex-P der Bundespost) und lokales Breitbandnetz (entsprechend TV-Kabelnetz) im Erlanger Südgelände der FAU, beide sowohl zur Kommunikation mit zentralen als auch verteilten Rechensystemen eingesetzt
- 4. Lokale Netze (FDDI, Ethernet), Internetanfänge (IP) 1994 – 1999**
 Einsatz von Lokalmaznetztechniken über Glasfaser- und Koaxialkabel auch im Stadtbereich, Einführung des Internetprotokolls zur Vernetzung verteilter Systeme und Endgeräte
- 5. Universelles Transfernetz (ATM), Virtuelle LANs (LANE) 1995 – 2011**
 Von Netzprovidern, wie der Deutschen Bundespost, definierte Technik ATM mit kalkulierbaren Übertragungsleistungen und Zusammenfügungen verteilter Lokaler Netzsegmente zu bereichsübergreifenden (virtuellen) LANs
- 6. Geschwichtete Netze (FE, GE und IP-Routing) 2000 – 2012**
 Anwendung von Ethernet-Technologien über Glasfaser- und Kupferkabel und Einsatz spezifischer LAN-Switches, LAN-übergreifende Vermittlung auf Basis des Internetprotokolls über IP-Router
- 7. Hierarchisches Netzwerk (Core, Distribution, Access) 2013 – 2018**
 Flächendeckendes Netzwerk nach einem hierarchischen Architekturmodell, Leistungssteigerungen (hohe Übertragungsgeschwindigkeiten) durch technologische Fortentwicklung bzgl. Verkabelung, Basistechnik und Netzkomponenten
- 8. Zeitübergreifende Statistiken 1968 – 2018**
 Endgeräte-, Komponentenzahl, Übertragungsleistung, Betriebsverhalten (Verfügbarkeit)
- 9. Schlussbetrachtung**
 Fazit und genereller Ausblick

Zentralrechner und Datenfernverarbeitung 1968 – 1975

1. Zentralrechner und Datenfernverarbeitung (DFV) 1968 – 1975

Zu Beginn der Einführung von Systemen der Elektronischen Datenverarbeitung (EDV) wurden in den 60er-Jahren zentrale Anlagen betrieben, die in ihrer Nutzungsform durch das Abgeben von Aufträgen (Lochkarten-Eingabe) und den Empfang von Resultaten (Druckerlisten) charakterisiert waren (Stapelbetrieb) und entsprechend die Anwesenheit von Benutzern „vor Ort“ erforderten. Schon bald aber entstanden der Bedarf an Zugangsmöglichkeiten von entfernten Standorten (Remote-Zugriff) sowie nach flexiblerem, direkterem Umgang mit den Systemen, etwa in einem direkten Kontakt zwischen Benutzer und zentralem Rechner (im Dialog). Diese Aspekte führten einerseits zur Entwicklung von Methoden der Datenfernübertragung (DFÜ) und andererseits zur Implementierung von Teilhaberbetriebssystemen für gemischten Stapel- und Dialogbetrieb. Zusammengefasst entstand so der Komplex der Datenfernverarbeitung (DFV).

Auch zur Gründung des Rechenzentrums der Universität Erlangen-Nürnberg in Erlangen (1968) und der Installation eines zentralen Rechnersystems spielte die Datenfernverarbeitung bereits eine Rolle, die dann in der Folge zunehmend an Bedeutung gewinnen sollte. Ihre Konzepte und Realisierungen kennzeichnen somit die erste Phase der Datenübertragungs- und Kommunikationstechnik an der FAU.

Neben dem Rechenzentrum der Universität kann auch die 1973 eingerichtete Rechnerabteilung der Erlanger Informatik (INFRA) als weitere Wurzel des später ab 1976 in einer Vorstufe gestarteten und 1979 etablierten Regionalen Rechenzentrums Erlangen (RRZE) betrachtet werden. So lässt sich auch das DFV-Konzept des Informatik-Rechnersystems in die genannte erste Phase einordnen.

Im Rahmen des RRZE stellte sich dann u. a. die anspruchsvolle Aufgabe, die beiden völlig unterschiedlichen Ansätze und Techniken der Datenfernverarbeitung in ein übergreifendes Konstrukt einzubringen (s. auch Kap. 2.).

1.1 Das Rechenzentrum der Universität Erlangen-Nürnberg

1.1.1 Ausgangslage an der FAU (vor 1968)

Während die ersten elektronischen Rechnersysteme vornehmlich zur Lösung einzelner mathematischer, technischer Aufgaben geeignet waren, erschloss die Entwicklung von universellen Großrechnern, Betriebssystemen zum Mehrprogrammbetrieb (Multipro-

gramming) und problemorientierten Programmiersprachen (z. B. FORTRAN, Cobol) weit darüber hinausgehende Einsatzmöglichkeiten. Die Elektronische Datenverarbeitung (EDV) gewann somit immer mehr an Bedeutung für die verschiedensten Wissensgebiete. Entsprechend entstand auch an der Universität Erlangen-Nürnberg mit ihren weit gefächerten Fachbereichen und einer im Aufbau befindlichen „Technischen Fakultät modernster Prägung“ ein Bedarf an bereitstehender EDV-Kapazität. Dieser konnte durch die einzig an der Universität vorhandene Rechenanlage Zuse, Z23 (Die Z23 steht derzeit im RRZE, Martensstraße 1, Erlangen wieder betriebsbereit für Vorführungen zur Verfügung), die im Mathematischen Institut für Ausbildungszwecke zur Verfügung stand, bei weitem nicht gedeckt werden. Die Universität erstellte daher 1965 ein Konzept [TF9] zur Einrichtung eines Rechenzentrums mit Schätzungen der instrumentellen und personellen Ausstattung, des Baubedarfs bezüglich räumlicher Anforderungen sowie der Beschreibung seiner Aufgaben und Dienstleistungen für die gesamte Universität.

Erkannt wurde bereits auch der Bedarf, zentral zur Verfügung gestellte Leistungen nicht nur im Rechenzentrum selbst, sondern auch von anderen Standorten der geografisch verteilten Universität nutzen zu können. Hierzu führte die Planung insbesondere die Wirtschafts- und Sozialwissenschaftliche Fakultät in Nürnberg (20 km entfernt) sowie die Sternwarte in Bamberg (40 km entfernt) an. Zudem wurde mit einer Zahl von etwa 30 einzurichtenden Außenstellen innerhalb der Universität gerechnet. Somit spielten Überlegungen zu Datenübertragung und Datenfernverarbeitung von Anfang an eine Rolle, deren praktische Umsetzungen aufgrund verschiedener Bedingungen sowie dem damaligen technischen Entwicklungsstand allerdings nicht gleich von Beginn an erfolgen konnten.

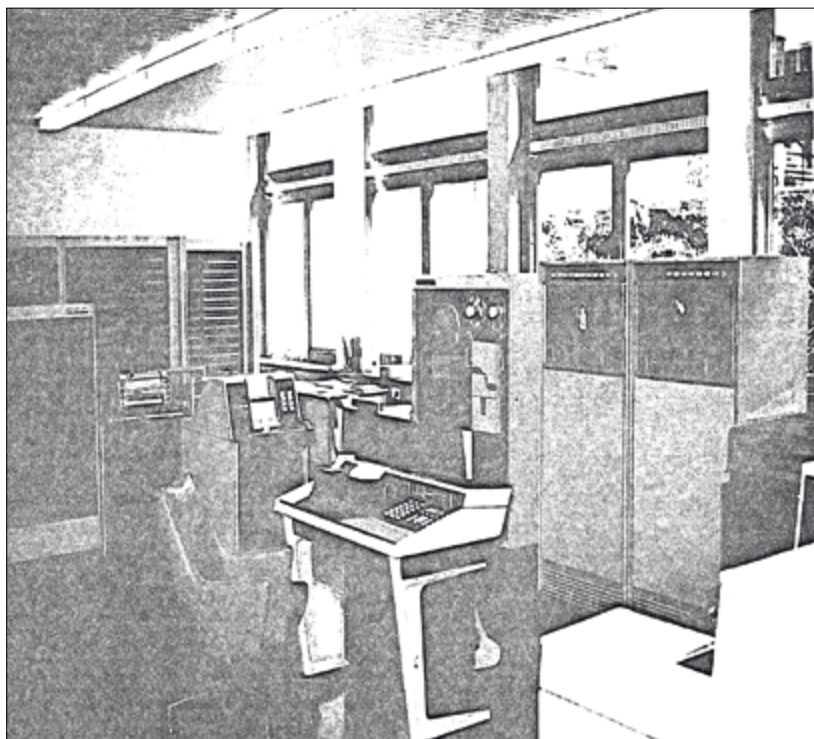
1.1.2 Gründung des Rechenzentrums

Das Rechenzentrum der Universität Erlangen-Nürnberg wurde als zentrale Einrichtung im Jahr 1968 gegründet. Zu seinen Aufgaben gehörten die Bereitstellung von Rechenleistung und Möglichkeiten der elektronischen Datenverarbeitung (EDV), der zuverlässige Betrieb einer Großrechenanlage, aber auch direkte Unterstützung und Ausbildung von Angehörigen der Universität, insbesondere also Wissenschaftlern und Studenten.

Als Standort des Rechenzentrums dienten zunächst angepasste Räumlichkeiten im Philosophiegebäude der Erlanger Innenstadt im Bereich des Mathematischen Instituts (Bismarckstraße 1, 8520 Erlangen). Das Rechenzentrum wurde von Dr. Franz Wolf geleitet, der diese Funktion (später als Technischer Direktor) noch viele Jahre bis zu seiner Pensionierung im Jahr 2000 ausüben und somit die weitere Entwicklung entscheidend prägen sollte.

1.1.3 Rechananlage und Betriebsform (Stapelbetrieb)

Die erste Anlage des Rechenzentrums bestand aus einem Großrechnersystem der Firma Control Data mit vom Typ CD 3300. Nach ihrer Installation und einem 200-stündigen Probetrieb wurde sie am 10.09.1968 in den Wirkbetrieb übernommen und am 29.11.1968 offiziell in Dienst gestellt. Die Konfiguration, die bzgl. Ausstattung und Leistungsfähigkeit mit heutigen Systemen nicht zu vergleichen ist, befand sich auf dem damaligen Stand der Technik und bestand aus einer Zentraleinheit mit 64K-Worten Kernspeicher, vier Magnetplatten mit je 80 Millionen Zeichen und der üblichen Stapelperipherie: Lochkartenleser, Lochkartenstanzer, Lochstreifenleser, Lochstreifenstanzer, Schnelldrucker und einem Zeichengerät. Im „Blick auf die Rechananlage im Philosophiegebäude“ sind im Vordergrund die Bedienkonsole für den Systemadministrator, auf der rechten Seite Magnetplatten und Bandlaufwerke sowie auf der linken Seite die Schränke der Zentraleinheit des Rechners zu sehen.



Blick auf die Rechananlage CD 3300 im Philosophiegebäude (Erlangen, Bismarckstraße)

Der Rechner wurde über das Betriebssystem MASTER gesteuert, das zur effektiven Ausnutzung der zentralen Recheneinheit (Central Processing Unit, CPU) mehrere Programme „parallel“ bearbeiten konnte (Multiprogramming). Der Zugang erfolgte im Stapelbetrieb (Batchbetrieb), d. h. ein

- Benutzer erstellt einen Lochkartenstapel, z. B. mit
 - Anweisungen (Kommandos) an das System in einer systemspezifischen Kommandosprache (Command Language),
 - Programmtext, formuliert in einer Programmiersprache (z. B. FORTRAN),
 - Steuer- und Eingabedaten für das Programm
- Benutzer gibt den Lochkartenstapel im Rechenzentrum ab
- Bediener (Operateur) des Rechenzentrums veranlasst die Eingabe des Stapels über einen Lochkartenleser, die Rechenanlage bearbeitet den Auftrag, einschließlich der Ausführung des Programms
- Benutzer hat auf die Abarbeitung keinen weiteren Einfluss. Beobachtungen des Verlaufs und beschränkte Einflussnahmen, etwa zur Erhöhung der Bearbeitungspriorität oder aber auch zu einem gezielten Programmabbruch bei erkanntem Fehlverhalten (z. B. durch Programmschleifen) sind ausschließlich durch Rechenzentrumspersonal (Systemadministratoren, Operateure) über die Bedienkonsole des Rechners möglich
- Ausgaben, Resultate des Programms werden über einen Schnelldrucker ausgedruckt
- Benutzer holt sich Lochkartenstapel und Druckerlisten im Rechenzentrum ab

Sind bei der Bearbeitung Fehler aufgetreten, z. B. in der Programmsyntax, oder soll das Programm noch einmal mit veränderten Eingabeparametern ausgeführt werden, ist der Lochkartenstapel entsprechend zu modifizieren und erneut abzugeben. Der Vorgang erfordert in dieser Form die Anwesenheit des Benutzers im Rechenzentrum und erscheint (besonders aus heutiger Sicht) ziemlich schwerfällig. Ein Wunsch nach alternativen bzw. ergänzenden Betriebsformen (Datenfernverarbeitung, Dialogbetrieb) ist somit leicht nachzuvollziehen (s.u.).

Erste Ansätze zu einem Dialogbetrieb wurden über das ergänzende System RESPOND verfolgt, das im November 1969 zu allgemeinen Testzwecken frei gegeben wurde. Darüber konnten (im Testrahmen) Auftragskommandos statt über Lochkartenstapel in Dateien eingetragen und von dort abgesetzt werden. Dafür standen zunächst 4 Fernschreiber (TTY) und 2 Sichtgeräte (Typ 211, Tastatur + Bildschirm) zur Verfügung bereit.

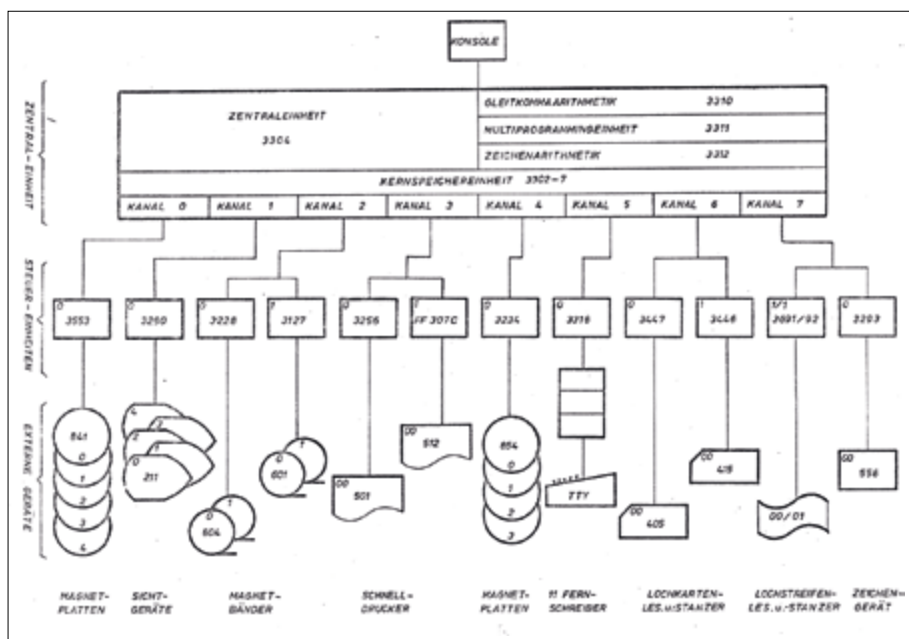
Die Nutzer der Rechenanlage kamen zwar zunächst überwiegend aus Einrichtungen der naturwissenschaftlichen und technischen Fakultät (zusammen beanspruchten sie etwa 75 % der Programmlaufzeiten), gehörten darüber hinaus aber schon von Beginn

an zu einem breiten Spektrum unterschiedlicher Bereiche der Universität, wie etwa der Theologischen, Philosophischen, Medizinischen, Juristischen, Wirtschafts- und Sozialwissenschaftlichen Fakultät oder der Zentralbibliothek.

Informationen zu Ausstattung, Betrieb und Nutzung des Rechenzentrums sind u. a. in jährlichen Jahresberichten (*[JB-ijji]*) dokumentiert und entsprechend nachzulesen.

1.1.4 Umzug und Erweiterungen

Durch einen sprunghaft steigenden Bedarf an Rechenleistungen entstanden schon bald viele Engpässe, z. B. bzgl. der Anlagenkapazität, den Raumverhältnissen oder des betreuenden Personals. Durch den Umzug im März 1971 von der provisorischen Unterbringung im Keller des Philosophiegebäudes in einen eigens errichteten Neubau im Erlanger Südgelände und einer Erweiterung der Anlage (vornehmlich um Kern- und Massenspeicher) konnte ein Teil der Engpässe vorübergehend beseitigt werden. Einen weiteren Versuch, dem steigenden Bedarf Rechnung zu tragen, stellte die Installation einer zweiten Anlage dar, die von der Universität Saarbrücken übernommen und mit der bestehenden verknüpft wurde. Angesichts der generellen EDV-Entwicklung



Konfiguration der Rechenanlage CD 3300, 1-971

konnte auch dies nur eine Übergangslösung darstellen, die nach entsprechender Antragsstellung (bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft) und Mittelbewilligung durch eine komplett neue Konzeption abgelöst werden sollte (s. Kap. 2).

Zur Illustration ist der Ausbaustand nach erfolgtem Umzug 1971 in der „Konfiguration der Rechenanlage CD 3300“ schematisch dargestellt. Neben der Zentraleinheit, Speichergeräten (Magnetbänder und -platten), Geräte des Batchbetriebs (Lochkartenleser, Schnelldrucker) sind darin auch Dialoggeräte (fünf Sichtgeräte, elf Fernschreiber) angezeigt.

1.2 Rechnerabteilung der Informatik

1.2.1 Erlanger Informatik

Im Zuge einer allgemein wachsenden Bedeutung der Elektronischen Datenverarbeitung und der Behandlung damit verbundener Problemkreise entwickelte sich die Informatik als eine eigenständige Wissenschaft mit theoretischen, technischen, praktischen sowie anwendungsorientierten Teilbereichen. Sie entstand vorrangig aus Disziplinen der Mathematik und der Elektrotechnik, bezog aber auch viele andere Wissensgebiete mit ein, man denke etwa nur an die Disziplinen mit den (erst später dafür gebräuchlichen) Bezeichnungen „Wirtschaftsinformatik“ oder „Medizinische Informatik“.

Diese Entwicklung wurde in Erlangen von Prof. Dr. Wolfgang Händler frühzeitig erkannt. Der Rechnerpionier und zeitweilige Weggefährte von Konrad Zuse (Entwickler der „Z3“, dem ersten funktionsfähigen Computer der Welt) verfolgte als Leiter des Instituts für Mathematische Maschinen und Datenverarbeitung (IMMD) den Auf- und Ausbau des neu entstehenden Wissenschaftszweiges an der FAU, die bereits im Wintersemester 1969 /70 als eine der ersten Hochschulen Deutschlands den Studiengang „Informatik“ anbot. Prof. Dr. Händler wird daher auch als „Vater der Erlanger Informatik“ bezeichnet.

1.2.2 Informatik Rechnerabteilung (INFRA)

Zum Aufbau der Informatik gehörte neben der Schaffung verschiedener Lehrstühle mit Themengebieten, wie z. B. Theoretische Informatik, Programmiersysteme, Rechnerarchitektur, Betriebssysteme, auch die Einrichtung einer eigenen Rechnerabteilung. Sie war eng in die Lehre und Forschung der Informatik eingebunden und sollte einen spezifischen Bedarf der Informatik an Rechnerleistung abdecken. Freie Kapazitäten sollten darüber hinaus auch anderen Einrichtungen der Universität zur Nutzung offen stehen.

Die Informatik Rechnerabteilung (INFRA) wurde 1971 unter Leitung von Dr. K.D. Reinartz gegründet und war zunächst wie andere, neu eingerichtete Informatik-Lehrstühle in einem der Flachbauten der Egerlandstraße des Erlanger Südgeländes untergebracht. Zur Ablösung dieser Unterbringung sahen die weiteren Planungen des Ausbaus der Erlanger Informatik die Errichtung eines Neubaus im Südgelände vor, der dann die Lehrstühle und die Rechnerabteilung einschließlich eines geeigneten Rechnerraums aufnehmen und nach seiner Errichtung auch als „Informatik-Hochhaus“ bezeichnet werden sollte.

1.2.3 Rechananlage und Betriebsformen

Die Rechananlage der Informatik war vom Typ TR 440 des deutschen Herstellers Telefunken Computer (später: Computer Gesellschaft Konstanz). Sie hatte, wie alle seinerzeitigen Großrechnersysteme, eine eigene Kommandosprache zur Formulierung von Aufgaben an das System, die als Besonderheit Vokabeln und Begriffe aus der deutschen Sprache verwandte. Sie unterschied sich dadurch insbesondere von den international marktführenden Systemen aus den USA (IBM, Control Data, Honeywell usw.) aber auch denen anderer, deutscher Hersteller (Siemens, AEG). Die Verwendung deutscher Wörter hatte zum Teil „natürliche“ Vorteile (z. B. STARTE zum Starten, Ausführen eines Programms), wirkte aber im Vergleich zu sonst üblicher, englischer Terminologie stellenweise „konstruiert“ und sehr gewöhnungsbedürftig, wie z. B. UEBERSETZE zum Übersetzen (Kompilieren, Compile) eines Programms, MONTIERE zum Zusammenfügen (Binden, Linken) von Programmmodulen oder MBAUFSPANNE zum Einlegen eines Magnetbands.

Die Anlage wurde im Oktober 1973 in Betrieb genommen und konnte von vornherein sowohl per Stapelverarbeitung als auch über Dialogsitzungen im Multiprogramming/Timesharing genutzt werden. Für Dialoganwendungen standen 30 Sichtgeräte (SIG50) bereit, die über ein Satellitensystem (Vorrechner TR 86) an die Zentralanlage angeschlossen waren und deren Sitzungen über ein Teilnehmersystem verwaltet wurden (s. Kap. 1.3).

1.3 Grundlagen der Datenfernverarbeitung

In der Anfangsphase des Rechenzentrums, also etwa den Jahren 1968 - 1977, erfolgte die Nutzung der Rechenanlage hauptsächlich über den Stapelbetrieb, der nur in ersten, zahlenmäßig geringen Ansätzen eines Dialogbetriebs ergänzt wurde. Dabei waren beide Nutzungsformen zunächst nur in unmittelbarer Nähe der Anlage verfügbar, setzten also die Anwesenheit des Nutzers im Rechenzentrum voraus. Diese allgemein, also nicht nur in Erlangen bestehende Problematik eines Zentralrechnerbetriebs sowie ein stark aufkommender Bedarf an interaktiven Arbeitsmöglichkeiten in der EDV trieben Entwicklungen von Methoden und Techniken einer „Datenfernverarbeitung“ voran, die die beschriebenen Nachteile überwinden und von einzelnen Übertragungsstrecken bis zu ausgedehnten Fernnetzen führen sollten (s. Kap. 2.4.2).

1.3.1 Serielle Datenübertragung (Schnittstelle und Datenübermittlung)

Eine Grundlage des Datenaustauschs zwischen zwei Systemen (z. B. Sichtgerät und Großrechner) bildet die Definition einer Schnittstelle zur seriellen Übertragung von Zeichenfolgen bzw. deren Kodierung in aufeinanderfolgende Bitreihen (0/1-Zustände). Sie wurde in den frühen 60er-Jahren vom US-amerikanischen Standardisierungskomitee Electronic Industries Association (EIA) als RS232 erarbeitet und von der Organisation nationaler Institutionen zur Datenübertragung CCITT (seinerzeit hauptsächlich Postverwaltungen, wie der Deutschen Bundespost) als V.24 oder dem deutschen Normungsgremium unter DIN 66020 beschrieben. Sie definiert u. a. Status-, Steuer- und Datenleitungen der Schnittstelle und legt elektrische Eigenschaften der Signalübertragung fest. Die definierten Einzelleitungen lassen durch entsprechende Auswahl eine Vielzahl von Nutzungsvarianten zu, wobei in der Regel zumindest die Datenleitungen zum Senden (D1, deutsche Bezeichnung) und Empfangen (D2), zur Bereitschaftsanzeige der Partner (S1.2 bzw. M1) sowie die Signalerde (E2) benötigt werden. Zur Schnittstellendefinition gehört auch die Beschreibung zugehöriger Steckverbindungen mit der Zuordnung von Signalleitungen zu Kontakten (Pin-Belegung) der mechanischen Elemente (Stecker, Buchsen). Hier bildete lange Zeit die 25-polige Ausprägung DB-25 (D-Sub) den gebräuchlichen Standard, während heute eher die neunpolige Variante DE-9 verbreitet ist, die z. B. im Rahmen von COM-Schnittstellen noch an PCs verwendet wird.

Die Bezeichnung der Schnittstellensignale orientiert sich an der Anschlusskonfiguration eines Endgeräts (DEE, engl. DTE) an eine Übertragungseinrichtung (DÜE, engl. DCE), wobei die Richtung ihrer Wirkung zu beachten ist. So sind z. B. die Begriffe Senden und Empfangen aus der Sicht des Endgeräts zu verstehen, auch wenn man

die Empfangsdaten als „von der DÜE gesendete“ Daten betrachten kann. Schließt man etwa zwei DEE direkt aneinander, so benötigt man ein dazu sogenanntes Kreuzkabel, das z. B. die Sendeleitung des einen mit der Empfangsleitung des anderen (und umgekehrt) verbindet.

Die untere Abbildung, die der technischen Dokumentation einer Übertragungseinrichtung (D1200S von Siemens, [SieD]) entnommen ist, zeigt die für deren Betrieb relevanten „V.24-Schnittstellenleitungen“ mit ihren Bezeichnungen, Stiftnummern (Pin-Belegungen) und Bedeutungen an.

Bezeichnung nach		Stecker	Funktion der Schnittstellenleitung	Richtung DEE-DÜE	
DIN 65020	CCITT V24				
E2	102	7	Betriebsende		
D1	103	2	Sendedaten	→	
D2	104	3	Empfangsdaten	←	
S1	106	20	Übertragungsleitung anschließen/DEE betriebsbereit	→	
M1	107	6	Betriebsbereitschaft	→	
S2	105	4	Sendeteil einschalten	→	
M2	106	5	Sendebereitschaft	→	
M3	125	22	Ankommender Ruf	→	
M5	109	8	Empfangssignalpegel	→	
S4	111	23	Hohe Übertragungsgeschwindigkeit einschalten	→	
PS2	140	21	Ferne Prüfschleife einschalten	→	
PS3	141	18	Naher Prüfschleife einschalten	→	
PM1	142	25	Prüfzustand	→	
T1	113	24	Sendeschrifttakt von der DEE	→	
T2	114	15	Sendeschrifttakt von der DÜE	→	
T4	115	17	Empfangsschrifttakt von der DÜE	→	
		9-14	} nicht belegt		
		16			
		19			

V.24-Schnittstellen-
leitungen

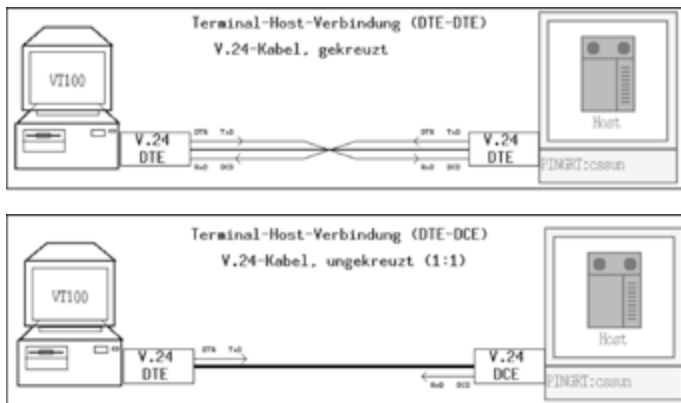
Bei der Übermittlung von Daten muss zwischen dem sendenden und dem empfangenden Gerät ein Gleichlauf zur Identifizierung und Reproduktion der Bitfolgen hergestellt werden. Das geschieht im asynchronen Betrieb zeichenweise durch Hinzufügen eines Start- und eines Stoppsbit pro Zeichen, während in synchroner Betriebsweise der Gleichlauf für eine ganze Zeichenfolge (Block) über zusätzliche Sendeschrittsignale hergestellt wird (in V.24 z. B. über Taktleitungen T1 in Sende- bzw. T2 in Empfangsrichtung). Geht man von einem 8-Bit-langen Zeichencode aus (z. B. ISO-7+Paritätsbit, EBDIC, ASCII-8), werden also im asynchronen Betrieb pro Zeichen mindestens zehn Bit übertragen. Hingegen sind bei synchroner Übertragung die Zeichen (jeweils acht Bit) innerhalb eines Blocks direkt aneinandergereiht, der seinerseits durch mehrere, vorangestellte Synchronisationszeichen (SYN) eingeleitet wird. Gesendete Zeichenfolgen benötigen demnach bei asynchroner Übertragung mehr Bit als im synchronen Fall. Das hat einen gewissen Einfluss auf die Übertragungszeiten, die aber sonst hauptsächlich

über die jeweils zu Grunde liegende Übertragungsgeschwindigkeit bestimmt sind und sich für beide Verfahren im vergleichbaren Spektrum bewegen (etwa 110, 300, 600, 1.200, 2.400, 4.800, 9.600, 19.200 bit/s). Die asynchrone Methode ist (war) technisch einfacher und kostengünstiger umzusetzen, die synchrone Übertragung gilt dagegen als weniger fehleranfällig. So setzten der Hersteller Control Data u. a. mit der am Rechenzentrum eingesetzten CD 3300 hauptsächlich auf asynchrone Anschlusstechnik, während etwa Telefunken mit der TR 440 sowie mehr auf den kommerziellen Markt ausgerichtete Hersteller, z. B. Siemens oder IBM, die synchrone Datenübertragung bevorzugten. Das Nebeneinander dieser unterschiedlichen Techniken trat bei der Installation des RRZE besonders zu Tage und sollte sich als eine nicht unerhebliche Herausforderung für einen übergreifenden Ansatz erweisen (s. Kap. 2).

1.3.2 Datenfernübertragung

1.3.2.1 Grundmodell

Die seriellen V.24-Schnittstellen zweier Geräte, z. B. eines Sichtgeräts und eines Großrechners, können über entsprechende mehradrige Kupferkabel und Steckverbinder direkt miteinander verbunden werden. Eines der beiden Geräte, in der Regel der Rechner, verhält sich dabei bzgl. der Schnittstellenleitungen wie eine DÜE. Sind beide Endgeräte als DÜE ausgelegt, kann die Verbindung über ein Kreuzkabel hergestellt werden (s. Abb. „V.24-Kabel-Verbindungen serieller Schnittstellen“). So lassen sich je nach Randbedingungen Entfernungen bis ca. 30 m überbrücken und Anschlüsse auch über Raumgrenzen hinweg realisieren. Auf diese Weise konnten z. B. in Erlangen Dialogarbeitsplätze zur allgemeinen Nutzung bereitgestellt werden, die sich

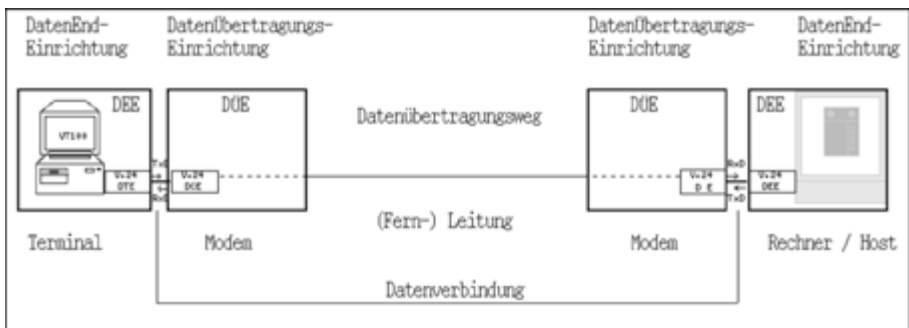


V.24-Kabel-Verbindungen serieller Schnittstellen

zwar innerhalb des Rechenzentrumsgebäudes, aber doch außerhalb des sensiblen Rechnerraums befanden (der Ort wurde im späteren Ausbau auch als „Glaskasten“ bekannt, da er vom Rechnerraum durch eine Glaswand getrennt war, die eine Sichtverbindung zu Zentralrechner und Bedienerpersonal bot).

Zur Überwindung größerer Entfernungen, also der Verlängerung solcher Verbindungen, ist der Einsatz zusätzlicher Technik erforderlich. Statt eines direkten Kabels erfolgt die Datenverbindung zwischen zwei Endgeräten über eine Übertragungsstrecke, die pro Ende aus je einer Datenübertragungseinrichtung (DÜE) und einem dazwischen liegenden Übertragungsweg (Leitung) besteht. Dabei haben die Übertragungseinrichtungen die Aufgabe, die angelieferten (seriellen, digitalen) Daten der Endgeräte an die Gegebenheiten des verwendeten Übertragungsmediums anzupassen bzw. zu rekonstruieren (z. B. durch Modulation und Demodulation, s. Abschnitt 1.2.2.2.), während die gewandelten Signale auf der Leitung zum entfernten Partner zu transportieren sind.

Auf diese Weise können z. B. Terminals oder Stapelstationen auch über große Entfernungen mit einer Datenverarbeitungsanlage (Großrechner) verbunden und Betriebsarten von remote ermöglicht werden. Dieses Prinzip ist im „Grundmodell der Datenfernübertragung“ dargestellt. Statt der Bezeichnungen DEE und DÜE werden übrigens auch im deutschsprachigen Kontext häufig die entsprechenden englischen Bezeichnungen DTE (data terminal equipment) bzw. DCE (data communication equipment) verwandt.

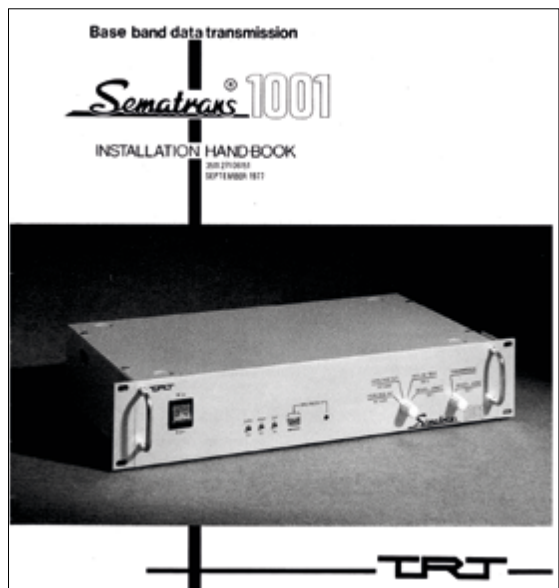


Grundmodell der Datenfernübertragung

1.3.2.2 Übertragungsstrecken

Bezüglich Datenübertragungseinrichtungen und -übertragungswegen gibt es verschiedene technische Umsetzungen, die u. a. von der verwendeten Geräteschnittstelle (synchron/asynchron), dem Übertragungsverfahren zwischen den DÜE (Signalverstärkung, -modulation) oder der Art und Verfügbarkeit von Übertragungswegen abhängen. Während dabei innerhalb geschlossener Gebiete der Universität die Wege über das vorhandene, interne Fernsprechnetz bzw. dessen Verkabelungsstruktur geschaltet werden konnten, mussten zur Herstellung von grundstücksüberschreitenden Verbindungen wegen eines (noch bis 1988 geltenden) Monopols im Fernmeldewesen entsprechende Dienste der Deutschen Bundespost in Anspruch genommen werden. Das bedeutete, dass Datenübertragungen innerhalb Erlangens weitgehend frei und eigenständig hergestellt werden konnten, wohingegen für sonstige Fernverbindungen, etwa zwischen Erlangen und Nürnberg, jeweils ein Paar sogenannter Hauptanschlüsse für Direktruf (ein HfD pro Endstelle) einschließlich zugehöriger Übertragungseinrichtungen von der Post gemietet werden mussten. Die dabei anfallenden, nicht unerheblichen monatlichen Gebühren richteten sich hauptsächlich nach der betreffenden Übertragungsgeschwindigkeit (z. B. 4.800 bit/s) und der Entfernung zwischen den beiden Endpunkten, des oft auch vereinfacht als „Standleitung“ bezeichneten Verbindungsdienstes.

Zu den von der Post beim Kunden aufgestellten Modems gehörte z. B. das Datenanschlussgerät DAG 9600 M (bzw. Codex LSI96/V.29, s. Abb. in Kap. 2.3.1.3). Typische Übertragungseinrichtungen im inneren Universitätsbereich waren bzw. wurden z. B. das Sematrans 1001 von TRT (s. Abb. „Inhouse-Modem Sematrans 1001“), das N10 von Siemens oder das DTE 201 von TeKaDe, einer seinerzeit bedeutenden Nürnberger Firma für Herstellung und Vertrieb von Kommunikationssystemen. Diese auch als „Inhouse-Modems“ bezeichneten Geräte arbeiteten mit

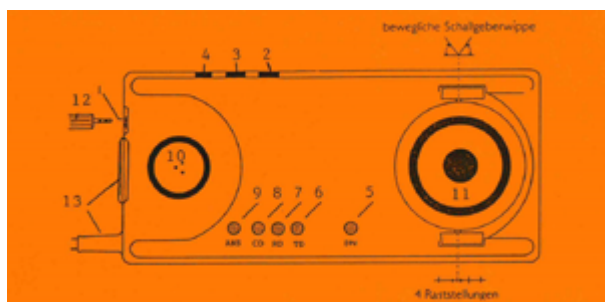


Inhouse-Modem Sematrans 1001

Gleichstromübertragung im „Basisband“, d. h. ohne Umsetzung oder Umkodierung, über nichtpupinisierte, galvanisch durchverbundene Leitungen (gemäß Betriebsanleitung DTE 201).

Neben den beschriebenen, zwischen zwei Endpunkten fest geschalteten Verbindungen bestand auch die Möglichkeit, unter Einsatz entsprechender Umsetzer (Modems: Modulator, Demodulator), über das Fernsprechnetzwahlte Verbindungen aufzubauen und darüber Daten zu übertragen. Mit der Methode werden serielle Datenfolgen in Signale des Frequenzbereichs der Sprachkommunikation gewandelt (moduliert) und entsprechend rekonstruiert (demoduliert). Es gibt Wählmodems für synchrone und asynchrone Übertragung. Allerdings sind durch den verfügbaren Frequenzbereich die erzielbaren Geschwindigkeiten beschränkt. Anfangs waren 300 bit/s für asynchronen und 2.400 bit/s für synchronen Betrieb typische Geschwindigkeiten, die mit weiterer technischer Entwicklung auf bis zu 2.400 bit/s (asynchron) bzw. 9.600 bit/s (synchron) gesteigert werden konnten. Besonders beliebt waren als Modems sogenannte Akustik-Koppler. Die Verbindung zum Fernsprechnetzwahlte dabei ohne besondere Verdrahtung über den Hörer eines Telefonapparats, der in den Koppler „eingelegt“ wurde.

Die einer Bedienungsanleitung des Kopplers ADAM entnommene Darstellung (s. Abb. „Akustik-Koppler ADAM“) zeigt ein solches Modem von oben, wobei der rechte Kreis (11) den Schallgeber darstellt, auf den die Sprechmuschel des Telefons zu legen war. Diese Technik bot eine gewisse Mobilität und ermöglichte z. B. auch den Zugang von Heimarbeitsplätzen zum Zentralrechner. Die anfallenden Verbindungskosten leiteten sich von den entsprechenden Telefongebühren ab, waren also durch Dauer und Ortstarife bestimmt. Die Post bot in diesem Zusammenhang auch Modems zur Miete an, die fest installiert wurden, weniger fehleranfällig waren als Akustik-Koppler, aber zusätzliche, monatliche Grundgebühren verursachten.

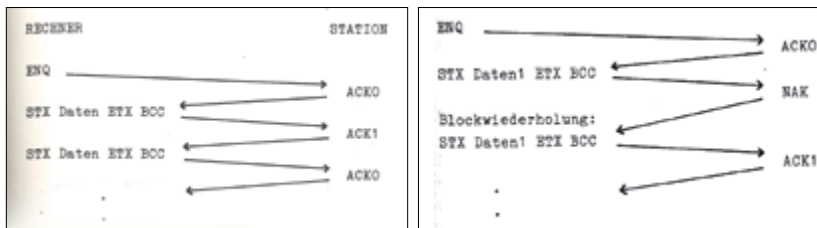


Akustik-Koppler ADAM

1.3.2.3 Übertragungssteuerung

Aus der, etwa im Vergleich zu systemspezifischen Geräteanschlüssen, technisch relativ „einfachen“ Gestaltung der seriellen Schnittstelle und den gemäß Modell verschiedenen Bestandteilen einer Fernübertragung, ergibt sich das Risiko von Übertragungsstörungen, d. h. dem Vorkommen von Übertragungsfehlern. Im Falle asynchroner Übertragung kann das Paritätsbit zumindest beim Erkennen von Fehlern helfen. Dabei werden etwa die 7-Datenbit eines kodierten Zeichens (z. B. im ISO-7-Bit-Code) so um ein achttes Bit ergänzt, dass die Anzahl der 1er-Bit des Zeichens gerade ist (gerade Parität, even parity). Der Empfänger kann so die Korrektheit erhaltener Zeichen überprüfen und Fehler auf Anwenderebene etwa durch erneute Übertragung korrigieren. Bei diesem Verfahren können dann allerdings keine 8-Bit-langen Daten-codes verwendet werden. In der Praxis des Rechenzentrums waren solche Bitfehler allerdings kaum zu beobachten, so dass sich letztlich die Verwendung von 8-Bit-langen Codes (ASCII-8) durchsetzte und auf Paritätsprüfungen verzichtet wurde. „Transparente“ Übertragungen von acht Bit hatten z. B. ihre Bedeutung bei der Übertragung von binären Programmcodes. Eine andere Fehlerquelle entsteht bei Übertragungen zwischen Partnern unterschiedlicher Leistungsstärke, wenn zum Beispiel das empfangende Gerät nicht in der Lage ist, die Daten schnell genug anzunehmen bzw. zu speichern, also vom Sender „überfahren“ wird. Hier helfen (alternativ) zwei Methoden der Flusskontrolle in denen der Empfänger einen Übertragungsvorgang zwischenzeitlich anhalten bzw. wieder fortsetzen kann. Das geschieht in einem Fall über das Gegensenden eines Stopp-Zeichens (XOFF) und eines Weiter-Zeichens (XON) und im zweiten Fall durch Absenken bzw. Anheben eines V.24-Schnittstellensignals (meist Stift 4, S2 bzw. Sender Einschalten der DEE). Da die Zeichenmethode im Gegensatz zur Signalsteuerung die Menge übertragbarer Zeichen einschränkt (XON und XOFF dürfen nicht Teil der Daten sein), wird meist die Schnittstellenmethode vorgezogen, sofern dies möglich ist. Dies gilt insbesondere für die Flusssteuerung in komplexen Übertragungswegen, die über mehrere Komponenten führen, wie etwa im regionalen Netzwerk der FAU, das in Kap. 2 näher beschrieben wird.

Die blockorientierten, synchronen Übertragungen werden in der Regel über spezifische Prozeduren abgewickelt, die für Fehlerkontrolle, Korrekturen und geregelten Datenfluss sorgen. Sie verwenden dazu die Methode der Zeichenparität (meist ungerade Parität, odd parity), eine zusätzliche Blockprüfung über jeweils berechnete und angehängte Prüfzeichen (BCC, Block Check Charakter) und geregelte Organisation des Datenflusses. Zu den sogenannten „Basic-Mode-Prozeduren“ gehören Protokolle, die zwischen den Kommunikationspartnern abgewickelt werden und u. a. Elementen zu dynamischen Anforderungen, Zuordnungen (ENQ) von Senderechten, positiven (ACK) bzw. negativen (NAK) Quittierung übertragener Datenblöcke enthalten und in



MSV2: Ungestörte Übertragung (li.) – MSV2: fehlerhafte Übertragung (re.)

Fehlerfällen wiederholte Übertragungen veranlassen. Die bekanntesten Vertreter von Prozeduren dieser Art sind verschiedene BSC-Varianten (binary synchronus communication) von IBM und MSV (medium speed variant) der Firma Siemens.

Oben stehende Abbildung, die einer am RRZE angefertigten Studienarbeit zur „Entwicklung einer RJE (Remote Job Entry)-Station auf Basis der Leitungsprozedur MSV2“ ([Hoe]) entnommen ist, zeigt als Beispiel je einen Prozedurablauf mit ungestörter (nur positive Quittierungen) und fehlerhafter Übertragung (negative Quittierung und Blockwiederholung).

1.3.3 Datenfernverarbeitung

Dient die Datenfernübertragung dem Datenaustausch zwischen einem (Nutzer-) Endgerät und einem Zentralrechner, d. h. einer Datenverarbeitungsanlage (DVA), bezeichnet dies eine „Datenfernverarbeitung“ (DFV). Dazu gibt es vor allem zwei unterschiedliche Nutzungsformen:

- Stapelbetrieb über abgesetzte Lochkarten/Drucker-Stationen
- Dialogbetrieb über geeignete Terminals (z. B. Fernschreiber, Sichtgeräte) zur „direkten“ Kommunikation zwischen Nutzer und Rechenanlage bzw. darauf ablaufenden, entsprechend eingerichteten Anwendungssystemen

Mit einer Datenfernverarbeitung ist es also möglich, zentrale Rechnerleistung von entfernten Orten aus zu nutzen, ohne als Anwender selbst am Standort der Anlage anwesend zu sein.

Für den Batchbetrieb bedeutet es das Einlesen von Lochkartenstapeln mit Aufträgen an das Zentralrechnersystem, automatisches Empfangen zugehöriger Arbeitsergebnisse in Form von Druckerlisten sowie eine gewisse Steuerung und Beobachtung der Auftragsbearbeitung über ein Sichtgerät. Die RJE-Stationen sind jeweils nach (hersteller-) spezifischen Modellen konstruiert, die neben der verwendeten Übertragungsprozedur (z. B. BSC-Variante) auch Mechanismen der Zuordnung von Datenströmen, etwa zur Unterscheidung von Lochkarten- und Bedieneingaben, beschreiben.

Ein Dialogbetrieb setzt voraus, dass die betreffende Datenverarbeitungsanlage auf diese Nutzungsart eingerichtet ist, d. h. einen sogenannten Teilhaberbetrieb anbietet. Auf Grund des Charakters einer „Bedienung aus Distanz“ kann er generell der Datenfernverarbeitung zugeordnet werden, unabhängig davon ob die serielle Verbindung zwischen Dialoggerät und Zentralrechner über einige Meter (V.24-Kabel) oder mehrere Kilometer (DFÜ-Fernstrecke) hergestellt ist.

1.4. Zentralsysteme der FAU und ihre Datenfernverarbeitung

Die zentralen Systeme von Rechenzentrum und Informatik haben bezüglich Datenübertragung und Datenfernverarbeitung jeweils eigene Konzepte mit ähnlichen Funktionen, die sich aber bezüglich ihrer Realisierungen zum Teil grundlegend unterscheiden.

1.4.1.1 Stapelbetrieb

Die erste Außenstation des Rechenzentrums wurde im Dezember 1974 im Fachbereich Wirtschafts- und Sozialwissenschaften in Nürnberg in Betrieb genommen. Als entfernte Stapelstation (RJE-Station) war sie mit einem Drucker, Kartenleser und einem Sichtgerät ausgestattet (s. Abb. „EAI-Außenstation des Rechenzentrums in Nürnberg“).



EAI-Außenstation des Rechenzentrums in Nürnberg, 1974

Die Verbindung erfolgte über eine von der Post gemietete Standleitung (Übertragungsstrecke mit je einem HfD pro Ende) der Geschwindigkeit 4.800 bit/s und zugehörigen Übertragungseinrichtungen (Modems) mit synchronen V.24-Schnittstellen. Das Terminal des Herstellers EAI (Electronic Associates Inc.) bildete eine von CDC definierte Originalstation vom Typ UT200 nach, was die Verwendung einer entspre-

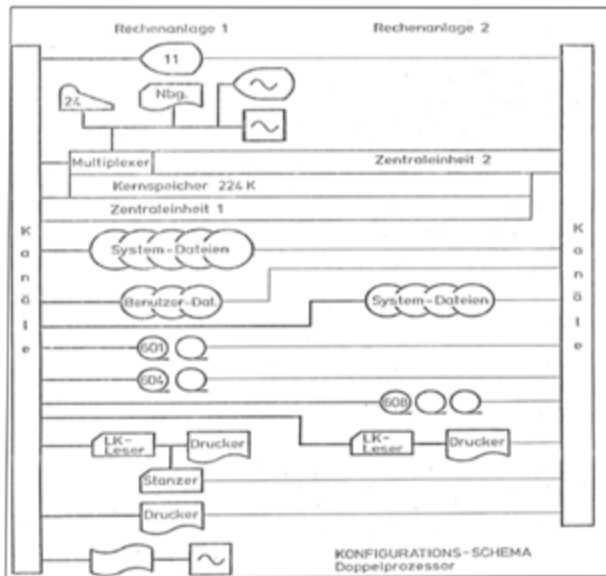
chenden BSC-Variante (MOD4A) als Protokoll zur Kommunikation mit dem Erlanger Zentralrechner (CD 3300) einschloss. Der Rechner stellt seine V.24-Schnittstelle zur direkten Kabelverbindung mit dem Erlanger Modem der Übertragungsstrecke über einen spezifischen Multiplexer bereit, der auch Fernschreiber und grafische Endgeräte versorgt. Dies ist auch in der „Konfiguration der Rechenanlage CD 3300, [JB1975]“ dargestellt, in der das Symbol „Nbg.“ die oben abgebildete EAI-Außenstation der Nürnberger Sozialwissenschaften repräsentiert.

1.4.1.2 Dialogbetrieb

Die Einführung des Teilnehmersystems RESPOND an der CD 3300 (im Jahre 1969) erlaubte zwar über Fernschreiber und Sichtgeräte das Arbeiten im Dialog mit dem Rechner, beschränkte die Möglichkeiten im Wesentlichen aber auf die Manipulation von Dateien und das Starten vollständiger, in sich abgeschlossener Programme, die dann ohne Eingriffsmöglichkeiten des Benutzers verarbeitet wurden. Das entsprach somit der Arbeitsweise im Stapelbetrieb unter Ersparnis des Umgangs mit einem Lochkartenstanzer und mit einer direkteren Form der Auftragseingabe. Um aber darüber hinaus auch die Bearbeitung kleinerer Probleme direkt am Terminal, also ohne Zwischenschaltung eines in sich abgeschlossenen Benutzerprogramms möglich zu machen, hat das Rechenzentrum ein eigenes System EDI (Einfacher Dialog-Interpreter, [WoSey]) entwickelt und 1972 in Betrieb genommen. Die Arbeitsmöglichkeiten mit dem Interpreter kann man grob mit denen der Programmiersprache BASIC vergleichen, die einige Jahre später im Rahmen der Nutzung von Heimrechnern gebräuchlich wurde. Neben speziellen Zugängen für Fernschreiber verfolgte Control Data für den Dialogbetrieb vornehmlich ein Konzept mit asynchronen, seriellen V.24-Schnittstellen für „einfache“, herstellerunabhängige Sichtgeräte. Vervielfachung und Verbindung dieser Schnittstellen zum Zentralsystem erfolgte über einen spezifischen, mit dem Rechnerkanal eng gekoppelten Multiplexer 3290 (s. Abb. „Konfiguration der CD 3300“, gemäß Jahresbericht 1975, [JB-1975]).

Die Sichtgeräte waren überwiegend im Rechenzentrum aufgestellt und per Kabel mit dem Zentralrechner verbunden, einzelne (3) standen auch außerhalb und waren über eigene Übertragungseinrichtungen (Signalverstärker) und -Wege (Telefonverkabelung) angebunden.

Im maximalen Ausbaustand der Doppelanlage CD 3300 des Jahres 1975 betrieb das Rechenzentrum elf Fernschreiber und elf Sichtgeräte. Eine deutliche Steigerung von Anschlusszahlen und Nutzungsmöglichkeiten sollte sich dann mit der Ablösung der Anlage durch ein stärkeres, moderneres System im Kontext des Regionalen Rechenzentrums Erlangen ergeben.



*Konfiguration
der CD 3300, 1975*

1.4.2 Datenfernverarbeitung der Informatik (TR 440)

1.4.2.1 Stapelbetrieb

Bereits vor Installation und Inbetriebnahme der Anlage des Typs TR 440 im Herbst 1973 konnten erste Erfahrungen im Umgang mit einem derartigen System unter Einsatz von Methoden der Datenfernverarbeitung gesammelt werden. Hierzu wurde eine Stapelstation in Erlangen aufgebaut und über eine gemietete Fernleitung mit dem TR 440-Rechner der Universität Stuttgart verbunden. Diese RJE-Station aus der Siemensreihe Transdata mit synchroner V.24-Schnittstelle und der Übertragungsprozedur MSV2, wurde dann auch zur allgemeinen Nutzung der FAU frei gegeben, allerdings ohne auf große Akzeptanz zu stoßen.

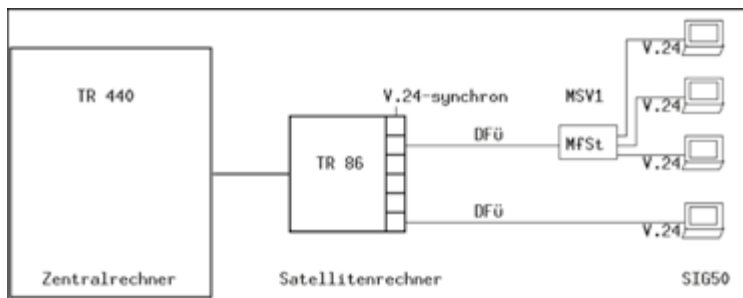
Für abgesetzte Stapelstationen mit Zugang zum INFRA-Rechner bestand zunächst kein Bedarf, da er für seine vorrangigen Nutzer aus der Informatik innerhalb des Südgeländes über „kurze“ Wege zu erreichen war.

1.4.2.2 Dialogbetrieb

Die Ermöglichung eines Dialogbetriebs war eine grundlegende Anforderung an den Informatikrechner TR 440. Sein Betriebssystem BS3 enthielt ein dialogfähiges Teilnehmer-Rechensystem, das über spezifische Sichtgeräte (SIG50) nutzbar war. Der

Zentralrechner wurde durch einen sogenannten, eng gekoppelten Satellitenrechner (Vorrechner) TR 86, ergänzt, der u. a. serielle, synchrone V.24-Schnittstellen für Endgeräte bereitstellte. Durch die Verwendung der für Mehrpunktverbindungen geeigneten BSC-Prozedur MSV1 und den Einsatz spezieller Konzentratoren (Mehrfachsteuerungen) konnten mehrere Sichtgeräte an einem Ort aufgestellt und über eine gemeinsam genutzte Strecke mit dem Rechner verbunden werden. Die Prozedur regelt den Zugang der einzelnen Geräte zum Rechner. Dabei werden den beteiligten Stationen eines Konzentrators der Reihe nach Rechte zum Senden von Daten angeboten bzw. zugeteilt (Polling-Verfahren), Daten angenommen und in Gegenrichtung Datenblöcke vom Rechner an die betreffenden Stationen übermittelt. Die Prozedur enthält ebenfalls Elemente zur Fehlerprüfung und -Korrektur.

Die Verbindungsstruktur ist in der Abbildung „Mehrfachanschluss von Sichtgeräten an TR 440 über Satellitenrechner“ schematisch dargestellt. Sie skizziert, wie 3 Sichtgeräte (SIG50) über eine Mehrfachsteuerung (MfSt) und 1 einzelnes Sichtgerät über jeweils eine Übertragungsstrecke (DFÜ) mit dem Satellitenrechner (TR 86) und schließlich dem Zentralrechner (TR 440) verbunden sind.



Mehrfachanschluss von Sichtgeräten an TR 440 über Satellitenrechner

1.5 Stand und weitere Entwicklung

Die Gründung des Rechenzentrums der FAU mit der Bereitstellung einer Großrechenanlage bedeutete auch die Einführung einer allgemein verfügbaren EDV in der Universität. Dabei wurden auch erste Ansätze einer Datenfernverarbeitung verfolgt, um etwa vom zentralen Standort unabhängige, entfernte Zugänge zu schaffen oder flexiblere, direktere Arbeitsformen (Dialogbetrieb) zu ermöglichen. Der 1975 erreichte Ausbau der Datenfernverarbeitung lässt sich durch zwei Stapelstationen und 40 Dialoggeräte (Informatik eingeschlossen) beschreiben. Die enorme Entwicklung des Bedarfs an Rechenkapazität und Zugangsmöglichkeiten konnte durch verschiedene Maßnahmen unter den gegebenen Rahmenbedingungen nur bedingt aufgefangen werden, so dass eine Ablösung der Anlagen durch leistungsfähigere, dem allgemeinen technischen Fortschritt Rechnung tragende Systeme unbedingt erforderlich wurde. Dies führte schließlich zur Gründung eines neuen, mit zwei Zentralsystemen ausgestatteten Regionalen Rechenzentrums Erlangen (RRZE), das dann nicht nur die FAU, sondern auch weitere Hochschulen der nordbayerischen Region mit Rechenkapazitäten versorgen sollte. Dabei kam der Vernetzung verteilter Standorte bzw. dem erweiterten Einsatz von Methoden der Datenfernverarbeitung eine besondere Bedeutung zu.

Regionale Datenfernübertragung 1976 – 1984

2. Regionale Datenfernübertragung (Multiplexernetz) 1976 - 1984

Die Bedeutung der EDV und der Bedarf an zentraler Rechenleistung für die FAU schlugen sich in der Gründung des Rechenzentrums nieder, das mit seiner zentralen Anlage den sich stellenden Anforderungen zunächst auch nachkommen konnte. Sie entwickelten sich aber, nicht zuletzt im Zuge neuer Möglichkeiten, in der Folge so stark, dass das System schon bald an seine Leistungsgrenzen stieß. Durch verschiedene Ausbaumaßnahmen und Optimierungen der Betriebsweise konnte diese Entwicklung zwar jeweils kurzfristig aufgefangen, die generelle Problematik aber nicht längerfristig gelöst werden.

Es zeichnete sich also die Notwendigkeit eines Austausches der CD-3300-Anlage durch ein völlig neues, zeitgemäßes, größeres und leistungsfähigeres System ab, zu dem bereits Anfang der 70er-Jahre Überlegungen angestellt wurden. Da die damit verbundenen erheblichen Anschaffungs- und Betriebskosten allein zum Nutzen der FAU schwer zu rechtfertigen waren und zugleich andere, „benachbarte“ (Fach-) Hochschulen eigenen Bedarf an EDV-Kapazitäten anmeldeten, entstand das Konzept eines „regionalen“ Rechenzentrums. Es enthielt zentral aufgestellte und betriebene Rechnersysteme in Erlangen sowie daran über Fernverbindungen angebundene Zugangsstationen an Standorten des nordbayerischen Raums (Bamberg, Bayreuth, Coburg, Nürnberg).

Da die erforderlichen Fernanbindungen nicht über eine Vielzahl (teurer) Einzelstrecken der „klassischen“ Datenfernübertragung hergestellt werden konnten, mussten dazu alternative Methoden zur „parallelen“ Mehrfachnutzung gemieteter Leitungen gefunden und eingesetzt werden, was schließlich zum Aufbau eines regionalen „Multiplexernetzes“ führte.

2.1 Das Regionale Rechenzentrum Erlangen

2.1.1 Ausgangslage und Gründung

Trotz verschiedener Erweiterungen der Rechenanlage, einschließlich einer zusätzlichen, im Doppelbetrieb gefahrenen Anlage CD 3300 (s. Kap. 1.4.1.2, Abbildung zur „Konfiguration der Rechenanlage CD 3300, [JB1975]), konnte der steigende Bedarf an Rechenkapazität und Zugangsmöglichkeiten auf Dauer nicht gedeckt werden. Nach verschiedenen Ansätzen wurde im März 1974 ein erweitertes Gesamtkonzept zur Einrichtung eines regionalen Rechenzentrums vorgelegt, das die Versorgung

der Gesamthochschule Bamberg, der Fachhochschulen Nürnberg und Coburg über Stapelstationen vorsah. Zur Aufstellung der Anlage waren für das Rechenzentrum eingeplante Räumlichkeiten im Neubau der Informatik vorgesehen. In diesem Sinne wurde beim Bundesministerium für Forschung und Technologie im Oktober 1975 ein Antrag auf eine Rechenanlage CD 174 gestellt, einem Nachfolgesystem der vorhandenen Anlage des Herstellers Control Data.

Die zur Begutachtung derartiger Anträge zuständige Kommission für Rechenanlagen der DFG hat allerdings entschieden, dass der von der Firma Computer Gesellschaft Konstanz angebotene Dreifachprozessor TR 440 grundsätzlich für ein regionales Rechenzentrum der Universität geeignet sei und daher die Beschaffung der Anlage eines deutschen Herstellers „nahe gelegt“.

Für das Rechenzentrum hätte dies einen gravierenden Systemwechsel mit entsprechenden Konsequenzen für Systemadministratoren, Bedienpersonal oder auch den Benutzern bedeutet. Die Universität wäre damit in Rechenzentrum und Informatik mit zwei gleichartigen Großrechnersystemen vom Typ TR 440 ausgestattet und auf eine gewisse Monokultur mit geringem internationalen Bezug festgelegt gewesen.

Da auch eine Erweiterung der Kapazitäten des inzwischen zu ca. 20% von Universitätsangehörigen außerhalb der Informatik genutzten INFRA-Rechners anstand, wurde nach einigen Diskussionen und Überlegungen schließlich folgende Lösung zur Einrichtung eines regionalen Rechenzentrums gefunden:

- Das Rechenzentrum erhält einen TR 440-3 Dreifachprozessor, Standort: Rechnerraum im Informatik Neubau
- Die Informatik erhält im Austausch gegen ihren TR 440-3 eine Anlage Cyber 172 (etwas „kleiner“ als die ursprünglich gewollte Cyber 174), Standort: Raum der CD 3300 im Rechenzentrumsgebäude
- Rechenzentrum und INFRA betreiben beide Anlagen in enger Kooperation, mit der Perspektive eines zusammengefassten, technischen und organisatorischen Verbundes
- Allen Benutzern der Region ist der Zugang zu beiden Systemen wahlweise möglich.

Die Anträge wurden entsprechend angepasst, genehmigt und umgesetzt. Am Beginn der praktischen Umsetzung stand im November 1976 die Installation des TR 440-3 Dreifachprozessors, der übrigens der einzige dieser Art, in Deutschland ausgelieferte bleiben sollte. Installation und Inbetriebnahme der Cyber 172 folgten im Februar 1977. Diese Anlage wurde dann 1979 zur Cyber 173 ausgebaut.

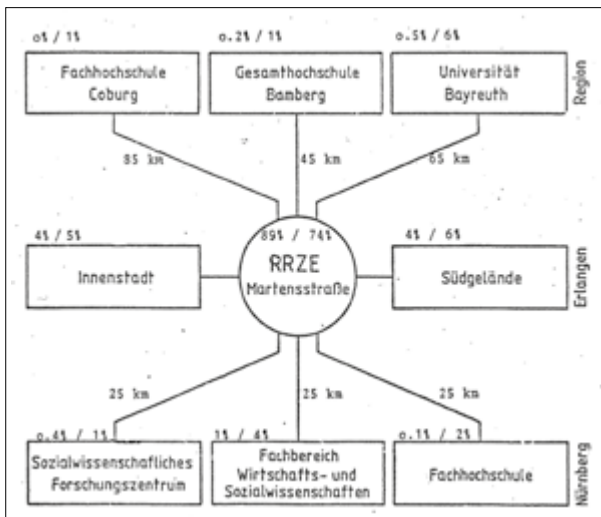
Organisatorisch wurde das Rechenzentrum unter Einschluss des operativen Personals der INFRA zuständig für den zentralen Betrieb der beiden Rechenanlagen, während sich die Informatik um die dezentralen Anbindungen, d. h. um Konzeption

und Aufbau von Strukturen einer regionalen Datenfernverarbeitung kümmerte, um sie nach Abschluss der ersten Stufe des Kommunikationssystems dem Betrieb des Rechenzentrums zu übergeben und sich anderen Forschungsaufgaben aus dem Informatikbereich zuzuwenden. Die Übergabe bzw. Übernahme der aufgebauten Strukturen und betrieblichen Aufgaben war im Jahr 1980 abgeschlossen. Das Rechenzentrum etablierte dazu eine neue, eigene Abteilung „Kommunikationssysteme“ unter der Leitung von Dr. P. Holleczek, die sich fortan um Auf- und Ausbau der Kommunikationsstrukturen für Dialog- und RJE-Zugänge kümmerte, weitere Entwicklungen der Netzwerktechnik verfolgte und je nach aktuellen Möglichkeiten entsprechend im Kontext der FAU umsetzte.

Mit der Ausdehnung des Wirkungsbereichs des Rechenzentrums und zugehöriger Vernetzung wurde der Name „Regionales Rechenzentrum Erlangen (RRZE)“ eingeführt. Der Organisationsbescheid durch das Bayerische Staatsministerium für Unterricht und Kultus wurde 1978 mit Wirkung zum 1.1.1979 erteilt.

2.1.2 Bereiche des RRZE

Der abgebildete „Lageplan“ zeigt die Verteilung der Standorte des RRZE, die mit zentraler Rechenleistung zu versorgen waren. Sie beziehen sich auf eigenständige Institutionen, wie der Fachhochschule Coburg, der Gesamthochschule Bamberg, der Universität Bayreuth und der Fachhochschule Nürnberg, auf Einrichtungen der FAU,



Lageplan der Standorte des RRZE

wie dem Sozialwissenschaftlichen Forschungszentrum, dem Fachbereich Wirtschafts- und Sozialwissenschaften in Nürnberg, umfassen aber auch Bereiche in der Erlanger Innenstadt und dessen Südgelände.

Die Entfernungen, die für die Fernbereiche in der Skizze an den Verbindungslinien in „km“ angegeben sind, und der verschiedene Bedarf an Rechnerzugängen (Art, Anzahl, Geschwindigkeiten usw.), stellen unter Beachtung geforderter Flexibilität hohe Anforderungen an die Datenfernverarbeitung, die im Rahmen des RRZE erstmals zu lösen waren.

2.2. Rechenanlagen und DFÜ-Konzepte

Den technischen Kern des RRZE bildeten die beiden Rechenanlagen TR 440-3 der Computer Gesellschaft Konstanz (später Siemens) und Cyber 172 von Control Data, auf deren Leistung die Nutzer des RRZE wahlweise, gleichberechtigt Zugang erhielten. Die Konzepte der Systeme zum nahen oder entfernten Anschluss von Endgeräten waren sehr unterschiedlich und entsprachen in ihren Grundelementen denen der Vorgängersysteme in Rechenzentrum (CDC 3300) und INFRA (TR 440 mono) (s. Kap. 1.4).

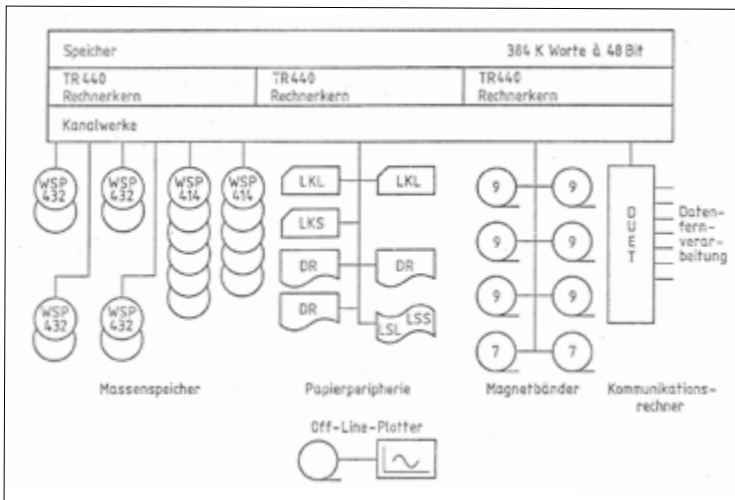
2.2.1 Dreifachprozessor TR 440-3

Der Dreifachprozessor TR 440-3 (384 K Hauptspeicher, ca. 1,5 Milliarden Zeichen Massenspeicher, 50 Terminals) wurde Ende 1976 installiert und nahm Anfang 1977 den regulären Betrieb auf (s. Skizze „Konfiguration TR 440-3“, S. 42). Das System war für Stapel- und Dialogbetrieb ausgestattet.

Die (deutsche) Kommandosprache entsprach der des TR 440-Monoprozessorsystems und war auch in Dialogsitzungen nahezu vollständig verfügbar, die überwiegend über Bildschirmgeräte (Sichtgeräte) abgewickelt wurden. Die Dialoge wurden dabei in einem Zeilenmodus (Fernschreibmodus) geführt, wobei eigene Anwendungen auch so programmiert werden konnten, dass sie in einem Bildschirmmodus (Seitenmodus) bedienbar waren, also z. B. komplette Bildschirmhalte statt einer Folge von Zeilen ausgeben konnten. Derartige „systemnahe“, auf Anwenderebene laufende Programme waren aber nicht unproblematisch und kamen kaum zum praktischen Einsatz (s. „Programmierungsmöglichkeiten des SIG50“, [Bräu]).

Ein Vorrechner (Satellitenrechner) DUET-9648-C stellte die Schnittstellen für Geräte der Datenfernverarbeitung, also Stapelstationen oder Dialoggeräte, bereit und verband sie mit dem Kernsystem. Die Schnittstellen waren seriell, synchron nach V.24

und wurden über die Prozeduren MSV2 (Stapelbetrieb) bzw. MSV1 (Dialog) genutzt. Als Endgeräte kamen zunächst eine Stapelstation Siemens 310 und 30 Sichtgeräte SIG51-8 zum Einsatz, die einzeln oder über zwei vorhandene Konzentratoren (Mehrfachsteuerungen) KMS 8901 am Vorrechner angeschlossen waren (s. Kap. 1.4.2.2). Zur Umsetzung des regionalen Konzepts waren noch sechs Rechner der „mittleren Datentechnik“ vom Typ Dietz 621 vorgesehen, die durch Ausstattung mit entsprechenden Programmen (Emulationen) wahlweise als Stapelstationen der TR 440-3 oder der Cyber 172 betrieben werden konnten und dazu Schnittstellen an beiden Systemen belegten (s. Kap. 2.4.4).

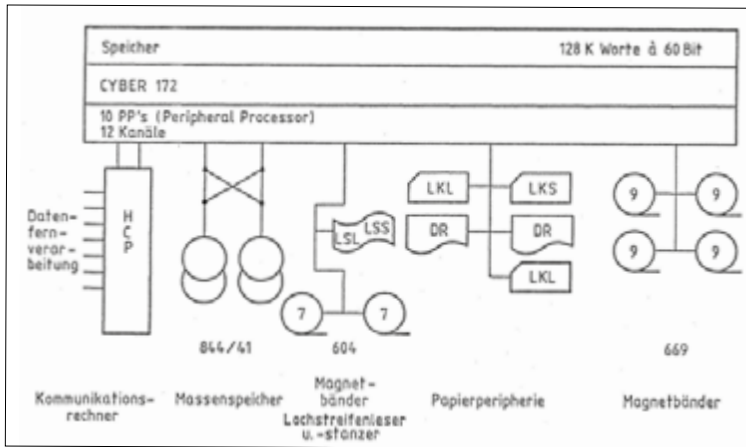


*Konfiguration
TR 440-3, 1977*

2.2.2 Cyber 172

Der Informatikrechner Cyber 172 von Control Data (128 K Hauptspeicher, ca. 800 Millionen Zeichen Massenspeicher, 30 Terminals) wurde Anfang 1977 installiert und in Betrieb genommen. Das System war für Stapel- und Dialogbetrieb ausgestattet.

Die Anschlüsse für Geräte der Datenfernverarbeitung, d. h. direkt oder über eine Übertragungsstrecke angeschlossene Stapelstationen oder Terminals (Fernschreiber, Sichtgeräte) wurden über einen dedizierten Vorrechner (Kommunikationsrechner) HCP (Host Control Prozessor) bereitgestellt. Die Schnittstellen waren seriell gemäß V.24 und synchron für Stapelstationen und asynchron für Dialoggeräte ausgelegt. Der Betrieb von Stapelstationen ist auf Geräte von Control Data des Typs UT200 ausgerichtet und bezüglich des Datenaustausches nach der spezifischen Basic-Mode Prozedur „Mode4a“ geregelt. Allerdings wurde an der Anlage nie eine Originalstation betrieben.



Konfiguration Cyber 172, 1977

Stattdessen kamen auch später nur Geräte mit entsprechender Emulation zum Einsatz, d. h. programmierbare Systemen, die das Verhalten bzgl. Übertragungsprozedur und Modelleigenschaften des Originals nachbildeten.

Wie schon beim Vorgängersystem CD 3300, das im Sommer 1977 außer Betrieb genommen wurde, sind die Anschlüsse für Dialoggeräte im Cyber-Konzept wieder als asynchrone V.24-Schnittstellen ausgelegt. Dies erlaubt den Einsatz verschiedener, jeweils am Markt verfügbarer Geräte unterschiedlicher Hersteller und vereinfachte künftige Erweiterungen nach Preis und Leistungskriterien. So eröffnet z. B. die spätere Entwicklung von Sichtgeräten des Typs VT100 durch die Firma Digital Equipment Corporation (DEC) die Möglichkeit, im asynchronen Betrieb auch an der Cyber bildschirmorientiert zu arbeiten.

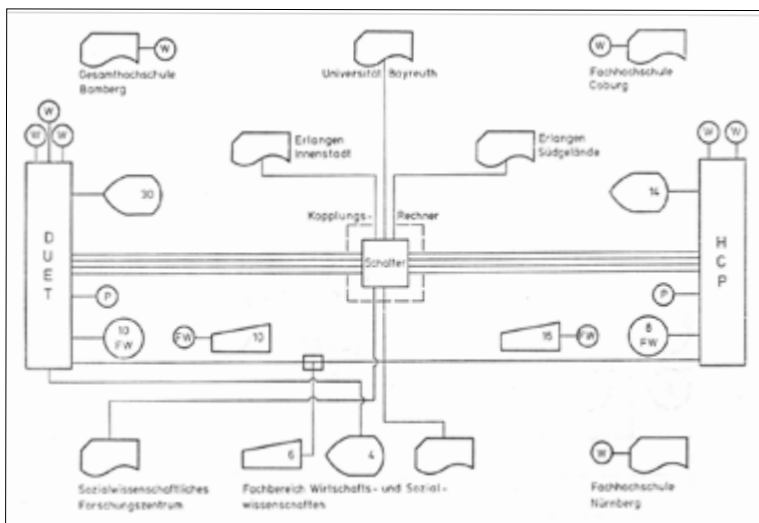
2.2.3 Anlagenverbund und regionaler Ansatz

Das RRZE hatte zur Aufgabe, die beiden Großrechnersysteme den Benutzern an verteilten Standorten der FAU und den beteiligten Hochschulen zur Nutzung bereit zu stellen. Dazu wurde der Betrieb der Anlagen in einem organisatorischen und technischen Verbund zusammengefasst, das hieß (laut [JB 1977]):

- sie werden unter der gleichen Organisationsform durch das regionale Rechenzentrum betrieben, z. B. gemeinsamer Benutzerantrag, gemeinsame Beratungsstelle, gleiche Benutzernummern an beiden Anlagen
- die Rechenzeitgebühren sind im Mittel an beiden Anlagen gleich hoch
- der Benutzer kann das für sein Programm geeignete System frei wählen

- beide Rechner verfügen über Wählanschlüsse, so dass Benutzer mit entsprechenden Terminals beide anwählen können
- die über Standleitungen angeschlossenen RJE-Stationen können von den Operateuren auf beide Anlagen umgeschaltet werden.

Die Skizze „Regionaler Ansatz“ stellt die Struktur der Kommunikationswege dar. Darin führen die Zugänge zu den Zentralsystemen über ihre Vorrechner „DUET“ (TR 440-3) bzw. „HCP“ (Cyber 172). Die Symbole an den regionalen Standorten stellen jeweils RJE-Stationen dar. Der „Kopplungs-Rechner“ steht für ein automatisches Umschalt-system, das zur Ablösung des manuellen Verfahrens geplant war. Einzelne Standverbindungen sind als Linien dargestellt, „W“ steht für Wählmodems auf Terminal bzw. Zentralrechnerseite, „F“ für Fernschreiber und „P“ für Plotter (zeichnendes Endgerät). Dialog aus der Region war in dieser Anfangskonfiguration nur über Wählzugänge möglich und ist in der Skizze nicht extra dargestellt.



*Regionaler
Ansatz, 1975*

Dieser regionale Ansatz erfüllte zwar im ersten Anlauf die gestellten Aufgaben, konnte aber im Zuge steigenden Bedarfes an Rechnernutzung und Zugängen den Anforderungen an die Datenfernverarbeitung nur bedingt gerecht werden. Mit zunehmenden Betriebszeiten der RJE-Stationen erwiesen sich die Wählverbindungen über das Fernsprechnet als nicht sehr geeignet. Das galt z. B. für umständliche Verbindungsaufbauten, geringe Übertragungsgeschwindigkeiten (z. B. 2.400 bit/s), Instabilitäten, aber auch für wachsende, zeitabhängige Kosten (Ferngespräche im Telefonnetz). Ähnliches traf auch auf Dialogsitzungen im Wählbetrieb zu (z. B. Übertragungen mit

300 bit/s). Gerade die allgemein wachsende Bedeutung von Dialoganwendungen und des Bedarfes an Zugangsmöglichkeiten erforderte die Weiterentwicklung des Ansatzes zu einem regionalen Netzwerk, das auf Basis neu verfügbarer Technik (s. Kap. 2.3) adäquate Lösungen bieten konnte.

2.3 Technische Grundlagen (Mehrfachnutzung von Übertragungswegen)

Mit der Einführung von dialogorientierten „time-sharing“ Systemen und damit verbundenen Möglichkeiten eines sich ausbreitenden dialogorientierten Arbeitens an Bildschirmterminals in den 70er-Jahren stieg der Bedarf, diese Möglichkeiten auch außerhalb der Zentrale bzw. an verteilten Arbeitsplätzen nutzen zu können. So entwickelten die Hersteller von Großrechnern eigene Verbundkonzepte zur Lösung der gestellten Übertragungsprobleme. Beispiele dafür waren SNA (System Network Architecture) von IBM und Transdata von Siemens. Für den Hochschulverbund des RRZE kamen solche geschlossenen Netzwerke z. B. wegen mangelnder Flexibilität und zu starker Herstellerbindung nicht in Frage, zumal hier Zugänge zu zwei verschiedenen Zentralrechnern mit sehr unterschiedlichen Anschlusskonzepten bereitzustellen waren. Für das Konzept der regionalen Datenfernverarbeitung mussten also herstellernerneutrale (bzgl. der Großrechner) Lösungen gefunden und technisch umgesetzt werden.

2.3.1 Konzentrieren und Multiplexen

Um ein Endgerät (Stapelstation, Sichtgerät) über eine größere Entfernung an einen Zentralrechner bzw. dessen Vorrechner heranzuführen, benötigt man eine Datenverbindung nach dem Grundmodell der Datenfernübertragung (s. Kap. 1.3.2). Übertragen auf mehrere Geräte eines Standorts würde das jeweils eine eigene Übertragungsstrecke bedeuten. Dies war jedoch vornehmlich aus Kostengründen nicht machbar, so dass sich das Problem der Mehrfachnutzung stellte, also der „gleichzeitigen“ Nutzung einer Übertragungsstrecke für mehrere Verbindungen. Zur Lösung gab es folgende technische Methoden.

2.3.1.1 Prozedurgesteuerte Konzentratoren

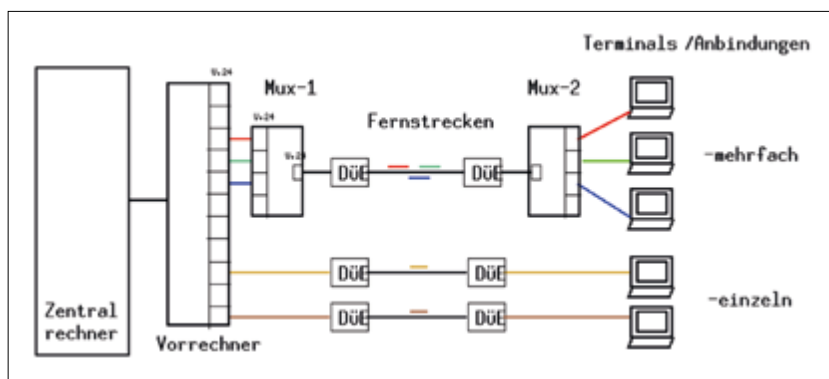
Statt eines einzelnen Terminals kommt am entfernten Standort Konzentrador zum Einsatz, der als DEE über die Übertragungsstrecke mit der Zentrale verbunden ist. Vor Ort ist er Aufpunkt für die dortigen (Dialog-)Geräte. Der Datenverkehr wird über eine Prozedur gesteuert, die nacheinander Senderechte an die Terminals vergibt und Ausgaben des Rechners gezielt zuteilt. Das führt zu einer verzahnten Übertragung,

bei der jeweils nur ein Datenblock auf dem Übertragungsweg transportiert wird. Der Datenaustausch zwischen den beteiligten (aktiven) Komponenten (Zentralrechner, Vorrechner, Konzentrator, Sichtgeräte) erfolgt über synchrone V.24 Schnittstellen. Diese Technik steht z. B. an der TR 440-3 zur Verfügung und erlaubt es, unter Einsatz der Prozedur MSV1 mehrere Sichtgeräte SIG50 über Konzentratoren (Mehrfachsteuerungen), eine Übertragungsstrecke, dem Vorrechner (DUET) mit dem zentralen Rechnersystem zu verbinden (s. Kap. 1.4.2).

Diese Methode setzt eine enge Kooperation der beteiligten Komponenten voraus und ist nur bedingt auf „Fremdgeräte“ zu übertragen. Sie dient dem Dialogbetrieb und schließt in dieser Form keinen Stapelbetrieb mit ein. Dieser wäre daher über eine separate Strecke zu übertragen.

2.3.1.2 Transparentes Multiplexen

Eine andere Möglichkeit zur gemeinsamen Nutzung einer Übertragungsstrecke durch mehrere Endgeräte bietet der Einsatz von dedizierten „Multiplexern“. Diese sind in der Lage, mehrere Datenströme zu vermischen (Multiplex) und wieder zu entflechten (Demultiplex). Sie sind paarweise als DEE einer Datenfernverbindung miteinander verknüpft und übernehmen gegenüber mehreren Terminals bzw. (Vor-)Rechnerschnittstellen jeweils die Rolle von Übertragungseinrichtungen. So geschaffene Verbindungen zwischen Terminals und Rechnern verhalten sich transparent, d. h. sie unterscheiden sich im Verhalten nicht von solchen über Einzelstrecken realisierte, sind unabhängig von systemspezifischen Protokollen und vor allem auch für asynchrone Verbindungen herstellbar.



Mehrfachnutzung von Übertragungsstrecken durch Multiplexen

Die Skizze „Mehrfachnutzung von Übertragungsstrecken durch Multiplexen“ stellt das Prinzip dar und zeigt, wie im Vergleich zu Einzelverbindungen, ein Multiplexerpaar (Mux-1, Mux-2) in die Verbindungsstruktur eingefügt ist und so Kommunikationswege zwischen 3 Terminals und einem Zentralrechner bzw. dessen „Vorrechner“ (Kommunikationsrechner) bereitstellt.

2.3.1.3 Multiplexverfahren

Zur Realisierung des Multiplexens gibt es verschiedene Methoden, technische Ansätze und Gerätetypen mit unterschiedlichen Eigenschaften.



Beispielgeräte: Splitmodem, FDM (li.) und Multiplexer, TDM (re.)

Beim Frequenzmultiplex (frequency division multiplex, FDM) wird das für die (Fern-) Übertragung genutzte Frequenzband in mehrere Unterkanäle aufgeteilt, die jeweils einer Verbindung zugeordnet werden. Dabei ist die Summe der einzelnen Verbindungsgeschwindigkeiten durch die Geschwindigkeit der Ausgangsleitung beschränkt. Ein Beispiel hierfür gibt das auch als „Splitmodem“ (Kanalsplittung) bezeichnete Gerät „LSI 96“ mit der Aufteilung einer Strecke von 9.600 bit/s auf 4.8/2.4/2.4 kbit/s, das auf diese Weise drei separierte Verbindungen zwischen der Zentrale des RRZE und der Fachhochschule Nürnberg bereitstellte (s. Kap. 2.4.3). Im Vergleich zum oben skizzierten Modell der Mehrfachnutzung sind hier Multiplexer und DÜE in einem Gerät vereint. Die Aufteilung in Unterkanäle ist am Modem nach vorgegebenen Mustern manuell einstellbar. Die Schnittstellen des Splitmodems zu darüber verbundenen DEE sind synchron nach V.24. (V.29 in der oben abgebildeten Typenbezeichnung

bezeichnet die genormte Funktionalität des Modems). Eigenschaften und Konfigurationsmöglichkeiten des Modems LSI 96 sind in einem ca. 150 Seiten umfassenden Handbuch (operation manual“, 1977, [CodLSI]) beschrieben, dessen Titelseite in der Abbildung „Beispielgeräte“ auf S. 47 dargestellt ist.

Eine andere Möglichkeit der Mehrfachnutzung einer Übertragungsstrecke bietet das Verfahren gemäß Zeitmultiplex (time division multiplex, TDM). Die entsprechenden Geräte (Multiplexer) teilen dabei den angeschlossenen Endgeräten reihum für ein jeweils bestimmtes Zeitintervall die Verwendung der Übertragungsstrecke zu. Auch hier ist durch die feste Aufteilung die Summe der Anschlussgeschwindigkeiten höchstens so hoch, wie die der Verbindung zwischen den beiden beteiligten Multiplexern (s. Skizze S. 46 „Mehrfachnutzung von Übertragungsstrecken“). Ein Beispiel eines TDM-Multiplexers ist Gerät vom Typ „Codex 910“. Während ein Multiplexerpaar untereinander über eine synchrone Übertragungsstrecke verbunden ist, stellen die Multiplexer auch asynchrone V.24 Schnittstellen zum Anschluss von Endgeräten bereit. So können also über die Multiplexer asynchrone Terminals an entsprechende Ports von Zentralrechnern herangeführt werden, eine Eigenschaft, die am RRZE besonders im Umfeld der Cyber-Anlage von Bedeutung war. Unter den Randbedingungen von TDMs können die einzelnen Ports und deren Eigenschaften, wie Geschwindigkeit, Parität usw. flexibel eingestellt werden. Die Titelseite des zum „Codex 910“ gehörenden, umfangreichen Handbuches (operation manual“, 1978, [Cod910]) ist in „Beispielgeräte“ auf S. 47 abgebildet. (Die dargestellten Gerätebilder geben im Vergleich nicht die realen Größenverhältnisse wieder. Der 910er ist als 19“-Gerät (ca. 48 cm) etwa 3 mal so breit wie das LSI 96).

Auf Grund der Eigenschaften von Splitmodems und Multiplexern können diese Gerätearten auch kombiniert werden, indem z. B. ein Multiplexerpaar einen gesplitteten Subkanal der Modems nutzt. In der oben erwähnten Splittung in 4.8/2.4/2.4 kbit/s wurde z. B. der 4.8er Subkanal zur Verbindung zweier Multiplexer und darüber für (asynchronen) Dialogverkehr zur Cyber genutzt und die beiden anderen synchron für Dialog zur TR 440 und wechselnden RJE-Betrieb verwendet.

Ein statistischer Multiplexer hebt die Beschränkungen starrer Geschwindigkeitsaufteilungen auf. Er lässt also eine Überbuchung zu, d. h. die Summe der Anschlussgeschwindigkeiten kann höher als die der Übertragungsstrecke sein (in der Praxis bis zu Faktor 3). Dabei ist allerdings vorausgesetzt, dass die tatsächliche Nutzung der einzelnen Unterkanäle statistisch unterhalb der gesamten Übertragungskapazität liegt, was aber vor allem für Dialoganwendungen in der Regel gilt. Vorübergehende Lastspitzen werden durch Zwischenspeicherung von Daten aufgefangen. Betreffende Geräte, wie die der Codex 6000 Familie, sind flexibel konfigurierbar und untereinander nicht nur paarweise verknüpfbar. Sie bilden daher auch den Kern des regionalen DFÜ-Netzwerks, der in Kap. 2.4.2 näher beschrieben wird.

2.4 Das regionale DFÜ-Netz

2.4.1 Aufgaben

Die Grundidee des Regionalen Rechenzentrums Erlangen bestand darin, Angehörigen der Hochschulen im nordbayerischen Raum (der „Region“) die Leistungen zweier, verschiedener Großrechnersysteme, deren erhebliche Anschaffungs-, Wartungs- und Betriebskosten, im betrachteten Raum, nur zentral aufbringbar waren, für eine möglichst breite Nutzung anzubieten (s. Kap. 2.1.1). Dies setzte entsprechende Eigenschaften der zentralen Systeme voraus (z. B. Möglichkeiten von Dialog- (Teilnehmersystem) und abgesetztem Stapelbetrieb (RJE)), erforderte organisatorische Maßnahmen (z. B. einheitliche Benutzerverwaltung), stellte aber auch besondere Anforderung an die Datenfernübertragung mit der regionalen Bereitstellung von Anschlüssen an die zentralen Systeme.

Zur Konzeption des Datenfernübertragungssystems waren folgenden Randbedingungen und Anforderungen zu berücksichtigen:

- Heranführung von Standorten in Erlangen und der Region an zwei zentrale Systeme mit unterschiedlichen Zugangs-, Anschlusskonzepten
- Stapelbetrieb:
 - TR 440-3: RJE-Prototyp Transdata 8418, Prozedur MSV2
 - Cyber 172: RJE-Prototyp UT200, Prozedur mode4a
- Dialogbetrieb:
 - TR 440-3: Synchroner V.24-Schnittstellen, Übertragungsprozedur MSV1, Anschluss herstellerspezifischer Terminals (SIG51), Mehrfachanschlüsse (Konzentration) möglich
 - Cyber 172: Asynchrone V.24-Schnittstellen zum Anschluss entsprechender Terminals, (z. B. Digital VT100, aber nicht herstellergebunden), nur Einzelanschlüsse
- Terminalanbindungen, Übertragungstrecken (fest geschaltet)
 - Rechenzentrum: Einzelne Direktverbindungen (V.24-Kabel)
 - Erlg.-Süd, Innenstadt: Einzelstrecken mit DÜE-Unterstützung, Nutzung der FAU-Telefonverkabelung
 - Nürnberg und Region: Gemietete Leitungen der Bundespost (HfDs) einschließlich Modems (V.24 synchron), Mehrfachnutzung erforderlich (Einsatz von Multiplextechniken)

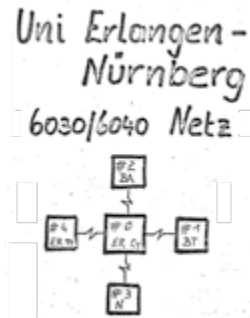
- Wählverbindungen (zeitweise)
 - Wahl, Aufbau: über das Fernsprechnet
 - Entfernt: Anwahlmodems
 - Zentral: Zielpunkte (Einwahlmodems) an den (Vor-)Rechnern
 - Schnittstellen: Je nach Modems synchron u. asynchron V.24

Während sich die Verbindungen innerhalb des Rechenzentrums oder der Erlanger Innenstadt in der Regel nach Bedarf herstellen ließen, bedeutete die Forderung nach gleichberechtigtem Zugang zu beiden zentralen Systemen von den entfernten Standorten wegen damit verbundener Verbindungsvielfalt und relativ hohen Leitungskosten (die Miete lag bei ca. 11.000 DM) nur durch Mehrfachnutzung von Strecken, das heißt durch differenzierten Einsatz von Multiplextechniken lösen. Hierfür kamen zur rechten Zeit passende Geräte auf den Markt.

2.4.2 Netz statistischer Multiplexer der Familie Codex 6000

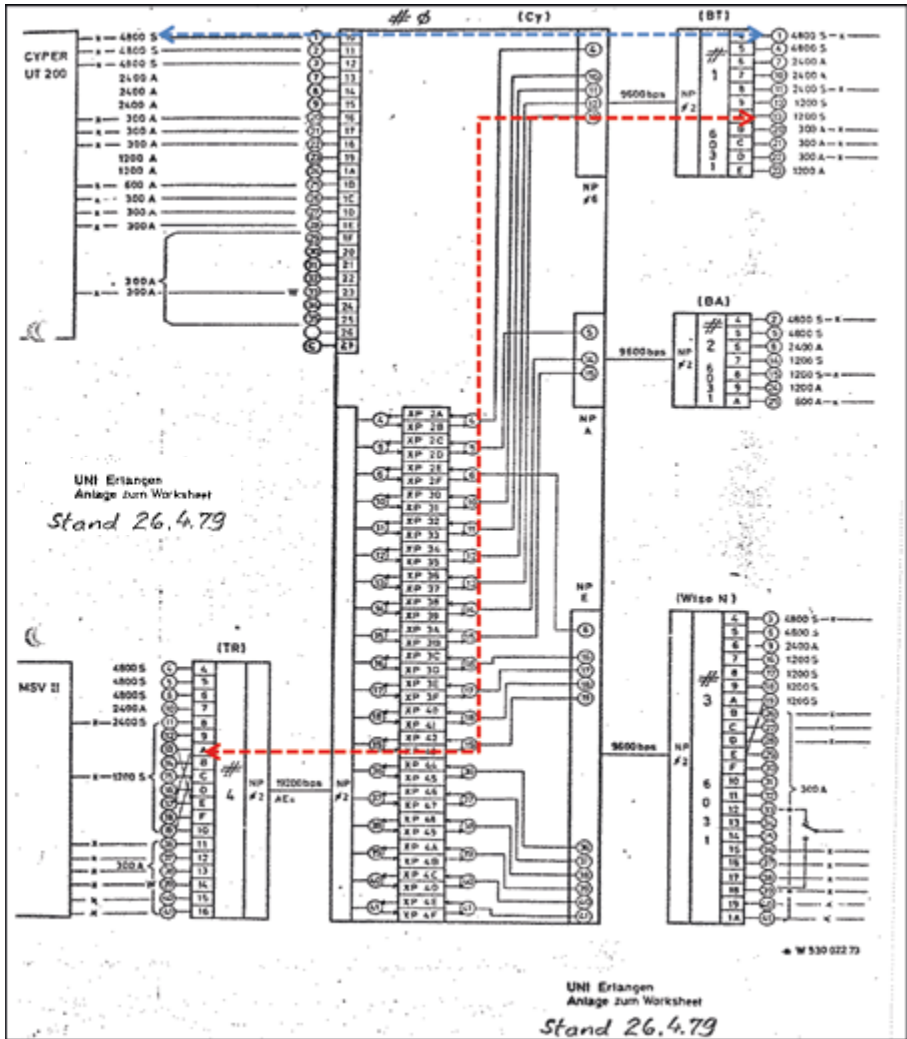
Die stärksten Anforderungen an Flexibilität, Variabilität und Anschlusszahlen stellten die Standorte der Universitäten in Bayreuth und Bamberg sowie der Wirtschaftlich- und Sozialwissenschaftlichen Fakultät (WiSo) der FAU in Nürnberg.

Für die Lösung der Datenübertragungsanforderungen boten sich neu verfügbare statistische Multiplexer der Familie Codex 6000 an, die von der Nürnberger Firma TeKaDE vertrieben und für das RRZE in Ersteinrichtung installiert wurden. Dazu wurden fünf Multiplexer sternförmig vernetzt, mit einem zentralen Knoten Codex 6040 (#0) in der Nähe der Cyber 172, einem damit über 19.200 kbit/s verbundenem Gerät Codex 6030 (#4) in der Nähe der TR 440-3 und je einem über Mietleitung von 9.600 kbit/s verbundenen Knoten Codex 6030 in Bayreuth (#1), Bamberg (#2) und Nürnberg (#3). Diese Zusammenhänge sind in der „Grobstruktur der 6000er-Vernetzung“ dargestellt.



Grobstruktur der 6000er-Vernetzung, Doku. 1979

Die Wege durch das Netzwerk waren fest geschaltet, aber, wie auch die Eigenschaften der Ports für anzuschließende Geräte bzw. deren Gegenstellen am Zentralrechner, frei konfigurierbar. Die Eigenschaften zweier in diesem Sinne zusammengehörender Ports mussten sich aber genau entsprechen (z. B. gleich sein bzgl. Geschwindigkeit, Parität, synchron/asynchron). Verbindungen von einer Außenstelle zur TR 440-3 wurden durch den zentralen Knoten über sogenannte Transfer Ports (XP) zum Knoten an der TR 440-3 geführt.



Statistisches Multiplexernetz, Wege und Portdefinitionen, 1979

In der etwas detaillierteren Darstellung „Statistisches Multiplexernetz, Wege und Portdefinitionen“ aus dem Jahr 1979 sind zwei Wege beispielhaft eingezeichnet. Der „blaue“ Weg verbindet den Bayreuther Port „1“ (an #1) mit dem Port „10“ des Cyber-Knotens (#0) und ermöglicht so RJE-Verkehr zwischen der Universität Bayreuth und dem Cyber-System. Ein Endgerät am Bayreuther Port „13“ wird über den „roten“

Weg durch den zentralen Knoten an die TR 440-3 herangeführt. Die Skizze beschreibt u. a. auch die Übertragungsgeschwindigkeiten der Ports bzw. der daran angeschlossenen Geräte, die in der Summe pro Knoten deutlich höher als die der Knotenverbindungen untereinander waren, so dass bereits in dieser anfänglichen Konfiguration von 1979 etwa in Bayreuth eine Überbuchung um den Faktor 2 (18.9 : 9.6) gegeben war und der Effekt des „statistischen Multiplexens“ zu erkennen lässt. Der Belegung des Bayreuther Knotens ist weiter zu entnehmen, dass sowohl RJE-Verbindungen zur TR 440-3 (Port „4“) und zur Cyber 172 (Port „1“), als auch Dialogverbindungen zu beiden zentralen Systemen (TR 440-3: Ports „10“, „11“, „12“, „13“, Cyber: Ports „6“, „7“, „10“, „B“, „C“, „D“, „E“) geschaltet waren, eine Grundforderung der regionalen Standortanbindung also damit erfüllt wurde.

Auszutauschende Daten, etwa zwischen einem Dialogterminal und einem Zentralrechner, wurden transparent über das Netzwerk übertragen. Zur Kontrolle der Datenströme und zum Abfangen vorübergehender (Über-)Lastsituationen wurden im Falle asynchroner Schnittstellen Methoden der üblichen Flusskontrolle (XON/XOFF oder V.24-Signale RTS/CTS) angewandt (s. Kap. 1.3.2.3). Der Datenfluss synchroner, über entsprechende Prozeduren gesteuerter Übertragungen wurde in spezieller Weise zusätzlich geregelt. Die elementaren (BSC-)Protokollelemente zur Zuteilung und Annahme von Übertragungsrechten (EQ/ACK) wurden an den Netzzugängen von den Knoten eigenständig abgewickelt und nicht übertragen, d. h. das Netz spielte im Protokollverhalten gegenüber einem Terminal die Rolle des Zentralrechners und am anderen Ende gegenüber dem Rechner die eines Endgeräts. Da auf diese Weise Anfrage- und Antwort-Elemente „lokal“ behandelt und nicht extra übertragen wurden, hingen die entsprechenden Vorgänge nicht von Lauf- und Verweilzeiten (Delays) des Netzes ab. Sie wurden daher deutlich schneller abgewickelt als es bei einem vollständig transparenten Durchleiten sowohl von Protokoll als auch von „Nutzdaten“ möglich gewesen wäre.

Das Verhalten des Netzes bzw. der beteiligten Multiplexer konnte auch sonst noch durch verschiedene Einstellungen gegebenen Verhältnissen angepasst werden. Konfigurationen, wie Festlegungen von Porteigenschaften oder das Schalten fester Wege durch das Netz konnten von zentraler Stelle aus vorgenommen werden, also am RRZE durch Bedienung des Knotens (#0) am Standort der Cyber 172 erfolgen.

Verfügbare Kommandos zur Konfiguration und Statusabfragen wurden in einem „User´s Reference Guide“ kompakt beschrieben. Dessen unten abgebildete Titelseite zeigt die „Frontansicht“ eines Knotens vom Typ 6040, der im Original als 19“-Einbaugerät ausgelegt war. Das Gerät (s. Abb. „Codex 6040, Frontansicht mit Bedienkonsole“) besaß eine Bedienkonsole mit einem Tastaturfeld und einem einzeiligen Zeichen-
display. Wie oben erwähnt konnten darüber alle Knoten des Verbundes angewählt,

abgefragt und konfiguriert werden. Diese Möglichkeit eines „Remote-Management“ von zentraler Stelle war für das RRZE in Anbetracht der (weit) verteilten Standorte von großer Wichtigkeit, um etwa auf Fehlersituationen oder wechselnde Anforderungen der Benutzer angemessen reagieren und einen Einsatz vor Ort mit entsprechender Anreise in vielen Fällen vermeiden zu können.

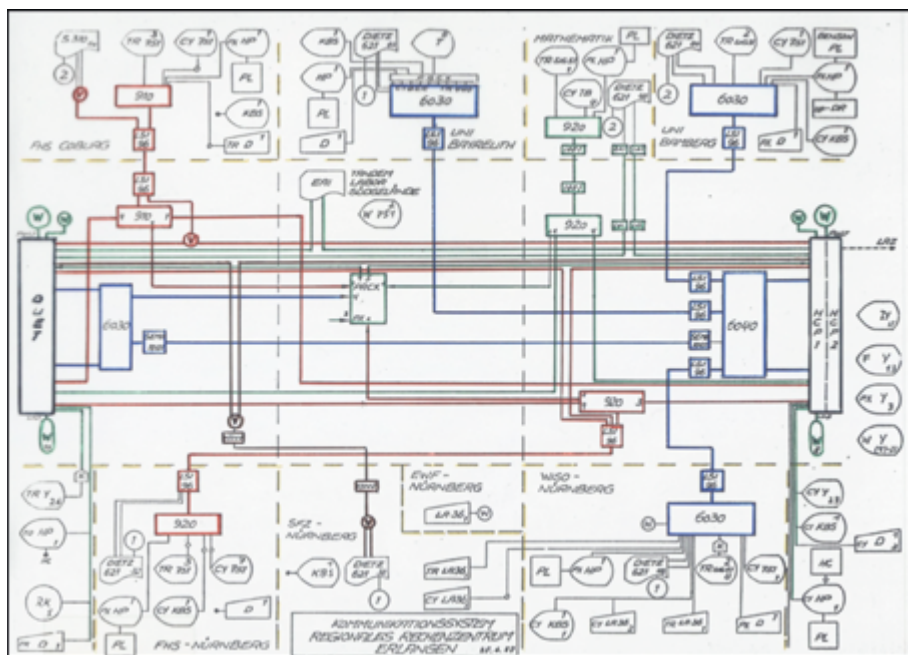


*Codex 6040, Frontansicht
mit Bedienkonsole*

2.4.3 Gesamtstruktur des regionalen Datenübertragungsnetzes

Für die „großen“ Standorte war das beschriebene Netz statistischer Multiplexer eine ideale Lösung, die in gewissen Grenzen auch flexibel und ausbaufähig war. Allerdings war sie vornehmlich aus Kostengründen nicht auf ein Gesamtkonzept des RRZE übertragbar. Zur Anbindung „kleinerer“ Standorte mit geringerem Bedarf an Anschlüssen kamen daher Techniken mit fester Geschwindigkeitsaufteilung zum Einsatz, d. h. Splitmodems und TDM-Multiplexer, wie sie oben beschrieben sind (s. Kap. 2.3.1.3). In Einzelfällen dienten auch weiterhin Wählverbindungen über das Fernsprechnet zur Kommunikation mit den zentralen Anlagen.

Die Abbildung „Gesamtstruktur der Datenfernübertragung“ auf S. 54 stellt das Kommunikationssystem des RRZE dar, d. h. das Netzwerk der Datenfernübertragung mit Stand des Jahres 1980. Sie zeigt die Kommunikationsrechner der beiden Systeme (TR 440-3: DUET, Cyber 172: HCP1/2), entfernte Standorte und entsprechende Verbindungswege. Darin ist das Netz der statistischen Multiplexer zur Anbindung der Universitäten Bayreuth, Bamberg und der WiSo-Nürnberg mit blauen Linien gekennzeichnet. Die rot gezeichneten Elemente geben die Vernetzung der Fachhochschulen (FH) Coburg und Nürnberg wieder, die über Kombinationen von Splitmodems (LSI 96) und TDM-Multiplexern (Codex „910“ bzw. „920) realisiert waren. Da die Anbindung der Erlanger Innenstadt bzw. des Standorts „Mathematik“ keine kostenpflichtige Mietleitung erforderte, sondern über universitätseigene Verkabelung hergestellt werden konnte, wurden hier drei separate Strecken geschaltet und zwar für 2 x RJE und 1 x Dialog, letztere durch TDM-Multiplexer (Codex 920) mehrfach genutzt. In der „Gesamtstruktur der Datenfernübertragung des RRZE“ sind die betreffenden Elemente grün dargestellt.



Gesamtstruktur der Datenfernübertragung des RRZE, 1980

2.4.4 Terminals und Stapelstationen

Über die dargestellte Gesamtstruktur wurden also die Endgeräte mit den zentralen Systemen bzw. deren Kommunikationsrechner verbunden. In der Abbildung sind Typen und Anzahl der Terminals angegeben. Dazu gehörten Sichtgeräte und Fernschreiber zum Dialog mit den beiden Systemen (TR 440-3: SIG 51 und FSR 208, Cyber: 751 und Diablo), aber auch Spezialgeräte, wie etwa zur grafischen Datenverarbeitung (Sichtgerät HP2648A, Plotter HP72218). Zum Stand der Abbildung 1980 kommunizierten etwa 125 Dialoggeräte mit den zentralen Systemen.

Später, ab 1981 kamen die ersten Terminals mit Lokalverarbeitungskapazitäten hinzu (auch als „intelligente Terminals“ bezeichnet), die sich neben lokaler Bearbeitung „eigener“ Programmen über ihre asynchronen V.24-Schnittstellen gegenüber Zentralrechnern wie herkömmliche Terminals verhalten konnten, darüber hinaus aber auch Möglichkeiten zum Datenaustausch (Filetransfer) boten. Es handelte sich zunächst vornehmlich um Systeme mit Z80-Mikroprozessoren und CP/M-Betriebssystem der Firma KBS.

Für die entfernte RJE-Verarbeitung (Stapelverarbeitung) wurden Rechner der (seinerzeit so kategorisierten) „mittleren Datentechnik“ verwendet, die sich durch entsprechend entwickelte Programme wie Originalstationen der Zentralsysteme verhalten konnten, und zwar wahlweise wie eine Station Transdata 8418 (gegenüber dem TR 440-3) oder UT200 (gegenüber der Cyber 172). Während die RJE-Station an der FH Coburg von einem Rechner aus der Siemens Prozessrechnerfamilie (Siemens 310) emuliert wurden, kamen an den anderen Standorten (6) Geräte des deutschen Herstellers Dietz (Dietz 621) zum Einsatz. Die aktuelle Wahl des jeweils anzusprechenden Zielsystems erfolgte in Abhängigkeit lokaler Anforderungen und Gegebenheiten durch manuelles Umschalten, Start der zugehörigen Emulationssoftware, aber auch im Rahmen eines parallelen Betriebes zu beiden Zentralrechnern gleichzeitig. Die von Dietz bereitgestellte Software wurde am RRZE weiter entwickelt ([Kraut]) und dadurch die lokale Bedienung und Steuerung, insbesondere des Parallelbetriebes, deutlich verbessert.

Das 1977 gegründete Unternehmen Dietz gehörte 1982 zu den zehn größten deutschen Computerherstellern neben Siemens, Nixdorf, AEG-Telefunken, Triumph-Adler, Kienzle Apparate, Philips und anderen, wurde 1983 von Norsk Data AS übernommen und schied mit ihr 1993 im Rahmen eines allgemeinen Wandels aus dem Computermarkt aus.

2.4.5 Rangierfähige Verkabelung

Die Übertragungswege zwischen zwei Datenübertragungseinrichtungen (Modems) fester Verbindungen im Rahmen des RRZE wurden in der Regel innerhalb Erlangens als durchgeschaltete 4-adrige Kabelstrecken oder nach außerhalb als Fernverbindungen über das Übertragungssystem der Post mit Abschlüssen als HfD realisiert. Übertragungseinrichtungen und -wege wurden in beiden Fällen an den Enden über Steckverbindungen zusammengefügt. Stecker und Dose folgten dabei den Vorgaben des mit „ADo 8“ (Anschlussdose, 8-adrig) bezeichneten Stecksystems der deutschen Bundespost (s. Abb. „ADo 8: Wandsteckdose (Aufputz)“ und „Stecker“).

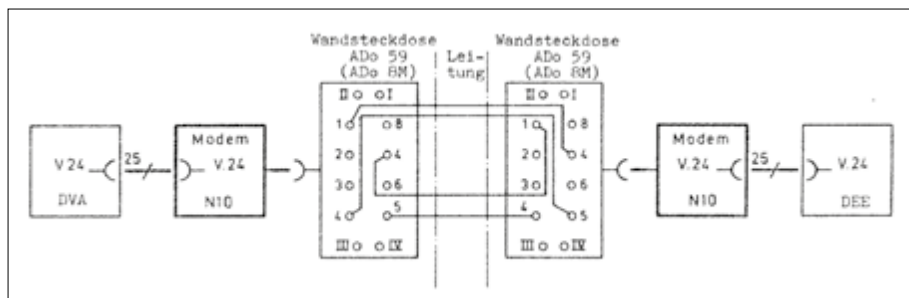


*ADo 8: Wandsteckdose
(Aufputz)*



Stecker

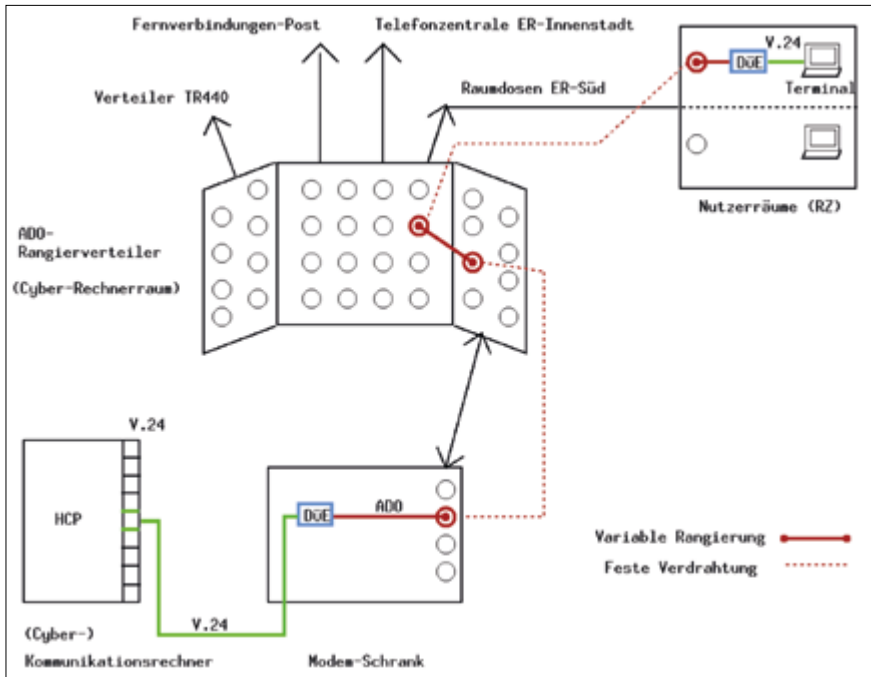
Im Netz des RRZE endeten viele solcher Strecken naturgemäß in der Nähe der Zentralsysteme, also in den beiden Rechnerräumen, wo sie dann über Datenübertragungseinrichtungen (Modems) und seriellen V.24-Kabeln an einen der Großrechner oder einen zwischengeschalteten Multiplexer geführt wurden. Die einer Bedienungsanleitung des „Inhouse-Modems N10“ (Siemens) entnommene Skizze stellt eine Datenfernverbindung zwischen einer Datenverarbeitungsanlage (DVA) und einem Terminal (DEE) dar. In dem Beispiel führt diese Verbindung über ein Modem N10 eine Verteilersteckdose, eine Leitung (4-adriges Telefonkabel mit spezifischer Abbildung) sowie auf der Gegenseite wieder über eine Wandsteckdose und ein Modem N10.



Schema einer 4-Draht-Punkt-zu-Punkt-Verbindung

Um diese immer noch relativ starre Konstruktion, an sich ausbreitende und wechselnde Anschlussanforderungen, anpassbar zu machen, hat das RRZE zusammen mit der Telefonabteilung der Universität ein Rangiersystem entworfen und installiert, das den Aufbau der Leitungen flexibler gestalten lässt. Zentrale Elemente bildeten dabei Verteilerschränke in den Rechnerräumen, mit Anschlussdosen zu gemieteten Fernverbindungen, zu Strecken innerhalb der (Erlanger) Universität und zu neu verlegten Endpunkten in Räumen des Südgeländes. Hinzu kamen Verbindungen zwischen den Verteilerschränken und zu den jeweiligen Standorten der Datenübertragungseinrichtungen (Modemschränke). Innerhalb der Verteilerschränke konnten durch ADo-Rangierkabel (4-adrige Kabel mit ADo-Steckern an den Enden) Verbindungen nach Bedarf hergestellt und verändert werden, wie z. B. zwischen dem Endpunkt einer Fernstrecke und dem zugehörigen Modem im Modemschrank.

In der Abbildung „ADo-Rangierverteiler, Terminalanschluss“ ist das Prinzip der rangierbaren Leitungsschaltung mit dem Beispiel eines Anschlusses an die Cyber dargestellt. Der Übertragungsweg führt dabei über eine Anschlussdose im Raum des Benutzers (Nutzerräume RZ), eine fest verlegte Kabelstrecke mit korrespondierender Dose im Verteilerschrank (ADo-Rangierverteiler), ein Rangierkabel (rote



ADo-Rangierverteiler, Terminalanschluss

Linie) und zwei einander entsprechenden Dosen in Verteiler und Modem-Schrank. Datenübertragungseinrichtungen an den Enden (DÜE) sowie damit per V.24-Kabel verbundene Endeinrichtungen (Terminal und Rechner) vervollständigen das Beispiel einer Datenübertragungsstrecke.

Zusammen mit entsprechenden Verteilern im Raum der TR 440 und der Telefonzentrale sowie eine umfassende Versorgung von Räumen im Erlanger Südgelände mit Anschlussdosen in vielen Benutzerräumen ergab sich ein flexibles Verkabelungssystem mit Zügen einer strukturierten Verkabelung, wie sie in späteren Jahren im Zusammenhang lokaler Netze (LANs) gebräuchlich werden sollte.

2.4.6 Ergänzungen

Die beschriebene und mit Stand von 1980 skizzierte „Gesamtstruktur der Datenfernübertragung des RRZE“ (s. Kapitel 2.4.3) erfüllte die Anforderungen lokaler und regionaler Anbindungen an die Zentralsysteme, musste aber auch stets an sich ändernde Bedingungen angepasst werden. Dies betraf insbesondere die ständig

wachsende Bedeutung von Dialoganwendungen und damit den Bedarf an entsprechenden Anschlüssen und Zugangswegen sowie deren Flexibilisierung. Dazu dienten ergänzende Maßnahmen und vorausschauende Aktivitäten des RRZE bezüglich neu entstehender Möglichkeiten.

2.4.6.1 Dynamisches Schaltsystem (PACX)

Das PACX- (Private Automatic Computer eXchange) System ist laut Hersteller (Gandalf) konzipiert, um eine Zahl von Terminals mit einer Zahl von Rechnereingängen wahlweise zu verbinden. Das am RRZE (ab Juli 1980) eingesetzte System (Mini PACX III) konnte durch die Konfiguration von Zielpportgruppen

- Mehrere (t) Terminals auf eine Anzahl (r) von Eingängen desselben Rechners konzentrieren ($t > r$)
- Terminals wahlweise mit unterschiedlichen Rechnern verbinden

Eine Verbindung konnte je nach Konfiguration voll automatisch, d. h. ohne Nutzereingabe durch Anschalten eines Terminals hergestellt werden oder über einen Prädialog mit Eingabe einer Kennung des Zielsystems angefordert werden.

Funktional entsprach das Schaltsystem etwa der Verwendung von Einwahlkaskaden mit Verbindungen über das Fernsprechnet, technisch kamen aber die geschalteten Leitungen den fest installierten des DFÜ-Netzes gleich.

Es diente somit der Einsparung von Rechnereingängen bzw. der Erweiterung von Terminalanschlüssen (unter Beachtung ihres eingeschränkten, gleichzeitigen Betriebes) sowie der Erhöhung von Flexibilität durch Aufhebungen fester Bindungen von Terminals an einen bestimmten Rechner(-eingang).

2.4.6.2 Protokollwandlung (MSV1-> async)

Abgesehen von Fernschreiberanschlüssen war der Dialogbetrieb zur TR 440-3 an herstellereigene Sichtgeräte, synchrone Übertragung und die Prozedur MSV1 gebunden. So konnten z. B. (asynchrone) Terminals, die an der Cyber 173 betrieben wurden nicht zur TR 440-3 umgeschaltet und dort benutzt werden. Daraus ergaben sich gewisse Einschränkungen bei der Anschluss-, Verbindungs- und Geräteplanung. Hier schuf der Einsatz eines Protokollkonverters zusätzliche Optionen. Der Konverter (VTC) besaß zwei Schnittstellen und verhielt sich auf der einen Seite gegenüber der TR 440-3 bzw. der DUET protokollgerecht wie ein originales Sichtgerät mit synchroner MSV1-Schnittstelle, bediente auf der anderen Seite ein asynchrones Terminal und sorgte letztlich für korrekten Datenaustausch zwischen Benutzer und Rechner.

Dadurch konnte z. B. ein entferntes, asynchron angeschlossenes Terminal über das Schaltsystem PACX wahlweise mit der Cyber 173 oder der TR 440-3 verbunden und für entsprechende Dialogsitzungen genutzt werden.

Die Methode der Protokollwandlung leistete zwar einen Beitrag zur Erhöhung der Flexibilität, hatte aber im Vergleich zur Nutzung originaler Technik doch gewisse Nachteile und war zum Ersatz von SIG51-Terminals und ihren synchronen Anbindungen nur bedingt geeignet.

2.4.6.3 Testbetrieb Datex-P

Anfang 1979 bereitete die Deutsche Bundespost die Einführung eines neuen Dienstes zur Datenübertragung vor. Das dafür zu schaffende Netz Datex-P sollte auf dem paketvermittelnden Protokoll X.25 basieren, das vom internationalen Dachverband der Postorganisationen CCITT (Comité Consultatif International Téléphonique et Télégraphique) etwa ab 1976 entwickelt und genormt wurde. Als geplante Kostenstruktur waren neben einer Grundgebühr nutzungsabhängige Abrechnungen bzgl. Verbindungszeiten und übertragenem Datenvolumen geplant.

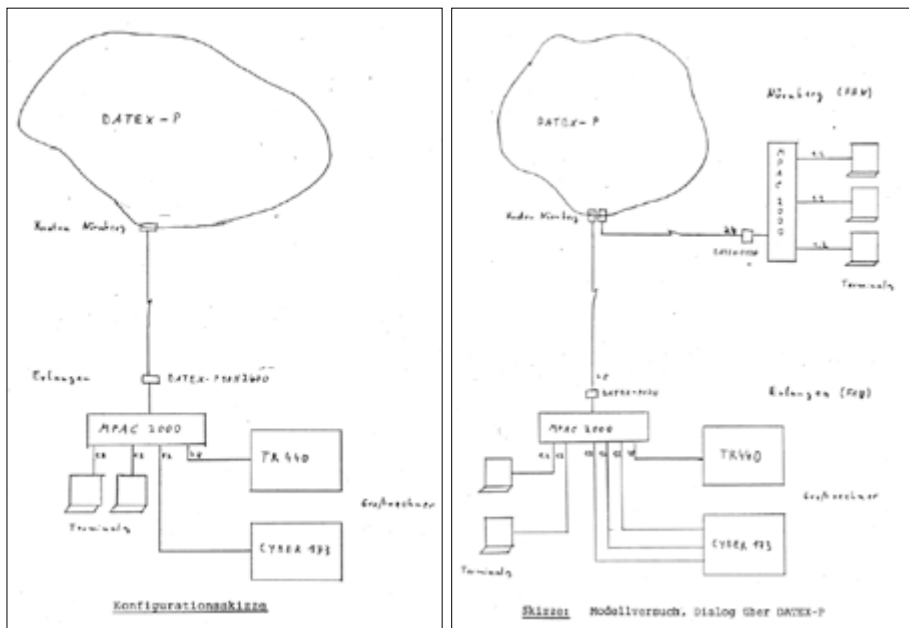
Das RRZE verfolgte die Entwicklung mit großem Interesse, z. B. unter folgenden Aspekten:

- Frühzeitige Sammlung von Erfahrungen im Umgang mit Dienst und Technik
- Alternative Nutzung im RRZE zu fest gemieteten Leitungen (HfDs) oder Wählverbindungen über das Fernsprechnet.
- Anwendung von Protokoll und Technik im Rahmen des Kommunikationsnetzes des RRZE
- Kommunikation mit nationalen und internationalen Partnern oder Diensteanbietern außerhalb der Universität

Es beteiligte sich daher seit Beginn an dem von der Bundespost zum Erfahrungsaustausch initiierten, regelmäßig tagenden Teilnehmerarbeitskreis (ab Mai 1979), gehörte zu den ersten Teilnehmern des Probebetriebes (ab Juli 1980) und nutzte den Dienst mit einem Hauptanschluss (Datex-P10H, 4,8 kbit/s) zum Betriebsstart des Netzes am 26. August 1980. Das Netz bestand aus speziell entwickelten Knotenrechnern der Fa. Northern Telekom“, die untereinander mit 64 kbit/s verbunden waren und den Kunden Schnittstellen mit bis zu 48 kbit/s anboten.

Im Rahmen des anfänglichen Test- und Wirkbetriebs wurde am Hauptanschluss ein Protokollkonverter (Anpassungseinrichtung „PAD) vom Typ MPAC 2000 des Herstellers Memotec betrieben, der mehreren Geräten mit asynchroner V.24-Schnittstelle auf nor-

mierte Weise (PAD-Funktion: X.3, X.29, X.29) den Zugang zum X.25-Netz ermöglichte bzw. diese über das Netz erreichbar machte. In einem zweiten Modellversuch wurde die Konfiguration durch einen vergleichbaren Aufbau mit einem Hauptanschluss in der FH Nürnberg ergänzt und so z. B. der Dialogbetrieb von Terminals in Nürnberg mit Rechnern im Rechenzentrum getestet. Zu den Tests hat das RRZE dem Teilnehmerarbeitskreis einen Erfahrungsbericht vorgelegt (*[HilliD]*).



Datex-P-Testkonfigurationen: Anfangsmodell (li.) und erweitertes Modell FH Nürnberg (re.), 1981

Das X.25-Protokoll und damit verbundene Technik sollte in den folgenden Jahren noch große Bedeutung erlangen. Aufkommende Verfügbarkeit erschwinglicher und handhabbarer Komponenten ermöglichte es dem RRZE ein eigenes X.25-Netzwerk aufzubauen und damit die Technik der Multiplexer abzulösen und die Kommunikationsstruktur dadurch effektiver und flexibler zu gestalten. Protokoll und Technik werden daher im Kapitel 3 näher beschrieben.

2.5 Aus- und Umbau des Rechenzentrums

Neben der Bewältigung des Rechnerbetriebes ist es auch Aufgabe des Rechenzentrums vorausschauend zu planen, um jeweils kommenden Anforderungen gewachsen zu sein. Das erfordert nicht nur Entwürfe zu geeigneten Konzeptionen, sondern auch frühzeitiges Anstoßen u.U. langwieriger Antragsverfahren, die zur Finanzierung und Umsetzung entsprechender Projekte zu durchlaufen sind. So erfolgten schon bald nach Gründung des RRZE Überlegungen zum Ausbau der Kapazitäten, um dem ständig wachsenden Bedarf an IT-Leistungen nachkommen zu können.

2.5.1 Zentralrechner

Die Inanspruchnahme der beiden etwa gleich leistungsstarken Zentralrechner ist von Jahr zu Jahr gestiegen, so dass sie bereits 1980 voll ausgelastet waren und spätestens 1982 ihre Leistungsgrenzen erreicht hatten. Da der TR 440-3 zudem betriebliche Probleme durch Korrosionsschäden bekam, war es nötig, eine Ablösung im Rahmen eines neuen Gesamtkonzepts zu planen, zu beantragen und nach Möglichkeit umzusetzen.

Nach Genehmigung entsprechender Anträge gelang es schließlich zum Ende des Jahres 1983 die Verträge für den Ersatz und die Erweiterung der Rechenanlagen am Regionalen Rechenzentrum Erlangen unter Dach und Fach zu bringen und die Realisierung in 1984 anzugehen. Sie umfasste im Wesentlichen folgende Punkte:

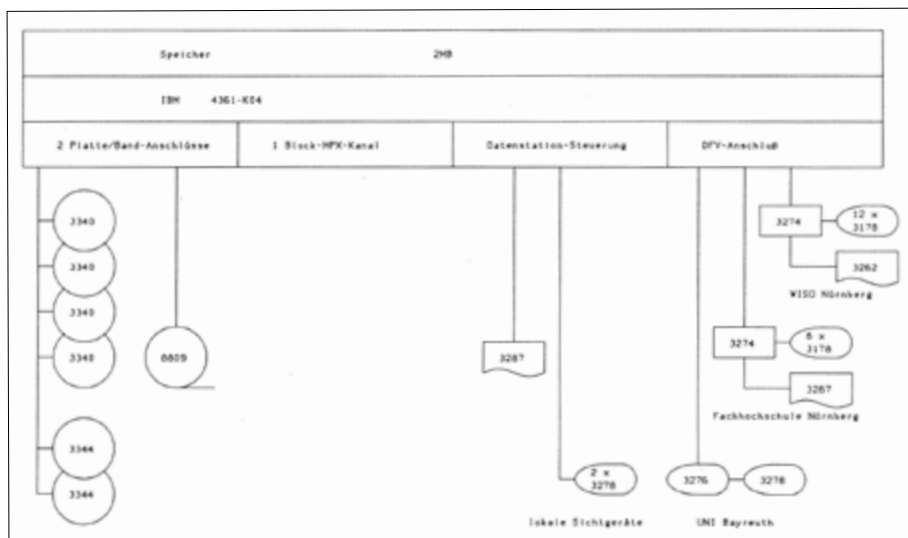
- Außerdienststellung des TR 440-Dreifachprozessors
- Austausch der Cyber 173 durch eine leistungsfähigere Cyber 845
- Installation eines dedizierten Systems für betriebswirtschaftliche Anwendungen vom Typ IBM 4361
- Beschaffung eines dedizierten Systems für Verwaltungs- und Bibliotheksaufgaben vom Typ Siemens 7536-20

Hinzu kam noch eine Rechenanlage vom Typ Siemens 7541 des Rechenzentrums der Medizinischen Fakultät, das ab Juni 1984 als „Sub-Rechenzentrum“ unter der fachlichen und rechtlichen Verantwortung des RRZE betrieben wurde. Wie die IBM wurden auch die beiden Siemens-Anlagen im zuvor durch den TR 440-3 genutzten Rechnerraum (TR-Rechnerraum) installiert, der die entsprechenden Voraussetzungen dafür bot. Durch die zentrale Aufstellung und Betreuung der Anlagen konnten verschiedene Synergieeffekte erzielt werden.

2.5.2 Datenfernverarbeitung

Das Datenfernverarbeitungskonzept der nun als „Hauptrechner“ fungierenden Cyber 845 entsprach weitgehend dem des Vorgängersystems. Die als NPU's (Network Processor Unit) bezeichneten Kommunikationsrechner (Vorrechner) stellten ebenso asynchrone V.24-Schnittstellen für entsprechende Terminals bereit, wie die HCP's der Cyber 173 und bedienten die gleichen Typen von RJE-Stationen (UT200). Bestehende Endgeräte und Übertragungswege konnten somit weiter verwendet werden. Darüber hinaus war das Dialogsystem des Betriebssystems NOS in der Lage, entsprechend geeignete Terminals auch im Bildschirm orientierten Dialog zu führen. Dies galt z. B. für Terminals vom Typ VT100 des Herstellers DEC oder dazu kompatible Geräte, wie das preisgünstigere Vision II von Northern Technologies, das im Laufe der Zeit am RRZE zunehmend Verwendung fand.

Zur IBM 4361 gehört ein spezifisches Datenfernverarbeitungskonzept des Herstellers, das u. a. eigene Konzentratoren (Cluster Controller 3274) zur Mehrfachnutzung von Fernleitungen und spezielle Sichtgeräte (Remote Display 3276) für Dialoge enthielt. Über die abgesetzten Controller konnten auch angeschlossene Drucker (3262, 3287) bedient werden, so dass in Anbetracht nicht mehr erforderlicher Lochkarteneingaben typische Stapelstationen nicht mehr benötigt wurden. Die Fernübertragung basierte auf



Konfiguration IBM 4361, 1984

synchroner, serieller (V.24) Übertragungstechnik unter Verwendung einer BSC-Prozedurvariante von IBM. Verbindungen zwischen Terminal und Controller wurden über spezifische, lokal zu verlegende Koax-Kabel hergestellt.

Die Anlage wurde vornehmlich für betriebswirtschaftliche Anwendungen beschafft und sollte z. B. den Studenten der WiSo in Nürnberg Erfahrungen im Umgang mit dem am „kommerziellen Markt“ führenden System und darauf laufender Software ermöglichen. Darüber hinaus sollte das System natürlich auch generell in der Region verfügbar sein. Dies spiegelt sich auch in der Abbildung „Konfiguration IBM 4361, 1984“ wieder, die in der rechten Hälfte die Fernzugänge skizziert. Die Linien zu den entfernten Standorten entsprechen dabei einzelnen, durch Konzentration über Protokollsteuerung (IBM-BSC) mehrfachgenutzten Leitungen, die als einzelne Wege innerhalb des Kommunikationssystems definiert sind.

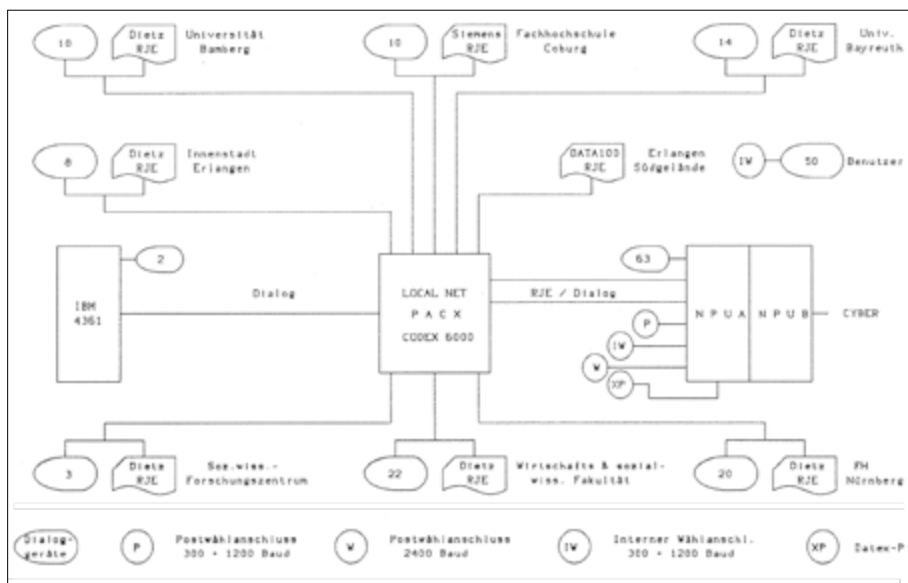
Auch die Siemens-Systeme für die Universitätsverwaltung und das Klinikum verfolgten ein eigenes Datenfernverarbeitungskonzept (Transdata) mit spezifischen, abgesetzten Verteilkomponenten (Mehrfachsteuerungen 7531) und Sichtgeräten (Datensichtstationen 8160, 9750). Sie basierten auf serieller, synchroner Übertragung und den von der TR 440-3 bekannten Prozeduren MSV1/2. Die Anschlüsse von Terminals und nahe gelegene Mehrfachsteuerungen erfolgen dabei nicht über V.24-Kabel, sondern über spezifisch genutzte 4-Draht Verbindungen. Diese konnten hier im Rahmen der Telefonnetzverkabelung oder auch durch gezielte Neuverlegung hergestellt werden. Da die Siemens Rechenanlagen keinen regionalen Bezug hatten und die Transdata-Steuerung integraler Bestandteil des Betriebssystems BS 2000 war, wurde die zugehörige Datenfernverarbeitung von der jeweilig zuständigen Systemgruppe betreut, nicht also durch die Abteilung „Kommunikationssysteme“ des RRZE. Entsprechend bildeten die Übertragungsstrukturen separate Einheiten außerhalb der Kommunikationsstruktur des wissenschaftlichen Bereichs der Universitäten und Hochschulen des nordbayerischen Verbundes und werden hier nicht näher betrachtet.

2.5.3 Kommunikationssystem

Das für regionale Versorgung und Anbindung wissenschaftlicher Arbeitsplätze zuständige Kommunikationssystem konnte an die neuen Gegebenheiten angepasst werden, ohne, dass dazu die Struktur geändert werden musste. Wie oben beschrieben, konnten die Zugänge zur Cyber-Anlage durch Verlagerung der Anschlüsse von den „alten“ (Typ HCP, Host Control Processor) zu den „neuen“ (Typ NPU, Network Processor Unit) Kommunikationsrechnern übernommen, die Wege über Multiplexer und Übertragungseinrichtungen also zunächst unverändert beibehalten werden. Der Wechsel von TR 440-3 zur IBM ließ sich ebenso unspektakulär vollziehen. Es mussten dazu lediglich

entsprechende Multiplexerports von MSV1 auf IBM-BSC umgestellt werden, was durch einfache Umkonfigurierung möglich war. Da der Stapelbetrieb zur IBM entfiel, wurden zuvor genutzte Anschlüsse zu anderen Verwendungen frei. Zudem vereinfachte sich der Betrieb der RJE-Stationen, da nur noch eine Emulation, nämlich die UT200 zur Cyber, zu bedienen war. Ähnlich, wie im Falle der TR 440-3 konnte auch für die IBM der Zugang asynchroner Terminals durch Einsatz eines Protokollkonverters (PIT von INCAA) ermöglicht werden.

Unter anderem durch den verstärkten Einsatz von Mikroprozessoren an den verschiedenen Instituten wurden an die Netze des RRZE zusätzliche Endgeräte oder Terminals angeschlossen, deren Typ und Anzahl dem RRZE oft nicht bekannt war. Die Eingänge für Peripheriegeräte an den zentralen Systemen waren 1984 mit 200 an der Cyber- und 30 an der IBM-Anlage voll ausgebaut.



Kommunikationsstruktur, 1984

In der „Kommunikationsstruktur, 1984“ ist der Zusammenhang der regionalen Vernetzung dargestellt. Die Gesamtstruktur der Datenfernübertragung entspricht weitgehend der Darstellung in Kapitel 2.4.3 und ist in der Skizze von 1984 als Schaltsystem (Viereck in der Mitte) summarisch repräsentiert.

2.6 Stand und weitere Entwicklung

Wie beschrieben, konnte das regionale Datenfernverarbeitungsnetzwerk an die Veränderungen der Rechnerlandschaft angepasst werden. Es zeigten sich aber auch Grenzen seiner Ausbaufähigkeit. Durch eine generell wachsende Bedeutung des Dialogbetriebes und der neuen Cyber 845 als Hauptrechner stieg auch der Bedarf an asynchronen V.24-Zugängen zu diesem System, bzw. entsprechenden Wegen durch das Netzwerk. Die statistischen Multiplexer ließen zwar noch einige Erweiterungen zu, konnten aber zusätzliche Anschlusswünsche im Laufe der Zeit nur noch bedingt erfüllen. Durch zusätzliche Zielsysteme, etwa in der Informatik oder dem Datex-P-Netz, entstand zudem ein Bedarf an Wahlmöglichkeiten zwischen verschiedenen Zielsystemen, der durch das Schaltsystem PACX für die daran angeschlossenen Terminals zwar gedeckt werden konnte, aber keine allgemein verfügbare Lösung darstellte.

Ein Ausbau der vorhandenen Technik wäre zwar prinzipiell möglich gewesen, wurde aber zu Gunsten des Einsatzes neuerer Technologien und Protokolle nicht weiter verfolgt. Mit dem Aufkommen erschwinglicher Komponenten bot sich als Alternative der Einsatz des Netzprotokolls X.25 an. Das Protokoll, mit dem das RRZE im Rahmen von Tests bereits erste Erfahrungen sammeln konnte, sollte schließlich neben neuartigen Ansätzen in lokalen Bereichen im Mittelpunkt der nächsten Phase des Kommunikationssystems stehen.

Weitverkehrs- und Campusnetz 1985 – 1998

3. Weitverkehrs- (X.25) und Campusnetz (LN20) 1985 – 1998

Die regionale, sternförmige Vernetzung mit Hilfe von Multiplexern, hatte vorrangig die Aufgabe, entfernte Standorte an die zentralen Systeme des Erlanger Rechenzentrums anzubinden. Sie war nur begrenzt ausbaufähig und etwa zur Integration weiterer, verteilter Zielsysteme weniger geeignet. Mit den Entwicklungen und Empfehlungen der internationalen Postorganisationen (CCITT) zu Protokollen der X.25-Serie (veröffentlicht 1980) sowie der Verfügbarkeit passender Komponenten bot sich dem RRZE eine Möglichkeit zum Aufbau eines regionalen, flexiblen Weitverkehrsnetzwerks (Wide Area Network, WAN) auf Basis dieses genormten Protokolls. Es erlaubte z. B. den Datenaustausch zwischen den Teilnehmern über frei wählbare, virtuelle Verbindungen. Da die damit verbundene, paketvermittelnde Technik auch im nationalen (DFN-WiN, Datex-P) und internationalen (Datex-P-international) Rahmen zum Einsatz kam, konnten die Benutzer des RRZE darüber auch überregionale Kommunikationsbeziehungen pflegen.

Neben der beschriebenen WAN-Technik wurden in den 1970er- und 1980er-Jahren als Alternative zu Methoden der seriellen Daten-(Fern)-Übertragung auch verschiedene Ansätze zur Vernetzung in lokal begrenzten Bereichen (LANs) entwickelt, z. B. im Kontext von Verknüpfungen „kleinerer“ (PCs) und „mittlerer“ Systeme (Workstations, Server). Diese „neuen“ Techniken waren für den betrieblichen Einsatz im RRZE zunächst nicht geeignet und sollten dort zum Teil erst später, in weiter entwickelter Form zum Einsatz kommen (s. Kap. 4). Das RRZE verfolgte aber diese Forschungen und wählte sich zur Erprobung daraus eine LAN-Technik, die Verfahren der Breitbandübertragung nutzte, ähnlich denen des Kabelfernsehens. Positive Erfahrungen führten schließlich zum Aufbau und Betrieb eines Campusnetzwerks im Erlanger Südgelände, das den Bereich der Technischen Fakultät flächendeckend mit Anschlüssen für Terminals oder Rechner versorgte und wählbare Datenverbindungen zwischen den Systemen ermöglichte. Dieses als LocalNet20 (LN20) bezeichnete Netzwerk löste die zuvor über Telefonverkabelung geschalteten DFÜ-Verbindungen im betroffenen Bereich weitgehend ab.

3.1 Rechnerlandschaft und Kommunikationsbedarf

Auch die 1984 etablierte Rechnerkonstellation mit einer Cyber 845 und einer IBM 4361 konnte dem weiter stetig wachsenden Bedarf an zentraler EDV-Leistung nur bedingt Rechnung tragen. So wurden zur Erhöhung der Kapazitäten zunächst 1985 die CDC-Anlage zur Cyber 855 ausgebaut und dann 1988 die Großrechner jeweils

ersetzt durch eine Cyber 995E (Betriebssystem: NOS/VE) bzw. eine IBM 3090-120. Daneben gab es aber auch Entwicklungen zu lokal eigenständigen Rechnersystemen mit spezifischen Eigenschaften. Hier sind vor allem die Rechner mittlerer Größenordnung in Bayreuth (VAX v. Digital Equipment), Bamberg (Siemens) und verschiedene Systeme der Erlanger Informatik zu nennen. Es stiegen damit nicht nur die Anforderungen an Anschlusskapazitäten zu den beiden Großrechnern, sondern es entstand auch ein Bedarf an flexibel herstellbaren Verbindungen zu den verschiedenen Rechnern sowie zwischen den Rechnern untereinander. Hinzu kamen dann noch der Kommunikationsbedarf zu Partnern außerhalb der FAU und des RRZE, z. B. im Zusammenhang der Nutzung des Höchstleistungsrechners in München (Vektorrechner Cray X/MP-24, später „Cray Y/MP-432) oder dem nationalen und internationalen Datenaustausch. Für steigende Anforderungen an die Übertragungsstruktur sorgten auch die immer mehr eingesetzten Mikrorechnersysteme (vornehmlich Z80-MS/DOS, später IBM-PC-kompatible Systeme), die zwar als eigenständige Systeme konzipiert waren, aber doch auch zunehmend als „intelligente“ Terminals für Dialogbetrieb oder dem Datenaustausch mit den Großrechnern verwendet wurden.

Die genannten Aspekte erforderten schließlich einen Wandel von der klassischen, auf eine Zentrale bezogenen Datenfernübertragung, zu Kommunikationsstrukturen mit flexiblen Verbindungsmöglichkeiten zwischen verteilten Systemen.

Das RRZE reagierte auf die sich daraus ergebenden Anforderungen mit dem

- Aufbau eines regionalen Weitverkehrsnetzes (WAN) auf Basis des herstellerneutralen, von der CCCITT genormten Netzwerkprotokolls X.25
- Aufbau eines lokalen Netzes (LAN) im Campus Erlangen-Süd auf Basis einer Breitbandübertragungstechnik
- Erweitern des Netzes für überregionale Kommunikationen (BHN, Datex-P)
- Verfolgen, erproben verschiedener, aktueller Ansätze der Netzwerktechnik
- Verfolgen allgemeiner Ansätze zur offenen Datenkommunikation zwischen unterschiedlichen Systemen, z. B. durch Zusammenarbeit mit dem Verein zur Förderung eines Deutschen Forschungsnetzes (DFN)

3.2 Regionales Weitverkehrsnetz (WAN) auf Basis von X.25

Während das regionale Weitverkehrsnetz der statistischen Multiplexer zwar konfigurierbare, aber doch feste Leitungsverbindungen zwischen Terminals und zentralen Systemen herstellte, wurde mit dem Protokoll X.25 ein Netzmodell verfolgt, in dem (virtuelle) Verbindungen zwischen zwei Partnern frei wählbar hergestellt werden und zum Datenaustausch genutzt werden können. Ein X.25-Netz bietet Anschlüsse für Geräte die das Protokoll beherrschen (z. B. Großrechner, Server), sieht aber auch

Zugänge für „einfache“ Geräte (z. B. Terminals, Mikrorechner) mit asynchronen V.24-Schnittstellen über definierte Anpassungsmechanismen (PAD-Funktion) vor. Über eine X.25-Schnittstelle können gleichzeitig mehrere virtuelle Verbindungen aufgebaut werden und aktiv sein und so Multiplex- und Konzentrationseffekte bewirken. Dadurch können z. B. im Vergleich zu den Strukturen (statistischer) Multiplexer (s. Kap. 2) mehrere dedizierte Einzelschnittstellen eines Großrechners, wie etwa der Cyber 995E (NOS/VE) des RRZE, durch einen physisch einzigen, per Wahl ansprechbaren Netzanschluss ersetzt werden.

In der Abbildung der Deutschen Bundespost zum „Vermittlungsprinzip“ ihres auf X.25 basierenden Netzdienstes „Datex-P“ sind die grundlegenden Merkmale von Anschlussarten, Verbindungsmöglichkeiten, Datenfluss und Mehrfachnutzung schematisch dargestellt (DVST-P steht für X.25-Anschluss- und Vermittlungseinrichtungen (Netzknoten), PAD für den Anpassungsdienst zeichenorientierter (teletype-)Endgeräte).

Diese Protokolltechnik eröffnete somit Perspektiven, den im Rahmen des RRZE



DBP: „Vermittlungsprinzip DATEX-P“

steigenden Kommunikationsanforderungen durch den Aufbau eines eigenen X.25-Netzwerks gerecht zu werden. Nachdem im Umgang mit Datex-P bereits Erfahrungen gesammelt und erste am Markt verfügbare Komponenten erprobt werden konnten (s. Kap. 2.4.6.3), wurde in 1986 mit der Migration von der DFÜ-bezogenen Multiplexerstrukturen zu einer Vernetzung auf Basis von X.25 begonnen. Sie führte schließlich 1987 zur Bereitstellung eines regionalen Netzwerks und der Ablösung der in Kapitel 2 beschriebenen Konstrukte.

Dabei sind zum Übergangsprozess des RRZE folgende Aspekte hervorzuheben:

- Weiternutzung bestehender Fernverbindungen (Technik: seriell, V.24, synchron)
- Weiternutzung bestehender Zuführungs- und Anschlusstechnik (Technik: seriell, V.24, asynchron) für Endgeräte
- Mehrfachnutzung von Übertragungsstrecken zwischen Netzkomponenten (Multiplexen)
- Mehrfachnutzung direkt angeschlossener Rechnereingänge (Konzentration), insbesondere am Zentralrechner Cyber 995E
- Direkte Anschlüsse für (Groß-)Rechner mit X.25-Schnittstelle
- Angepasste Anschlüsse für Terminals, Mikrorechner usw. mit asynchroner

- V.24-Schnittstelle über spezielle Umsetzeinrichtung (PADs)
- Geschwindigkeitsanpassung, Verbindung zwischen Geräten mit unterschiedlichen Anschlussgeschwindigkeiten
 - Wahlfreie (virtuelle) Datenverbindung zwischen den Netzteilnehmern (im Prinzip „jeder-mit-jedem“)
 - Insbesondere (pro Sitzung) freie Wahl des Zielsystems von jedem Terminal aus
 - Umsetzungsmöglichkeiten für konventionelle DFÜ-Protokolle (MSV2, IBM-BSC)
 - Später auch: Transport/Einbettung anderer Netzprotokolle (z. B. des Internetprotokolls)
 - Skalierbarkeit, d. h. einfache Erweiterungsmöglichkeit des Netzwerks um neue Anschlüsse oder Standorte
 - Herstellerunabhängiges, genormtes Netzwerk- und Anschlussprotokoll
 - Kompatibilität zu nationalen (Datex-P) und internationalen (Datex-P-international) Netzstrukturen
 - Basis von Normungsbestrebungen zur Rechner-Rechner-Kommunikation („untere“ Schichten (1-3) für „höhere“ Protokolle (4-7), Stichwort: „Open Systems Interconnection“, s. Referenzmodell in der Einleitung)

3.2.1 Grundlagen von X.25

3.2.1.1 Normen/Empfehlungen zu X.25

Um sein Dienstspektrum zu erweitern und zu modernisieren, begann der internationale Dachverband der Postorganisationen (jeweils zuständig für nationale Telefon- und Datenübertragungsdienste) CCITT Anfang der 70er-Jahre mit Überlegungen zu paketvermittelnden Datennetzen und beschäftigte sich etwa ab 1976 mit der Normung entsprechender Netzschnittstellen. Dies führte schließlich 1978 zur Verabschiedung von Empfehlungen der X.25-Serie, die dann später (1980 und 1984) zur Anpassung an aktuelle Entwicklungen erweitert wurden, etwa um Daten in größeren Einheiten (Datenpaketlänge > 128 Zeichen) übertragen oder die Quittierungsmechanismen flexibler (Fenstergröße > 2) gestalten zu können.

3.2.1.2 X.25-Protokollschichten

Die Empfehlungen der CCITT orientierten sich am ISO-/OSI-Referenzmodell der sieben Schichten (s. Einleitung) und legten so eine Variante der drei unteren Ebenen fest, die eine Netzwerkbasis zur Kommunikation offener Systeme schufen, auf die höhere Protokolle (Schicht > 3) aufsetzen konnten. Den Zusammenhang der Schichten stellt die Abbildung „X.25 und ISO-/OSI-Architektur“ schematisch dar.

Die Empfehlungen zu X.25 beschreiben also die Schnittstellen zwischen einem Da-



*X.25 und ISO-/
OSI-Architektur*

tenübermittlungsnetz und einer daran angeschlossenen Datenendeinrichtung (DEE). Dazu gehören

- **X.21**, physikalische Schicht der Bitübertragung, mit Festlegung von Bedeutung und technischen Eigenschaften der Schnittstellenleitungen. In der Praxis (auch der des RRZE) wurden an Stelle von X.21 in der Regel synchrone Schnittstellen gemäß V.24 verwandt, die in diesem Kontext auch als „X.21bis“ bezeichnet wurden.
- **HDLC** (High-Level Data Link Control), Protokollschicht zur gesicherten Übertragung zwischen Netzteilnehmer (DEE) und Übermittlungsnetz. Das Protokoll enthält Elemente zur Fehlerkontrolle über Blockprüfzeichen (BCC, Block Cyclic Redundancy Check) und zur Flusststeuerung mit flexibler Quittierung über einen Window-Mechanismus (s. Kap. 3.2.1.4).
- **X.25-Paketschicht** zur Herstellung von (virtuellen) Netzverbindungen und zur Übergabe zu übermittelnder Datenpakete, enthält darüber hinaus verschiedenen Steuerfunktionen über spezielle Paketformate
- Das Protokoll verwendet ebenfalls einen Window-Mechanismus zur Flusststeuerung, jedoch keine Fehlerkontrolle mit eventuellen Wiederholungen von Übertragungsvorgängen. Hier stützt sich das Protokoll einerseits auf die gesicherte Abschnittsübertragung der HDLC-Schicht und überlässt andererseits entsprechende Prüfungen und Maßnahmen den darüber liegenden Schichten, insbesondere der Transportschicht, die für „Ende-zu-Ende“-Kontrollen zwischen den jeweiligen Kommunikationspartnern zuständig sind.

Die genannten Empfehlungen wurden z. B. von der Deutschen Bundespost im Rahmen ihres als DATEX-P10H bezeichneten Basisdienstes umgesetzt und boten so Netzzugänge für Endgeräte mit paketerorientierter Schnittstelle.

3.2.1.3 X.25 Protokollanpassungen

Wie bereits erwähnt, gehörte es zu den Anliegen der CCITT bzw. der Netzbetreiber, auch für Endgeräte, die das X.25-Protokoll nicht beherrschten, insbesondere für weit verbreitete, „dumme“, zeichenweise, asynchron arbeitende Terminals (teletype devices) Anschlussmöglichkeiten in genormter Form anzubieten. Daraus entstanden folgende, abkürzend zusammen oft auch als Triple-X bezeichnete, Empfehlungen:

- **X.3**, Schnittstellenparameter zwischen Endgerät und Anpassungseinheit, Parameterbeschreibung mit Bedeutung und möglichen Werten, z. B. zur Regelung von Anschlussgeschwindigkeit, Flusssteuerungsmethode, Zeichenecho usw. (s. auch „PAD-Parameter gemäß Datex-P-Handbuch“).
Teilweise Möglichkeit zu dynamischen Parameteränderungen vor und innerhalb einer Dialogsitzung.
- **X.28**, Anpassungsfunktion, „terminalseitig“, Packen und Entpacken von Datenpaketen (PAD), d. h. Generierung von Paketen aus Zeichenfolgen und umgekehrt, Generierung, Verarbeitung von Steuerpaketen (z. B. zu Verbindungsaufbau, -abbau gemäß Endgeräte- bzw. Nutzeranforderung)
- **X.29**, Anpassungsfunktion, „hostseitig“, Packen und Entpacken von Datenpaketen (PAD), Generierung, Verarbeitung von Steuerpaketen (z. B. zu Verbindungsannahme, -auslösung oder rechnergesteuerten Parametermodifikationen)

Die Deutsche Post realisierte diese Anpassungsfunktionen über die Dienste Datex-P20H (fest geschaltete Zugänge) bzw. Datex-P20F (gewählte Zugänge über das Fernsprechnet) und beschrieb in einem umfangreichen Datex-P-Handbuch [*Dxp*] auch die von ihr unterstützten PAD-Parameter (s. Abb. „PAD-Parameter gemäß Datex-P-Handbuch“). In privaten Netzen, wie dem des RRZE, erfolgten derartige Umsetzungen über dedizierte, auch als PADs bezeichnete, Geräte (s. Kap. 3.2.2 und 3.2.3).

Die Post war bestrebt, neben den Start/Stop-Terminals mit Datex-P noch weiteren, verbreiteten Geräten eine Basis zur Übertragung bereitzustellen. Daher befassten sich andere Protokollanpassungen mit der Abwicklung von BSC-Prozeduren (Basicmode) der „klassischen“ Datenfernverarbeitung (s. Kap. 2) über X.25-Netze und führten bei der Bundespost u. a. zu den Dienstschnittstellen Datex-P32H für Dialoggeräte bzw. Datex-P-42H für Geräte der Stapelverarbeitung des Herstellers IBM (Familien „3270“ bzw. „2770“). Dabei war es aus Kosten- und Performancegründen wichtig, mit dieser Methode nicht jedes einzelne BSC-Protokollelement in einem eigenen X.25-Paket zu übertragen, sondern möglichst nur „Nutzdaten“ zu transferieren und z. B. Poll-Funktionen der kommunizierenden Partner (Terminal und Host) jeweils über deren lokale Anpassungen abzuwickeln (s. auch Kap. 3.2.2.4).

DATEX-P-Handbuch	Teil 3	Abschnitt 2.2	Seite 1												
<p>2.2 Datenübertragung</p> <p>Nach der im Abschnitt 2.1 beschriebenen Verbindungsaufbauphase über die verschiedenen Zugangsmöglichkeiten kann der Dialog zwischen dem Datenendgerät und dem Zentralrechner abgewickelt werden.</p> <p>Die Arbeitsweise der PAD-Einrichtung wird in dieser Phase anhand der Parameterliste gesteuert, die aus zwölf internationalen und acht nationalen Parametern besteht. Eine umfassende Beschreibung dieser Parameter ist im Abschnitt 5.1 angefügt, an dieser Stelle sind die Parameter zunächst in Form einer Übersicht über die verfügbaren Funktionen aufgelistet.</p> <p>(a) Internationale Parameter 1 bis 12</p>															
<p>Parameter 1: Umschalten in den Befehls-Modus; ermöglicht dem Benutzer das Eingeben von PAD-Befehlen z. B. zum Setzen und Überprüfen von Parametern, Zurücksetzen oder Auslösen von virtuellen Verbindungen usw.</p>	<p>Parameter 7: Reaktion auf das ANHALTE (BREAK)-Signal; definiert die Reaktion der PAD-Einrichtung nach dem Empfang des ANHALTE-Signals.</p>														
<p>Parameter 2: Echo-Betrieb; nach Setzen dieses Parameters werden sämtliche vom Endgerät gesendeten Zeichen von der PAD-Einrichtung zum Endgerät zurückgesendet.</p>	<p>Parameter 8: Verwerfen von Ausgaben; gibt im Zusammenhang mit Parameter 7 an, ob die PAD-Einrichtung beim Empfang des ANHALTE (BREAK)-Signals Ausgaben an das Datenendgerät verwerfen soll.</p>														
<p>Parameter 3: Datenweiterleitungs-Zeichen; mit diesem Parameter werden Steuerzeichen definiert, nach deren Eingabe die gesammelten Daten als Datenpaket an den Zentralrechner weitergeleitet werden.</p>	<p>Parameter 9: Füllzeichen nach Wagenrücklauf; spezifiziert die Anzahl von Füllsteuerzeichen (NUL), die nach Aussenden des Wagenrücklaufsteuerzeichens (WR) in die Zeichenfolge eingefügt werden, um die Zeit des mechanischen Wagenrücklaufs bei Druckern ohne Speicher zu überbrücken.</p>														
<p>Parameter 4: Datenweiterleitungs-Zeitstufe; Vorgabe einer Zeitstufe, nach deren Ablauf die gesammelten Daten als Datenpaket an den Zentralrechner weitergeleitet werden.</p>	<p>Parameter 10: Anpassung des Zeilenformats; erlaubt die Anpassung an spezielle Zeilenformate, d. h. die PAD-Einrichtung übernimmt das automatische Einfügen von Wagenrücklauf- (WR) und Zeilenvorschub- (LF) Zeichen bei Erreichen des jeweiligen Zeilenendes.</p>														
<p>Parameter 5: Steuerzeichen für Zusatzgeräte; aktiviert Steuerzeichen, die zur Steuerung der Eingabe mit Zusatzgeräten dienen.</p>	<p>Parameter 11: Übertragungsgeschwindigkeit; spezifiziert die jeweils benutzte Übertragungsgeschwindigkeit des Endgeräts.</p>														
<p>Parameter 6: Steuerung von PAD-Meldungen; unterbindet oder ermöglicht die Ausgabe von PAD-Meldungen zum Endgerät.</p>	<p>Parameter 12: Datenflußregelung durch das Endgerät; erlaubt dem Benutzer das vorübergehende Anhalten von Ausgaben an das Endgerät über Steuerzeichen.</p>														
	<p>Die weiteren internationalen Parameter 13 bis 22 gemäß CCITT-Rotbuch (1984) unterstützen DATEX-P zur Zeit nicht.</p> <p>Einige nationale Parameter bieten bereits jetzt entsprechende Funktionen, wie die Tabelle zeigt:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>internationaler Parameter</th> <th>nationaler Parameter</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>13</td> <td>126</td> </tr> <tr> <td>16</td> <td>118</td> </tr> <tr> <td>17</td> <td>119</td> </tr> <tr> <td>18</td> <td>120</td> </tr> <tr> <td>21</td> <td>123</td> </tr> </tbody> </table>	internationaler Parameter	nationaler Parameter	13	126	16	118	17	119	18	120	21	123		
internationaler Parameter	nationaler Parameter														
13	126														
16	118														
17	119														
18	120														
21	123														

PAD-Parameter gemäß Datex-P-Handbuch

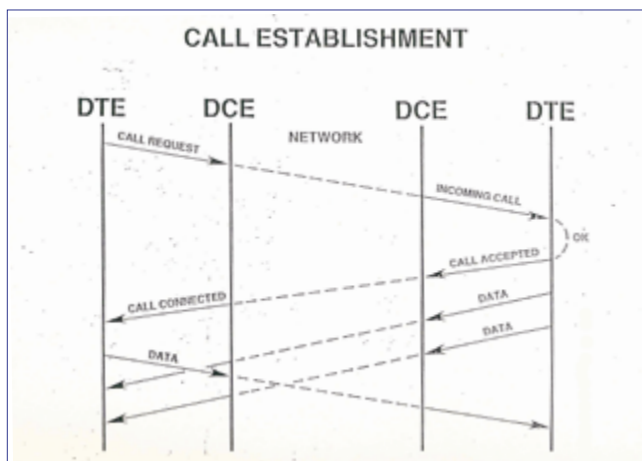
3.2.1.4 Eigenschaften der Paketschicht X.25 (PLP)

Mit der X.25-Paketschicht (Packet Layer Protocol) werden Eigenschaften des Netzwerks sowie Protokolle und Datenformate der Schnittstellen zwischen Netz (DCE) und Datenendgeräten (DEE) beschrieben.

Das Netzprotokoll ist verbindungsorientiert. Zwei Kommunikationspartner kommunizieren demnach über „virtuelle“ Verbindungen, die als PVCs (Permanent Virtual Circuit) fest konfiguriert sind oder aber als SVCs (Switched Virtual Circuit) dynamisch auf Anforderung eines Teilnehmers (bzw. einer DEE) für eine Sitzung etabliert, genutzt und schließlich wieder ausgelöst werden (ähnlicher Vorgang, wie beim Telefonieren im Fernsprechnetz). Den Verbindungen ist jeweils eine eindeutig kennzeichnende

Nummer zugeordnet (Logische Kanalnummer, engl.: LCN, Logical Channel Number). Diese wird in jedem Paket als Steueranteil transportiert und ermöglicht so dessen passende Zuordnung. Im Gegensatz zu Protokollen mit Datagrammen, ist es daher nicht erforderlich, jeweils komplette Adressinformationen zu übertragen.

Die dynamische Herstellung einer geschalteten, virtuellen Verbindung erfolgt nach geregelter Ablauf über dazu eigens definierte Paketformate, d. h. über entsprechende „Signalisierungen“.



X.25 Verbindungsaufbau (Call Establishment)

Ein solcher Vorgang zur Etablierung einer Netzverbindung zwischen zwei Teilnehmern (DEE) ist in einem Diagramm „ Call Establishment“ (in englischer Terminologie aus einer Präsentation des Herstellers Dynatech, [DyPrä]) schematisch dargestellt.

Danach führt im positivem Ablauf die Verbindungsanforderung (Call Request) einer DEE auf der Seite des Partners zu einem Ankommenden Ruf (Incoming Call), dessen Annahme des Rufes (Call Accepted) und schließlich zur Bestätigung (Call Connected) für den Initiator. Anschließend können Daten (Data) von beiden Teilnehmern gesendet und übertragen werden. Die Verbindung endet, wenn sie von einem der beiden Partner (Clear Indication Request) oder aber auch auf Veranlassung des Netzwerks ausgelöst wird.

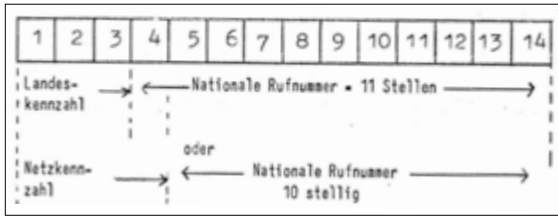
Die Wahl eines Kommunikationspartners erfolgt über die Angabe einer Zieladresse bei der Verbindungsanforderung im Paket zur Verbindungsanforderung (Call Request). Im Netz müssen also entsprechende Adressen definiert und den Teilnehmern zugeordnet sein. Hierzu gibt es die CCITT-Empfehlung X.121, die den hierarchischen Aufbau einer maximal 14-stelligen Rufnummer beschreibt (s. Abb. „Struktur einer Datenrufnummer

nach X.121“, [Dxp]). Die zu Datex-P definierte, nationale Ausprägung verfeinerte die Hierarchie durch eine Dienstkennnummer (X, Y), eine Ortsnetzkennzahl (ONKZ), eine örtliche Nummer einschließlich einer vom Nutzer frei zu bestimmenden Ergänzung (maximal drei Stellen), die zur Subadressierung und Weiterleitung in einem angeschlossenen, „privaten“ Teilnehmernetz verwendet werden konnte (s. Abb. „Nationale Rufnummern im Datex-P Netz“, [Dxp]). Im Inlandverkehr konnte die Landeskennzahl auch weggelassen werden. So lautete z. B. die Datex-P Inlandsadresse der FAU „45913144xx“ mit acht Stellen für den betreffenden Hauptanschluss und zwei Stellen zur „lokalen“ Spezifikation der Endsysteme (Subadressierung), etwa belegt durch „20“ zum Erreichen des Cyber-Systems des Rechenzentrums.

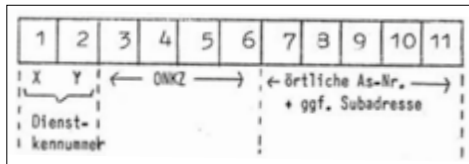
Nach erfolgreichem Aufbau einer X.25-Verbindung zwischen zwei Teilnehmern können diese über die zugeordnete(n) logischen Kanalnummern Datenpakete austauschen; die Verbindungsnummern (LCN) können dabei an den jeweiligen Netzzugängen der Endgeräte verschieden sein. Diese Pakete (s. „X.25-Datenpaket-Format“, [DyPrä]) kommen ohne Adressinformationen aus, enthalten neben der LCN und den Nutzerdaten (User Data) eine Formatkennung (GFI) sowie Empfangs- (P(R)) und Sendepaketnummernzähler (P(S)), die zur Organisation einer flexiblen Quittierung und Flusststeuerung über einen „Fenster-Mechanismus“ (Window-Verfahren) dienen.

Während bei einem einfachen „Stop-and-Wait-Mechanismus“, wie er z. B. von BSC-Prozeduren verwendet wird, in einer Übertragungsfolge ein Datenpaket erst gesendet werden darf, wenn der Empfang des vorangehend gesendeten positiv bestätigt wurde, bestimmt der Fenster-Mechanismus gemäß definierter Fenstergröße wie viele Quittierungen vor dem Senden eines weiteren Pakets ausstehen dürfen. Im Falle einer Fenstergröße von „2“ dürfen also zwei Pakete hintereinander versandt werden, ohne dazwischen auf eine Empfangsbestätigung warten zu müssen. Das „Beispiel zum Fenster-Mechanismus“ beschreibt die Kommunikation an der Schnittstelle zwischen DEE (ein Endgerät) und DÜE (X.25-)Netzwerk). Die DEE sendet hier zwei Datenpakete mit den nach „Modulo 8“ (Zahlen 0 – 7) gezählten Nummern „P(S)=0“ und (P(S)=1“) und wartet (erst dann) auf eine Bestätigung. Die Gegenseite zeigt durch ein Quittungspaket „RR“ (Receive Ready) über den Zähler „P(R)=2“ an, dass es die beiden Pakete empfangen hat und zum Erhalt eines dritten Pakets mit der Nummer „P(S)=2) bereit ist. Der Sender darf also nun entsprechend fortfahren.

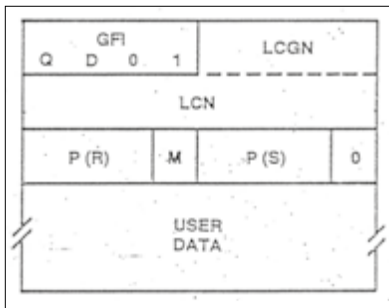
Der auch für das Datex-P gültige X.25-Standard von 1974 legte eine Fenstergröße von zwei (WindowSize = 2) fest und wurde später in X.25-80 um Möglichkeiten zur Verwendung der WindowSize=7 erweitert.



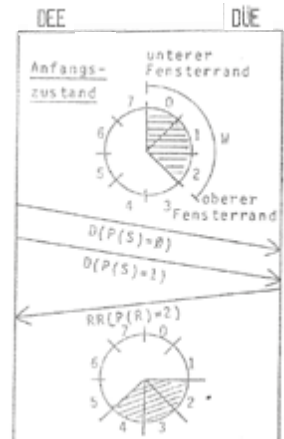
Struktur einer Datenrufnummer nach X.121



Nationale Rufnummern im DATEX-P-Netz



X.25 Daten-Paket-Format



Beispiel zum Fenster-Mechanismus

3.2.2 Netzaufbau und Komponenten

3.2.2.1 Netzknoten (X.25-Switche, Untervermittlungen)

Die Festlegungen zu X.25 beschreiben die Schnittstellen zwischen Netzwerk und Teilnehmer, lassen aber offen, wie ein solches Netzwerk intern realisiert ist. Die Netze nationaler Anbieter, so auch das 1980 in Betrieb genommene Datex-P der Deutschen Bundespost, wurden aus speziell entwickelten Vermittlungsrechnern aufgebaut (Datex-P: Hersteller Northern Telecom), die das X.25-Protokoll zum Kunden komplett abwickelten, und intern etwa Datenpufferungen oder Weiterleitungen über eigene Systemprogramme und Mechanismen, die den Teilnehmern nicht transparent waren.

Alternativ zu derartigen Knotenrechnern, die z. B. für das RRZE kaum erschwinglich oder betreibbar waren, kamen aber Anfang der 80er-Jahre bald auch „bezahlbare“, so genannte X.25-Switche mit vereinfachter Arbeitsweise auf den Markt. Sie stützten sich weitgehend auf die aktuelle Mikroprozessortechnik (z. B. Z80-Prozessoren) und waren als „handliche“ Tisch- oder 19“-Einbaugeräte ausgelegt. Diese Komponenten besaßen eine Reihe von X.25-Schnittstellen (auch als Ports oder Trunks bezeichnet), meist auf der physikalischen Ebene vom Typ X.21 (seriell, V.24, synchron), bis die zum Anschluss von Endgeräten, aber auch zum Zusammenschalten von Switchen untereinander genutzt werden konnten. Dadurch ermöglichten sie unter Verwendung (seinerzeit) üblicher Datenübertragungstechniken den Aufbau „beliebig“ strukturierter Netzwerke sowie die Bereitstellung von Teilnehmerzugängen.

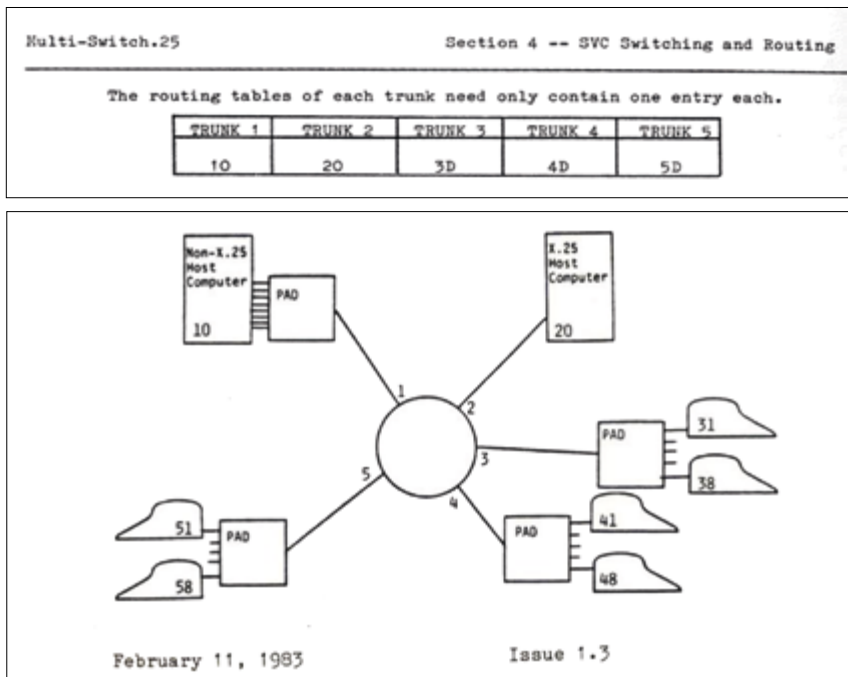
Die wesentlichen Arbeitsschritte solcher auch als Untervermittlungen bezeichneten Geräte im Rahmen eines auf X.25-basierenden Kommunikationsvorgangs lassen sich bezogen auf einen einzelnen Switch (im Erfolgsfall) wie folgt beschreiben:

- Erkennen und Interpretieren eines „Call_Request“-Pakets, d. h. einer (Verbindungsanforderung)
- Merken der Eingangsportnummer und der verwendeten logischen Kanalnummer bzw. der entsprechenden Zuordnung
- Bestimmung eines Ports zur Weiterleitung innerhalb des Switches an Hand der Zieladresse und portzugehörigen Routinginformationen durch Suche nach Übereinstimmung (Match) von Zieladresse und konfigurierten Portadresssmasken
- Weiterleiten des „Call_Requests“ als „Incoming_Call“ an gefundenen Port bzw. angeschlossenes Endgerät
- Merken der Zuordnungen von Quellport, -LCN, Zielport, -LCN)
- Annehmen von „Call_Accepted“ des Endgeräts, Senden von „Call_Connected“ an Initiator
- Anschließendes Vermitteln (Switchen) von Datenpaketen gemäß der gemerkten Zuordnungen (in beiden Richtungen)
- Erkennen, Bearbeiten einer Verbindungsauflösung, z. B. durch Signalisierung über Call_Clear und Löschung der Zuordnungen.

In einem Netzwerk zusammenschalteter Switche laufen die Vorgänge zum Aufbau einer Verbindung pro beteiligtem Switch in ähnlicher Weise ab, so dass letztlich ein Pfad bestimmt wird, auf dem die zugehörigen Datenpakete durch das Netz geleitet werden.

Das geschilderte Prinzip ist in einem einfachen Beispiel dargestellt, das dem Handbuch des ersten, am RRZE eingesetzten X.25-Switches (Multiswitch.25 der Firma Dynatech, [DyS25]) entnommen wurde. Das skizzierte Netzwerk besteht aus einem Switch (Kreis in der Mitte) mit fünf als Trunk bezeichneten X.25-Schnittstellen, die durch einen Rechner (X.25-Host-Computer) und verschiedene Anpasseinrichtungen

(PAD, s. Kap. 3.2.2.2) für asynchrone Endgeräte (Terminals und Non-X.25-Computer) belegt sind. Zur Adressierung der Teilnehmer dient hier ein zweistelliges Schema, das Routing ist über eine entsprechend konfigurierte Tabelle definiert. Demnach ist z. B. der X.25-Host Computer über die Adresse „20“ ansprechbar. Es kann aber auch etwa das Endgerät mit der Adresse „31“ (rechte Seite) durch Anruf der Adresse „58“ Verbindung mit dem Terminal links unten aufnehmen. Der Routingeintrag „5D“ zu „Trunk 5“ bedeutet, dass alle in der Adressangabe mit „5“ beginnenden Rufe dorthin geleitet werden (D bezeichnet Don't care), also auch die „58“ des Beispiels. Die Interpretation der „8“ in der Verbindungsanforderung und die korrekte Zustellung an das letztlich gemeinte Endgerät erledigt dann der an „Trunk 5“ angeschlossene PAD.

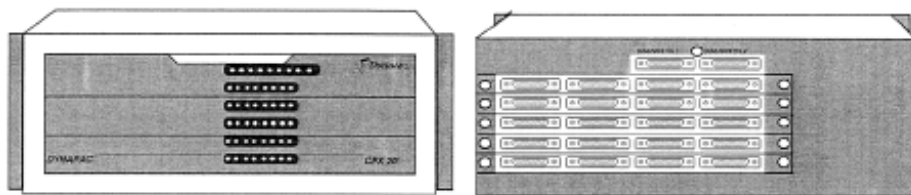


Beispiel von Struktur und Routing eines einfachen X.25-Netzwerks

Zur Konfiguration der Geräte, z. B. zur Definition der Routing Informationen, oder zum Abfragen von Statusinformationen stellen ihre Systeme eine spezifische Kommandosprache bereit. Diese konnte von einem Terminal sowohl „extern“ über einen dedizierten Managementport als auch „inline“ über eine X.25-Verbindung durch Aufruf einer Managementadresse genutzt werden. Die netzinterne Variante bot in

einfacher Weise die Möglichkeit zur entfernten Bedienung (Remote Management) der Komponenten des jeweiligen Netzwerks. So konnte z. B. im Rahmen des RRZE das Management des regionalen X.25-Netzes (s. Kap. 3.2.3) weitgehend von zentraler Stelle des Erlanger Rechenzentrums aus erfolgen.

Wie schon erwähnt, war der erste, am RRZE verwendete Switch vom Typ Multi-Switch.25 des amerikanischen Herstellers Dynapac bzw. der Dynatech Company in der Version eines Tischgeräts mit acht Trunks (acht Ports mit X.25-Schnittstellen). Spätere genutzte Versionen waren als 19“-Einbaugeräte realisiert. Die Schnittstellen des weitgehend auf „Z80-Mikroprozessor-Technologie“ basierenden Geräts konnten mit Geschwindigkeiten (synchron, V.24) bis zu 19.2 kbit/s betrieben werden, was zunächst den Anforderungen bzw. Möglichkeiten der Fernverbindungen des RRZE genügte, so dass etwa ab 1984 mit der schrittweisen Ablösung der statistischen Multiplexer (s. Kap. 2) begonnen werden konnte. Die nächste Switch-Generation verwendete Motorola 68000 als zentrale Prozessoren und war in der Lage, X.25-Trunks mit Geschwindigkeiten bis 64 kbit/s zu betreiben. Dazu gehörten dann auch die nach Anhebung der Übertragungstrecken am RRZE eingesetzten Switches CPX-20 von Dynatech (s. Abb. „X.25-Switch „CPX 20“: Vorderseite mit Status-LEDs, Rückseite mit Trunk-Schnittstellen“) sowie ECOM 25 des französischen Herstellers O.S.T. (Ouest Standard Télématique). Einen nächsten technologischen Sprung bedeuteten Entwicklungen des englischen Herstellers Netcomm, dessen Geräte Switch 2000 Übertragungsgeschwindigkeiten bis zu 2 Mbit/s realisierten. Zu dem ermöglichten sie verschiedene Manipulationen von Rufpaketen, etwa durch Veränderung der Zieladresse und erhöhten so u. a. die Flexibilität zur Gestaltung des Routings im Netz. Später wurde es auch möglich, über spezielle LAN-Einschübe (ECB-Modules) lokale Netze in das Netzwerk mit einzubeziehen und so Schnittstellen mit 10 Mbit/s zu bedienen. Wegen der für serielle Schnittstellen „hohen“ Übertragungsgeschwindigkeiten von 2 Mbit/s kamen Netcomm-Geräte nicht nur am RRZE, sondern auch im Rahmen von Datex-P und des X.25-Netzes (X.WiN) des DFN zum Einsatz.

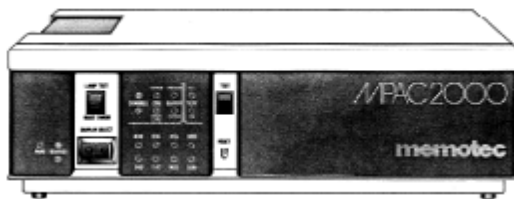


X.25-Switch „CPX 20“: Vorderseite mit Status-LEDs, Rückseite mit Trunk-Schnittstellen

3.2.2.2 Geräte zur Anpassung asynchroner Endgeräte (PADs)

Während in öffentlichen Paketnetzen, wie dem Datex-P die Zugänge für zeichenorientierte Endgeräte unter Beachtung der „Triple-X“ Definitionen über integrierte Dienste erfolgten (s. Abb. „DBP: „Vermittlungsprinzip DATEX-P“ in Kap. 3.2) kamen in „privaten“ Bereichen dedizierte Komponenten zum Einsatz, die auch als X.25-PAD bezeichnet wurden. Diese Geräte „handlicher“ Bauart besaßen neben einer X.25-Schnittstelle mehrere asynchrone Schnittstellen und ermöglichten so Verbindungen nicht X.25-fähiger Geräte mit dem betreffenden Netz. Diese Geräte arbeiteten nach den Empfehlungen X.3/X.28/X.29 und erlaubten nicht nur den Aufbau von Netzverbindungen auf Initiative angeschlossener Endgeräte, sondern auch die Annahme von Verbindungsanforderungen aus dem Netz und gezielte „Durchschaltung“ gemäß spezifizierter Zieladresse zu den jeweils gewünschten Endgeräten.

X.25-PAD waren früher verfügbar als X.25-Switche und dienten zunächst der Mehrfachnutzung von Schnittstellen an öffentlichen Netzen. So kam bereits 1979 ein PAD vom Typ MPAC2000 der Firma Memotec, ursprünglich für das Kanadische DATAPAC entwickelt, im Rahmen des Testbetriebs von Datex-P, als erstes X.25-fähiges Gerät am RRZE zum Einsatz (s. Kap. 2.4.6.3).



Erster X.25-PAD am RRZE

Neben den nach CCITT genormten Kommandos zum Setzen von Parametern, z. B. „set 2:1“ zum Einschalten eines lokalen Zeichenechos (s. Kap. 3.2.1.3), stellten die Komponenten auch verschiedene Befehle zur vereinfachten Bedienung bereit. Insbesondere erlaubten sie die Definition symbolischer Adressen, die vom Anwender bei Verbindungsanforderungen an Stelle numerischer Adressen in einem entsprechenden Befehl (z. B. im Befehl „Call“ oder „C“) angegeben werden konnten.

In einem Beispiel des RRZE zur Darstellung des prinzipiellen Zusammenhanges von „Terminals, PAD, X.25-Netz und Host (X.25-fähiger Rechner)“ ist u. a. skizziert, wie von einem Endgerät (Terminal) über das Kommando „C CNVE“ Verbindung zum Zentralrechner Cyber NOS/VE hergestellt werden konnte, der übrigens im RRZE-Netz aufgrund entsprechender Konfigurationen des Routings über verschiedene Adressen ansprechbar war (s. Kap. 3.2.3).

Grundsätzlich bestand auch die Möglichkeit in den Rechnern, höhere Protokolle im Sinne des ISO-/OSI-Modells auf X.25 aufzusetzen und darüber Rechner-Rechner-Kommunikationen abzuwickeln, so etwa zum Austausch von Dateien (Filetransfer). Aber trotz des Normungsaspekts kam diese Nutzungsart allenfalls ansatzweise zum Einsatz und hat sich aus verschiedenen Gründen weder national noch international durchsetzen können.

3.2.2.4 Komponenten weiterer Protokollanpassungen

Den Betreibern öffentlicher Paketvermittlungsnetzen war natürlich auch daran gelegen, Transferdienste für andere, seinerzeit vor allem im kommerziellen Bereich genutzte Protokolle anzubieten. Dies spiegelte sich zum Beispiel in den speziellen Schnittstellen- bzw. Dienstangeboten der Deutschen Bundespost Datex-P32 für IBM-Dialogsysteme (IBM 3270), Datex-P33 für Siemens-Dialogsysteme (8160, 9750) oder Datex-P42 für IBM-Stapelstationen (IBM 3780) wieder.

Im Rahmen des RRZE wurden entsprechende Funktionen über dedizierte Komponenten bereitgestellt, so diente z. B. im Zusammenhang mit der IBM-Anlage der Protopad X.25 von Dynatech zur Anpassung von Geräten der Familie IBM 3270 BSC.

Mit dem späteren Aufkommen und der Verbreitung des Internetprotokolls (IP), wurden X.25-Weitverkehrsnetze auch als Transportbasis zur Verknüpfung verteilter Internetbereiche genutzt. Dazu gehörten Realisierungen von Fernverbindungen für das Bayerische Hochschulnetz (BHN) oder der Datenaustausch zwischen Forschungseinrichtungen über das deutsche Wissenschaftsnetz (WiN). Zur Abbildung zwischen den unterschiedlichen Protokollwelten kamen als Komponenten vornehmlich dedizierte Komponenten (IP-Router) zum Einsatz, die u. a. mit X.25-Schnittstellen ausgestattet waren und die erforderlichen Anpassungen gemäß der Festlegung RFC 877 vornahmen (s. Kap. 4).

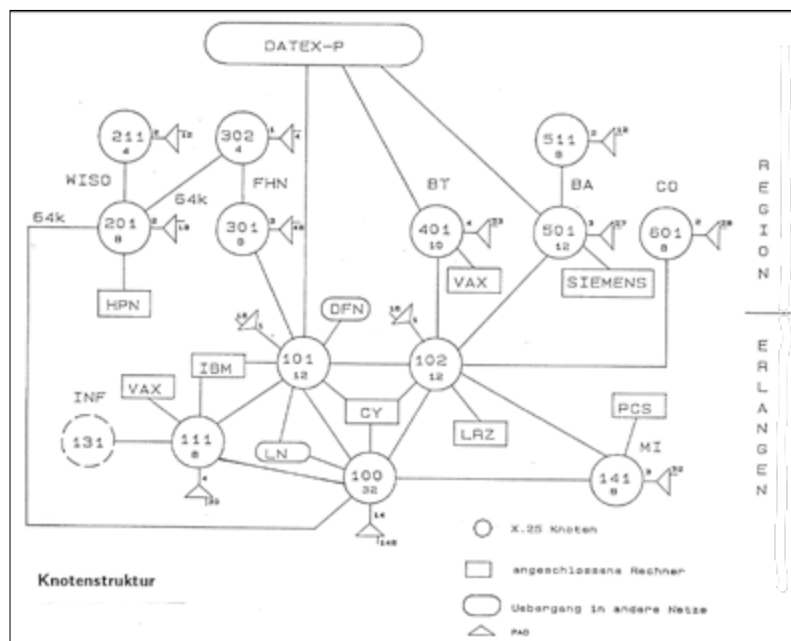
3.2.3 Das X.25-Netz des RRZE

Nach dem Testbetrieb Datex-P mit einem PAD (MPAC2000) wurden am RRZE erste Ansätze eines X.25-Netzes mit Hilfe eines Switches (Multiswitch.25 bzw. MSW.25-4) und eines PADs (Multipad.25 bzw. PAD.25-8) der Firma Dynatech erprobt. Mit der Konfiguration, die grob dem oben skizzierten Beispiel (s. Kap. 3.2.2.1) entsprach, konnten Zugänge zum Zentralrechner Cyber 845 (X.25-Host), der IBM 4361 (Non-X.25 Host) und verschiedenen anderen Systemen etwa in der Informatik bereit gestellt werden. Darüber hinaus wurden allen beteiligten Endgeräten nationale und internationale Kommunikation durch den Übergang in das öffentliche Netz ermöglicht.

Auf dieser Basis konnte etwa ab 1983 mit dem Aufbau eines regionalen X.25-Netzes und damit der schrittweisen Ablösung der Strukturen aus Zeit- und statistischen Multiplexern des RRZE (s. Kap. 2) begonnen werden. Diese Migration wurde unter Beibehaltung der vorhandenen Fernleitungen in 1986 abgeschlossen. Gemäß steigenden Anforderungen wurde das Netz weiter ausgebaut. Es bestand 1987 aus 13 Switchen und 45 PADs mit insgesamt 400 Endanschlüssen. Zum Einsatz kamen dabei vornehmlich Komponenten der Firma Dynatech der „1. Generation“ (Multiswitch.25, Multipad.25). Nach Verfügbarkeit des entsprechenden (HfD-)Dienstes der Deutschen Bundespost konnte dann die besonders stark beanspruchte Verbindung zwischen den FAU-Standorten in Erlangen und Nürnberg auf eine Übertragungsgeschwindigkeit von 64 kbit/s angehoben und durch den Einsatz entsprechend leistungsstärkerer Switche von O.S.T (ECOM 25) genutzt werden.

3.2.3.1 Netzstruktur

Der Aufbau des Netzes, d. h. die Verteilung von X.25-Knoten (dargestellt als Kreise) und PADs (dargestellt als Dreiecke) sowie ihre Verbindungsstrecken untereinander (dargestellt als Linien), ist in der Skizze „Regionales X.25-Netz“ aus dem Jahr 1987 beschrieben.



Regionales X.25-Netz, 1987

Die Standorte in der „REGION“ sind mit „WiSo“ (Wirtschafts- u. Sozialwissenschaftliche Fakultät Nürnberg), „FHN“ (Fachhochschule Nürnberg), „BT“ (Universität Bayreuth), „BA“ (Universität Bamberg), „CO“ (Fachhochschule Coburg) bezeichnet. „ERLANGEN“ bezieht sich auf den Bereich des Rechenzentrums im Südgelände und das „MI“ (Mathematisches Institut) in der Innenstadt.

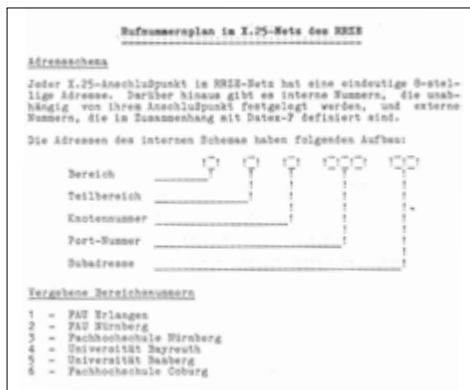
Während die Bereitstellung von Zugängen zu den Erlanger Zentralsystemen „CY“ (Cyber 845) und „IBM“ (IBM 4361) als Hauptaufgabe der Kommunikationsstruktur weiter im Vordergrund stand und in der Skizze durch redundante, lastverteilende Mehrfachanbindungen zum Ausdruck kommt, ist auch ein neuer, allgemeiner Netzcharakter an der Einbeziehung weiterer (Ziel-)Systeme und Übergänge zu erkennen. Beispiele hierfür sind die regionalen Rechner „VAX“ (Digital Equipment) in Bayreuth, „Siemens“ (BS 2000) in Bamberg, der Höchstleistungsrechner (Cray X/MP-24) im Münchner Leibniz Rechenzentrum (LRZ) sowie das lokale Campusnetz „LN“ (s. Kap. 3.2.4) oder das öffentliche Netz der Deutschen Bundespost „DATEX-P“.

3.2.3.2 Adressierung

Die (großen) Zahlen in den Kreisen des Bildes „Regionales X.25-Netz“ auf S. 84 bedeuten X.25-Knotennummern und sind auch Teile (erste drei Ziffern) eines internen, achtstelligen Adressschemas des RRZE. Durch einen streng hierarchischen Aufbau konnte die Erreichbarkeit jedes Endpunkts im Netz, z. B. eines bestimmten Ports an einem PAD, durch wenige (summarische) Routingeinträge in den Switchen konfiguriert werden (s. Kap. 3.2.2.1). In Erweiterung dieses topologischen Rufnummernplans wurden zusätzlich auch knotenunabhängige Adressen zum Anruf von Endsystemen, also ohne Bezug auf deren Anschlusspunkt(e), definiert.

Die Adressen des öffentlichen Datex-P-Netzes waren gemäß X.121 aufgebaut und bestanden für das RRZE aus einem fest zugeteilten Anteil (45913144) und zwei weiteren, vom Rechenzentrum frei zu vergebenen Ziffern (Subadressierung). Mit ihnen ließen sich, ähnlich wie über die internen, knotenunabhängigen Adressen, Systeme spezifizieren, die dadurch über die Grenzen des RRZE hinaus extern erreichbar waren und kommunizieren konnten.

Die Abbildungen aus einer Dokumentation des RRZE des Jahres 1987 auf S. 86 stellen den internen Rufnummernplan dar und zeigen tabellarisch ausgewählte Adressen in interner und externer Variante, einschließlich ihnen zugeordneter symbolische Namen, die z. B. in PADs statt der Ziffernfolgen zum Rufaufbau verwendet werden konnten.



RRZE-X.25-Internes Adressschema

Wichtige Adressen im X.25-Netz

Rechner	gängige Kurzwahl	Adresse	Datex-P Adresse
CDC CYBER 855	CY	1000020	4591314470
CDC, LRZ München	LRZ	1000028	-
IBM, BSC-Protokoll-Converter	IBM	1000015	4591314415
IBM, X.25 SIB 3270	IBMX	1000030	4591314420
DFN-Gateway, Übergang Datex-P	DFN	1000080	4591314480
LocalNet-Schnittstelle	LN	1000050	-
VAX, Informatik	VAX	1300060	4591314436
Informatik-Netz	IOO	1300080	4591314430
CADMUS, Mathem. Institut	MIB	1400010	4591314441
VAX, Bayreuth	BTHV	4000010	4592104825
Siemens BS2000, Bamberg	BAMS	5000010	4595103210

Ausgewählte Systeme und Adressen

3.3. Lokales Campusnetz (LAN) auf Basis eines Breitbandsystems (LocalNet20)

Neben den Möglichkeiten zur Gestaltung eines regionalen Weitverkehrsnetzes (Wide Area Network) verfolgte das RRZE auch verschiedene Entwicklungen im Bereich lokaler Vernetzungen (LAN). Hier standen zunächst Überlegungen zu einer flächendeckenden Versorgung der Technischen Fakultät bzw. des Erlanger Südgeländes (einschließlich der Informatik) mit Anschlüssen für Endgeräte mit asynchronen, seriellen Schnittstellen im Vordergrund. Darüber sollten z. B. Terminals, Mikrorechner, PCs, und verteilte Rechner mittlerer Datentechnik mit den Zentralsystemen, aber auch untereinander (wahlfrei) kommunizieren können. Wegen der Ausdehnung des Areals von bis zu 3.000 m erschien ein Breitbandsystem mit entsprechenden Anschlusskomponenten, etwa im Gegensatz zu seinerzeit in Ansätzen verfügbaren Basisbandtechniken (z. B. Ethernet) und deren begrenzten Reichweiten und starren Installationsvorgaben, dafür sehr gut geeignet. Die Breitbandtechnik, die in spezifischer Form auch beim Kabelfernsehen zum Einsatz kam, bot zudem für die Zukunft Perspektiven weiterer Nutzungsformen, etwa zur Videoübertragung oder zur Verbindung von Segmenten lokaler Netze anderer Techniken (LAN-Bridging).

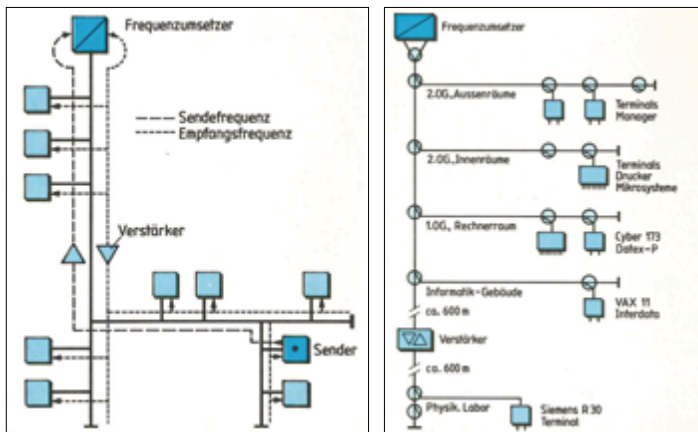
Ein Projekt zur Erprobung dieser LAN-Technik wurde 1982 bei der DFG beantragt, genehmigt und 1983 mit der Inbetriebnahme des ersten Ausbaus im Rechenzentrum und dem Informatikgebäude gestartet.

Nach positiven Erfahrungen mit dem Pilotbetrieb erfolgte ab 1984 der weitere Ausbau zum Campus-LAN im Erlanger Südgelände.

3.3.1 Grundlagen von Breitbandtechnik und LocalNet20

Das Übertragungsmedium der verwendeten Breitbandtechnik besteht aus einer baumförmigen Struktur von 75 Ohm Koaxialkabeln und einem speziellen Frequenzumsetzer an der Wurzel (Kopfstation, Head End), gezielt eingesetzten Signalverstärkern sowie Verzweigungs- und Anschlusselementen. Die dabei verwendeten Koaxialkabel sind, etwa im Vergleich zu denen der Basisbandtechnik („klassisches“ Ethernet, s. Kap. 4), flexibel und ohne größere Restriktionen zu verlegen. Sie ermöglichen so Verkabelungen von Gebäuden mit Anschlusspunkten in allen Räumen. Durch bedarfsgerecht installierte Verstärker kann die Reichweite des Netzes auf bis zu 3.000 m ausgedehnt werden und zu campusweiten, flächendeckenden Strukturen führen.

Die Übertragung bzw. Modulation von Datensignalen erfolgt in einem etwa 300 MHz breiten Frequenzband, das in der Mitte geteilt wird. Die untere Hälfte des Bandes dient zum Senden von Daten. Die gesendeten Signale werden von der Kopfstation in den oberen Bereich transferiert und können dort als Empfangsdaten verarbeitet werden. Im Rahmen dieses auch als Midsplit-Technik bezeichneten Verfahrens, lassen sich mehrere Unterbereiche (Kanäle) definieren, die jeweils ohne gegenseitige Beeinflussung parallel nutzbar sind. Ein Kanal mit einem definierten Sende- und abgeleiteten Empfangsfrequenzbereich stellt eine logische Bus-Struktur bereit, über die die gesendeten Daten alle Teilnehmer erreichen. Da während eines Sendevorgangs jeweils nur ein einziges Paket vom Medium übertragen werden kann, wird zur Vermeidung von Kollisionen der Zugriff über ein Verfahren (CSMA/CD) geregelt, das so ähnlich auch in Basisband-LAN (Ethernet) verwendet wird. Das grundsätzliche Schema ist in der Skizze „Bus mit Baumstruktur“ des langjährigen stellvertretenden Leiters des RRZE



Breitbandnetz: Bus mit Baumstruktur

RRZE-Pilotinstallation, 1983

Bernd Thomas [*Thom*] dargestellt, der als Elektrotechniker das Projekt im Erlanger Südgelände initiiert, geplant und maßgeblich durchgeführt hat.

Das am RRZE eingesetzte Breitbandnetz basiert auf Produkten der Firma Sytec (Cal., USA). Das betrifft sowohl „passive“, medienbezogene Geräte (z. B. Frequenzumsetzer oder Verstärker) als auch „aktive“ Netzkomponenten zum Anschluss von Endgeräten.

3.3.2 Netzkomponenten LocalNet20

Ein Breitbandnetz der beschriebenen Art stellt eine Infrastruktur bereit, die für verschiedene Zwecke genutzt werden kann. Für das RRZE stand die Nutzung der Breitbandstruktur zur Vernetzung von Endgeräten mit asynchronen, seriellen Schnittstellen im Vordergrund. Es sollten darüber also etwa Terminals (Sichtgeräte) oder PCs (über COM-Schnittstelle) mit den Zentralrechnern oder verschiedenen anderen verteilten Systemen wahlweise kommunizieren können. Hierzu bot die Firma Sytec mit seinem LocalNet20 (kurz: LN20) eine Lösung. Das Netzwerk für die Endgeräte wurde mit Hilfe spezieller Anschlussboxen realisiert, die das Breitbandmedium zur Übertragung nutzten, auf Anforderungen Verbindungen untereinander organisierten, Protokolle zum Datentransfer abwickelten und die seriellen Schnittstellen für die Endgeräte boten.

Die Boxen (T-Box, T-Mux, S-Mux) des LN20, die sich hauptsächlich in der Anzahl ihrer asynchronen Ports unterschieden (2, 8, 32), nutzten im Breitbandsystem einen gemeinsamen 128 KHz breiten Kanal als Datenbus (Geschwindigkeit ca. 128 kbit/s) und erlaubten serielle Anschlüsse mit Geschwindigkeiten bis zu 19.2 kbit/s. Datenübertragungen erfolgten gemäß Herstellerangabe über eine HDLC-Protokollvariante, die ebenso, wie die Organisation von Verbindungen oder sonstiger interner Vorgänge, als proprietär bzw. herstellerspezifisch zu bezeichnen war. Die Funktionalität der Boxen war grob mit denen der PADs im X.25-Kontext (s. Kap. 3.2) vergleichbar und erlaubten ebenso Parametrierungen der asynchronen Schnittstellen (z. B. Einstellungen von Flusssteuerung oder Echo-Verhalten) und natürlich die Formulierung von Verbindungswünschen (CALL-Befehl) durch Angabe numerischer, bis zu vierstelliger Adressen der Kommunikationspartner (s. Beispiele in „RRZE-LN20 / Bedienkommandos, ausgewählte Systeme und Adressen“ auf S. 89 aus [RZK87]).

Es sei bereits hier erwähnt, dass später noch andere Anschlusskomponenten hinzukamen, sog. T-Bridges, die im Kontext der dann aktuellen Netzstrukturen zur Verbindung verteilter (Ethernet-)LAN-Segmente eingesetzt wurden. Diese als LAN-Bridges funktionierenden Geräte vom Hersteller Siemens nutzten natürlich eigene Kanäle im verfügbaren Frequenzbereich der Breitbandstruktur.

```

Bedienelemente am LocalNet

1. Verbindungsanfrage durch
    CALL adresse <RET>
    Nach erfolgreichem Verbindungsanfragen erscheint
    # CALL COMPLETED TO ...
    (eingetragene Daten werden an den Partner geschickt (Transfer-Modus)).

2. Umschalten in den Kommando-Modus (je nach Einstellung)
    <ESC> <DEL>      oder      <BREAK>
    wenn erfolgreich, erscheint
    #
    als Prompt.

3. Verbindungsbeendigung (im Kommando-Modus)
    DONE <RET>
    Verbindungsbeendigung wird durch
    # SESSION 1 CLOSED TO...
    bestätigt.

4. Partnerstatus abfragen (im Kommando-Modus)
    STATUS <RET>

5. Umschalten vom Kommando- in den Transfer-Modus
    <RET>
    
```

Wichtige Adressen im LocalNet
=====

Adresse	Rechner
10	IBM, BSC-Protokoll-Converter
20	CYBER 855
30	VAX, Informatik
50	PAD, Übergang in das X.25-Netz
55	DFN-Gateway, Zugang zu Datex-P
1188	LocalNet-Anschluss (Nummernverzeichnis)

RRZE-LN20 / Bedienkommandos (li.), ausgewählte Systeme und Adressen (re.)

3.3.3 Das LAN im Campus Erlangen-Süd

Das Startprojekt zur Erprobung der Technik konzentrierte sich zunächst auf das Gebäude des Rechenzentrums, einen Serverraum im benachbarten Informatik-Hochhaus und schließlich einen Bereich im ca. 600 m entfernten physikalischen Labor (s. Skizze der „RRZE-Pilotinstallation“ in Kap. 3.3.1). Das Netz versorgte Terminals und Geräte mit Anschlüssen und bot Zugänge zur zentralen Cyber-Anlage sowie verschiedenen, „kleineren“, zunehmend mit dem Betriebssystem UNIX betriebenen Rechnersystemen im genannten Bereich. Innerhalb der Gebäude ließen sich die Kabel relativ einfach verlegen. Zur Überbrückung der „langen“ Entfernung zum Physikum konnten weitgehend vorhandene Kanäle der Universität verwendet werden, waren aber auch ergänzende Erdarbeiten erforderlich. In allen Fällen erwiesen sich die Koaxialkabel als „sehr duldsam“, d. h. z. B. tolerant gegenüber oft kaum vermeidbaren, engen Biegungen.

Der Pilotbetrieb leistete die erwarteten Funktionen und lief stabil, so dass die Erweiterung zu einem im Erlanger Südgelände flächendeckenden Netz durch Planung, Antragsstellung, Ausschreibung, Installation eingeleitet und schließlich 1987 vorläufig abgeschlossen werden konnte. Hierzu waren vielfältige Überlegungen und Arbeiten etwa zur konkreten Ausprägung der Kabelstruktur, elektrotechnischen Berechnungen zur Positionierung von Verstärkern, der Schaffung unterirdischer Trassen zwischen den Gebäuden oder der Verkabelung innerhalb der Gebäude erforderlich. Im Ergebnis der Verkabelung wurden „alle“ Büro- und Rechnerräume im Südgelände mit koaxialen

Erlangen (Südgelände)

..... Breitbandkabel

Physikum *braun*



Breitbandverkabelung im Campus Erlangen-Süd, LN20 1987

3.4 Überregionale Vernetzung

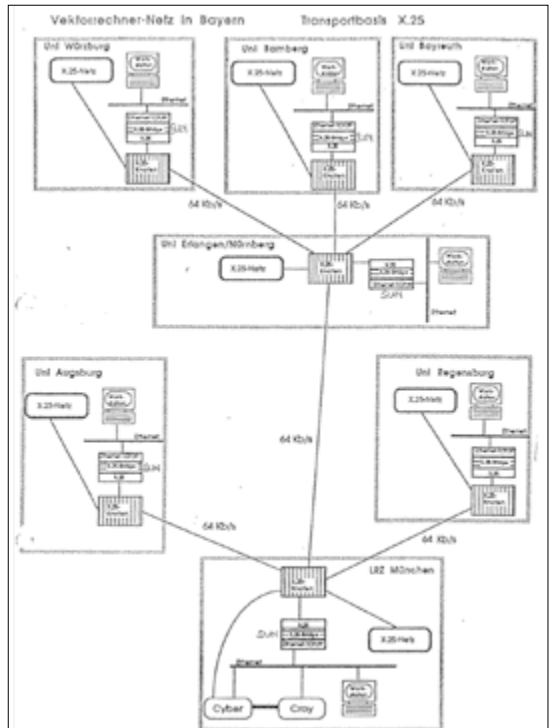
1988 war die Verkabelung des Erlanger Südgeländes im Wesentlichen abgeschlossen, das regionale X.25-Netz wurde laufend ausgebaut. Zur Überwachung der Funktionalität der umfangreichen Struktur wurde ein unterstützendes Netzmanagementsystem erforderlich, das schließlich mit dem Einsatz von NETCOM 1000 des Herstellers Netcomm konzipiert und realisiert werden konnte. Es entstand und stieg aber auch ein Bedarf an überregionalen Kommunikationsmöglichkeiten, also mit Partnern außerhalb des nordbayerischen, regionalen Verbundes, der mit dem Zugang zu Datex-P nur teilweise gedeckt werden konnte.

3.4.1 Bayerisches Hochschulnetz (BHN)

Mit der Installation eines Landesvektorrechners am Leibniz-Rechenzentrum in München, stellte sich die Aufgabe, dessen Nutzung allen Hochschulen des Landes Bayern zu ermöglichen, d. h. entsprechende Zugänge zu schaffen. Die Lösung bestand zunächst im Aufbau eines landesweiten X.25-Netzes, in dem die Knoten der verschiedenen Hochschulstandorte über gemietete Standleitungen (HfDs der DBP) von 64 kbit/s untereinander bzw. mit München verbunden wurden, Struktur und beteiligte Institutionen sind in der Skizze „Netzstruktur Bayerisches Hochschulnetz (BHN), 1988“ dargestellt. Für das RRZE bedeutete das BHN zunächst eine landesweite Erweiterung seines regionalen Netzwerkes. Nach der Verfügbarkeit des ebenfalls auf X.25 beruhenden, ersten deutschlandweiten Wissenschaftsnetzes (WiN, s. Kap. 3.4.2) konnten darüber auch die bayerischen Verbindungen realisiert werden. In diesem kostengünstigeren Modell entfielen die betreffenden Standleitungen und ein Teil der betrieblichen Verantwortung ging etwa 1990 an den DFN-Verein über. Das BHN profitierte dadurch auch von Entwicklungen der Netzwerkbasis des WiN, wie z. B. Anhebungen von Übertragungsgeschwindigkeiten ohne Tarifierhöhungen.

Verschiedene Ansätze zu einer wieder eigenen Hochgeschwindigkeitsvernetzung (Bavarian Highspeed Network) mit gemieteten Fernverbindungen bis zu 140 Mbit/s sowie Zusammenführungen von WAN- und LAN-Techniken über X.25 wurden zwar diskutiert, aber aus verschiedenen Gründen nicht umgesetzt.

Während die Teilnehmer mit ihren eigenen Strukturen und Anbindungen im Laufe der Zeit weitgehend eigenständig wurden, besteht das BHN heute noch als loser Zusammenschluss der bayerischen Universitäten und Fachhochschulen. Der Verbund dient u. a. dem Erfahrungsaustausch, der Zusammenarbeit oder der Durchführung gemeinsamer Projekte im IT- und Kommunikationsbereich. Dabei sorgen vornehmlich das LRZ (Süd-Bayern) und das RRZE (Nord-Bayern) für die erforderliche Koordination. Das BHN feierte übrigens aktuell sein 30-jähriges Bestehen [BHN30].



Netzstruktur Bayerisches Hochschulnetz (BHN), 1988

3.4.2 Wissenschaftsnetz (WiN)

Der 1984 gegründete Verein Deutsches Forschungsnetz befasste sich zunächst vorrangig mit der Standardisierung von Kommunikationsprotokollen zwischen Rechnern unterschiedlicher Hersteller und der Entwicklung von Netzanwendungen, etwa im Bereich elektronischer Post oder grafischer Datenverarbeitung. Ende der 80er-Jahre befasste man sich dann mit der Projektierung eines eigenen Netzes, das Großforschungseinrichtungen und Hochschulen zur Nutzung offen stehen sollte. Verhandlungen mit der Deutschen Bundespost führten schließlich zum Aufbau eines auf X.25 basierenden Netzwerks, das dem Datex-P ähnlich, im Vergleich dazu aber leistungsfähiger war (Anschlüsse bis 64 kbit/s statt „nur“ 9.6 kbit/s) und vor allem aber ein nutzungsunabhängiges Tarifmodell mit fixen, kalkulierbaren Anschlusskosten bot. Dieses sogenannte X.25-Wissenschaftsnetz startete 1989 und wurde bald zum bestimmenden Netzwerk innerhalb der Deutschen Wissenschaft. Es wurde mit der Öffnung der neuen Bundesländer entsprechend erweitert (ErWiN: Erweitertes WiN) und zudem neueren technischen Möglichkeiten angepasst (z. B. Anschlüsse bis 2 Mbit/s).

Über Deutschlands Grenzen hinaus war das WiN auch mit dem paneuropäischen Netzwerk IXI (International X.25 Interconnect) verbunden und bildete so einen Teil dieser internationalen Vernetzung im Wissenschaftsbereich, die ihren Betrieb 1990 aufnahm.

Das Wissenschaftsnetz wurde in dieser Form bis Ende der 90er-Jahre betrieben und im Laufe der Jahre durch andere technische Realisierungen ersetzt. Triebkräfte waren dabei vor allem immer weiter steigende Leistungsanforderungen (Durchsatz, Anschlussgeschwindigkeiten) sowie eine allgemeine Ablösung von X.25 durch das Internetprotokoll (IP) als bestimmende Netzwerkschicht. Dabei durchlief es als B-WiN (Breitband-WiN, ATM), G-WiN (Gigabit-WiN, Gigabit-Ethernet) und X-WiN im Laufe der Jahre ähnliche Entwicklungsstufen, wie das in den folgenden Kapiteln weiter beschriebene regionale Weitverkehrsnetz des RRZE [JESS].

3.4.3 Datex-P (International)

Wie oben beschrieben, betrieb das RRZE auch einen Übergang von seinem regionalen X.25-Netz zum Datenpaketvermittlungsnetz der Deutschen Bundespost. Da das Datex-P im Gegensatz zum RRZE-Netz nutzungsabhängige Kosten verursachte (Gebühren für jeweilige Sitzungsdauer und übertragene Datenmengen), entwickelte das RRZE mit Unterstützung des DFN-Vereins ein Kontroll- und Abrechnungssystem (Accounting-Box), das pro Sitzung eine Benutzeridentifikation anforderte, anfallende Gebühren dynamisch bestimmte, diese transparent machte und der Benutzerverwaltung des Rechenzentrums zuführte. Auf diese Weise konnte der Datex-P-Dienst den Nutzern des RRZE allgemein angeboten, individuell abgerechnet und so in kontrollierbarem Rahmen gehalten werden (s. Präsentation bei der IEEE, [IEEEAc]).

Die Nutzung von Datex-P ermöglichte aber nicht nur Kommunikationen innerhalb des nationalen Rahmens von Deutschland. Das Netz der Deutschen Bundespost wurde im Laufe der Zeit mit immer mehr vergleichbaren Netzen international verknüpft und eröffnete so auch dem RRZE weltweite Kommunikationen, wie etwa Dialoge mit entfernten Serversystemen auf Basis der Triple-X-Normung (X.3/X.28/X.29). Allerdings fielen dabei zusätzliche, je nach Zielland spezifische Auslandsgebühren an, also höhere Kosten, als für den Inlandsverkehr. Die Accounting-Box des RRZE hat diese Unterschiede berücksichtigt, also seine Gebührenermittlung entsprechend angepasst.

Die Skizze „Internationale Verkehrsbeziehungen Datex-P“ aus einer Broschüre der Deutschen Bundespost des Jahres 1989 stellt die seinerzeitige, globale Verbreitung des Netzwerkes dar.



Internationale Verkehrsbeziehungen DATEX-P

3.4.4 EARN/Bitnet

Einen anderen Ansatz zur nationalen und internationalen Kommunikation bot das „European Academic and Research Network“ (EARN), das vom Hersteller IBM propagiert, gefördert und Anfang 1984 gestartet wurde (s. [Hult]). Das Netzwerk wurde durch Verbindungen von Großrechnern über Standleitungen der Geschwindigkeiten 2.4 bis 9.6 kbit/s gebildet, die in diesem Rahmen u. a. Protokollabwicklungen und Vermittlungsfunktionen als (zusätzliche) Aufgaben übernahmen. Durch Verbindungen mit weiteren Netzen gleicher Technologie, wie zum bereits 1982 gestarteten Bitnet in den USA, wurde die Reichweite auch über den (West-)Europäischen Raum hinaus ausgedehnt.

Das Netzwerk bot seinen Anwendern verschiedene Kommunikationsdienste, wie etwa zum Transfer von Dateien (Filetransfer), entferntem Rechnerzugang (Dialog, Datenserver) oder zum Austausch von Nachrichten (Electronic Mail).

Das RRZE war ab 1985 durch eine Verbindung seiner Cyber 855 zum deutschen, Zentralknoten in Darmstadt (DEARN) in das Netzwerk integriert, und eröffnete damit seinen Benutzern vor allem erstmals die Möglichkeiten eines internationalen Mailverkehrs.

Durch seine Konstruktion und die Bindung an herstellerepezifische Protokolle und Schnittstellen von IBM hatte das EARN einen gewissen, geschlossenen Charakter und war so nicht zur „offenen“ Kommunikation von Systemen (z. B. über genormte Protokolle) geeignet. Es stellte somit eine „einfach verfügbare“ Zwischenlösung dar, die im Wissenschaftsbereich durch Aktivitäten (Normungsbestrebungen, Protokollentwicklungen usw.) des DFN-Vereins und dem Aufbau des WiN (s. Kap. 3.4.1) schließlich von standardisierten Konstrukten abgelöst wurde.

3.5 Infrastruktur und dezentrale Vernetzungen

Das auf X.25 basierende, regionale Weitverkehrsnetz (WAN) mit seinen nationalen und internationalen Verknüpfungen sowie das Campus-LAN im Erlanger Südgelände bildeten für die beteiligten Institutionen eine umfassende Infrastruktur zur Datenkommunikation. Darüber hinaus entwickelten sich auch verschiedene dezentrale Strukturen zur engen Verknüpfung lokaler Systeme, wie etwa durch Bildung dedizierter Netze für immer mehr Verbreitung findende Personal Computer (PCs) oder Kopplungen von UNIX-Systemen.

3.5.1 Kommunikation über asynchrone Schnittstellen

Obwohl die Netzinfrastruktur prinzipiell Verbindungen „jeder-mit-jedem“ ermöglichte, zählte die Bereitstellung von Zugängen zu den zentralen Systemen, ab 1988 Cyber NOS/VE und IBM 3090-120, immer noch zu den wichtigsten Aufgaben des RRZE. Dabei bestand die hauptsächliche Nutzungsform im Führen von Dialogen über Terminals (Bildschirmgeräte) und dynamisch aufgebaute Netzverbindungen mit den Zentralrechnern. Die mit asynchronen, seriellen Schnittstellen mit Anschlussgeschwindigkeiten bis zu 19,2 kbit/s ausgestatteten Terminals orientierten sich in ihren Eigenschaften in der Regel an einem von Digital Equipment (DEC) definierten Mustertyp VT100, der über rein zeilenbezogenen Datentransfer auch ein gewisses, bildschirmorientiertes Arbeiten, etwa über lokale Editierfunktionen, erlaubte.

Diese Kommunikationsform konnte auch von Mikrorechnern oder PCs genutzt werden, die unter Einsatze sogenannter Emulationsprogramme sich wie Terminals der genannten Art verhalten konnten. Zudem enthielten diese Programme Ergänzungen, die unter Nutzung von Dialogverbindungen und Ausführung spezieller Protokolle auch den Austausch von Dateien (Filetransfer) möglich machten. Dies galt für die Bezie-

hungen zwischen „kleinen“ Endsystemen (z. B. PCs) und „großen“ Zentralrechnern (z. B. Cyber) ebenso, wie für die von Endsystemen untereinander, sofern die beteiligten Partner jeweils gleiche Protokolle einsetzten. Eines der bekanntesten und am RRZE am meisten verwendeten Emulationsprogramme hieß „Kermit“, das auf vielen Systemen unterschiedlicher Größe und Bauart verfügbar war, und somit im Zusammenhang mit der Netzinfrastruktur flexible Möglichkeiten des Datenaustauschs bot.

3.5.2 Lokale PC-Netze

Neben der oben beschriebenen Kommunikationsform für Dialoganwendungen und Filetransfer entstand auch der Bedarf an engeren Verknüpfungen innerhalb weitgehend abgeschlossener Mengen von Einzelplatzsystemen. Hierbei spielten z. B. Aspekte einer übergreifenden Systempflege, der Nutzung gemeinsamer Ressourcen (etwa Drucker oder Plattenspeicher) sowie damit verbundener Anforderungen an Übertragungsleistungen eine Rolle, die die asynchronen Verfahren nicht erbringen konnten. Man denke hier z. B. an die Gestaltung von Schulungsräumen, die nur mit einer entsprechenden lokalen Vernetzung der Arbeitsplätze effektiv erfolgen konnte.

Während im Bereich der Einzelplatzsysteme die PCs von IBM (Prozessor Intel 8080, Betriebssystem MS-DOS) und dazu kompatible Rechner anfangs konkurrierende Mikroprozessorsysteme auch im Rahmen des RRZE weitgehend verdrängten, gab es von den Herstellern zunächst sehr verschiedene, spezifische Ansätze zur Bildung von Netzen, die bezüglich Netzsystem, Protokoll und Technik nicht miteinander kompatibel waren.

Einen großen Schub zur Beschaffung von PCs und der Bildung lokaler Gerätepools erzeugte das vom Bund geförderte Computer-Investitions-Programm (CIP), an dessen Start 1985 auch die FAU mit fünf Einrichtungen beteiligt war (s. Tabelle „Beteiligung der FAU am CIP“, S. 98). Das auch in den folgenden Jahren weiter geführte Programm sollte vor allem praxismgerechte Ausbildungen voranbringen und helfen, entsprechende Rückstände z. B. im Vergleich zu amerikanischen Verhältnissen zu verringern.

Das Rechenzentrum selbst verwendete in diesem Zusammenhang IBM-kompatible Systeme Olivetti M24, die auch sonst vorrangig eingesetzt wurden, und vernetzte sie mit dem proprietären Netzsystem 10Net, das über verdrillte Doppeladern abgewickelt wurde und Übertragungsgeschwindigkeiten bis zu 10 Mbit/s realisierte. Ein solches Netz enthielt (mindestens einen) Server-PC der Anwenderprogramme und Netzfunktionen verwaltete.

Zusammen mit den Pools von Einrichtungen der FAU und anderer Hochschulen des RRZE entstanden so dezentral betriebene Netzinseln auf der Basis verschiedener Techniken. Ein Teil war völlig isoliert, ein anderer aber auch mit Übergängen zur

regionalen Infrastruktur versehen. Die unterschiedlichen Realisierungen konnten zu Vergleichen und dem Sammeln von Erfahrungen im Umgang mit den zu dieser Zeit neuen Möglichkeiten genutzt werden.

Einrichtung	Arbeitsplatz- anzahl	Gerätetyp (Vernetzung)
Erziehungswissenschaftliche Fakultät	9	IBM PC AT (IBM PC Network)
Naturwissenschaftliche Fakultät I*	16	Tekleo Microsys (Verbindung über serielle Schnittstellen) PCU Cadmus 9500 (Ethernet)
Philosophische Fakultät II	13	Siemens PC 16-C5, PC 16-15 (IBM PC Network)
Rechenzentrum	30	Olivetti M24 (iGNet)
Wirtschafts- und Sozialwissensch. Fakultät	16 27	IBM PC AT, Siemens PC 16-C5, PC 16-15 (IBM PC Network)

*Beteiligung der FAU
am CIP, 1985*

3.5.3 Lokaler Verbund von UNIX-Systemen

Die Erlanger Informatiker bzw. der Lehrstuhl für Betriebssysteme befasste sich stark mit UNIX-Systemen und deren kommunikationstechnischer Verknüpfung. Dazu entwickelten sie den Rechnerverbund REVUE (s. Kap. 3.3.3), der zum einen die Netz-Infrastruktur des RRZE nutzte, zum anderen aber auch mit dem Ethernet eine neue lokale Netztechnik erprobte. Neben Emulationsprogrammen, wie „Kermit“, kamen dabei Protokolle des UUCP (UNIX to UNIX Copy Protocol) und später auch erste Anwendungen der Internetprotokolle (IP) zum Einsatz (s. Kap. 4).

3.6 Ausbau und Entwicklung der Netzinfrastruktur

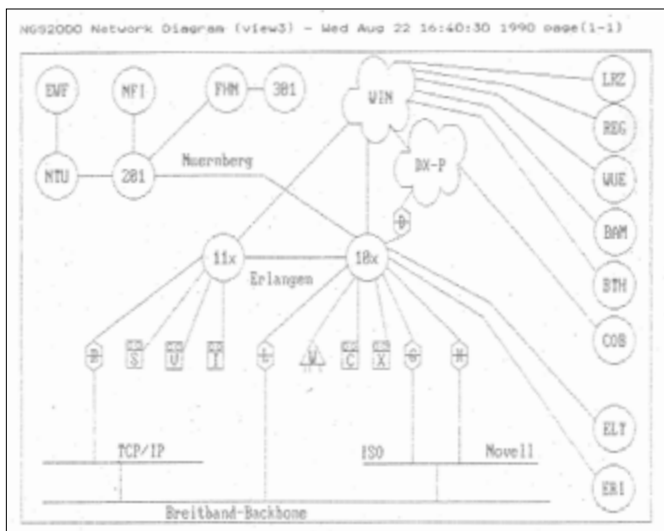
Die Entwicklung des Kommunikationsnetzes wurde Ende der 80er-Jahre geprägt durch Erweiterungen um zusätzlich Anschlusspunkte und Standorte, Leistungsverbesserungen bestehender Strukturen sowie der Berücksichtigung neu aufkommender Netztechnologien durch passende Übergänge oder spezifische Transportmechanismen.

3.6.1 Ausbreitung und Wachstum

Die Reaktion auf einen steil ansteigenden Kommunikationsbedarf lässt sich an der Zahl der Endgeräteanschlüsse ablesen. Wurden im Ausbaustand von 1987 schon 400 Geräte am regionalen X.25-Netz und 250 am Campusnetz LN20 bedient, so hatten 1988 bereits 600 Geräte über X.25 bzw. 400 Geräte über LN20 und 1989 über 1.000 Geräte über X.25 bzw. 480 Geräte über LN20 Zugänge zur Netzinfrastruktur.

Um den Betrieb der wachsenden Struktur im Griff zu behalten, wurde am RRZE 1988 ein flexibles Netzwerkmanagementsystem (NGS2000 der Firma Netcomm) eingeführt, das sowohl die Funktionalität von Komponenten des gleichen Herstellers als auch der anderer Fabrikate überprüfen und grafisch/farblich über sogenannte Views an einem PC präsentieren konnte.

Ein Beispiel dafür gibt die folgende Abbildung „Netzstruktur gemäß Management-system NGS2000, 1990“ mit der Darstellung der Grobstruktur des Kommunikationsnetzes. Wie im gezeichneten Netzbild „Regionales X.25-Netz“ aus dem Jahr 1987



Netzstruktur gemäß Management-system NGS2000, 1990

(s. Kap. 3.2.3.1) sind auch hier die X.25-Knoten als Kreise dargestellt, teilweise statt ihrer Knotennummern mit bezeichnenden Textstrings beschriftet, z. B. mit „NTU“ (Nürnberg Tuchergelände) statt „201“ oder „BTH“ (Bayreuth) statt „401“. Zudem sind die Erlanger Knoten hier summarisch zu Kreisen mit den Bezeichnungen „10x“ bzw. „11x“ zusammengefasst. Die Grafik enthält neu hinzugekommene Knoten in der Erlanger Innenstadt („ERI“) und Erlangen-Eltersdorf („ELT“) und zeigt, wie die regionalen Standorte des RRZE sowie andere Teilnehmer des Bayerischen Hochschulnetzes („BHN“) über das Wissenschaftsnetz („WiN“ bzw. X-WiN) des DFN-Vereins mit dem RRZE bzw. untereinander verbunden waren. Im Erlanger Bereich sind die Zugänge zu zentralen Systemen wie der Cyber 995E-NOS/VE („C“), der IBM 3090-120-VM/XA („I“) oder der (Informatik-)VAX („V“) sowie Übergänge zum Campus-LAN LocalNet20 (L, „Breitband-Backbone“) und ersten LAN-Segmenten mit Ethernet-Technik (s. Kap. 3.6.3 und 4) symbolisch dargestellt.

3.6.2 Leistungssteigerung

Mit der steigenden Zahl von Netzteilnehmern und Erweiterungen des Nutzungsspektrums stiegen auch die Anforderungen an die Leistungsfähigkeit der Kommunikationsinfrastruktur. Dies bezog sich vor allem auf die die Erhöhung von Übertragungsgeschwindigkeiten.

Hierzu konnte am RRZE durch den Einsatz neu verfügbarer X.25-Komponenten der englischen Firma Netcomm eine deutliche Steigerung erreicht werden. Während zuvor die maximalen Geschwindigkeiten über (serielle) X.25-Schnittstellen bei 128 kbit/s lagen erlaubten die neuen Switche (Switch 2000) und PADs (PAD 2000) Übertragungen mit 2 Mbit/s.



Netcomm-X.25: „Switch 2000“ (li.) und „PAD 2000“ (re.) mit 2 bzw. 10 Mbit/s

Darüber hinaus konnten die Geräte mit Ethernet-Boards (ECB) ausgestattet werden, die das X.25-Protokoll mit 10 Mbit/s abwickelten oder auch andere Verknüpfungen zwischen WAN- und LAN-Technologien herstellten (s. Kap. 3.6.3 und 4). Die unteren Abbildungen der Geräte sind seinerzeitigen Prospekten der deutschen Vertriebsfirma Pan Dacom entnommen.

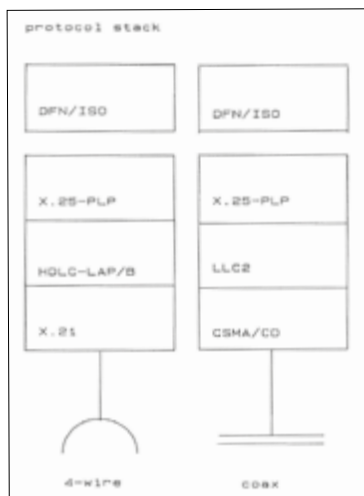
Einen anderen Aspekt der Leistungssteigerung boten diese Komponenten durch die Realisierung des (neueren) Standards „X.25-84“. Dieser erlaubte z. B. durch die Spezifikation entsprechender Leistungsmerkmale (Facilities) beim Rufaufbau (Call) etwa die Verwendung „größerer“ Datenpakete (z. B. 1024 statt 128 Zeichenlänge) oder flexiblerer Quittierung durch Einstellung höherer Fenstergröße (z. B. Windowsize 7 statt 2), wodurch verschiedene Transfervorgänge deutlich beschleunigt werden konnten. Die Netcomm-Komponenten bildeten übrigens auch die Basis des ab 1990 vom DFN-Verein aufgebauten X.25-Wissenschaftsnetzes und leisteten dann nach der Wende bei der Netzversorgung der neuen Bundesländer im „Erweiterten Wissenschaftsnetz“ wertvolle Dienste.

Das RRZE hat in 1990 sein X.25-Netz vor allem durch weitgehenden Austausch der Knoteneinrichtungen entsprechend umgestaltet und auf einen höheren Leistungsstand gebracht. Dabei kamen ebenfalls neu verfügbare Übertragungseinrichtungen zum Einsatz, mit denen unter Nutzung der Telefonverkabelung innerhalb der Erlanger FAU ziemlich problemlos Übertragungstrecken von 2 Mbit/s realisiert werden konnten. Auch die bedeutende Fernverbindung zur WiSo-Fakultät in Nürnberg (Standort Lange Gasse) konnte durch Anmietung entsprechender HfD der Deutschen Bundespost auf 2 Mbit/s angehoben werden. Mit dem Ausbau des X.25-Wissenschaftsnetzes waren dann auch die Anschlüsse innerhalb Bayerns bzw. des BHN in dieser Geschwindigkeitsklasse verfügbar.

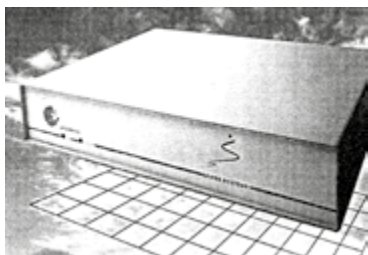
3.6.3 X.25 in lokalen Netzen (X.25 über Ethernet)

Das X.25-Protokoll, genauer die Paketschicht 3 (PLP), stützte sich in geübter Praxis und seiner ursprünglichen Definition (s. Kap. 3.2.1.2) auf das Linkprotokoll HDLC (Schicht 2) und serielle Datenübertragung über Schnittstellen X.21bis (V.24) oder X.21 (Schicht 1). Dabei wurden größere Entfernungen mit Hilfe „konventioneller“ Methoden der Datenfernübertragung überbrückt. Insofern diente dieses Netzwerkprotokoll der Realisierung von Weitverkehrsnetzen. Mit dem Entstehen lokaler Netze und damit verbundenen Techniken stellte sich auch die Frage nach Möglichkeiten zur Verknüpfung dieser beiden Netzarten, nicht zuletzt, um die Geschwindigkeitsvorteile von LAN (z. B. 10 Mbit/s im Vergleich zu 2 Mbit/s) in eine WAN geprägte Infrastruktur einzubringen.

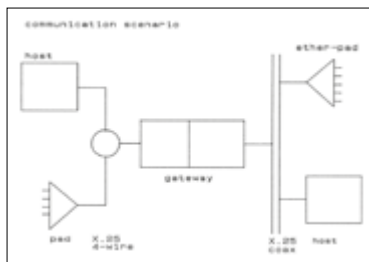
Hierzu gab es einen „eleganten“, standardisierten Ansatz (ISO: ENV 44103), der unter Beibehaltung der Paketschicht als untere Schichten ein angepasstes Sicherheitsprotokoll (Linkprotokoll LLC2) sowie das über Koaxialkabel realisierte Medium Ethernet (s. Kap. 4) zur Bitübertragung einsetzte. Ein Übergang (Gateway) zwischen WAN und LAN konnte dabei auf der Netzwerkschicht (Paketebene) sehr effizient gestaltet werden, ohne darüber liegende Protokolle (in der Abbildung „Protokollhierarchien von



Protokollhierarchien von X.25 bzgl. WAN (4-wire) und LAN (coax)



Spider-PAD, Terminalserver (X.25)



Verknüpfung von X.25-WAN (4-wire) und X.25-LAN (coax) über Gateway

X.25 bzgl. WAN (4-wire) und LAN (coax)“ durch DFN/ISO repräsentiert) betrachten oder bearbeiten zu müssen. Anders ausgedrückt konnten betreffende Endsysteme über X.25 bzw. darauf aufsetzende, höhere Protokolle unabhängig von der Art ihres physischen Netzanschlusses kommunizieren.

Dieser Ansatz wurde vor allem in Großbritannien intensiv verfolgt und im dortigen Hochschulnetz JANET (Beschreibung: Pink Book Protocol) in die Praxis umgesetzt. In diesem Zusammenhang entstanden Implementierungen für verschiedene Rechnersysteme und spezifische Netzkomponenten, wie PADs für asynchrone Terminals (X3/X.28/X.29-Dialog) oder X.25-Vermittlungseinrichtungen (Gateways) zwischen den beiden Netzwelten. Das RRZE hat diese Technik etwa ab 1987 in seinem lokalen Bereich eingeführt. Dabei kamen Geräte der Firma Spider Systems (Terminalserver: Spider-PAD (s. Abb. S. 102 „Spider-PAD, Terminalserver (X.25)“), Gateway: Spider-Gate) sowie die oben erwähnten X.25-Switche von Netcomm (s. Kap. 3.6.2) mit entsprechenden Ethernet-Einschüben (ECB-Cards) zum Einsatz. Ebenso konnten die zentralen Großrechner von CDC und IBM durch verfügbare Hard- und Softwareausstattung „direkt“ an das X.25-Ethernet-LAN angeschlossen werden und damit die Kapazitäten und Durchsätze in Ergänzung/Ersatz zu den seriellen Zugängen stark gesteigert werden.

Die Abbildung „Verknüpfung von X.25-WAN und X.25-LAN“ zeigt als Beispiel eine einfache Konfiguration mit der Verbindung eines X.25-WANs (linke Seite) einem X.25-LAN (rechte Seite) über ein Gateway sowie auf jeder Seite einen Terminalserver (pad bzw. ether-pad), die „beliebig“ miteinander kommunizieren können.

Das RRZE hat mit dem Betrieb von „X.25 über Ethernet“ und der Verknüpfung von WAN- und LAN-Techniken gute Erfahrungen gemacht. Dennoch hat sich die Technik in den folgenden Jahren aus verschiedenen Gründen nicht allgemein durchsetzen können. Hierzu trugen z. B. die zeitlich parallel aufkommende Verbreitung der „einfachen“ Internetprotokolle (TCP/IP, s. Kap. 4) und damit verbundener LAN-Konstrukte wesentlich bei, die dann u. a. auch die „komplexeren“, höheren ISO-Protokolle vom Markt verdrängten.

3.7 Stand und weitere Entwicklung

Die generelle und insbesondere für die Universität ständig wachsende Bedeutung der IT-Technik stellte auch entsprechend steigende Anforderungen an die Kommunikationsinfrastruktur z. B. bezüglich Ausbreitung (flächendeckende Versorgung), Leistungsstärke (Performanz, Übertragungsgeschwindigkeit) oder Dienstspektrum (Dialog, Dateiaustausch, Elektronische Post). Das RRZE verfolgte daher neben Betrieb und Pflege des jeweils aktuellen Netzwerks auch allgemeine Entwicklungen der Kommunikationstechnik mit der Prüfung auf ihre Einsatztauglichkeit in seinem Kontext.

Auf der Ebene der Übertragungsmedien (ISO-Schichten 1/2) sind hier aufkommende LAN-Techniken auf Basis von Koaxial-(Ethernet) oder Glasfaser (FDDI, Fiber Distributed Data Interface) zu nennen, die bereits zum Teil im Rahmen dezentraler lokaler Netze (s. Kap. 3.5) Verwendung fanden, die aber auch in größeren Einheiten, wie etwa einer Grundversorgungsstruktur (Backbone) innerhalb Erlangens, Bedeutung erlangen sollten (s. Kap. 4). Das RRZE plante dazu 1989 vorausschauend eine neue Verkabelungsstruktur und beantragte deren Realisierung über ein Netzwerk-Investitions-Programm (NIP I), mit dessen Umsetzung dann etwa 1992 begonnen werden konnte.

Die regionale Kommunikationsinfrastruktur des RRZE, einschließlich seiner über-regionalen Anbindungen (WiN, Datex-P) und manchen lokalen Erweiterungen (X.25-Ethernet), wurde auf der Netzwerkebene (ISO-Schicht 3) durch das Protokoll X.25 gebildet. Dieses definierte auf den angeschlossenen Endsystemen auch Schnittstellen für höhere Schichten, wie etwa dem Transportprotokoll „TP4“ (Schicht 4) oder dem darüber liegenden Filetransferprotokoll „FT“ (Schicht 5/6/7) der ISO. Als konkrete Implementationen der ISO-Protokolle noch nicht verfügbar waren, strebte der DFN-Verein an, dies durch eigene Entwicklungen (PIX-Protokolle, etwa 1984) zu überbrücken und so innerhalb der deutschen Hochschullandschaft eine „offene“ Kommunikation zwischen unterschiedlichen Systemen zu ermöglichen. Ende der

80er-Jahre wurden dann auch verschiedene Implementationen der ISO-Protokolle verfügbar, mussten aber, etwa für die Rechner von Digital Equipment, relativ „teuer“ erworben werden.

In zeitlich paralleler Entwicklung und gewisser Konkurrenz zu X.25 und den OSI-Protokollen fanden Mitte der 80er-Jahre unter der Bezeichnung „TCP/IP“ diese aus dem ARPANET (Advanced Research Projects Agency) der USA hervorgegangenen Protokolle stärkere und wachsende Verbreitung. Dies lag nicht zuletzt daran, dass sie relativ einfach zu implementieren waren und im Laufe der Zeit auf vielen, insbesondere UNIX-Systemen, kostenlos verfügbar wurden. Anfang der 90er-Jahre begannen sie die Datenkommunikation zu dominieren und verdrängten schließlich auch am RRZE das X.25-Protokoll und dessen Strukturen, die in abnehmender, reduzierter Form noch bis 1998 betrieben wurden. Schließlich bildet(e) die TCP/IP-Protokollsuite (s. Kap. 4) die Basis des heute allgemein als „Internet“ bezeichneten, global verbreiteten Netzwerks.

Lokale Netze, Internetanfänge 1994 – 1999

4. Lokale Netze (FDDI, Ethernet), Internetanfänge (IP) 1994 – 1999

Die Entstehung und Verbreitung dezentraler DV-Kapazitäten, sowie die Notwendigkeit passender Vernetzung erforderte sowohl generelle Anpassungen der Aufgaben des RRZEs, als auch den Ausbau der Kommunikationsstrukturen unter Berücksichtigung der technologischen Entwicklungen. Damit verbundene Umstellungen erfolgten, je nach Erfordernissen und gegebenen Voraussetzungen in gezielten Migrationsschritten, so dass in den 90er-Jahren verschiedene Netzwerktechnologien, wie etwa „X.25“ (s. Kap. 3) oder „Ethernet“ (s. Kap. 4.2), zeitweise nebeneinander eingesetzt wurden.

Die Entwicklung zu stärkerer Verbreitung und höheren Geschwindigkeiten des Netzwerkes, bzw. zum Einsatz neuer Technologien, war eng an die Bereitstellung entsprechend benötigter Übertragungsmedien geknüpft, d. h. an dem systematischen Aufbau einer „strukturierten Verkabelung“ innerhalb der Universität.

Auf der Vermittlungsebene wurde das Internetprotokoll (IP) zusammen mit den zugehörigen Anwendungen (Dialog, Filetransfer, E-Mail usw.) zum dominanten Bestandteil des Kommunikationssystems und zur Klammer über unterschiedliche Übertragungstechniken.

4.1. Migrationsprozesse des Rechenzentrums (1989 - 1995)

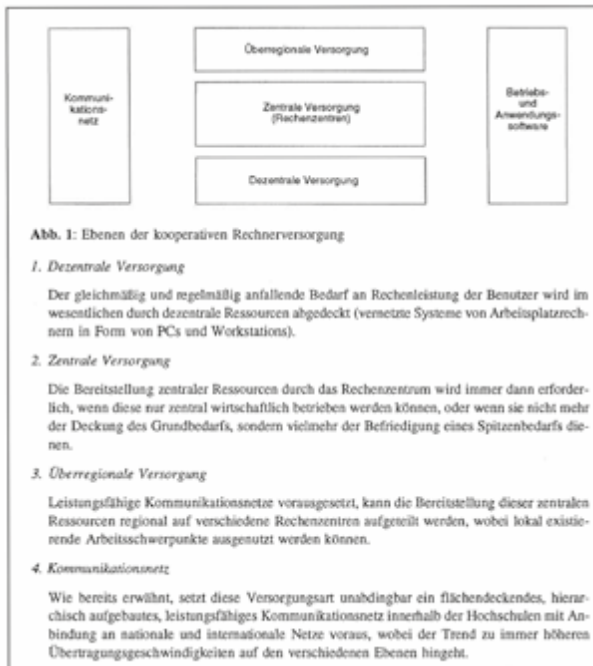
Die rasante technische Entwicklung von allen Belangen der Elektronischen Datenverarbeitung betraf nicht nur Aspekte des Kommunikationssystems, sondern z. B. auch solche der Verteilung von Rechnerleistungen oder der Organisation und Betriebsführung. Dabei galt es u. a. auch generell die Aufgaben eines Hochschulrechenzentrums neu zu definieren.

4.1.1 Mehrstufige DV-Versorgung

Die Bereitstellung zentraler Rechenkapazitäten zählte weiter zu den wichtigen Aufgaben des Rechenzentrums, auch wenn immer mehr leistungsstarke, preiswerte Systeme (PCs, Arbeitsplatzrechner, Server) zunehmend von lokalen Institutionen eigenständig betrieben wurden. Entsprechend einer Empfehlung der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) reagierte das RRZE auf die dezentralen Tendenzen mit der Verfolgung eines mehrstufigen Konzepts zur DV-Versorgung der Universität.

Diese Stufung beinhaltete (Stand gemäß [JB-1988]):

1. Arbeitsplatzrechner für Lehre und Forschung hauptsächlich im Rahmen von CIP
 - z. B. IBM(-kompatible) PCs (MS-DOS), Workstations (UNIX)
2. Fachspezifische Bereichsrechner
 - z. B. Rechner in der Organischen Chemie (CONVEX C240) Verwaltungsrechner (Siemens, BS2000), Medizin-Rechner (Siemens, BS2000)
3. Zentrale Universalrechner
 - z. B. CYBER 180-995E (NOS/VE), IBM 3090-120S (VM/XA)
4. Höchstleistungsrechner
 - z. B. CRAY Entwicklungssystem (1988 noch nicht realisiert), Zugang zum Landesvektorrechner CRAY Y-MP432 am LRZ München über BHN



Bestanden die traditionellen Aufgaben des Rechenzentrums aus dem Betrieb der Anlagen zur Betreuung von Programmbibliotheken oder der Beratung und Schulung von Anwendern, so erwuchsen aus dem dezentralen Teil des Versorgungskonzepts zusätzliche Aufgaben, die von zentraler Stelle wahrgenommen werden mussten:

- Konzipierung, Beschaffung, Fortentwicklung des Übertragungsnetzes mit Zugang zu nationalen und internationalen Netzen
- Beratung und Koordinierung der Beschaffung von Rechensystemen in den Fachbereichen und Instituten
- Fachliche Betreuung des Personals bei den dezentralen aufgestellten Rechnern. Gerade die Erfahrungen mit CIP zeigten, dass für den effektiven und wirtschaftlichen Einsatz solcher Rechner eine zentrale Beratung und Unterstützung vorgesehen werden musste.

Voraussetzung für ein solches verteiltes DV-System war ein Kommunikationsnetz, das die Endgeräte und verschiedenen Systeme miteinander verband und an wandelnde Bedingungen angepasst werden konnte.

Das „Schema der kooperativen DV-Versorgung“ (aus [JB-1991]) beschreibt eine grobe Gliederung der auf das RRZE bzw. die FAU bezogenen Umsetzung des verteilten, mehrstufigen DV-Konzepts. (Eine Konkretisierung von Aufgabenverteilung und Betriebsverantwortung des Kommunikationsnetzes erfolgt in Kapitel 4.6.).

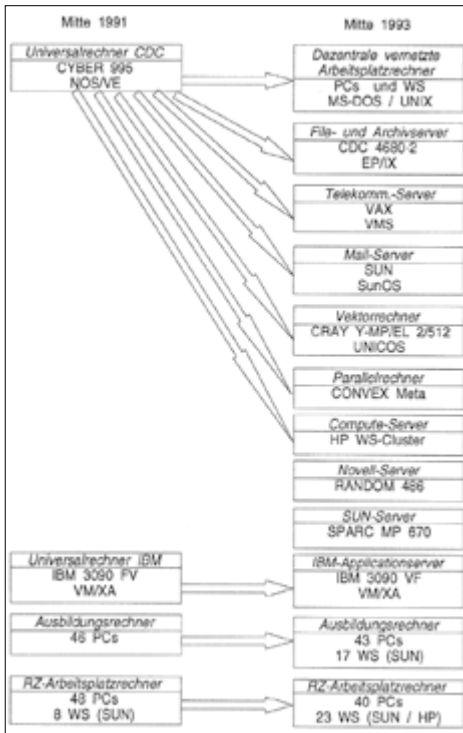
4.1.2 Veränderungen der Rechnerlandschaft des Rechenzentrums

Neben der rasanten technologischen Entwicklung der Mikroelektronik und der damit verbundenen Verfügbarkeit leistungsstarker und preiswerter Rechensysteme, entstand auch ein allgemeiner Trend zur Verteilung von DV-Kapazitäten und dem Einsatz des herstellerneutralen Betriebssystems UNIX. Das RRZE verfolgte daher etwa ab 1990 ein Migrationskonzept zum Ersatz seiner Zentralrechner (Cyber, IBM) mit herstellereigenen Betriebssystemen durch mehrere UNIX-Server (s. Skizze „Migration zu UNIX-Servern“, [JB-1993]).

Gemäß dieses Planes wurde z. B. der Universalrechner Cyber 995 im Herbst 1993 abgeschaltet und die zentrale DV-Kapazität des Rechenzentrums über verschiedene Server mit unterschiedlichen, inhaltsbezogenen Aufgaben bereitgestellt.

Dazu gehörten u. a.

- | | |
|--|---------------------------------|
| ■ File- und Archivserver (CDC, EP/IX) | ■ Parallelrechner (CONVEX SPPI) |
| ■ Computeserver (HP-Cluster 735/755) | ■ Workstationserver (SUN 4/670) |
| ■ Vektorentwicklungsrechner (CRAY Y-MP EL) | ■ Mailserver (SUN-SPARCstation) |



Migration zu UNIX-Servern

4.1.3 Neue Elemente der Kommunikationsinfrastruktur

Ausgehend von den regionalen Aufgaben des RRZE bildeten die in Kapitel 3 beschriebenen Weitverkehrs- und Campusnetze (Basis: X.25 bzw. LN20) Anfang der 90er-Jahre weiter den Schwerpunkt der Kommunikationsinfrastruktur. Daneben verfolgte das RRZE verschiedene Entwicklungen von LAN-Technologien sowie Einsatzmöglichkeiten des sich verbreitenden Internetprotokolls und seiner Anwendungen.

Diese neu verfügbaren Techniken wurden zunächst in lokalen Einheiten (Segmenten, Subnetzen) genutzt und zum Teil über die bestehende Infrastruktur miteinander verknüpft (s. Kap. 4.3.2 und 4.3.3). Innerhalb Erlangens wurden die LAN-Techniken dann zum Aufbau eines Netzwerks eingesetzt (ca. 1994), das mit den WAN-geprägten Strukturen (s. Kap. 4.3.4) verknüpft war, aber im betroffenen Bereich eigenständig funktionierte. Damit wurde auch ein genereller Migrationsprozess zur Ablösung der X.25-Technik begonnen, der am RRZE dann etwa 1998 abgeschlossen wurde.

4.1.4 Erweiterte bzw. neue Verkabelung

Der Migrationsprozess mit der Ausweitung des Einsatzes von LAN-Techniken zur Überbrückung größerer Distanzen (Stadtbereich) oder zu verzweigter Verteilung innerhalb von Gebäuden (Anschlüsse in Büros), erforderte den Aufbau neuer, spezifischer Verkabelungsstrukturen. Weder die Kabel des Telefonnetzes (s. Kap. 2.4.5), noch die des LocalNet waren dazu technisch geeignet und zudem in Anbetracht des abzusehenden Bedarfes in Weite und Dichte nicht ausreichend genug verbreitet. Das RRZE befasste sich daher schon ab 1989 mit Planungen einer (zunächst innerhalb Erlangens) flächendeckenden Verkabelungsstruktur und bereitete entsprechende Anträge zur nicht unerheblichen Finanzierung über ein Netzwerk-Investitions-Programm vor. Dabei sah die erste Stufe (NIP I) die Verlegung von Glasfaserkabeln zwischen verschiedenen Gebäuden und dabei insbesondere Verbindungen zwischen dem Rechenzentrum im Erlanger Süden und einem Verteilpunkt in der Innenstadt (Telefonzentrale) vor. Derartige Lösungen wurden überhaupt erst nach dem Wegfall eines Monopols der Deutschen Bundespost und entsprechendem, neuen Spielraum für Dienstangebote des „Nachfolgers“ Telekom möglich. Das NIP wurde in den folgenden Jahren über mehrere Stufen ausgebaut und führte schließlich zur Umsetzung eines Konzepts der „Strukturierten Verkabelung“ der FAU (s. Kap. 5, 6 und 7).

4.2 Technische Grundlagen lokaler Netze (LANs)

Die Techniken zur Datenfernübertragung (Modemstrecken, Mietleitungen, s. Kap. 1 und 2) oder Weitverkehrsvernetzung (X.25, s. Kap. 3) beinhalteten weitgehend Verlängerungen der seriellen Geräteschnittstellen (DEE/DÜE) V.24 bzw. X.21 und nutzten dabei überwiegend Verkabelungen, wie sie in Telefonnetzen gebräuchlich waren (abgesehen von Netzanbieterlösungen mit spezifischen, internen Strukturen). Sie leisteten auch in lokalen Bereichen lange angemessene Dienste. Ihre verfügbaren Geschwindigkeiten von anfänglich 0,3 bis 9,6 kbit/s und später bis zu 2 Mbit/s wurden aber im Laufe der Zeit zu Engstellen in Kommunikationspfaden, vor allem in Bezug auf Datenaustausch zwischen Rechnersystemen, PC-Vernetzungen oder im Zusammenhang mit datenintensiven Dialogen (z. B. grafische Anwendungen). Dieser Bedarf an „schnellen“ Kopplungen war wichtiger Anstoß und Triebfeder zur Entwicklung alternativer, leistungsstarker Technologien zur Bildung lokaler Netze.

4.2.1 Festlegungen der IEEE, Projektgruppe 802

Nachdem erste Überlegungen zur Bildung lokaler Netze Anfang der 70er-Jahre am Xerox Palo Alto Research Center firmenspezifisch angestellt und umgesetzt wurden, gründete sich 1980 am IEEE (Institut of Electrical and Electronics Engineers) eine Projektgruppe 802, die u. a. diese Ideen aufnahm und sich allgemeiner mit der Standardisierung von LAN-Protokollen und -Übertragungstechniken befasste (s. [IEEE8]). Sie veröffentlichte schließlich entsprechende, international anerkannte Normungen, die unter Einbeziehung aktueller Entwicklungen bis heute fortgeschrieben und ergänzt werden.

Die Normen ordnen sich in das OSI-Referenzmodell der ISO ein und definieren darin Varianten für die unteren beiden Schichten, d. h. die Physikalische (1) und die Sicherungsschicht (2). Dabei wird die Sicherungsschicht noch in die Bereiche LLC (Logical Link Control) und MAC (Media Access Control) unterteilt, während mit der physikalische Schicht verschiedenartige Übertragungsmedien (Kabelarten, Funk) beschrieben werden.

Die Festlegungen, umfassten zunächst

- **802.1**, „overview of project 802, including higher layers and internetworking“, Projektübersicht, Modellbeschreibung
- **802.2**, „logical link control (LLC)“, Diensttypen und logische Verbindungssteuerung
- **802.3**, „carrier sense multiple access with collision detect (CSMA/CD)“, Ethernet, Bus-Struktur, zufallsgesteuertes Zugriffsverfahren CSMA/CD
- **802.4**, „token Bus“, Bussstruktur, über „Token“ kontrolliertes Zugriffsverfahren
- **802.5**, „token Ring“, Ringstruktur, über „Token“ kontrolliertes Zugriffsverfahren

Die Gliederungspunkte wurden durch Anhängen von Ziffern/Buchstaben weiter unterteilt (z. B. 802.3a: 10BASE2) und im Laufe der Jahre durch neue Projekte ergänzt (z. B. 802.11: drahtlose Netze oder 802.23: Notfallnetze).

4.2.2 Ethernet-Grundfunktionen

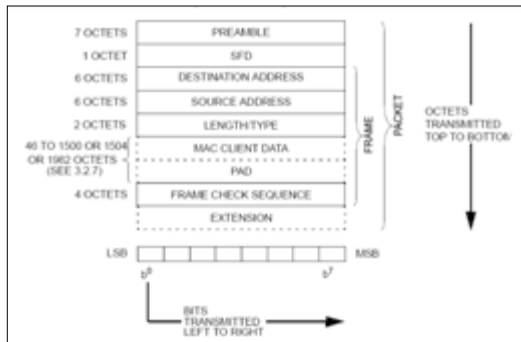
Die mit Ethernet verbundenen Techniken dominieren bis heute den Bereich lokaler Netze, wobei der ursprüngliche, „klassische“ Ansatz hauptsächlich durch die Entwicklung neuer Übertragungsmedien und spezifischer Komponenten modifiziert wurde, was dann zu deutlich flexiblerer Gestaltung und höheren Übertragungsleistungen

(z. B. Endgeräteanschlüsse mit hundertfacher Geschwindigkeit) führte. Die Ethernet-Spezifikationen der IEEE sind in der Gruppe „802.3“ enthalten und bauen auf den Definitionen „802.1“ und „802.2“ auf.

Nach der Grundidee des Ethernet nutzen daran beteiligte (angeschlossene) Teilnehmer in einem abgegrenzten Bereich (Local Area) ein gemeinsames (Bus-)Medium (den Äther, eng. Ether) zum Austausch von Datenpaketen (Frames) untereinander. Auf dem Medium darf bzw. kann zu einer Zeit jeweils nur ein Datenpaket transportiert werden, also jeweils ein Austausch zwischen genau zwei Teilnehmern stattfinden (Paket von Sender zum Empfänger) oder aber auch ein einzelnes Paket „an alle“ (Broadcast) gesendet werden. Um dabei geregelte Abläufe zu erreichen, wurden Mechanismen zur Koordination der Zugriffe auf das Medium bzw. zur Verhinderung „gleichzeitiger“ Nutzung definiert. Durch die relativ hohe Übertragungsgeschwindigkeit (10 Mbit/s), bzw. geringe Dauer eines Übertragungsvorgangs, stellte die Verfügbarkeit des Mediums LAN bei „normaler“ Last keinen Engpass dar.

Jedem Teilnehmer eines Ethernet ist eine sogenannte MAC-Adresse (Media Access Control), zugeordnet, die im Prinzip zwar nur im jeweiligen LAN unverwechselbar sein muss, in der Regel aber über einen Herstelleranteil und individueller Ergänzung so definiert wird, dass ein entsprechendes Interface weltweit eindeutig gekennzeichnet ist. Die MAC-Adressen bestehen aus 6 Byte zu je 8 Bit, umfassen also 48 duale Ziffern (0/1) und werden meist in byteweiser, hexadezimaler Schreibweise angegeben. So folgen z. B. die Adressen des Chip-Herstellers Intel dem Schema „00-07-E9-xx-xx-xx“ oder auch der Form „0007.E9xx.xxxx“ (Die mit „x“ bezeichneten Stellen werden dabei einzeln pro Geräte-/Interfaceexemplar bei der Fabrikation von Intel dediziert vergeben).

Auf dem Netz versendete Datenpakete bilden als Datagramme eigenständige Einheiten, die nach einem bestimmten Format (Frames) aufgebaut sind und jeweils die MAC-Adresse des Absenders und des Zielsystems enthalten. Die genaue Zusammensetzung eines Pakets ist in der unteren Abbildung (IEEE, 803.3, packet format) aus der englischsprachigen Normung dargestellt. Sie enthält neben Verwaltungs- und Adressinformationen auch die eigentlichen Nutzerdaten, die mit MAC CLIENT DATA bezeichnet sind und zwischen 46 und 1500 Bytes lang sein können. Jeder Teilnehmer eines LAN bzw. dessen Ethernet-Schnittstelle empfängt jeden darauf gesendeten Frame und entscheidet an Hand der enthaltenen Zieladresse, ob dieser für ihn bestimmt und an sein Empfangssystem weiter zu leiten ist oder aber ignoriert werden kann. Frames, die für alle Teilnehmer bestimmt sind, d. h. als „Broadcasts“ gesendet werden, enthalten eine für diesen Zweck spezifisch definierte Zieladresse, bestehend aus lauter dualen Einsen (FFFF.FFFF.FFFF). Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, über sogenannte „Multicast“-Adressen eine Gruppe von Teilnehmern zu erreichen, die darauf eingestellt sind.



IEEE, 802.3 : „packet format“

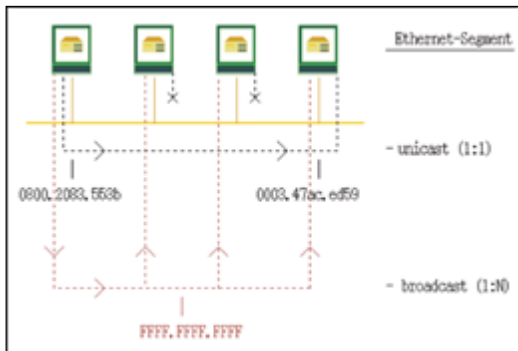
Die Koordination des Zugriffs auf das Medium bzw. die Vermeidung zu „Kollisionen“ führender, „gleichzeitiger“ Übertragungen mehrerer Datenpakete auf einem LAN-Segment, wird über ein spezielles in 802.3 definiertes Verfahren geregelt: CSMA/CD. Es lässt sich durch folgende Schritte beschreiben:

- Will ein Teilnehmer einen Frame senden, beobachtet er zunächst, ob gerade ein Transfer stattfindet, d. h. das Medium „besetzt“ oder „frei“ ist (carrier sense)
- Ist es „besetzt“, wartet er und versucht es später noch einmal
- Ist es „frei“, startet er den Sendevorgang
- Dabei beobachtet er, ob ein anderer Teilnehmer zur gleichen Zeit, wie er ausgehend von einem „freien“ Medium ebenfalls einen Transfer angestoßen hat, also eine Kollision entstanden ist
- Liegt keine Kollision vor, läuft der Übertragungsvorgang ungestört ab
- Stellt er eine Kollision fest (collision detection), stoppt er den Vorgang, wartet eine zufallsgesteuerte Zeit und probiert es dann erneut

Im Falle einer Kollisionserkennung sorgt die zufallsbestimmte Wartezeit bei den beteiligten Teilnehmern für unterschiedliche Wartezeiten und somit für eine geringe Wahrscheinlichkeit eines erneut gleichzeitigen Transferstarts, also einer Entzerrung der Übertragungsvorgänge. Das Verfahren liefert zwar keine kalkulierbaren Übertragungszeiten, funktioniert aber je nach Betriebsparametern des Netzes, z. B. Anzahl der Teilnehmer, Häufigkeit von Aktivitäten, Art des Datenverkehrs (große, kleine Pakete) in der Praxis allgemein sehr gut. Je nach Bedingungen kann noch bis zu Netzauslastungen von 40%-60% ein adäquater Betrieb abgewickelt werden.

Die Abbildung „Ethernet-Transfervorgänge“ stellt ein über ein gelbes Kabel realisiertes Ethernet-Segment und daran angeschlossene Endsysteme sowie eine Übertragung vom Teilnehmer mit der MAC-Adresse „0800.2083.553b“ (links außen) zum Teilnehmer „0003.47ac.ed59“ (rechts außen) dar. Während der Übertragung dürfen/können die

mittleren Systeme (und auch der Empfänger) nichts senden. Die rote, gestrichelte Linie zeigt zusätzlich ein „Senden an Alle“ per Broadcast an, das natürlich nur alternativ, d. h. zu einer anderen Zeit als der bidirektionale Transfer (schwarze, gestrichelte Linie) stattfinden kann.



Ethernet Transfervorgänge

4.2.2.3 Ethernet-Medien (Koaxialkabel)

Die ersten Ethernet mit gewisser Verbreitung basierten auf der Verwendung eines sogenannten „dicken“ 10-mm-Koaxialkabels (Thick Ethernet, Yellow Cable, 10Base5) als Übertragungsmedium. Der Anschluss eines Endgeräts erfolgt dabei durch Anbringen spezieller Klemmen am Kabel (Vampire Taps), über einen zugehörigen Transceiver (MAU, Media Access Unit), dessen Schnittstelle und ein Verbindungskabel (Drop Cable) zum Interface des betreffenden Endgeräts. Die Übertragungsgeschwindigkeit des Mediums beträgt 10 Mbit/s. Bei der Installation eines Netzsegments sind u. a. folgende Beschränkungen zu beachten, die weitgehend durch elektrischen Eigenschaften, wie dem Widerstand (50 Ohm), Signallaufzeiten oder Störeffekten begründet sind:

- Maximale Länge von 500 Metern
- Maximal 100 angeschlossene Geräte
- Mindestabstand zwischen zwei Geräten 2,5 Meter

Die 10 mm dicken Kabel unterliegen zudem Einschränkungen bzgl. ihrer Biegeradien, sind relativ „schwer“, unflexibel und somit etwa zur Verlegung in Kabelkanälen von Gebäuden wenig geeignet. Am RRZE kam diese Verkabelungsart daher nur in einer Anfangsphase innerhalb der (Groß-)Rechnerräume und nicht etwa zur Schaffung von Anschlüssen in Büroräumen zum Einsatz.

Mehr Flexibilität, boten dann die „dünnen“ 4,85-mm-Koaxialkabel (Thin Ethernet, Cheepernet, 10Base5), die aber bei sonst gleichen Grundeigenschaften (Bus-Charakteristik, Geschwindigkeit 10 Mbit/s) u. a. mit höherem, elektrischen Widerstand (75 Ohm) engere Grenzen setzen:

- Maximale Länge von 185 Metern
- Maximal 30 angeschlossene Geräte

Diese Beschränkungen konnten aber unter Einsatz entsprechender Komponenten und der Verknüpfung von LAN-Segmenten im praktischen Einsatz weitgehend überwunden werden.

Der Anschluss von Endgeräten an ein solches LAN erfolgte über entsprechend vorinstallierte Anschlussdosen und koaxiale Verbindungen zu ihren Schnittstellen. Die Geräte wurden also über Anschlusskabel in das LAN eingefügt, dass diese u. a. zur Verlängerung des zugehörigen Segments beitrugen (s. Abb. „Schema Gebäudeverkabelung, Thin Ethernet“). Ein Aspekt, der bei der Netzgestaltung zu berücksichtigen war.

Im Laufe der Zeit wurden zum Ethernet weitere Übertragungsmedien (z. B. Glasfaser-, verdrehte Kupferkabel) definiert, um u. a. höhere Übertragungsgeschwindigkeiten erreichen oder umfangreichere Netze gestalten zu können. Diese werden in den folgenden Hauptabschnitten (s. Kap. 4.5, 4.6 und 4.7) näher behandelt.

4.2.2.4 Ethernet-Komponenten (Repeater, Bridges) und Strukturen

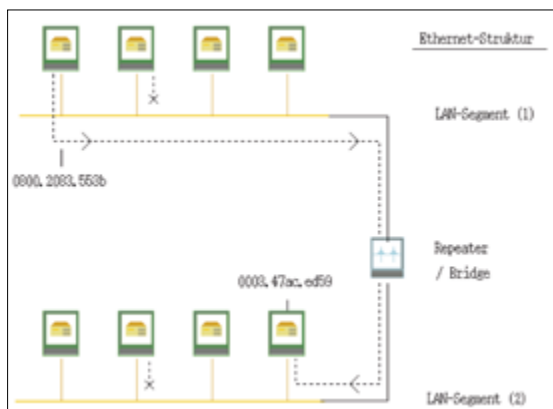
Um mehrere Kabelabschnitte (Segmente) zu einem LAN zu verknüpfen, oder anders betrachtet die Längenbeschränkung eines Segments durch Anfügen eines weiteren Kabels zu überwinden, gibt es zwei Arten von aktiven Komponenten: Repeater und Bridges.

Ein Repeater frischt die elektrischen Datensignale beim Übergang von einem Abschnitt in den nächsten auf und macht so die Überbrückung größerer Distanzen möglich. Derart verbundene Kabelsegmente verhalten sich also wie ein LAN mit verlängertem Kabel. In der beschriebenen Art dürfen mehrere (2-portige) Repeater hintereinander geschaltet werden. Allerdings besteht dabei die Regel, dass maximal fünf Segmente über maximal vier Repeater verbunden werden können, wobei an nur drei Segmenten Endgeräte angeschlossen sein dürfen. Die Ausdehnung bzw. Länge eines Ethernet sowie die Anzahl der anschließbaren Geräte kann mit Hilfe von Repeatern also entsprechend erweitert werden, wobei die Gesamtlänge auf 2.800 m begrenzt ist. Dabei ist zu beachten, dass derart zusammengeschaltete Segmente ein einziges LAN-Medium bilden, d. h. Zugriffskonflikte (bzw. Kollisionen) zwischen

allen an einem der Abschnitte angeschlossenen Endgeräte entstehen können. Je nach Betriebscharakteristik begrenzt dies auf eine andere Art die Anzahl der sinnvoll anschließbaren Geräte.

Eine Bridge (MAC-Bridge) zwischen zwei Segmenten fügt diese ebenfalls zu einem logischen LAN zusammen bzw. verlängert sie entsprechend. Sie ermöglicht also den Austausch von Daten zwischen den beteiligten Endgeräten beider Abschnitte, trennt aber den Datenverkehr so in „Kollisionsdomänen“, dass die Geräte des einen Segments untereinander kommunizieren können, während gleichzeitig Transfers auf dem anderen Segment stattfinden. Nur wenn sich zwei Geräte auf je einem der beiden Segmente befinden und Daten austauschen, ist das gesamte LAN im Sinne der Zugriffskontrolle für andere Teilnehmer blockiert. Die Bridge benötigt gewisse Kenntnisse darüber, welche MAC-Adressen auf welchem der Segmente zu finden sind, damit sie Entscheidungen zur Weiterleitung von Paketen treffen kann. Diese erhält sie durch statische Konfiguration eines Administrators, oder aber über spezifische dynamische Lernmechanismen. MAC-Bridges dürfen mit der Ausnahme von Schleifenbildung beliebig in Anzahl und Struktur (bei Bridges mit mehr als zwei Schnittstellen) zusammengeschaltet werden. Ob das jeweils sinnvoll und betreibbar ist, muss im Einzelfall entschieden werden. So bewirkt z. B. jede durchlaufene Bridge durch ihre Bearbeitung der Datenpakete eine Verzögerung (Delay) und somit eine gewisse Reduktion der Übertragungsleistung. Eine Beschreibung von Bridge-Funktionen hat die IEEE erstmals 1990 unter **802.1d** im Rahmen ihrer LAN-Festlegungen zu lokalen Netzen veröffentlicht.

Die Abbildung „Verknüpfung zweier LAN-Segmente über Repeater bzw. Bridge“ stellt eine einfache Struktur der Verbindung zweier LAN-Segmente dar. Das enthaltene Beispiel beschreibt einen Sendevorgang vom Gerät mit der MAC-Adresse



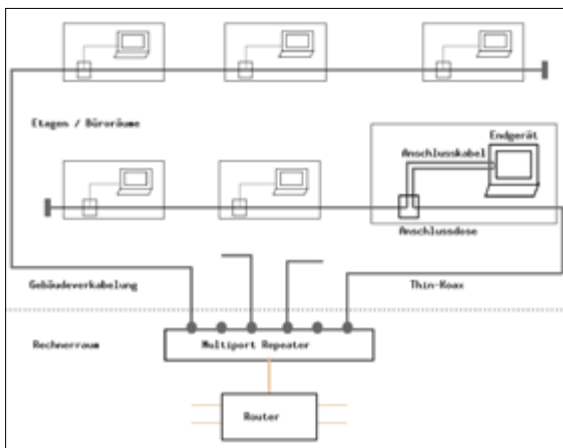
Verknüpfung zweier LAN-Segmente über Repeater bzw. Bridge

„080.2083.553b“ (oben-links) zum Gerät „0003.47ac.ed59“ (unten-rechts), also zwei Teilnehmern auf verschiedenen Kabelabschnitten. Die „x-Zeichen“ zweier Geräte deuten deren Sendewünsche an, die während dieses Transfers blockiert sind. In dem Beispiel spielt es keine Rolle, ob die Verknüpfung der Segmente über einen Repeater oder eine Bridge hergestellt ist. Im Falle einer Bridge könnten nach Beendigung des Transfers, die mit „x“ markierten Sendewünsche gleichzeitig umgesetzt werden, wenn sie jeweils einen Adressaten in „ihrem“ gleichen Segment betreffen. Bei einem Repeater müssten sie gemäß Zugriffskontrolle nacheinander erfolgen.

Da MAC-Bridges im Gegensatz zu Repeatern (physikalische Schicht 1) auf der Sicherungsschicht (Schicht 2 des OSI-Modells) arbeiten, d. h. hauptsächlich mit der Weiterleitung von Ethernet-Paketen befasst sind, gibt es auch Ausprägungen mit unterschiedlichen Schnittstellenarten. So z. B. mit einer Ethernet-Koaxial-Schnittstelle und einer seriellen Schnittstelle (V.24). Diese können im Paar als Remote Bridges zur Verbindung zweier LAN-Segmente über eine Fernübertragungsstrecke genutzt werden. Andere auch am RRZE genutzte Varianten sind Bridges mit einer X.25-Schnittstelle oder auch Anschluss an das LN20 (s. Kap. 3), die jeweils zur Verknüpfung von Segmenten über das betreffende Netz dienen.

Repeater und Bridges gibt es auch in Versionen mit mehreren Schnittstellen als Multiport-Repeater bzw. Multiport-Bridges, die dann z. B. sternförmig mehrere Segmente zu einem LAN verknüpfen können. Während Multiport-Bridges vor allem erst in ihren späteren Formen und Technologien als LAN-Switches Bedeutung erlangten wurden Multiport-Repeater in Verbindung mit Thin-Ethernet-Verkabelung (vor der Verfügbarkeit von Kupfer-Verkabelungen (TP) und zugehörigen Technologien) an verschiedenen Stellen der FAU

zum Aufbau erster flächendeckender Gebäudenetze eingesetzt. So erhielten z. B. 1990 auch alle Büroräume des Rechenzentrums Ethernet-LAN-Anschlüsse, vornehmlich um das seiner Zeit im Aufbau befindliche Internet des RRZE nutzen zu können. Das „Schema Gebäudeverkabelung, Thin Ethernet



Schema Gebäudeverkabelung, Thin Ethernet

Ethernet“ stellt die prinzipielle Struktur dieser Vernetzung dar. An dem Multiport-Repeater sind mehrere Koaxialkabel angeschlossen, von dort über vorhandene Kabelkanäle durch die Räume geführt und mit Anschlussdosen versehen. Die Endgeräte sind mit den (TAE-)Dosen verbunden und somit Teil des lokalen Netzes. Der Repeater ist hier zudem mit einem (IP-)Router verbunden, der auf dem zugehörigen LAN ein IP-Subnetz verwaltet und Verbindungen zum Internet herstellt. Bei der Verlegung der Kabel war auf die Längenbegrenzung von Thin-Ethernet-Segmenten zu achten, wobei pro Endgerät der Hin- und Rückweg zur Dose mit einzubeziehen war. Es mussten daher im Rechenzentrum z. B. zur Versorgung einer einzelnen Etage auch mehrere Kabelstränge verlegt werden.

4.2.3 FDDI (Ring) und Glasfaserkabel

FDDI bezeichnet eine Ende der 80er-Jahre entwickelte LAN- bzw. MAN- (Metropolitan Area Network) Technik und gilt als erster Standard für ein Hochgeschwindigkeitsnetz. Im Vergleich zum oben betrachteten „klassischen“ 10-Mbit/s-Ethernet bietet sie neben der 10-fachen Geschwindigkeit weitere Merkmale mit entsprechenden Vorteilen:

- Übertragungsgeschwindigkeit von 100 Mbit/s
- Übertragungsmedium Glasfaser (13.000 nm)
- Ringtopologie
- Zuverlässigkeit bei doppelter, redundanter Ringstruktur
- Reichweite (Ringlänge) bis 100 km (Doppelring)/200 km (Einzelring)
- Anzahl Teilnehmer bis 500 (Doppelring)/1000 (Einzelring)
- Kalkulierbares, streng geregeltes Zugriffsverfahren durch Senderechtigvergabe über „Token“

FDDI wurde von der ANSI American National Standard Institute) unter ISO 9314 in enger Anlehnung an die Definitionen der IEEE standardisiert, wobei die Festlegungen sich durch die medienbezogene Schicht (physical layer, MAC sublayer) unterscheiden, aber bezüglich des Protokolls der logischen Verbindungskontrolle (LLC) gemäß 802.2 kompatibel sind.

Ähnlich, wie beim Ethernet, versenden die teilnehmenden Stationen eigenständige Datenpakete (Datagramme), die neben Formatierungen und Nutzerdaten auf dem Medium definierte physikalische Adressen des jeweiligen Senders und Empfängers enthalten. Ebenso können Datenpakete an eine Gruppe (multicasts) oder alle Teilnehmer (broadcasts) des Netzes adressiert werden.

Ein FDDI-Netz besitzt ähnliche, logische Eigenschaften, wie das Ethernet, d. h. über das Medium kann zu einer Zeit jeweils nur ein Datenpaket von einem Teilnehmer (Sender) zu einem anderen (Empfänger) oder einer Gruppe (multicast, broadcast) als Datagramm

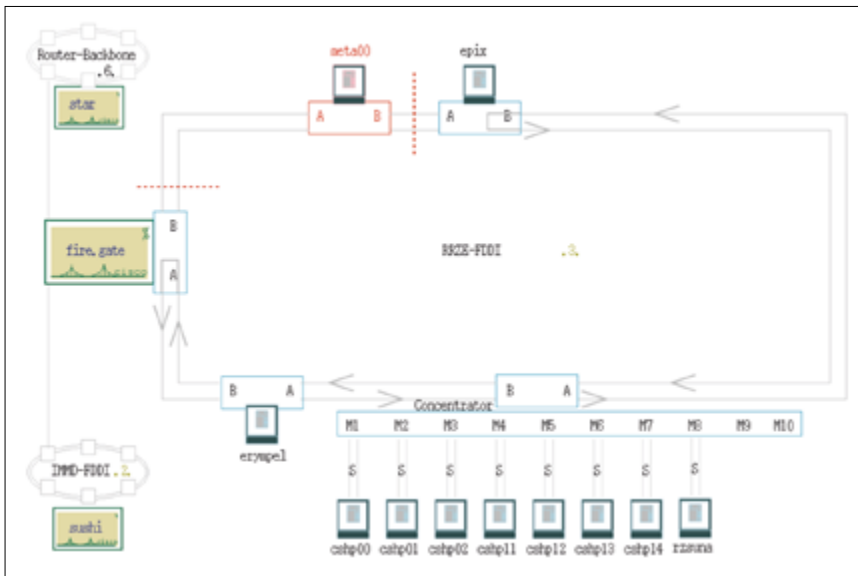
übermittelt werden, das u. a. neben Formatierungen und Nutzerdaten auf dem Medium definierte physikalische Adressen von Quelle und Ziel enthält. Ein wesentlicher Unterschied ergibt sich aus der Ringtopologie von FDDI und der Methode der Vergabe von Senderechten über ein deterministisches „Token“-Verfahren, das es im Gegensatz zum zufallsgesteuertem Ethernet ermöglicht, an Hand statischer Netzparameter (z. B. Anzahl der Teilnehmer) die maximale Wartezeit auf eine Senderlaubnis zu berechnen.

Ein Netzsegment entsteht aus der Zusammenschaltung der teilnehmenden Stationen (Rechnersysteme, Netzkomponenten) bzw. deren FDDI-Schnittstellen zu einem (Doppel-)Ring. Dabei ist jedes System mit zwei Nachbarn (doppelt) über Glasfasern verbunden. Findet kein Datenverkehr statt (leerer Ring), wird ein speziell markiertes Paket (Frei-Token) von Station zu Station weiter geleitet. Wird ein solcher Token von einer sendebereiten Station empfangen, bedeutet dies die Erlaubnis zum Senden von Datenpaketen innerhalb eines fest definierten Zeitraumes. Sie setzt also den Token auf „belegt“ und überträgt ihre Daten zum nächsten Nachbarn, dieser nimmt sie auf und sendet sie aktiv an den nächsten weiter, sofern sie nicht für ihn bestimmt sind. Wird auf diese Weise der Adressat erreicht, übernimmt dieser die empfangenen Daten für sein System und schickt sie mit begleitenden Informationen an den nächsten Ringnachbarn. Bei entsprechender Fortsetzung des Umlaufs kommen die Daten wieder beim Sender an, der dies erkennt und sie schließlich vom Ring entfernt. Eine Besonderheit des Verfahrens besteht etwa im Vergleich zum „token ring“ gemäß IEEE 802.5 darin, dass der Sender direkt im Anschluss an seine Übertragung bereits wieder ein „Frei-Token“ generiert. Dieses Vorgehen (Early Token Release) macht es möglich, dass auf verschiedenen Abschnitten des Ringes gleichzeitig Transfers stattfinden können, das Übertragungsmedium zu einer Zeit also mehrfach ohne Konflikte nutzbar ist.

Die Teilnehmer eines Ringes spielen also eine aktive Rolle und tragen so zur Funktionsfähigkeit entscheidend mit bei. Ihre FDDI-Schnittstellen sind von gewisser Komplexität und auch als Kostenfaktoren nicht zu vernachlässigen. Daher gibt es neben der Methode, Endgeräte als „Dual Attached Stations“ (DAS) direkt in den Ring zu integrieren, auch die Möglichkeit, sie unter Verwendung von (FDDI-)Konzentratoren als „Single Attached Stations“ (SAS) in einfacherer Weise am Netz teilnehmen zu lassen. Diese Variante kann z. B. zur gebündelten Anbindung mehrerer Server genutzt werden, denen die Abwicklungen im Ring durch einen Konzentrador abgenommen werden. Die Abbildung „FDDI-Serverring mit Ausfallsituation“ zeigt als Beispiel aus dem RRZE den Aufbau eines Ringes aus DAS-Komponenten (z. B. „fire“, „epix“, „erympl“) einschließlich eines „Concentrators“ mit angeschlossenen SAS-Geräten (z. B. „cshp00“, „cshp01“).

Die Auslegung eines FDDI-Netzes als Doppelring erzeugt eine Redundanz, die in bestimmten Fehlersituationen die Funktionalität des Ringes erhält. Der Datenverkehr wird im Normalbetrieb auf einem der beiden Ringe abgewickelt. Wird der nun an einer

Stelle etwa durch Kabelbruch oder Ausfall eines Teilnehmers unterbrochen, können die unmittelbar betroffenen Nachbarn dies erkennen und durch Nutzung des zweiten Weges den Ring wieder schließen. Die Abbildung „FDDI-Serverring mit Ausfallsituation“ (s. S. 119) stellt den Fall eines defekten Geräts und den daraufhin geschalteten Ersatzweg grafisch dar.



FDDI-Serverring mit Ausfallsituation

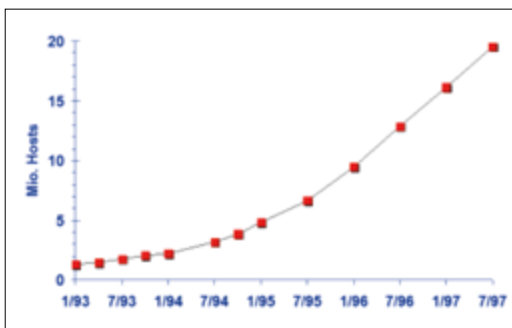
Neben der Vernetzung von Servern deutet die Abbildung noch ein weiteres Beispiel zur Anwendung der FDDI-Technik im Rahmen des RRZE an. Es handelt sich um die Zusammenschaltung von Netzwerkkomponenten zur Bildung eines Rückgrats (Backbone) innerhalb des Erlanger Gebiets (Metropolitan Area), die in dieser Qualität zuvor nicht realisierbar war (s. Netzdarstellungen, Kap. 4.4).

4.3 Technische Grundlagen der TCP-/IP-Protokolle

Die bereits behandelten Techniken lokaler Netze beschreiben Ausprägungen der physikalischen Schicht und der Sicherungsschicht, also der unteren beiden Ebenen des ISO-Referenzmodells. Diese Local Area Networks ermöglichen zwar prinzipiell Kommunikationen unter den jeweils beteiligten Endsystemen, nicht aber zwischen Systemen auf unterschiedlichen Netzen. Um über LAN-Grenzen hinaus Daten austauschen zu können, werden auf der Vermittlungsebene (Schicht 3) Netzwerkprotokoll und zugehörige Transferkomponenten benötigt. Außerdem sind zur Abwicklung von Kommunikationsvorgängen unterstützende Protokolle und Anwendungen (Schicht 4 und höher) erforderlich. Die Protokollfamilie „TCP/IP“ bot hierzu eine herstellernerneutrale Lösung an, die nach ihren Anfängen etwa ab 1973 ständig an Bedeutung und Verbreitung gewann.

4.3.1 Entwicklung und Standardisierung über RFCs

Um den Datenaustausch von Rechnern unterschiedlicher Hersteller möglich zu machen begann die DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) 1968 im Auftrag der US-Luftwaffe mit der Entwicklung eines neutralen Systems zur Vermittlung von Datenpaketen. Es war als Alternative zu den proprietären Systemen, wie etwa von Digital Equipment (DECNET) oder IBM (SNA) gedacht. Darauf aufbauend wurde 1972 das ARPANET (Advanced Research Projects Agency Network) mit vorgestellt, das zunächst etwa 34 Standorte umfasste und vornehmlich unterschiedliche US-amerikanische Universitäten, die für das Verteidigungsministerium forschten, miteinander verband. Die Weiterentwicklung der eingesetzten Protokolle führte zu den 1973 erstmals veröffentlichten Protokollen der TCP-/IP-Familie, die 1981 als Request for Comments (RFC) standardisiert wurden. 1983 mussten sie dann von allen Rechnern im ARPANET eingesetzt werden. Mit der Verfügbarkeit der Protokolle 1984 auf den



Entwicklung der Anschlusszahlen am Internet (1993-1997)

verbreiteten UNIX-Systemen (BSD 4.2 und System V) stieg auch die Popularität der Technik und des Netzwerks, das in den folgenden Jahren ständig erweitert wurde und als „Internet“ eine weitreichende, internationale Verbreitung erfuhr. So waren im Jahr 1997 (aus dem hier in diesem Abschnitt betrachteten Zeitfenster) bereits etwa 20 Millionen Endgeräte (Hosts) an das Netz angeschlossen.

Auch in späteren Phasen (nach 1997) setzte sich das Wachstum weiter fort bis schließlich u. a. durch Ergänzungen um weitere Anwendungen (z. B. Word Wide Web) oder zusätzliche Benutzergruppen (z. B. Firmen auch außerhalb der IT-Branche, Privatnutzer) die IP-Protokolle und das Netzwerk weltweit dominierend wurden, die Anzahl der Systeme am Internet etwa 2014 eine Milliarde überschritten hatte und ein Ende dieser Entwicklung nicht abzusehen war.

Die Entwicklung des Internet und der Internetprotokolle wird von einem Komitee IAB (Internet Activities Board, spätere Bezeichnung Internet Architecture Board) geplant und koordiniert, das sich in Arbeitsgruppen der IETF (Internet Task Force) und IRTF (Internet Research Task Force) gliedert. Die erarbeiteten Ergebnisse werden in Request for Comments veröffentlicht und enthalten Entwürfe und Definitionen, die zu Standards im Internet bedeuten. 1992 gründete sich die übergeordnete Internet Society (ISOC) als eigenständige, regierungsunabhängige Organisation, die eine offene Entwicklung zu einem Internet für alle Menschen der Welt anstrebt.

Die von der IETF herausgegebenen bzw. verwalteten RFC-Dokumente behandeln Protokolle, Methoden, Programme und Konzepte zum Internet. Bezüglich ihrer Veröffentlichungen und inhaltlichen Gestaltung unterliegen sie definierten Verfahrensschritten und Formalismen. Bei gewisser Stabilität erhalten sie die Bedeutung internationaler Standards. Sie werden bis heute fortgeschrieben und etwa durch Erschließung neuer Anwendungsfelder ergänzt.

Folgende Liste gibt eine kleine Auswahl von RFCs zu verschiedenen Aspekten des Internet. Die Positionen werden zum Teil in Kapitel 4.3.2/3 noch näher beschrieben. Angegebene Jahreszahlen sind den aktuell verfügbaren Dokumenten der IETF entnommen (s. [IETF]).

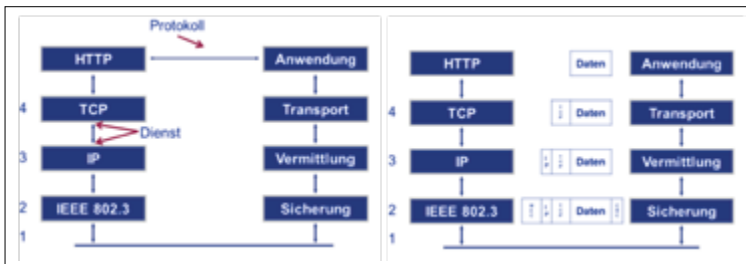
■ RFC 1	IMP	Internet Message Protokoll, Software für Knoten im ARPANET, Vorläufer moderner Router	1969
■ RFC 768	UDP	Datagrammprotokoll über IP	1980
■ RFC 791	IP	Internetprotokoll, Netzwerkschicht	1981
■ RFC 792	ICMP	Internet Control Message Protokoll, Kontrollelemente	1981
■ RFC 793	TCP	Transportprotokoll über IP	1981
■ RFC 821	SMTP	Einfaches (Simple-)Mail-Protokoll	1982

■ RFC 854	TELNET	Dialogprotokoll, Anwendung	1983
■ RFC 877	IP over X.25	Transport über öffentliche Netzwerke	1983
■ RFC 917	SUBNETS	Strukturierung von Subnetzen	1984
■ RFC 913	SFTP	Einfacher (Simple) Filetransfer	1984
■ RFC 959	FTP	File Transfer Protokoll, Anwendung	1985
■ RFC 1034	DNS	Domain Name Service, Namensauflösung	1987
■ RFC 1058	RIP	Routing Information Protokoll	1988
■ RFC 1157	SNMP	Einfaches (Simple) Netzwerk Management Protokoll	1990
■ RFC 1247	OSPF	Open Shortest Path First, Routing Protokoll	1991
■ RFC 2460	IPv6	Internetprotokoll Version 6	1998
■ RFC 2246	TLS	Transport Layer Security, Protokoll zur Verschlüsselung	1999
■ RFC 2453	RIPv2	RIP Version 2	1994
■ RFC 2328	OSPF	Neue Fassung, ersetzt RFC 1247	1998
■ RFC 2616	HTTP	Hyper Text Protokoll 1.1 (World Wide Web)	1999
■ RFC 4217	FTPS	(Securing FTP with TLS) Filetransfer mit Verschlüsselung	2005
■ RFC 4254	SSH	(Secure Shell) Dialoganwendung mit Verschlüsselung	2006

4.3.2 Architektur der TCP/IP-Protokolle

Die Architektur der TCP/IP-Protokolle folgt einem Schichtenmodell mit ähnlichen Prinzipien, wie das des ISO-/OSI-Referenzmodells. Ihre Entwicklung begann aber zeitlich vor der des ISO-Ansatzes und richtete sich an möglichst einfacher Gestaltung und praktischer Umsetzbarkeit aus (daher z. B. auch der Bestandteil „Simple“ in verschiedenen Protokollbezeichnungen). Diese Einfachheit war mit ein Grund dafür, dass sich die TCP/IP-Protokolle letztlich gegenüber den in gewisser Konkurrenz stehenden ISO-Definitionen durchgesetzt haben (was allerdings inhaltlich, etwa bezüglich Sicherheitsproblemen, auch mit gewissen Schwächen verbunden war bzw. heute noch ist).

Den „Kern“ des TCP/IP Schichtenmodells bilden die Transport-(Schicht 4) und die Vermittlungsschicht (Schicht 3) mit dem zugehörigen Protokollen TCP bzw. IP. Darüber (entsprechend ISO Schichten 5-7) sind die Anwendungen (Applications) und deren Protokolle als eine Ebene definiert, wie etwa zum Filetransfer (FTP) oder zur Nutzung von World Wide Web (HTTP). Die unteren Ebenen beschreiben Übertragungsmedien (Physikalische Schicht 1) sowie Zugriffsmethoden und Protokolle (Sicherheitsschicht 2) zu deren Nutzung.

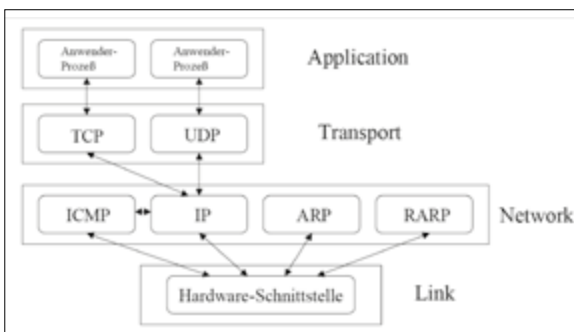


TCP-/IP-
Schichten-
modell

Die Darstellungen in der Abbildung „TCP-/IP-Schichtenmodell“ zeigen die Anordnung der Schichten und deuten im linken Teil die Kommunikation zwischen Partnern einer Ebene über ein Protokoll sowie die Dienstbeziehungen zwischen zwei Ebenen eines Systems an, während im rechten Teil die schichtweise Verpackung eines Datenpakets (Encapsulation) skizziert ist. Dabei sind auf Anwendungsebene mit „HTTP“ das Protokoll zum Austausch von WWW-Dokumenten und bezüglich des Übertragungsmediums mit „802.3“ das Ethernet als Beispiele angeführt, die gemäß des Schichtenkonzepts durch andere Anwendungen (z. B. Fibre to the premises, FTTP) bzw. andere Medien (z. B. Fiber Distributed Data Interface, FDDI) ersetzbar sind.

Aber auch auf der Transport- und Vermittlungsschicht gibt es im Rahmen von TCP/IP verschiedene alternative oder ergänzende Varianten mit spezifischen Funktionalitäten. Zusammengenommen bilden sie die „Internetprotokollfamilie“, die derzeit aus einer Sammlung von ca. 500 Netzwerkprotokollen besteht. Die Abbildung zur „TCP-/IP-Protokollsammlung“ führt daraus die elementaren Bestandteile an und stellt ihre schichtenmäßige Einordnung dar.

Die Erläuterungen in den folgenden Abschnitten beziehen sich auf den 1981 veröffentlichten RFC 791 und damit im Kontext stehende Beschreibungen, die die heute auch als IP-Version 4 (IPv4) bezeichnete Protokollfamilie repräsentieren. Sie wird auch



TCP-/IP-Protokollsammlung

heute noch im Internet überwiegend genutzt. Eine zwar bereits 1998 als RFC 2460 erstmals herausgegebene Version 6 (IPv6), die u. a. ein erweitertes Adresskonzept enthält, konnte sich lange Jahre nicht durchsetzen und gewinnt erst gegenwärtig (außerhalb des hier betrachteten Zeitabschnitts) an Bedeutung (s. Kap. 7).

4.3.3 Protokolle der Netzwerkebene (Schicht 3)

4.3.3.1 IP (Internetprotokoll) und Adressierung

Auf der Netzwerkebene regelt das Internetprotokoll (IP) den Austausch von Daten zwischen Teilnehmern eines IP-Netzwerks bzw. des globalen Internet. Dazu gehören u. a. Festlegungen zum Aufbau von Datenpaketen und der Bedeutung ihrer Bestandteile (s. Abb. „Aufbau von IP-Paketen“), Konzepte zur Adressierung und Adressvergabe, sowie verschiedene Hilfs- und Kontrollfunktionen. Das Netzwerkprotokoll ist verbindungslos (etwa im Gegensatz zu X.25, s. Kap. 3), das heißt, jedes einzelne Datenpaket, das die Adressen des jeweiligen Senders (Source) und des Empfängers (Destination) enthält, wird als eigenständiges Datagramm transportiert und vermittelt. Mehrere im Sinne einer Anwendung zusammenhängende Pakete können dabei auf verschiedenen Wegen das Netz durchlaufen und dadurch auch in veränderter Reihenfolge am Ziel eintreffen. Dieser Effekt ist dann auf höherer Ebene zu korrigieren.

VERS	HLEN	Service Type	Total Length	
Identification			FGS	Fragment Offset
Time To Live	Protocol		Header Checksum	
Source IP Address				
Destination IP Address				
IP Options (so vorhanden)			Padding	
Data				

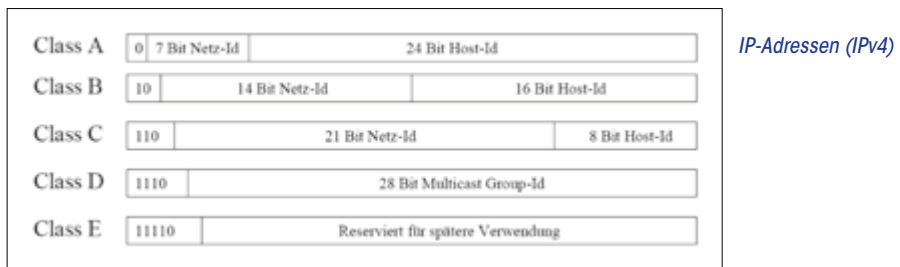
Bedeutung der Felder:

- VERS: Versionsnummer (z.Zt. 4)
- HLEN: Länge des Paket-Headers in 32 Bit-Worten
- Total Length: Länge des ges. Paketes in Bytes (max. 65535)
- Identification: eindeutige Kennung eines Paketes
- FGS: (Flags) legen fest, ob ein Paket fragmentiert werden darf, etc.
- Fragment Offset: Offset des akt. Fragments in Vielfachen von 8 Bytes
- Time To Live (TTL): maximale Lebensdauer eines Paketes; wird von jedem Router um 1 erniedrigt; wenn TTL=0 wird das Paket verworfen und eine Fehlermeldung (ICMP) an den Absender geschickt
- Protocol: Kennung für das Protokoll der übergeordneten Schicht (TCP=6, UDP=17)
- Header Checksum: Prüfsumme für den Paket-Header
- Source IP Address: Absenderadresse
- Destination IP Address: Zieladresse
- IP Options: Optionen
- Data: Anwendungsdaten

Aufbau von IP-Paketen

Damit Teilnehmer oder Endsysteme über ein Netzwerk kommunizieren können, müssen diese eindeutig identifizierbar sein. Dazu ist ein Konzept zum Aufbau und zur Vergabe entsprechender Adressen erforderlich. Zum Internet (IPv4) ist ein Schema definiert, in dem die Adressen vier Byte lang) in einen Netzwerk- und einen Rechneranteil (Endsystem) gegliedert sind. Die grundsätzliche Aufteilung der beiden Anteile ist durch die Definition unterschiedlicher Netzklassen gegeben, die an den vorderen Bitfolgen erkennbar sind. Die Adressvergabe wird an zentraler Stelle von der „Internet Assigned Numbers Authority“ (IANA) koordiniert, einer Unterorganisation des IAB. Allerdings werden heute aufgrund der Knappheit kaum noch neue Adressen zugeteilt, insbesondere nicht die beliebten Class-B-Adressen, wie sie das RRZE seinerzeit für Wissenschafts- und Klinikbereich noch erhalten hat.

Das Adressschema mit der Klassenaufteilung ist in der Abbildung „IP-Adressen (IPv4)“ skizziert. Die häufigste Schreibweise der Adressen besteht in einer durch Punkte getrennten Darstellung der dezimalen Werte pro Byte. So lautet die Class-B-Adresse des FAU-Wissenschaftsnetzes „131.188.0.0“, die einer binären Darstellung von „10000011 10111100 00000000 00000000“ mit der Class-B-Kennung („10“) am Anfang der dualen Ziffernfolge entspricht.



Der Rechneranteil (Host-ID gemäß Skizze) wird von der jeweiligen Organisation dezentral, d. h. nach eigenen Gesichtspunkten vergeben.

Die über die IANA zugeteilten Adressen sind weltweit eindeutig und können im globalen Internet vermittelt (geroutet) werden. Davon ausgenommen sind sogenannte „private“, nicht-öffentliche IP-Adressen, die nur innerhalb von Organisationsnetzen verwendet, also nicht nach außen gesendet werden können bzw. dürfen. Sie sind auf einfache Weise ohne das Zuteilungsverfahren verfügbar und können z. B. unter Beachtung der gegebenen Einschränkung zur Erweiterung des internen Adressraums genutzt werden. Das RRZE macht z. B. in diesem Zusammenhang von der als „privat“ definierten Class-A-Adresse „10.0.0.0“ mit der binären Startfolge „00001010“ ausgiebig Gebrauch.

Die vorgegebene grobe Gliederung der Adressen in einen Netzwerk- und einen Rechneranteil legt ein Modell nahe, nachdem die Hostadressen durchnummeriert und die Systeme sich auf einem gemeinsamen, umfassenden Netz (LAN) befinden. Dies wäre aber z. B. im Kommunikationsnetz der FAU aus verschiedenen Gründen (etwa in einem „flachen LAN“) nicht umsetzbar. Abhilfe bietet eine im RFC 917 (INTERNET SUBNET) beschriebene Methode mit der z. B. das Netz einer Organisation in verschiedene „Subnetze“ weiter unterteilt werden kann. Dabei wird die Gliederungsgrenze einer Adresse (nach rechts) verschoben, d. h. der Netzwerkanteil verlängert und der Rechneranteil entsprechend verkürzt. Eine solche Verschiebung wird durch eine sogenannte Subnetzmaske gekennzeichnet, die entsprechend dem Adressformat an

Beispiel 1				Beispiel 2				
131	188	3	2	Rechner-IP-Adresse	131	188	29	129
255	255	255	0	Subnetzmaske	255	255	255	224
Netzwerk: 131.188.3.0				Netzwerk: 131.188.29.128				
Rechner: 2				Rechner: 1				
Broadcast: 131.188.3.255				Broadcast: 131.188.29.159				

Adressen mit Subnetzdefinition

den Netzpositionen gemäß Klassenzugehörigkeit und den zusätzlichen Stellen gemäß Subnetzdefinition jeweils die „1“ enthält und im restlichen Rechneranteil mit „0“ besetzt ist. Die „1en“ maskieren somit den Anteil des Netzwerks innerhalb einer IP-Adresse.

Die Abbildung „Adressen mit Subnetzdefinition“ enthält zwei Beispiele aus dem Wissenschaftsnetz der FAU, wobei der Subnetzanteil in „Beispiel 1“ acht Bit lang ist (drittes Byte, Wert „3“) und sich in „Beispiel 2“ über 11 Bit erstreckt (drittes Byte plus oberste drei Bit im vierten Byte, Werte „255“ und „128“). Sind alle Bit des Rechneranteils mit Nullen belegt, ergibt sich daraus die jeweilige Netzwerkadresse, sind sie mit Einsen belegt, spricht die gesamte Adresse keinen individuellen Host an, sondern wendet sich als Broadcast an alle Teilnehmer des betreffenden Subnetzes. So können in den Beispielen den Subnetzen noch bis zu 254 (Werte 1-254) bzw. 30 (Werte 129-158) Rechneradressen zugeordnet werden. In der Praxis ist deren Verwendung für Benutzersysteme allerdings weiter eingeschränkt, da sie z. B. vom RRZE für bestimmte Netzwerkkomponenten oder -funktionen verschiedene Hostadressen reserviert sind.

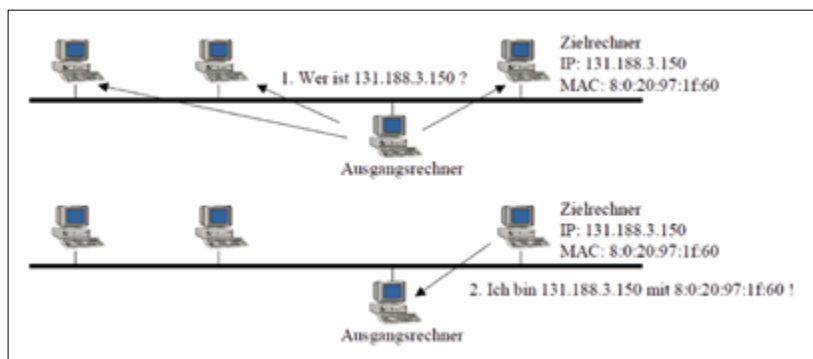
Die Aufteilung einer Adresse in Netz- und Rechneranteil bzw. die Kenntnis darüber ist wichtig für die Kommunikation eines Systems im Internet. Aus eigener Adresse und Netzmaske kann ein sendewilliger Rechner seine Netzzugehörigkeit ermitteln sowie für eine Zieladresse entscheiden, ob diese sich im gleichen Netz befindet oder außerhalb davon liegt. Befinden sich Sender und Adressat im selben Netz, kann der Sender

unter Angabe der Medienadresse (MAC) des Empfängers z. B. ein Datenpaket direkt zustellen. Zum Finden der MAC- bei gegebener IP-Adresse kann dabei ein spezielles Protokoll (ARP, s. Kap. 4.3.3.2) verwendet werden. Liegt die Zieladresse außerhalb des Sendernetzes, muss der Sender sich an eine Übergangskomponente (Router) wenden, die sowohl innerhalb seines Netzes erreichbar ist, als auch als Teil des übergeordneten IP-Netzwerks bzw. des Internet erhaltene Pakete entsprechend weiter vermitteln kann. In der Regel ist ein (Sub-)Netz mit genau einem Router verbunden, dessen betreffende Adresse auch als „Default-Route“ bezeichnet wird (s. Kap. 4.3.6).

Die konkrete Strukturierung eines Adressraumes, das heißt die Definition und Zuordnung von Subnetzadressen, ist Aufgabe der betreffenden Netzwerkadministration. So entwickelte und verfolgte das RRZE dazu eine Strategie, nach der Adressen gebildet und innerhalb der FAU zugeteilt wurden. Der anfängliche Grundansatz mit einer 1 Byte langen Subnetzadresse pro Einrichtung der Universität (vergleiche „Beispiel 1“) musste aber etwa im Zuge wachsenden Bedarfs und schwindenden Verbleibs verfügbarer Adressen schon bald durch flexibleres Vorgehen, d. h. insbesondere durch die Bildung kleinerer Netzeinheiten oder auch verstärkter Nutzung privater (nicht öffentlich gerouteter) Adressen modifiziert werden.

4.3.3.2 ARP (Address Resolution Protocol) und RARP (Reverse Address Resolution Protocol)

Das Address Resolution Protocol (ARP) ist ein eigenständiges Protokoll, das als Hilfsmittel zur Kommunikation innerhalb eines LAN dient. Es hat als Ziel, zu einer gegebenen logischen (IP-)Adresse die zugehörige Hardwareadresse (z. B. MAC) auf dem betreffenden lokalen Netz (z. B. Ethernet oder FDDI) zu ermitteln, die dort zum Zustellen von Paketen benötigt wird. Dazu versendet der sendewillige Ausgangsrechner



Beispiel: ARP-Adressauflösung

ner einen „ARP_Request“ an alle potentiellen Partner über einen medienspezifischen Broadcast, der die IP-Adresse des Zielrechners enthält. Dieser (sofern existent bzw. aktiv) antwortet daraufhin an den Ausgangsrechner mit einem „ARP_Reply“, einem Paket, das u. a. seine IP- und MAC-Adresse enthält (s. Abb. „Beispiel: ARP-Adressauflösung“).

Über das Reverse Address Resolution Protocol (RARP) kann ein System seine eigene IP-Adresse ermitteln. Dazu sendet er ebenfalls eine Anfrage per Broadcast, die dann z. B. von einem dazu eingerichteten Server beantwortet wird.

4.3.3.3 ICMP (Internet Control Message Protocol)

Über das „Internet Control Message Protocol“ (ICMP) können Kontroll- oder Fehlerinformationen zwischen Netzkomponenten oder Endsystemen versendet bzw. empfangen werden. Das geschieht über normale IP-Pakete, bei denen das Protokoll-Feld auf „1“ gesetzt ist (s. Abbildung S. 125 „Aufbau von IP-Paketen“). Die ICMP-Pakete enthalten zudem ein Typ- und ein Code-Feld, mit denen entsprechende Meldungen beschrieben, sowie näher spezifiziert werden. Die Tabelle der „ICMP- Meldungsarten“ gibt als Übersicht die möglichen Besetzungen des TYP-Feldes und ihre Bedeutungen an. Ein populäres Beispiel bilden die Elemente „Echo Request“ und „Echo Reply“, die im Rahmen sogenannter, auch auf Nutzerebene verfügbarer „Ping-Aufrufe“ verwendet werden, um die Erreichbarkeit von Systemen im Netz zu testen. Dabei wird ein „Echo Request Paket“ mit der zu prüfenden Zieladresse gesendet und auf eine Antwort des

Type Field	Beschreibung
0	Echo Reply
3	Destination Unreachable
4	Source Quench
5	Redirect
8	Echo Request
11	Time Exceeded
12	Parameter Problem
13	Timestamp Request
14	Timestamp Reply
17	Address Mask Request
18	Address Mask Reply

ICMP- Meldungsarten

Adressaten gewartet. Der Empfang eines zugehöriges „Echo Reply Pakets“ zeigt die prinzipielle Funktionsfähigkeit von Netzwerk und Ziel an. Durch Vergleich von Absende- und Empfangszeit kann zudem die Paketlaufzeit über Hin- und Rückweg berechnet, d. h. die Antwortzeit unter Einbeziehung von Netz- und Rechnerverhalten gemessen werden.

4.3.4 Protokolle der Transportebene (Schicht 4)

4.3.4.1 UDP (User Datagram Protocol)

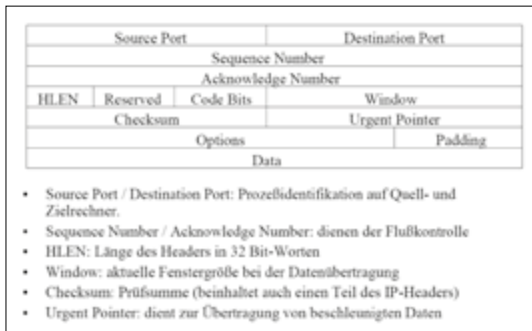
Das „User Datagram Protocol“ (UDP) ist ein ungesichertes Transportprotokoll, das auf dem Netzwerkprotokoll IP aufsetzt. Es ist verbindungslos und versendet einzelne Datenpakete in Datagrammen als eigenständige Einheiten, ohne eine Flusskontrolle durchzuführen. Die Kontrolle über inhaltlich zusammenhängende Folgen von Paketen oder deren korrekte Übertragung ist Aufgabe der darüber liegenden Programme der Anwendungsebene. Die mit acht Byte relativ kurze, schichtenspezifische Verpackung (Protokollheader) enthält Portnummern zur Adressierung von Quelle und Ziel innerhalb der beteiligten (Rechner-)Systeme, die jeweilige Paketlänge und eine optionale Prüfsumme, die zur Erkennung von Fehlern innerhalb der Kopfinformation herangezogen werden kann. Das Protokoll hat durch seine einfache Gestaltung und die Kürze der Verpackungsdaten, etwa im Vergleich zum verbindungsorientierten TCP, einen sehr geringen Overhead und ist daher sehr effizient. Es eignet sich besonders für knappe „Frage-Antwort“-Kommunikationen (z. B. Domain-Name-System- (DNS-) Namensauflösung), aber auch für Anwendungen mit speziellen Leistungsanforderungen (z. B. Multimediaübertragungen per „RTP über IP“ (Real Time Protocol). Andere Beispiele für UDP-Anwendungen sind NFS (Network File System), NIS (Network Information System) oder SNMP (Simple Network Management Protocol).

4.3.4.2 TCP (Transmission Control Protocol)

Das „Transmission Control Protocol“ (TCP) ist ein verbindungsorientiertes Transportprotokoll der Schicht 4, das in der Architektur (s. Kap. 4.3.2) zwischen Netzwerk- (Schicht 3) und Anwendungsebene (Schicht 4-7) gelagert ist, also einerseits das IP zum Datentransfer zwischen verschiedenen Systemen nutzt und andererseits innerhalb von Systemen eine Datenstromschnittstelle zur Nutzung durch Applikationen zur bereitstellt. Es sorgt für gesicherte Übertragungen über definierte „Ende-zu-Ende-Verbindungen“ zwischen zwei Kommunikationspartnern bzw. den entsprechenden Anwendungsinstanzen, insbesondere durch Mechanismen zur Etablierung von Verbindungen (Auf- und Abbau), zur Fehlerbehandlung (Erkennung durch Prüfsummen- (Checksum) und Quittierungsverfahren, Behebung durch gezielte Übertragungswiederholung) oder zur Steuerung und Anpassung des Datenflusses an das dynamische Verhalten von Netz und beteiligten Systemen (Flusskontrolle über flexiblen Fenstermechanismus nach „Van-Jacobson-Algorithmus“). Flusskontroll- und Bestätigungsverfahren orientieren sich etwa im Vergleich zu BSC-Prozeduren oder dem X.25-Protokoll (s. Kap. 3) nicht an Einheiten in Datenblöcken, sondern am übertragenen Datenstrom, dessen Zeichen (Bytes) durchnummeriert und zur Kennzeichnung gesendeter Daten

(durch „Sequence Number“, Nummer des ersten Zeichens eines Datenpakets) und der Quittierung erfolgreich empfangener Zeichenfolgen (durch Acknowledge Number, Nummer des als nächstes erwarteten Zeichens, herangezogen werden. Zudem kann die Fenstergröße (Window) und damit die mögliche Anzahl unbestätigter Zeichen im Verlauf einer Verbindung per Protokoll variiert werden, also z. B. bei „langsamen“ oder fehleranfälligen Übertragungen (etwa über Fernverbindungen eines WAN) verkleinert oder bei „schnellen“ und zuverlässigen Übertragungen (etwa in einem LAN) vergrößert werden.

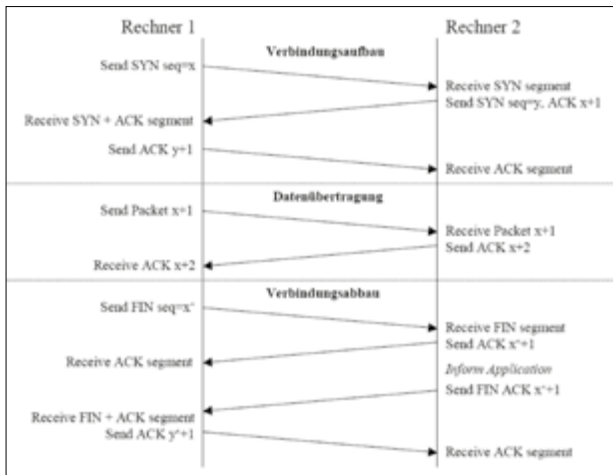
Um innerhalb eines Systems verschiedene Anwendungen per TCP unterstützen zu können, dient ein „Socket-Konzept“ zur eindeutigen Identifikation von Diensten. Danach ist ein Prozess auf einem Rechner durch eine eindeutige Portnummer gekennzeichnet und adressierbar (z. B. der Filetransferdienst FTP durch Port 20). Eine bestehende TCP-Verbindung (auch als Association bezeichnet) kann somit durch ein 5-Tupel charakterisiert werden, bestehend aus Protokoll, lokaler Adresse, lokalem Prozess, entfernter Adresse, entferntem Prozess. Als Beispiel wird ein Dateitransfer zwischen zwei Servern durch die Aufreihung „{tcp; 131.188.3.150; 022; 131.188.3.40; 22}“ beschrieben.



Aufbau eines TCP-Pakets

Die spezifischen Informationen der Transportschicht werden als „Header“ den Daten der darunter liegenden Schicht des Internetprotokolls vorangestellt und bilden so mit ihnen Datagramme der Transportebene (TCP-Pakete). Wie im „Aufbau eines TCP-Pakets“ dargestellt, enthalten sie insbesondere die betreffenden Portnummern von Quell- und Zieldienst sowie die oben genannten Zähler zur Organisation der Flusskontrolle.

Wie für einen verbindungsorientierten Dienst üblich, gehören zu einem Kommunikationsvorgang über TCP, Phasen des Verbindungsaufbaus, der Datenübertragung und des Verbindungsabbaus. Zur Abwicklung der Phasen dienen spezielle Pakete, die



Geschichte einer TCP-Verbindung

durch entsprechend gesetzte Bit (Flags) im „Code Bit“-Feld gekennzeichnet sind. In der Abbildung „Geschichte einer TCP-Verbindung“ sind die drei genannten Phasen als Beispiele positiver Abläufe grob skizziert. Dabei werden SYN-Pakete (Synchronize Sequence Numbers, gesetztes SYN-Flag) zum Verbindungsaufbau, FIN-Pakete (gesetztes FIN-Flag) zum Verbindungsabbau sowie ACK-Pakete (gesetztes ACK-Flag) zur positiven Quittierung erhaltener Pakete verwendet. Zur Schaffung einer hohen Zuverlässigkeit erfolgt der Verbindungsaufbau über einen Drei-Wege-Handschlag (Three Way Handshake), danach ist eine Verbindung erst dann etabliert, wenn der Initiator nach Verbindungsanforderung eine darauf erhaltene Bestätigung wiederum dem Zielpartner positive quittiert und erfolgreich zugestellt hat.

4.3.5 Protokolle der Anwendungsebene(n) (Schichten 5 – 7)

In der TCP/IP-Protokollarchitektur wird die Anwendungsschicht mit „Application“ bezeichnet und im Vergleich zum ISO-/OSI-Modell nicht weiter untergliedert, auch ist eine klare Schichtenzuordnung nicht immer möglich. Die Anwendungen bieten etwa Benutzern oder Programmen auf Rechnersystemen Schnittstellen zum Aufruf entsprechender Dienste an und stützen sich zu deren Realisierung auf die Transportprotokolle UDP oder TCP.

4.3.5.1 UDP-Anwendung DNS (Domain Name Service)

Unter den bereits oben erwähnten Anwendungen, die das verbindungslose Protokoll UDP nutzen (s. Kap. 4.3.4.1), spielt der DNS-Dienst eine besondere Rolle, da er eine erhebliche Hilfe zur Nutzung des Internet darstellt. Obwohl etwas eingängiger, als etwa medienbezogene Adressen, wie etwa Ethernet-MACs, sind auch die Netzwerkadressen (IP-Adressen) und deren Zuordnung zu konkreten Systemen für Nutzer schwer zu merken, zumal diese auch nicht unbedingt dauerhaft festgelegt sind. So wurden schon in den Anfängen des Internet verschiedene Ansätze zur Vereinfachung verfolgt, die dann 1987 im RFC 1034 veröffentlichten Konzept der Definition und Handhabung symbolischer Namen (Domain Names) führten. Der hierarchisch aufgebaute Namensraum teilt die „Internetwelt“ in Zonen (Top-Level-Domains) auf (Beispiel: „de“ für Deutschland), die weiter in „Second-Level-Domains“ gegliedert sind (Beispiele: „fau“ für die Universität FAU) und fügt den Bezeichnungen individuelle Systemnamen an (Beispiel: „license1“ für einen Server des RRZE), sofern sie nicht ihrerseits noch weiter unterteilt sind. Die Hierarchie wird durch Punkte getrennter Schreibweise von „rechts nach links“ abgebildet. So lautet im Beispiel der gesamte Name für den betreffenden Server des RRZE: „license1.fau.de“. Diese symbolischen Namen werden in weltweit zusammen arbeitenden Nameservern verwaltet, die zudem entsprechende Anfragen im Rahmen des DNS mit jeweils zugeordneten IP-Adressen beantworten. In obigem Beispiel ergäbe eine Anfrage zur Auflösung von „license1.fau.de“ (z.Zt.) das Resultat „131.188.3.191“.

4.3.5.2 TCP-Anwendungen

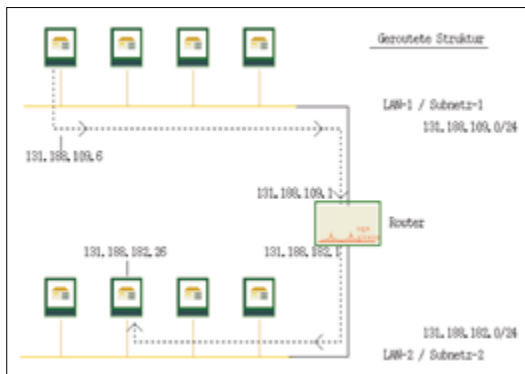
Zu den wichtigen Aufgaben eines Netzwerks gehört es, verschiedene Kommunikationsformen zwischen verteilten Partnern möglich zu machen und dazu bestimmte Dienste bereitzustellen. Daher erlangte das Internet bzw. die TCP/IP-Protokollfamilie erst eine große Bedeutung im Zusammenhang mit seinen dazu gehörenden Anwendungen, die zwar weitgehend vergleichbar mit anderen Lösungen waren (Datenfernverarbeitung, X.25-Netz usw.), sich aber zum Teil auf einem höheren Leistungsniveau bewegten oder aber auch besser verfügbar waren. So konnten bereits Anfang der 80er-Jahre elementare Dienste zum Dialog (Terminal-Rechnerverbindung per Telnet), Dateiaustausch (Filetransfer per FTP) oder persönlicher Kommunikation (E-Mail per SMTP) im Rahmen von IP-Netzen genutzt werden. Die Verwendung des verbindungsorientierten TCP sorgt dabei für fehlerfreie und zuverlässige Datentransfers.

Im Laufe der Jahre kamen und kommen zahlreiche, weitere Anwendungen hinzu, etwa 2005/2006 zum verschlüsselten Dialog (SSH) und Filetransfer (SFTPS). Besonders hervorzuheben ist aber die Einführung des 1999 erstmals beschriebenen Protokolls HTTP (Hypertext Transfer Protocol for distributed, collaborative, hypermedia informa-

tion system“ und die damit verbundene Anwendung des World Wide Web (WWW), das als globales Informationssystem auch in privaten Bereichen starke Verbreitung fand und vielfach mit „dem Internet“ identifiziert wurde bzw. noch wird.

4.3.6 IP-Netzstrukturen und Wegelenkung (Routing)

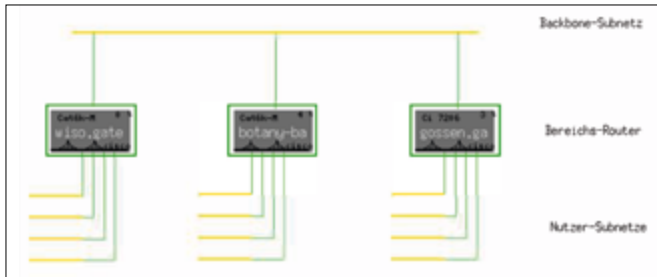
Das IP-Protokoll ermöglicht den Aufbau verteilter, verzweigter Netzstrukturen und damit z. B. auch die Kommunikationen über LAN-Grenzen hinaus, benötigt dazu aber entsprechend vermittelnde Komponenten mit „routender“ Funktion. Die Abbildung „Verknüpfung zweier IP-Netze (LANs) über Router“ enthält zwei LAN-Segmente, denen je ein IP-(Sub-)Netz zugeordnet ist und die über einen dedizierten „Router“ miteinander verbunden sind (vgl. Abbildung der reinen LAN-Verknüpfung in Kap. 4.2.2.4). Alle Pakete, die etwa der Rechner „131.188.109.6“ an Partner außerhalb seines Netzes versenden will, schickt er an den Router bzw. dessen Schnittstelle im gleichen Subnetz („default-route“: „31.188.109.1“), der sie anhand der Zieladresse entsprechend weiter leitet, im dargestellten Beispiel an die Adresse „131.188.182.26“ im zweiten Subnetz bzw. LAN.



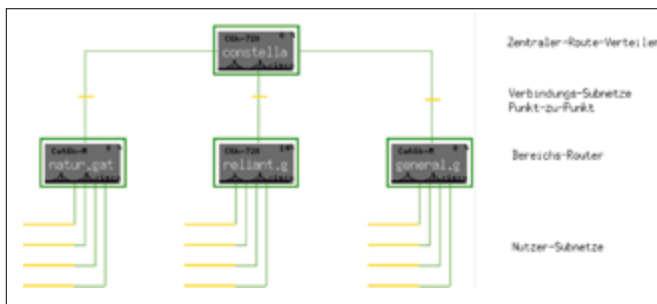
Verknüpfung zweier IP-Netze (LAN) über Router

Eine Erweiterung dieses einfachen Beispiels ergibt sich, wenn der Router mehr als zwei Schnittstellen besitzt und so als Sternverteiler zwischen mehreren, angeschlossenen (Sub-)Netzen vermittelt. Darüber hinaus können aber auch weitaus komplexere Strukturen gebildet werden, etwa über Router in den Subnetzen mit weiterführenden Verbindungen oder durch zusätzliche, direkte Router-Router-Verbindungen zur Verknüpfung verschiedener Bereiche. Im Gegensatz zur Bildung von LAN-Strukturen unterliegen derartige IP-Strukturen keinen prinzipiellen Beschränkungen, sondern können nahezu beliebig aufgebaut sein. Dabei sind z. B. zwischen zwei Teilnehmern

auch mehrere, verschiedene Wege möglich, etwa um bestimmte Ausfallsituationen auffangen zu können. Allerdings macht es u. a. aus betrieblicher Sicht Sinn, in organisatorisch zusammenhängenden Bereichen solche Strukturen gemäß Anforderungen und Gegebenheiten sorgsam zu planen und gezielt zu gestalten, wie es im Rahmen des RRZE gehandhabt wurde und weiter wird (s. dazu auch die konkreten Netzausprä-



Bus-Struktur, Router Verknüpfung über gemeinsames LAN/Subnetz



Stern-Struktur, Router-Verknüpfung über zentralen Router

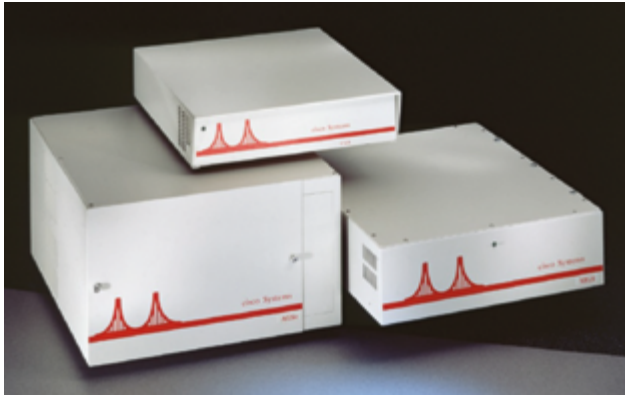
gungen in Abschnitten dieses Kapitels und der folgenden Entwicklungsphasen). Zum Aufbau von IP-Netzwerken orientierte sich das RRZE zur Strukturierung hauptsächlich an zwei Modellen. Beide gehen von Routern aus, die gewisse Bereiche als Sternmittelpunkte versorgen (Bereichs-Router mit angeschlossenen Nutzer-Subnetzen) und untereinander spezifisch verknüpft sind. Im ersten Modell kommunizieren sie über ein gemeinsames Netz (Bus-Struktur mit Backbone-Subnetz), im zweiten Modell führt die Kommunikation der Bereichsroutern über direkte Verbindungen mit einem zentralen Verteiler (Stern-Struktur mit Router im Mittelpunkt). Während die Bus-Struktur etwa in Netzen dieses Kapitels zur Anwendung kommt, z. B. im Campusnetz (s. Kap. 4.4.1), im Regionalen Netz (s. Kap. 4.4.2) oder im Stadtnetz (s. Kap. 4.4.3) ist der Router-Stern heute noch Muster für aktuelle Architekturen, die im Vergleich mit den genannten Implementierungen mit deutlich leistungsfähigeren Komponenten (z. B. Switch-Router) und Übertragungsmedien (z. B. Glasfaser, Twisted Pair) operieren können.

Ein IP-Netzwerk (bzw. die beteiligten Router) hat die Aufgabe, jedes von einem Teilnehmer gesendete Paket gemäß der darin enthaltenen Zieladresse durch das Netzwerk zu transportieren und dem entsprechenden Endsystem zuzustellen. Hierzu informieren sich die Router gegenseitig über ihre jeweils eigenen Netze, sowie gelernte Kenntnisse der Erreichbarkeit anderer Netze. So bauen sie entsprechende Tabellen auf, anhand derer sie z. B. für fremde Netze entscheiden können, an welchen Nachbarrouter ein Paket weiter zu leiten ist. Dieses dynamische Routing erfolgt über sogenannte Routing-Protokolle, kann aber auch durch statische Einträge von Administratoren ergänzt, in extremer, für komplexe Strukturen aber kaum praktikabler Handhabung, sogar auch ersetzt werden. Im Rahmen des FAU-Netzes wird zwischen den Routern hauptsächlich das Routing-Protokoll OSPF (RFC 2328: Open Shortest Path First) eingesetzt, das als sogenanntes „Link State Protocol“ u. a. mögliche Wege bzw. Alternativen flexibel bewerten und durch das hauptsächlich Mitteilen von Zustandsänderungen effektiv funktionieren kann. Insofern ist es dem Distanzvektor Protokoll RIP (RFC 1058 (V1): Routing Information Protocol) meist vorzuziehen, das Entfernungen über die Anzahl der zu durchlaufenden Router (Anzahl Hops) misst und im Informationsaustausch jeweils komplette Tabellen überträgt. Das zudem auch „schwerfälligere“ RIP findet daher nur noch in Ausnahmefällen Verwendung.

Auch Endsysteme benötigen gewisse Routing-Informationen, die sich in der Regel auf die Kenntnis des zugehörigen (Bereichs-)Routers bzw. dessen Adresse im betreffenden, lokalen Subnetz beschränken, Verbindungen zu anderen Netzen vermitteln können. Solche, als „Default-Route“ bezeichnete Übergangsadressen, werden meist statisch vom Systemadministrator fest konfiguriert, können aber u.U. auch über Mechanismen dynamischer Adresszuteilung (z. B. DHCP) oder per Protokoll (z. B. RIP) eingetragen werden.

4.3.7 IP-Netzkomponenten (Router)

Der Aufbau von IP-Netzstrukturen und die Implementierung zugehöriger Routing-Funktionen können über universelle Rechnersysteme erfolgen, die mit entsprechenden Schnittstellen und Programmen ausgestattet sind. Dies wurde auch etwa im Rahmen der Einführung von IP-Netzen an der FAU zunächst so praktiziert. Trotz ihrer Flexibilität erwiesen sich solche allgemeinen Systeme aber aufgrund ihrer inneren Architektur, sowie der „parallelen“ Bearbeitung von Netz- und Anwenderfunktionen weder bezüglich Leistung (z. B. Durchsatz) noch Betriebsgestaltung (z. B. Administration) als optimal. Diese generellen Probleme wurden durch die Entwicklung und den Einsatz von Geräten gelöst, die als „Router“ mit dedizierter Hard- und Software verfügbar und zu bestimmenden Komponenten von (IP-)Netzgestaltungen wurden.



*Cisco-Router:
CGS, AGS+, MGS (1989)*

Die Router erschienen als Geräteboxen, die je nach Einsatzzweck und Bedarf mit Schnittstellen verschiedener Art und Anzahl ausgestattet waren. Als eine der ersten Firmen brachte der 1984 gegründete, amerikanische Hersteller Cisco 1986 einen „Multiprotokoll-Router“ auf den Markt, der im Laufe der Jahre eine beherrschende Stellung erlangte und noch heute Lösungen für fast alle Bereiche des Netzbetriebs anbietet. So kamen (und kommen) auch an der FAU hauptsächlich Cisco-Komponenten zum Einsatz, deren Geräte in den ersten Jahren die Bezeichnungen „IGS“, „CGS“, „MGS“ oder „AGS+“ trugen (s. Abb. „Cisco-Router: CGS, AGS+, MGS (1989)“).

Produkte anderer Hersteller kamen am RRZE nur zeitweise zum Einsatz, etwa als Wellfleet vor Cisco einen Router mit FDDI-Schnittstelle anbot.

Die Router besitzen neben ihrer dedizierten Hardware ein darauf eigens aufsetzendes Betriebssystem (z. B. IOS von Cisco) sowie eine spezifische Kommandosprache (Command Language), mit der über eine einfache (seriell, asynchron) Terminal-schnittstelle (Console Port) oder eine Netzverbindung (Telnet) die Geräte im Dialog administriert werden können. Zum Einsatz eines Routers, in einem konkreten Fall muss er entsprechend konfiguriert werden, d. h. gemäß seinen Aufgaben eingestellt werden. Dazu gehören etwa Adresszuordnungen seiner Schnittstellen, Bestimmung der zu verwendenden Routing-Protokolle oder sonstige Anpassungen zur Einbettung in seine Netzumgebung. Je nach Einsatzfeld und Aufgabenumfang erfordert die Konfiguration von Routern ausführliche Fachkenntnisse und Erfahrungen im Umgang mit den Geräten. Da diese im Rahmen einer Gerätefamilie, wie der von Cisco, weitgehend übertragbar sind/waren, stellt(e) dies auch ein gewichtiges Argument für möglichst homogene Netzgestaltungen dar.

Durch Ausstattung mit unterschiedlichen Arten von Schnittstellen kann ein Router nicht nur etwa zwischen angeschlossenen Ethernet-LANs bzw. deren zugeordneten Subnetzen vermitteln, sondern auch Verknüpfungen zwischen Netzen auf Basis unterschiedlicher Technologien herstellen. Dazu gehören z. B. auch im RRZE-Kontext genutzte

- Router mit seriellen (V.24, synchron) Schnittstellen (Remote-Router), die über Fernverbindungen entferne LANs miteinander verbinden und so etwa Außenstellen an zentrale Strukturen heranführen
- Router mit serieller X.25-Schnittstelle, die LANs über ein X.25-Netzwerk nach speziellem Verfahren (RFC 877) verbinden (s. Kap. 4.4.3)
- Router mit FDDI-Schnittstelle(n) zur Bildung von (schnellen) Backbone- oder Serverringen (s. Kap. 4.4.3)
- Router mit unterschiedlichen Ethernet-Schnittstellen (AUI-10 Mbit/s, Koax-100 Mbit/s)
- Später (s. Kap. 5) auch Router mit ATM (155/622/2048 Mbit/s), (s. Kap. 6 und 7) Ethernet- TP (100/1000 Mbit/s), Glas (1000/10000 Mbit/s)

Je nach Ausstattung kann ein Router zwar den Datenaustausch bzw. den Transport von IP-Paketen zwischen Medien mit unterschiedlichen Eigenschaften möglich machen, dabei aber natürlich keine echten Angleichungen vornehmen. Es ist Aufgabe der beteiligten Endsysteme z. B. über das Transportprotokoll TCP und dessen Steuerungsmechanismen (s. Kap. 4.3.4.2) oder auch auf Anwendungsebene für Kontrolle und angepassten Datenfluss zu sorgen.

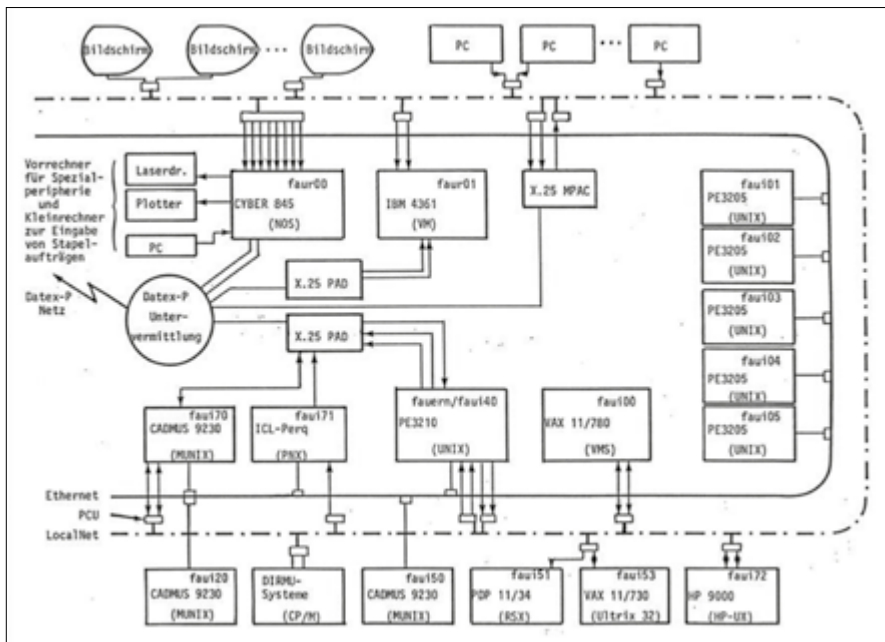
4.4 IP-Netze an der FAU

Während die Hauptaufgabe des RRZE in der Schaffung von Zugängen zu den zentralen Systemen und entsprechender WAN-Vernetzung bestand, eröffneten entstehende Verfügbarkeiten lokaler Netztechniken sowie der Internetprotokollfamilie neue Möglichkeiten zur Gestaltung von Kommunikationsstrukturen mit erweitertem Leistungs- und Anwendungsspektrum. Das RRZE trug diesen Entwicklungen Rechnung, u. a. durch Planung und Umsetzung von Verkabelungsmaßnahmen, der Einführung von LAN-Techniken, sowie der schrittweisen Realisierung einer IP-Vernetzung auf Basis jeweils vorhandener Strukturen. Dabei konnte insbesondere bezüglich der IP-Protokolle auf Erfahrungen und Vorleistungen der Erlanger Informatik zurückgegriffen werden, die an der FAU im Rahmen von Forschung und Entwicklung diesbezüglich Pionierarbeit geleistet hatte.

4.4.1 Anfänge (Informatik)

4.4.1.1 Vorläufer Kommunikationsnetz REVUE

Die Informatik an der FAU, insbesondere die Lehrstühle IV (Betriebssysteme) und VII (Rechnerarchitektur-Verkehrstheorie), befasste sich bereits in den 80er-Jahren mit kostengünstigeren, „kleineren“ Alternativen zu den seinerzeit an Rechenzentren gängigen, zentralen Universalrechnersystemen, wie z. B. der Cyber 845 oder der IBM 4361. Entsprechend wurden unterschiedliche Systeme einer „mittleren Datentechnik“ erprobt und dediziert eingesetzt, darunter solche der Hersteller Digital Equipment (PDP 11/34, VAX 11/780), Peripheral Computer Systems (Cadmus 9230) oder Perkin Elmer (PE3205). Daraus ergab sich auch ein Bedarf an Möglichkeiten zur Kommunikation und zum Datenaustausch zwischen diesen Systemen, also die Erfordernisse einer entsprechenden Vernetzung. Hierzu wurde der „Rechner Verbund Universität Erlangen“ (s. Kap. 3.3.3) aufgebaut, dessen Netzwerk aus eigenen LANs (Ethernet), Elementen des LocalNet20 sowie Übergängen zum X.25-Netz gebildet wurde und in die Struktur des RRZE-Netzes voll integriert war (s. Abb. „Rechner Verbund Universität Erlangen, 1985“). Der Verbund unterstützte verschiedene Kommunikationsformen,



Rechnerverbund Universität Erlangen, 1985

wobei zunächst die Nutzung über das Netzwerk hergestellter, serieller Verbindungen im Vordergrund stand und häufig das auf unterschiedlichen Systemen verfügbare Programm Kermit für Dialoge und Filetransfers verwendet wurde.

4.4.1.2 UNIX und Kommunikationssoftware

Der Lehrstuhl für Verteilte Systeme und Betriebssysteme (Informatik IV) an der FAU unter Leitung von Prof. Dr. Fridolin Hofmann (bis 2003, verstorben 2015) befasste sich neben theoretischen Grundlagen auch intensiv mit den Entwicklungen des im Konzept plattformunabhängigen Betriebssystems UNIX. Er beteiligte sich daran mit eigenen Beiträgen und dessen praktischer Erprobung im Kontext des Rechnerverbundes REVUE.

Das System UNIX fand in den 80er-Jahren vor allem an Universitäten und anderen Forschungsbereichen eine starke Verbreitung. Einhergehend damit entstanden auch viele, unterschiedliche Kommunikationssoftwarepakete. Dazu gehörte z. B. das System „Newcastle Connection“ (University of Newcastle upon Tync), das an der FAU zur „Erlanger Connection“ weiter entwickelt wurde. Mit Hilfe dieser Pakete konnten mehrere UNIX-Systeme zu einem verteilten UNIX-System zusammengefügt werden, wobei im Gegensatz zum Original Newcastle die Kommunikationsdienste des Erlanger Systems durch Integration in den Betriebssystemkern effektiver nutzbar wurden. In derart verknüpften Systemen konnten z. B. verteilte Dateien gegenseitig angesprochen oder auch kopiert (transferiert) werden. Ein anderes Kommunikationspaket von Bedeutung innerhalb der Informatik stellte das bei Bell Laboratories entwickelte UUCP (UNIX to UNIX Copy) dar. Es arbeitete mit gesicherten Protokollen auf direkten Rechnerkopplungen, die über unterschiedliche Techniken hergestellt werden konnten und durch Hintereinanderschalten (Kaskadierung) vielfältigen Datenaustausch möglich machten. Schwerpunkt der Anwendungen bildete dabei der Austausch von Nachrichten (E-Mails) zwischen den verschiedenen Rechnern des Instituts, aber auch im nationalen und internationalen Kontakt, etwa über WiN- bzw. Datex-P-Verbindungen.

4.4.1.3 Erste IP-Strukturen

Während die im Rahmen des REVUE-Netzes betriebenen Kommunikationsdienste „schwerfällig“ (z. B. Kermit) oder nur zwischen UNIX-Systemen (z. B. Erlanger Connection) nutzbar waren, eröffneten sich etwa ab 1984 mit beginnender Ausweitung des ARPANET sowie erstmaliger Verfügbarkeit von TCP/IP-Protokollen auf den populären UNIX-Systemen von AT&T (System V) und Berkeley (4.2BSD) neue Perspektiven umfassender Datenkommunikation.

```

From: uunet!SRI-NIC.ARPA!HOSTMASTER
Subject: Net Num Assignments
Date: January 3, 1989 11:47:59 PM GMT+01:00
To: unido!tauern!immd4.informatik.uni-erlangen.de!jklein
Cc: hostmaster@SRI-NIC.ARPA
Reply-To: uunet!SRI-NIC.ARPA!HOSTMASTER

Juergen,

The new class and network number for REVUE is:

Class B, #131.188

And the block of Class C network numbers are:

Class C, #192.44.81 - #192.44.90

It is suggested that host number zero in any network be reserved (not
used), and the host address of all ones (255 in class C networks) in any
network be used to indicate a broadcast datagram.

The association between addresses used in the particular network
hardware and the Internet addresses may be established and maintained by
any method you select. Use of the address resolution procedure
described in RFC-826 is encouraged.

Note that for networks connected to the ARPA-Internet or the
DDN-Internet the gateway must be either a core gateway supplied and
operated by BBN, or a gateway of another Autonomous System. If this
gateway is not a core gateway, then some gateway in this gateway's
Autonomous System must exchange routing information with some core
gateway via EGP.

NOTE: Separate authorization is required to connect any independently
assigned network numbers to the ARPA-Internet or the DDN-Internet.

Thanks again for your cooperation!
Sue Romano
-----

```

Zuteilung von IP-Adressräumen (Class B, C) für die FAU, 1989

Um daran teilhaben und eigene IP-Netze aufbauen zu können, beantragte der Betriebssystemlehrstuhl in Person von Dr. Jürgen Kleinöder, heute CIO (Chief Information Officer) der FAU, 1989 eine Class-B- und mehrere Class-C-Adressen (s. Kap. 4.3.3), die ihm schließlich mit „131.188.0.0“ bzw. „192.44.81.0 – 192.44.90.0“ zugeteilt wurden (s. Abb. „Zuteilung von IP-Adressräumen (Class B, C) für die FAU, 1989“).

Nachdem die IP-Protokolle auch auf verschiedenen UNIX-Systemen der Informatik verfügbar waren, konnten die erhaltenen Adressräume zur Implementierung erster IP-Strukturen

innerhalb des REVUE-Netzes genutzt und Erfahrungen im Umgang damit gesammelt werden. In Voraussicht künftiger Entwicklungen wurde dabei auch an eine Ausweitung des IP-Netzes auf den Campus im Südgelände und schließlich die gesamte FAU gedacht. Hierzu konzipierte die Informatik eine Aufteilung, nach der im Ansatz „jede Einrichtung“ eine Subnetzadresse der Form „131.188.sss.0/24“ erhalten sollte, in der das 3. Byte („sss“) also jeweils den betroffenen Nutzerbereich abbildete. Dieses Konzept wurde konkretisiert und später dann weitgehend umgesetzt, wie es in den Netzdarstellungen der folgenden Kapitel nachzuvollziehen ist. Man betrachte etwa die Beispiele „Anorganische Chemie - Subnetz 131.188.121.0“ in Erlangen Süd (s. Kap. 4.4.2), „Mathematik - 131.188.103.0“ in der Erlanger Innenstadt (s. Kap. 4.4.3) oder „WiSo - 131.188.202.0“ in Nürnberg“ (s. Kap. 4.4.5).

Im Netzwerk benötigte Routing-Funktionen wurden zunächst über entsprechend konfigurierte Server, dann aber auch über dedizierte Komponenten, insbesondere Router von Cisco oder Wellfleet abgewickelt. Aus gemachten Erfahrungen entstand der Bedarf, die Konfiguration von Routern zu vereinfachen sowie herstellerunabhängig beschreiben zu können. Hierzu wurde am Lehrstuhl für Betriebssysteme ein System

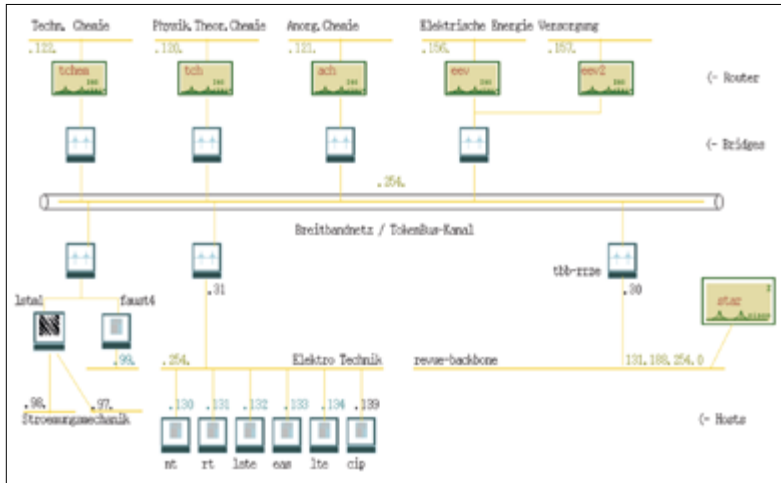
entwickelt, indem solche Konfigurationen u. a. in einer Meta-Sprache formuliert werden konnten, Makros zur Behandlung wiederkehrender, gleichartiger Angaben definierbar waren und schließlich Kommandofolgen für das betreffende Gerät generiert wurden. Dieses Meta-System, das neben den Vereinfachungen auch zur deutlichen Vermeidung von Konfigurationsfehlern beiträgt, wird mit entsprechenden Anpassungen und Aktualisierungen noch heute am RRZE eingesetzt.

Das RRZE beteiligte sich an der Ausweitung des IP-Netzwerks auf Bereiche der Universität außerhalb von REVUE anfangs durch Planung und Bereitstellung von (Übertragungs-)Infrastruktur einschließlich Übergängen und Außenanbindungen sowie der Einbeziehung ihres ersten Großrechners mit den TCP/IP-Protokollen und eigenen Ethernet-Schnittstellen, nämlich der Cyber 995E und dem Netzprodukt CD-CNET (Control Data Communications Network) im Jahr 1991. Es folgten im Rahmen der „Migration zu UNIX-Servern“ z. B. ein File- und Archivserver CD 4680 (EP/IX, UNIX-Variante von CDC) oder ein Mailserver von SUN (SunOS).

In der Auf- und Ausbauphase des IP-Netzwerks (zum „Intranet der FAU“) teilten sich RRZE und Informatik die Aufgaben, wie Konfiguration und Betrieb von Routern, Adressverwaltung oder Bereitstellung von Internetdiensten (z. B. DNS) in kollegialer Absprache, wobei die Tätigkeiten nach und nach vom RRZE bis hin zur kompletten Verantwortung übernommen wurden.

4.4.2. IP im Campusnetz Erlangen Süd

Das 1987 im Erlanger Südgelände in Betrieb genommene Breitbandnetz diente in Zusammenhang mit den Anschlussboxen (T-Box, T-Mux) als LocalNet 20 zur flächendeckenden Kommunikation zwischen Terminals/Systemen über serielle Schnittstellen (asynchron, V.24) und dabei insbesondere zum Dialogbetrieb mit den Zentralrechnern des RRZE (s. Kap. 3.3). Nachdem das RRZE erste Ansätze zum Einsatz der Internetprotokolle verfolgte und auch im Bereich der Technischen Fakultät der Bedarf zu deren Anwendung entstand, ergaben sich Wege, die im Campus vorhandene Infrastruktur dafür zu nutzen. Den Schlüssel dazu lieferten sogenannte „Token-Bus-Bridges“, die einerseits über einen vom LN20 unabhängigen Kanal im Breitbandnetz untereinander verbunden werden konnten und andererseits Ethernet-Schnittstellen zum Anschluss von Routern bereit stellten. Im gesamten Konstrukt waren dadurch die im Gelände verteilten Router über ein gemeinsames LAN bzw. Subnetz im Sinne der oben beschriebenen Bus-Struktur (s. Kap. 4.3.6) miteinander und über einen zentralen Router mit dem IP-Netz des RRZE verbunden. Die Abbildung „Erlangen Süd, Router Verknüpfung über LocalNet“ aus dem Jahr 1989 stellt diese Zusammenhänge dar. Die Token-Bus-Bridges arbeiteten als LAN-Bridges und bildeten also für die Anschlusspunkte der Router ein gemeinsames LAN, das als IP-Subnetz hier mit „254.“



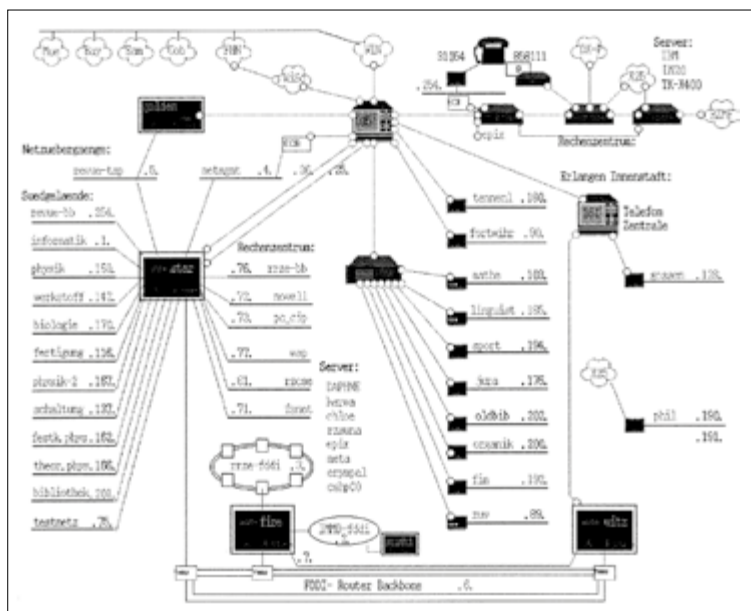
Erlangen Süd, Router Verknüpfung über LocalNet, 1989

für „131.188.254.0/24“ beschrieben ist. Die Verlängerungen in den Bereichen (z. B. Technische Chemie, Subnetz 122.) zum Anschluss von Endgeräten erfolgten, ähnlich, wie innerhalb des RRZE (s. Kap. 4.2.2.4), über lokale Ethernet-Koax-Strukturen. Als (historisch bedingte) Ausnahme war das Netz der Elektrotechnik Bestandteil des Backbone-Subnetzes (254.) und daher lediglich durch eine Bridge herangeführt, also nicht durch einen Router separiert.

4.4.3 IP über die X.25-Weitverkehrsnetze

Im Weitverkehrsbereich bildete das X.25-Netz des RRZE die Infrastruktur zur Vernetzung der im nordbayerischen Raum verteilten Standorte. Diese wurde durch das Bayerische Hochschulnetz (BHN), Verbindungen mit dem deutschen Wissenschaftsnetz (X.25-WiN) aber auch dem Anschluss zum öffentlichen Vermittlungsnetz der Bundespost (Datex-P) überregional ausgeweitet (s. Kap. 3). Neben den originären Anwendungen boten diese ausgedehnten WAN-Strukturen auch eine Basis zur Realisierung entsprechender Internetstrukturen, d. h. der Verknüpfung lokaler IP-Netze über weit verteilte Bereiche. So konnten dem entstehenden und in der Folge wachsenden Bedarf an Kommunikationsformen der IP-Protokollfamilie Rechnung getragen und u. a. im Rahmen des Bayerischen Hochschulnetzes (BHN) entsprechende Zugänge zum Münchner Hochleistungsrechner eröffnet werden. Auch im nationalen Bereich diente das „X.25-WiN“ zunehmend als Grundlage zum Aufbau von Internetstrukturen in der deutschen Hochschullandschaft.

Bereits 1983 erschien ein RFC 877, der sich mit dem Transfer von IP-Datagrammen über X.25-basierte, öffentliche Netzwerke befasste und als Standard beschrieb. Danach gehören zum Transfer eines IP-Datagramms der Aufbau einer X.25-Verbindung (per Call Request) gemäß bekannter (per Konfiguration) Zuordnung von IP- und X.25 Adresse der Gegenstelle, Aufteilung in X.25-Datenpakete und deren Transport sowie auf der anderen Seite entsprechende Paketannahme, Rekonstruktion und Weiterleitung der gesendeten IP-Einheit.



IP-Netzstruktur auf der Basis von LAN- und WAN-Techniken, 1993

Die Umsetzung dieser Operationen erfolgt(e) in der Regel über entsprechend ausgestattete Router, die sowohl mit Weitverkehrsnetzen (X.25) als auch mit lokalen (IP-) Netzen (Ethernet, FDDI) verbunden werden konnten. Am RRZE kamen als solche „X.25-Remote-Router“ hauptsächlich Geräte der Firma Cisco zum Einsatz. Eine andere Variante boten X.25-Komponenten, die neben ihren seriellen Schnittstellen durch spezielle LAN-Einschübe erweitert werden und so ebenfalls für den Transfer von IP-Paketen über X.25 sorgen konnten. Beispiele für „X.25-Knoten mit LAN/IP-Erweiterung“ sind die X.25-Switcher der Firma Netcomm und ihre Ergänzung um Ethernet-Schnittstellen über entsprechende Einschubkarten (ECB), die auch im Rahmen des RRZE Verwendung fanden.

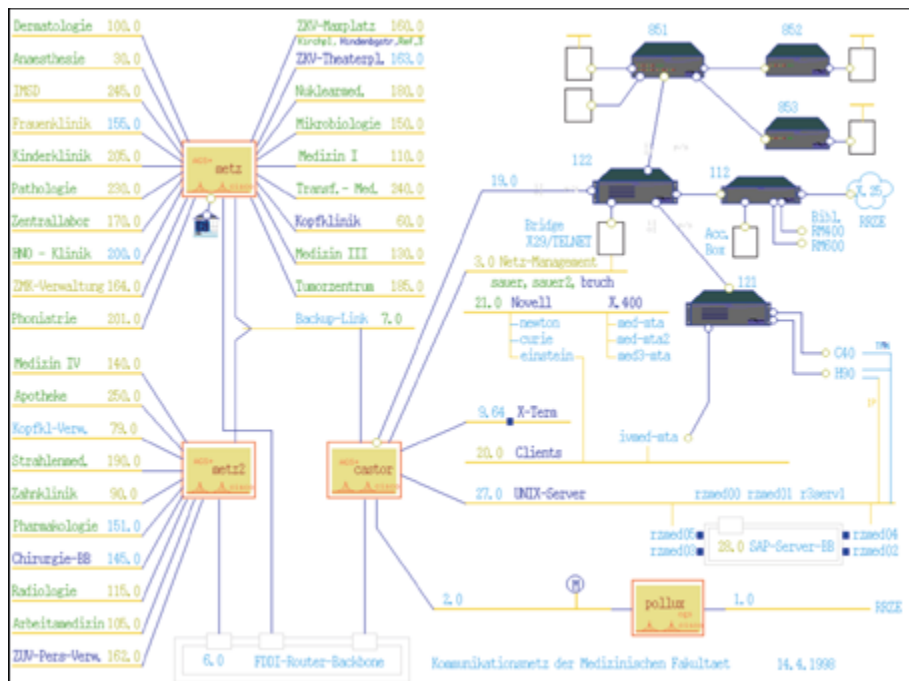
Diese Elemente finden sich demzufolge auch in der Darstellung der „IP-Netzstruktur“ des RRZE aus dem Jahr 1993 auf S. 144. Das X.25-Netz ist darin durch die Wolken der regionalen Standorte und des WiN (oberer Bildrand) sowie den X.25-Knoten in Erlangen repräsentiert, wie z. B. dem Hauptverteilknoten im Rechenzentrumsbereich (Knoten „105“, obere Bildmitte) oder dem damit verbundenen Switch in der Erlanger Innenstadt (Knoten „161“, rechte Seite). Zu sehen ist (rechte Seite), wie IP-Netze verschiedener Standorte bzw. Institutionen über „X-25-Remote-Router“ mit dem X.25-WAN seriell verbunden waren, darunter z. B. das Subnetz .180. (genauer: 131.188.180.0/24) in Erlangen-Tennenlohe (tennenl.) mit dem Knoten 105 im Rechenzentrum. Die Integration dieser Subnetze in das IP-Netzwerke des RRZE erfolgte über den Router „star“ (linke Bildmitte), der einerseits über zwei X.25-WAN-Schnittstellen verfügte und andererseits wichtiger Bestandteil der seinerzeit auf Basis von LAN-Techniken (Ethernet, FDDI) entstehenden IP-Struktur war. Als X.25-Gegenstelle für die Remote-Router gemäß RFC 877 sorgte diese Komponente für entsprechende Transformationen und Weiterleitungen (Routing) der betreffenden IP-Pakete. Betrachtet man z. B. eine IP-Verbindung zwischen einem Endgerät in Tennenlohe (z. B. PC im Netz 180) und einem Server im RRZE (z. B. epix in Netz .3.), so führte sie vom dortigen Ethernet-LAN „tennenl.“, über den zugehörigen Remote-Router „toptenn“ (unbeschriftet), eine X.25-Verbindung über den Knoten „106“ zum Router „star“, über den „FDDI-Router-Backbone“ zum Router „fire“ und von dort im FDDI-Servernetz „rrze-fddi“ schließlich zum Zielrechner „epix“.

Ähnlich waren auch die Router der bayerischen Standorte über das X.25-Weitverkehrsnetz (einschließlich dem WiN) mit dem Router „star“ verbunden, während für sonstige Institutionen der Router „golden“ (links oben) als Auf- bzw. Übergangspunkt fungierte, um den Außenverkehr besser kontrollieren zu können. Es sei bemerkt, dass der DFN über das WiN auch allgemeine Internetkonnektivität herstellte und das RRZE und somit für generelle IP-Verbindungen prinzipiell offen war.

4.4.4 IP-Netz des medizinischen Versorgungsbereichs

Das Rechenzentrum der Medizinischen Fakultät (RZMF), das seit 1984 ein Subrechenzentrum des RRZE mit eigenem Vorstand war, gliederte sich 1995 mit Gründung der IVMed (Informationsverarbeitung Medizin) als zentrale EDV-Organisation des Universitätsklinikums wieder aus. Dabei wurde aber vereinbart, dass das RRZE bis auf weiteres für die Netzwerkbelange innerhalb der medizinischen Bereiche zuständig blieb. Das entsprechende Auftragsverhältnis blieb auch nach der Ablösung der IVMed durch das MIK (Medizinisches Zentrum für Informations- und Kommunikationstechnik im Klinikum) bestehen, bis 2011 Kommunikationsnetz und Betrieb vom RRZE an das Universitätsklinikum Erlangen (UKER) übergeben wurden.

Das RRZE verfolgte den Aufbau eines Kommunikationssystems im medizinischen Bereich als Teil einer generellen Vernetzung der Universität, wobei die Schaffung passiver Verkabelungs- sowie darauf aufbauender aktiver Internetstrukturen im Vordergrund stand. So vollzogen sich Ausbau und technologische Entwicklung für beide Bereiche in ähnlicher zeitlicher Abfolge sowie vergleichbaren inhaltlichen Schritten. (Das RRZE hat diese übrigens nach Abgabe der Verantwortung in einem abschließenden Report beschrieben [Hill1]).



Kommunikationsnetz im medizinischen Bereich, 1988

Da Ethernet- und Internetprotokoll relativ offen, d. h. unsicher sind, plante das RRZE aus Datenschutzgründen von vornherein eine starke Trennung zwischen dem wissenschaftlichen und dem medizinischen Bereich ohne gemeinsame LAN- oder IP-Komponenten, abgesehen von einem streng kontrollierten Übergang für übergreifende Kommunikationsbeziehungen.

Die Verwirklichung eines (separaten) Intranets erforderte auch einen eigenen Adressraum, den das RRZE in Person von Dr. P. Holleczeck (damaliger Leiter der Abteilung für Kommunikationssysteme) über den DFN-Verein 1992 beantragt und erhalten hat.

Dieser wird durch die zugeteilte Class-B-Adresse „141.67.0.0“ aufgespannt. Ähnlich, wie im Wissenschaftsbereich, wurde auch hier damit begonnen, an einzelnen Einrichtungen Subnetzadressen zu vergeben, d. h. ihnen das „3. Byte“ zuzuordnen. So gehörten z. B. die lokalen Einheiten der Anästhesie (Anaesthesia – 141.67.30.0), Dermatologie (Dermatologie – 141.67.100.0 und der Medizinischen Klinik I (Med1 – 141.67.110.0) zu den ersten Nutzern dieses Schemas. 1995 wurden bereits etwa 30 Subnetze dieser Art betrieben.

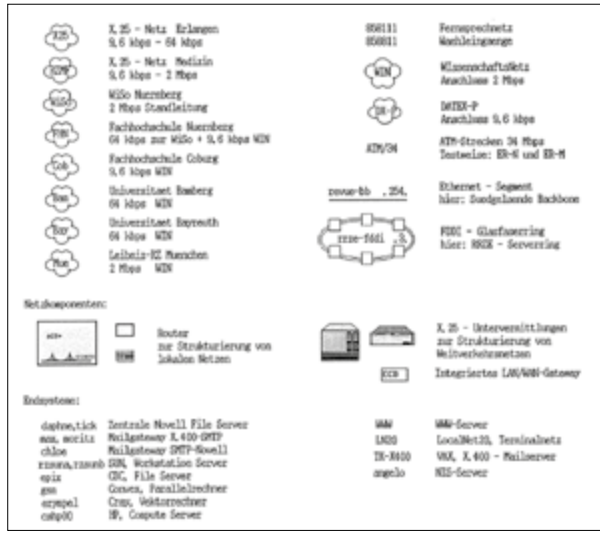
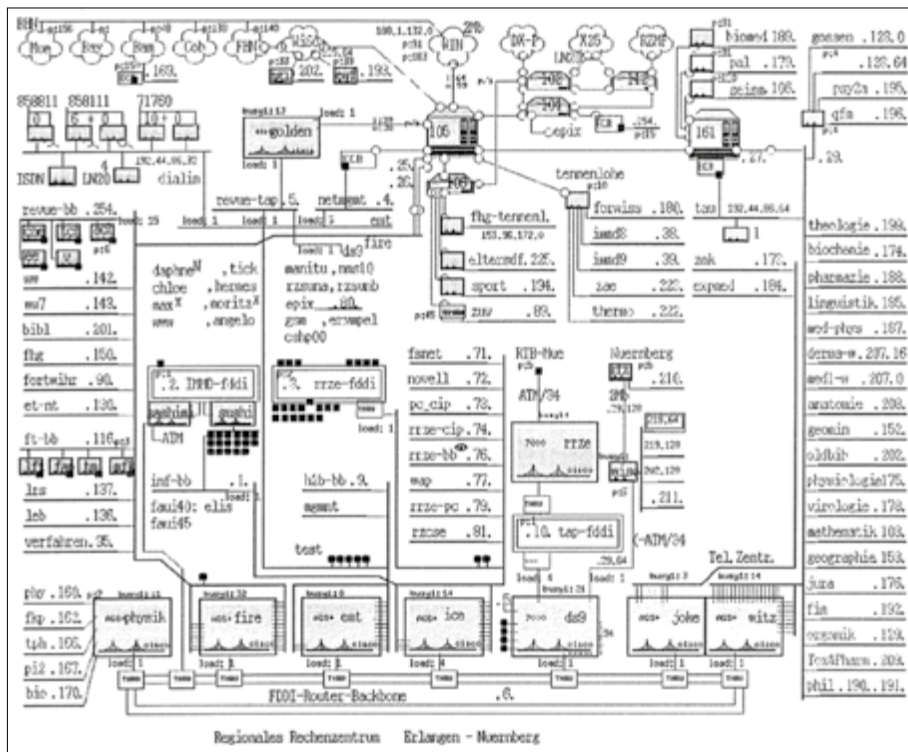
Zu den ersten Verkabelungsmaßnahmen der Universität (gemäß NIP I, s. Kap. 5.2.3) gehörte das Verlegen von Glasfaserkabeln zwischen dem Erlanger Südgelände (Aufpunkt: RRZE) und der Innenstadt (Aufpunkt: Telefonzentrale). Diese konnten, wie im Beispiel des Wissenschaftsnetzes, zum Aufbau eines FDDI-Rings zwischen Routern an den beiden voneinander entfernten Standorten genutzt werden.

Dazu beschreibt die Abbildung „Kommunikationsnetz im medizinischen Bereich, 1988“ einen schon etwas fortgeschrittenen Netzausbau. Sie zeigt im linken Teil die per FDDI verbundenen Router „metz“, „metz2“ in der Telefonzentrale und „castor“ im Serverbereich der IVMed. Der Router „pollux“ (mit Zugangskontrolle) sorgt für den Übergang in das RRZE bzw. das Netz im wissenschaftlichen Bereich. Die rechte Bildseite enthält zudem noch Elemente des X.25-Netzes, das hier noch zur Nutzung serieller Übertragungstechniken und -wege noch im Einsatz war.

4.4.5 Übergreifende IP-Struktur im Kommunikationsnetz (Wissenschaft) der FAU (1995)

Der Ausbau des IP-basierten Netzwerks (Intranet) der FAU, der u. a. mit einem zunehmenden Ersatz asynchroner Terminals durch intelligente, IP-fähige Endgeräte (z. B. PCs) einherging, vollzog sich in einem starken Tempo. So gab es bereits 1993 (s. Abb., Kap. 4.3.4.) neben etwa 200 „einfachen“ Terminals bereits ca. 2.000 Arbeitsplatzrechner in 200 (IP-)Subnetzen.

Die Darstellung des Kommunikationsnetzes zum Stand von 1995 lässt den weiteren Fortschritt dieses Migrationsprozesses und die bis dahin erreichte Dominanz der IP-Vernetzung erkennen, die nach weiterer Steigerung (etwa im Vergleich zu 1983) dann rund 280 Subnetze umfasste. Die übergreifende IP-Struktur wurde von verschiedenen, darunter liegenden Netztechniken getragen. Neben den oben beschriebenen Verknüpfungen über das X.25-Weitverkehrsnetz – repräsentiert u. a. durch die Knoten 105 und 161 – dem LocalNet im Campus Erlangen-Süd, in der Abbildung bezeichnet mit revue-bb .254., bildete vor allem das „FDDI-Router-Backbone“, das in einer Bus-Struktur (s. Kap. 4.3.6) die Bereichsrouters des Rechenzentrums („ice“), der Informatik („fire“), des Südgeländes („star“), der Physik („physik“) und der Innenstadt („witz“) zum Rückgrat



Kommunikationsnetz mit WAN (X.25) - LAN (Ethernet, FDDI)-Techniken und IP-Netzen, 1995

IP-Netzes innerhalb Erlangens verband. Ebenfalls über das „schnelle“ (100 Mbit/s) und zuverlässige FDDI waren die Servernetze des Rechenzentrums „rrze-fddi“ und der Informatik „IMMD-fddi“ in die IP-Struktur integriert. Die von den Bereichsroutern ausgehenden Verbindungen zu den lokalen Netzen bzw. deren Endsystemen erfolgten jeweils weitgehend nach dem oben (s. Kap. 4.2.2.4) beschriebenen Schema einer Gebäudeverkabelung über Repeater und ThinEthernet-Verkabelung, das heißt über Ethernet-LANs mit 10 Mbit/s Übertragungsgeschwindigkeit.

Gemäß des Migrationsprozesses enthalten die Netzbilder der Jahre 1993 und 1994 auch noch Elemente des X.25-Netzes zur Abwicklung originärer Anwendungen, wie etwa Dialoge über X.3/X.28/X.29, z. B. den Knoten 104, jeweils im rechten, oberen Bildteil. Zudem wurde den entsprechenden Terminals mit asynchronen Schnittstellen über spezifische PAD-/Telnet-Umsetzungen, z. B. über den „ECB-Einschub in 104“, die Möglichkeit geboten, Dialoge mit Systemen im Internet zu führen. Eine andere Art des Zugangs zum Intranet für Geräte mit seriellen Schnittstellen wurde durch sogenannte (IP-)Terminalserver bereitgestellt, die (ähnlich wie X.25-PADs) den Aufbau von Telnet-Sessions ermöglichten. Diese Technik wurde z. B. für Einwahlen über das Fernsprechnet genutzt (s. Abb. „Kommunikationsnetz mit WAN (X.25)-, LAN (Ethernet, FDDI)-Techniken und IP-Netzen (1995)“).

Es sei noch bemerkt, dass auch „intelligente“ Endgeräte, wie etwa IBM-kompatible PCs, zwar zum Teil nach eigenen Konzepten untereinander vernetzbar waren, aber nach außen hauptsächlich über ihre Emulationsprogramme (z. B. Kermit) und asynchronen Schnittstellen z. B. mit den Servern des Rechenzentrums kommunizierten. So waren z. B. erst ab 1995 TCP/IP-Protokolle auf PCs verfügbar (Windows 95). Dies unterstreicht zumindest für das RRZE die Notwendigkeit eines fließenden Übergangs, der in der Migrationsphase ein Nebeneinander unterschiedlicher Geräte- und Netz-techniken erlaubt.

4.6 Kooperatives Konzept zu Betrieb und Betreuung des Kommunikationsnetzes

Im Konzept der kooperativen DV-Versorgung zur Aufteilung zentraler und dezentraler Aufgaben bzw. Zuständigkeiten spielte das Kommunikationsnetz eine tragende Rolle (s. Kap. 4.1.1). Aber auch für das Netz selbst mussten angesichts des strukturellen Wandels und der Ausbreitung des Netzwerks Regelungen zur Abgrenzung von Zuständigkeiten und betrieblicher Gestaltung getroffen werden. Hatte das Kommunikationsnetz noch vornehmlich die Aufgabe einer sternförmigen Heranführung „einfacher“ Terminals an die zentralen Systeme, waren Verantwortung für Betrieb und Betreuung einschließlich des regionalen Bereichs noch eindeutig Sache des Rechenzentrums.

Mit dem Wandel zu einem weit verbreiteten Netzwerk mit „beliebigen“ Kommunikationsbeziehungen, lokalen Erweiterungen sowie enormem Wachstum von Anzahl und Vielfalt angeschlossener Endsysteme konnten Betriebs- und Betreuungsaufgaben (u. a. in Anbetracht gegebener, personeller Ausstattung) nicht mehr allein vom RRZE bewältigt werden.

Obwohl die regionalen Hochschulen über den Aufbau eigener Netzstrukturen und ihren Anbindungen an das Deutsche Wissenschaftsnetz (WiN) weitgehend selbstständig, d. h. unabhängig vom RRZE wurden, stellten sich zur Vernetzung der auf viele Standorte verteilten FAU weiter umfangreiche, komplexe Aufgaben, die zwischen dem Rechenzentrum und Einrichtungen der Universität sinnvoll aufzuteilen waren.

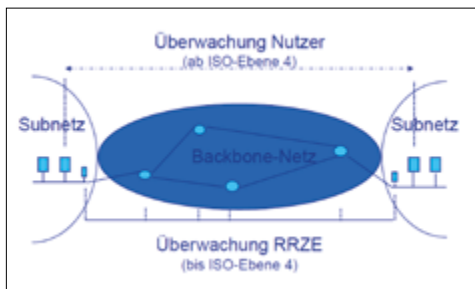
Im Sinne des kooperativen DV-Konzepts blieben Bereitstellung und Betrieb des Kommunikationsnetzes im Kern zentrale Aufgaben des Rechenzentrums. Das bedeutete vor allem Aufbau und Betreuung standortübergreifender Strukturen sowohl zwischen einzelnen Gebäuden als auch über verschiedene Bereiche im Erlanger (z. B. Erlangen-Süd, -Innenstadt, Eltersdorf, Tennenlohe) oder Nürnberger Raum (z. B. WiSo, EWF, Findelgasse). Diese schafften als „Backbone-Netz“ die Grundlage für ein uniweites Kommunikationssystem.

Das Backbone stellte zur Anbindung von Gebäuden oder organisatorischen Einheiten (z. B. Institute, Einrichtungen, Lehrstühle) Schnittstellen für lokale Netze bereit, die jeweils dezentral betrieben wurden. Die Netzbetreuung dieser „Nutzerbereiche“ erfolgte über entsprechende, dem RRZE benannte Kontaktpersonen, zu deren Aufgaben u. a. Anschluss und Betreuung von Endsystemen sowie deren Nutzer gehörte.

Die gemäß des kooperativen DV-Konzepts für den Netzbereich definierte Aufgabenverteilung wurde u. a. in Schulungen des RRZE wie folgt in Stichpunkten zusammengefasst skizziert:

- RRZE (zentral)
 - Backbone-Betrieb
 - Zentrale Dienste und Server
 - Netzübergänge
 - Planung
 - Beratung
 - Projekte
- Nutzer-Bereiche (dezentral)
 - Einrichtungen (organisatorisch), Gebäude (geografisch)
 - Subnetzbetrieb
 - Lokale Server und Router
 - Anwender- und Anwendungsbetreuung

Beschreibt man die Aufteilung von Verantwortungen nach dem ISO-Schichtenmodell, so bildete das zentral betriebene Backbone-Netz eine Infrastruktur der Schichten 1-3, das den dezentral betreuten Nutzerbereichen die Schnittstellen für deren Subnetze (Schicht 3) und darunter liegenden LAN (Schicht 2) bereitstellte. Das Funktionieren der Ebenen oberhalb des Netzwerkprotokolls (3), also der Transport- (4) und Anwendungsschichten (5-7), gehörte zum Betrieb der Endsysteme und lag entsprechend in dezentralen Verantwortung (s. Abb. „Verantwortungsbereiche Netzbetrieb“). Die Ausgestaltung der Schicht 1, d. h. die Schaffung medialer Grundlagen zur Datenübertragung, war zunächst Bestandteil der jeweiligen Netzbetreuung (zentral/dezentral). Sie wurde aber schon bald auch in den lokalen Nutzerbereichen zu einer zentralen Aufgabe des RRZE, die u. a. Planung und Beauftragung von Baumaßnahmen zur Errichtung abgestimmter, flächendeckender Verkabelung zwischen und innerhalb der Universitätsgebäude beinhaltete (s. Kap. 5.2.3).



*Verantwortungsbereiche
Netzbetrieb*

4.7 Stand und weitere Entwicklung

Die beschriebenen Entwicklungen waren im betrachteten Zeitraum (1989 – 1995) durch den Beginn vielschichtiger Migrationsprozesse geprägt. Sie betrafen Ausprägung und Verteilung von Rechnerkapazitäten ebenso, wie Gestaltung und Ausbau des Kommunikationssystems.

Dem Netzwerk stellten sich zunehmend Anforderungen einer flächendeckenden Bereitstellung von Netzzugängen (z. B. Anschluss pro Arbeitsplatz), höheren Übertragungsleistungen (im Vergleich zu seriellen (V.24-)Verbindungen) sowie Erweiterungen des Anwendungsspektrums (z. B. um Filetransfer oder E-Mail).

In diesem Zusammenhang wurden die Migrationsprozesse der Kommunikationsstruktur vor allem durch folgende Schritte eingeleitet und voran gebracht:

- Planung und erste Realisierungen abgestimmter Verkabelungsmaßnahmen zwischen und innerhalb von Gebäuden der FAU, gestützt durch das Netzwerk-Investitions-Programm NIP I.

Hierzu wurde mit der Verlegung von Glasfaserkabeln zwischen Gebäuden begonnen und damit Voraussetzungen zur aktiven Vernetzung innerhalb Erlangens geschaffen (z. B. FDDI-Ringe, Kap. 4.4.4/5).
- Einführung der (neuen) LAN-Techniken Ethernet und FDDI mit Übertragungsgeschwindigkeiten von 10 Mbit/s bzw. 100 Mbit/s.

Während Ethernet-LAN überwiegend unter Einsatz von Repeatern und Thin-Koax-Kabeln zum Anschluss dezentraler Endsysteme eingerichtet wurden (s. Kap. 4.2.2.4), sorgten implementierte FDDI-Ringe für „schnelle“ Zugänge zu den zentralen Servern sowie zur Verknüpfung von Routern innerhalb Erlangens in einem „Metropolitan Area Network“ (MAN).
- Aufbau eines Netzwerks auf Basis des Internetprotokolls

Der steigende Bedarf an Netzwerkzugängen ging nicht zuletzt auf die schnelle Verbreitung der TCP/IP-Protokolle bzw. deren zunehmende Verfügbarkeit auf unterschiedlichen Systemen zurück. Mit den hier geschilderten Schritten ging daher auf der Netzwerkschicht auch ein Aufbau von IP-Strukturen innerhalb der Universität einher. Das bedeutete u. a. die Installation und Verknüpfung von dedizierten Routern sowie das Anschließen lokaler Netze mit Zuordnung von Subnetzadressen. Zur Übertragung (Schichten 1/2) konnten sowohl vorhandene (LocalNet20, X.25, WiN) als auch die neu implementierten Strukturen genutzt werden.

Die Migrationsprozesse waren mit den beschriebenen Schritten natürlich nicht beendet, sondern wurden in den folgenden Jahren in allen Punkten weiter geführt. Bezüglich der Verkabelung wurde im Rahmen eines mehrstufigen Netzwerk-Investitions-Programms das Konzept der „Strukturierten Verkabelung“ verfolgt, die Maßnahmen innerhalb der einzelnen Gebäude einschloss. Zur Ethernet-Technik wurden in Erweiterung von LAN-Bridges sogenannte LAN-Switches entwickelt, die u. a. Ethernet-Ports mit 100 Mbit/s betreiben ließen. An die Stelle des vornehmlich noch für WAN-Verbindungen z. B. als Transportnetz für IP genutzte X.25 trat die ebenfalls von den Postverwaltungen entwickelte ATM-Technik, die etwa bezüglich Übertragungsleistung sowie der Verknüpfung von LAN-Segmenten (Stichwort: Virtuelle LANs) neue Möglichkeiten erschließen sollte.

Diese Aspekte werden im folgenden Kapitel 5 näher beschrieben.

Universelles Transfernetz, Virtuelle LANs 1995 – 2011

5. Universelles Transfernetz (ATM), Virtuelle LANs (LANE) 1995 - 2011

Die bisher beschriebenen Einführungen von LAN-Technologien und der darauf aufbauenden IP-Vernetzung (s. Kap. 4) stellten den Beginn einer Entwicklung dar, die sowohl im Kontext des RRZE, als auch generell weiter vorangetrieben wurde. Für das RRZE bedeutete dies u. a. den Ausbau der Netzwerkbasis durch entsprechende Verkabelungsmaßnahmen und die Einführung einer neuen Vermittlungs- und Transporttechnologie.

Der technologische Fortschritt war generell durch (Performance-)Verbesserungen von Übertragungsmethoden gekennzeichnet und eröffnete durch den von den internationalen Netzwerkprovidern neu definierten „Asynchronus Transfer Mode“ (ATM) einschließlich seiner Ergänzung zur Verknüpfung von LAN-Segmenten (LANE, LAN-Emulation) neu Möglichkeiten der Netzgestaltung.

Die ATM-Technik kam am RRZE etwa ab 1995 zum Einsatz und ersetzte nach und nach die bis dahin verwendeten FDDI-/Ethernet-Konfigurationen (s. Kap. 4).

Verkabelungen und ATM bilden den Schwerpunkt dieses Kapitels, während die dazu teilweise parallel entwickelten, „schnelleren“ Ethernet-Varianten unter der Überschrift „Geswitchte Netze (FE, GE und IP-Routing)“ erst im Zusammenhang darauffolgender Phasen näher erläutert werden (s. Teil 2, Kap. 6).

5.1 Status des RRZE

Das RRZE, das 1998 sein 30-jähriges Jubiläum beging, hatte sich von der Einrichtung zur Bereitstellung zentraler Rechenleistung zu einem vielfältigen Dienstleister einer mehrstufigen DV-Versorgung an der FAU entwickelt (s. Kap. 4.1.1). Dies spiegelte sich u. a. in den vielfältigen, betreuten Rechensystemen sowie im Ausbau und Betrieb des umfassenden Kommunikationsnetzes wieder.

5.1.1 Server und Endsysteme

Im Sinne der mehrstufigen DV-Versorgung betrieb das RRZE statt eines oder zweier universeller Großrechenanlagen eine Menge zentraler Systeme mit dedizierten Aufgaben, so z. B.

- Vektorentwicklungsrechner, Typ *CRAY Y-MP EL*
Zur Entlastung des Landesvektorrechners *CRAYT 94* in München

- Computeserver, vernetztes (FDDI-)Cluster aus zwölf *HP*-Workstations sowie Multiprozessorsystem *SUN Enterprise 4000* mit acht Prozessoren
- Parallelrechner *CONVEX SPP 1600* mit 48 Prozessoren, für rechenintensive, parallelisierbare Programme
- Server zur Datenhaltung, zwei *SUNE450/2*
- Server für Informationsdienste, mehrere *SUN*-Systeme z. B. für FTP oder WWW

Dezentral organisierte das RRZE die Beschaffung von Endsystemen bzw. Arbeitsplatzrechnern im Rahmen des Computer-Investitions-Programms (CIP, s. Kap. 3.5.2) und des Wissenschaftler-Arbeitsplatz-Programms (WAP), die meist als PCs oder UNIX-Workstations ausgelegt waren. Beide Programme wurden in der Folgezeit in mehreren Stufen weiter geführt.

Die zentralen Server und die dezentralen Arbeitsplatzsysteme (Workstations), in der Regel mit UNIX betrieben, waren über Ethernet oder FDDI sowie verfügbare IP-Protokolle netzwerkfähig, konnten also entsprechend in das Netzwerk des RRZE integriert werden. PCs waren zunächst vor allem im Kontext von CIP in lokalen Netzwerkpools organisiert, die meist über Ethernet und Novell-Protokolle realisiert wurden. Dabei schafften die Novell-Server in der Regel auch Übergänge in das IP-Netzwerk der Universität und damit Konnektivität zu anderen internen und externen Systemen. 1998 betrug die Ausstattung der FAU mit CIP-Arbeitsplätzen 175 Workstations und 465 PCs in 39 Pools, während im Rahmen von WAP 270 Workstations und 609 PCs beantragt wurden.

5.1.2. Kommunikationsnetz

Die angeführten Systeme bedeuteten zwar auch einen Anstieg an erforderlichen Netzzugängen, geben aber die Gesamtentwicklung nur bedingt wieder. So hat sich die Zahl der am Netz des Wissenschaftsbereichs der FAU angeschlossenen Systeme z. B. von 1995 bis 1998 kontinuierlich von ca. 4.000 auf ca. 8.000 gesteigert, also nahezu verdoppelt. Dies erforderte natürlich einen entsprechenden Ausbau des Kommunikationsnetzes, der sich aber nicht allein auf die Bewältigung steigender Anschlusszahlen beschränken konnte, sondern sich ebenso folgenden Anforderungen stellen musste:

- Flächendeckende Versorgung mit Anschlusspunkten, d. h. Erschließung möglichst aller Standorte, Gebäude und Räume der FAU
- Bewältigung steigender Verkehrslast durch Stärkung der Grundstruktur (Backbone), Erhöhung der Leistungsfähigkeit bzgl. Durchsatz, Antwortzeiten, Verzögerungen
- Beschleunigung einzelner Kommunikationsvorgänge, z. B. durch höhere Anschlussgeschwindigkeiten
- Ermöglichung von Spitzenanwendungen, z. B. Datenaustausch zwischen Servern, Videoübertragungen

Das RRZE trug dem u. a. durch Erweiterung der medialen Basis, Umstrukturierung des Backbones, Einführung neuer Technologien sowie der Verfolgung von Projekten zur Hochgeschwindigkeitsübertragung Rechnung.

5.2 Entwicklung einer Passiven Netzstruktur

Die geschilderten Anforderungen an das Kommunikationsnetz der Universität richteten sich nicht nur an die Gestaltung aktiver Strukturen (Repeater, Switches, Router, usw.), sondern erforderten auch Schaffung und Ausbau der passiven Grundlage, d. h., die Bereitstellung adäquater Übertragungsmedien im Sinne der physikalischen Schicht (1) des ISO-Modells. Wie bereits in Kapitel 4.1.1 angeführt, reichten dazu bisher genutzte Möglichkeiten, wie z. B. der bestehenden Telefonverkabelung, nicht aus. Vielmehr mussten auch in diesem Bereich neue Wege unter Berücksichtigung technologischen Fortschritts gegangen werden.

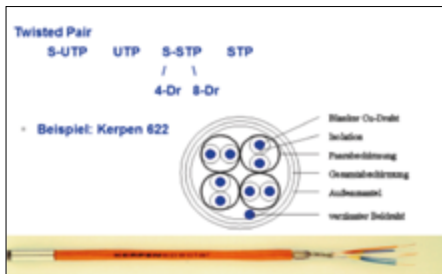
5.2.1 Übertragungsmedien

Bereits die Einführung lokaler Netze (LANs) erforderte die Verwendung „neuer“, spezifischer Übertragungsmedien, wie Koaxialkabel für Ethernet und Glasfaserkabel für FDDI (s. Kap. 4). Zusätzliche Möglichkeiten mit hoher Flexibilität und Leistungsfähigkeit eröffneten sich durch die Definition und Verfügbarkeit speziell geschirmter Kupferkabel (Twisted Pair), die sich vor allem im Bereich der Zuführung von Endsystemen durchsetzen sollten. Hierbei spielte eine entscheidende Rolle, dass sie im Zusammenhang mit entsprechend entwickelten aktiven Komponenten (LAN-Switches) zum Aufbau von Ethernet-Segmenten eingesetzt werden konnten. Zudem wurden sie dann auch im Gegensatz zur Koaxialtechnik bezüglich möglicher Übertragungsgeschwindigkeiten über 10 Mbit/s hinaus weiter entwickelt, zunächst für 100 Mbit/s, später auch für 1.000 Mbit/s (bzw. 1 Gbit/s)

Folgende Stichpunkte charakterisieren die am RRZE (im betrachteten Zeitraum) eingesetzten Übertragungsmedien, der „Vergleich Übertragungsmedien“ (aus „Netzwerkausbildung“, Dr. P. Hollecsek, [Hol6]) auf S. 158 stellt ihre Geschwindigkeiten und Reichweiten zusammenfassend gegenüber:

- Koaxialkabel
 1. Realisierung von Ethernet-Bus-Strukturen
 2. Verknüpfung über Multiport-Repeater (s. Kap. 4.2.2.4)
 3. Typen:
 - 10Base2 (Thick Ethernet); eingesetzt im Rechenraum und im Informatik-LAN (Revue)

- 10Base5 (Thin Ethernet); eingesetzt für „Büro“-Anschlüsse innerhalb von Gebäuden, (s. Kap. 4.2.2.3)
- Kupferkabel (Twisted Pair, TP)
 1. Realisierung von Ethernet-Einzelverbindungen
 2. Verknüpfung über LAN-Switche (s. Kap. 5, 6 und 7)
 3. Unterscheidung nach Aufbau bzw. Abschirmung gegen elektromagnetische Felder:
 - UTP: Ungeschirmt
 - STP: Adernpaare geschirmt
 - S-STP: Mantel und Adernpaare geschirmt
 4. Unterscheidung nach Güteklassen bzgl. elektrischer Eigenschaften
 - Cat 4/5 (später: 6,7,8)
 5. Verwendung FAU/RRZE (s. Kap. 5.2.2):
 - S-STP, Cat 5 (später auch Cat 6,7,8),
 - Beispiel: Kerpen 622 (s. Abb. „Twisted Pair – Kabel“),
 - eingesetzt für „Büro“-Anschlüsse innerhalb von Gebäuden



Twisted-Pair-Kabel, 2006

- Glasfaserkabel (LWL, F)
 1. Realisierung von Verbindungen zwischen Geländebereichen, Gebäuden
 2. Verknüpfung (z. B.) von Routern oder ATM-Switchen (Punkt-zu-Punkt)
 3. Unterscheidung nach verschiedenen Wellenlängenbereichen (Moden)
 - Multimode (MM)
 - Kern 50-200 μm , großer Wellenlängenbereich
 - Gradientenfaser, begrenzte Geschwindigkeit, „billig“
 - Typ: Singlemode (SM), auch Monomode,
 - Kern 2-10 μm , kleiner Wellenlängenbereich
 - Stufenindexfaser, „hohe“ Geschwindigkeit, „teuer“
 4. Verwendung FAU/RRZE:
 - Multimode/Singlemode je nach Verfügbarkeit und Anforderung

- eingesetzt z. B. für Servernetze (FDDI) im RZ oder der Informatik
- Verbindungen zwischen Rechenzentrum (ER-Süd) und der
- Telefonzentrale (ER-Innenstadt)

■ Richtfunk

1. Realisierung von Verbindung zwischen (entfernten) Bereichen, Gebäuden
2. Verknüpfung von Routern oder ATM-Switchen (Punkt-zu-Punkt)
3. Funk über (große) gerichtete Parabol-Antennen (Paar), geringe Verlustleistung, keine Hindernisse erlaubt, Reichweite bis ca. 50 km, Übertragungsraten bis 622 Mbit/s
4. Verwendung FAU/RRZE (Beispiele):
 - Verbindung zwischen Rechenzentrum (ER-Süd) und Standort Tennenlohe
 - Verbindung zwischen Rechenzentrum (ER-Süd) und WiSo (N-Tuchergelände)
 - Verbindung in Nürnberg zwischen WiSo (Tuchergelände) und SFZ (Findelgasse)

■ Funkraum

1. Realisierung von Ethernet-Bus-Strukturen, Nachbilden eines Ethernet (Herkunft: Äther-Netz)
2. (Streu-)Funk über Antennen
Reichweite (je nach Hindernissen) 10 m bis 1 km, Übertragungsraten 11 bzw 54 Mbit/s
3. Verwendung FAU/RRZE:
 - Kabellose Anbindung „kleiner“, „naher“ Standorte, z. B. Gästehaus Rommelstraße (Pilotanwendung 1998 mit 400 kbit/s)
 - Drahtlose (Wireless-LAN) Zugänge für Endgeräte (ab 2001)

	Bandbr(Mbit/s)	Reichw(km)
Koax	10	< 0.2 bis 0.5
UTP	10 / 100	< 0.1
S-STP		
·	10 / 100	< 0.1
·	1000*	< 0.1 *) 8 Adern
Multimode		
·	10	< 2
·	100	< 0.4 bis 2
·	1000	< 0.2 bis 0.5
Monomode		ohne Verstärkung
·	1000	< 5 - 50
·	2400	< - 70
·	10000	?

Vergleich Übertragungsmedien

5.2.2 Strukturierte Verkabelung

Um die beschriebenen Übertragungsmedien als Basis eines Netzwerks einsetzen zu können, müssen sie gemäß gestellter Anforderungen entsprechend verfügbar gemacht werden. Dabei sollten sie nach Möglichkeit flexibel nutzbar und weitgehend unabhängig von der Art der jeweils eingesetzten, aktiven Netztechnik sein.

Hierzu leitete das Konzept der Strukturierten Verkabelung (auch Universelle Gebäudeverkabelung) an, das u. a. in ISO IEC 11801 beschrieben wurde und dem RRZE als Muster zur Gestaltung einer flächendeckenden Netzinfrastruktur diente. Die Struktur gliedert sich in drei Bereiche:

■ Primärbereich

Der Primärbereich verbindet verschiedene Gebäude oder Gebäudegruppen miteinander. In der Regel kommen hier Glasfaserkabel zum Einsatz, die in den jeweiligen Gebäuden in rangierbaren Verteilerschränken (Gebäudeverteiler, GV) enden. In deren Rangierfeldern können sie über Abschlussdosen und Patchkabel mit aktiven Komponenten verbunden, oder aber auch zur Verlängerung weiter geschaltet werden (Patching).

Im primären Bereich können Verbindungen zwischen Gebäuden natürlich auch mit Hilfe anderer Übertragungsmedien hergestellt werden, wenn etwa Glasfasern nicht zur Verfügung stehen (z. B. wegen Entfernung, Geländehöhe, fehlende Angebote, Kosten usw.). In solchen Fällen kamen (und kommen z.T. heute noch) an der FAU vor allem Richtfunkstrecken zum Einsatz.

■ Sekundärbereich

Der Sekundärbereich verbindet Stockwerke innerhalb eines Gebäudes (vertikale Steigbereichsverkabelung) oder kleinere, benachbarte Gebäude eines begrenzten Komplexes. Die Verkabelung ist in der Regel mit Glasfasern ausgelegt, mitunter wurden/werden auch Kupferkabel (Twisted-Pair-Kabel) dazu verwendet. Die Kabel enden in der Regel jeweils mit Abschlussdosen im betreffenden Gebäudehauptverteiler (GV des Primärbereichs) und in Verteilerschränken der Etagen (Etagenverteiler, EV).

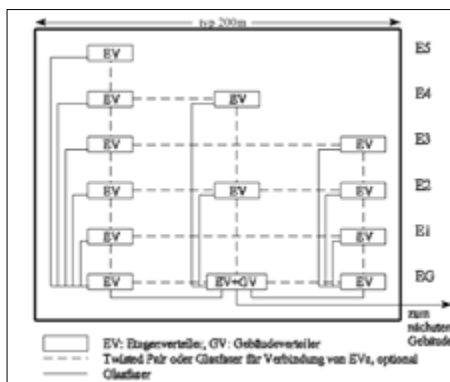
■ Tertiärbereich

Der Tertiärbereich enthält die horizontalen Verbindungen von Etagenverteilern in die Räume der Endnutzer (Büros, Gruppenräume, Labore, Hörsäle usw.). Sie bestehen in der Regel aus Twisted-Pair-Kabeln, mitunter aber auch aus Glasfaserkabeln, und enden beim Netzteilnehmer mit entsprechenden Dosen zum Anschluss von Endgeräten.

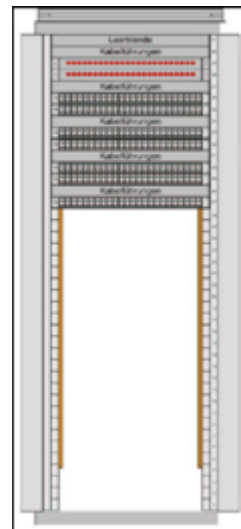
Die Abbildung zum „Musterhaus mit Twisted-Pair-Verkabelung, [Hol6]“ zeigt den schematischen Aufbau einer strukturierten Verkabelung in einem Mustergebäude. Vom

zentralen Gebäudeverteiler (GV) führen gemäß der primären Ebene Verbindungen zu anderen Gebäuden und gemäß der sekundären Ebene zu den, in den Etagen platzierten Etagenverteilern (EV). Von dort führen schließlich (Twisted-Pair-)Kabel der tertiären Ebene zu den Anschlusspunkten in den Räumen der jeweiligen Etage. (Diese Kabel sind zur besseren Übersicht nicht in der Abbildung eingezeichnet.)

Es gibt in Rahmen der strukturierten Verkabelung übrigens auch andere Ausprägungen, so z. B. Konzepte mit dem Ziel: „Glasfaser bis zum Arbeitsplatz“, die sich aber zumindest an der FAU nicht durchgesetzt haben. Sie beinhalten zum einen eine aufwendige Glasfaser-Sternverkabelung vom zentralen Gebäudeverteiler bis zu den Endanschlüssen in den Räumen, mit der u. a. hoher Platzbedarf und starke Gewichtsbelastung in den Steigbereichen verbunden ist, und erfordern zum anderen im Vergleich zu Twisted-Pair-Lösungen erheblich teurere (Glasfaser-)Schnittstellen in den Endgeräten. Der anfänglich vielleicht gegebene Geschwindigkeitsvorteil des Glasfasermediums wurde zudem mit der Zeit durch Weiterentwicklungen der TP-Technik weitgehend aufgehoben.



Musterhaus mit TP-Verkabelung



Muster: Netz-Verteilerschrank

Das Konzept der hierarchischen Verkabelung mit rangierfähigen Verteilern bietet ein hohes Maß an Flexibilität mit hoher Anpassungsfähigkeit an sich stellende und ändernde Anforderungen. Das illustriert auch der als Muster eines Etagenverteilers abgebildete „Netzschrank“, der neben den passiven Elementen auch zur Aufnahme aktiver Geräte konzipiert ist. Er enthält im oberen Teil die Rangierpunkte zum Gebäudeverteiler (Lichtwellenleiter-Dosen, „rote Punkte“), darunter die zu den Büroräumen führenden

Verbindungspunkte (Twisted-Pair-Dosen, „weiß-schwarze Punkte“) sowie im unteren Teil den Platz für aktive Netzkomponenten. So kann dort zum Beispiel im Rahmen eines ATM-Netzwerks (s. Kap. 5.3) ein LAN-Switch eingebaut, dieser durch Patchung über das Lichtwellenleiter-Feld einem zentralen ATM-Knoten im Gebäudeverteiler zugeschaltet und über die verschiedene Twisted-Pair-Dosen mit Endgeräten in den Büroräumen bedarfsgerecht verbunden werden. Diese Art von Schrankaufbau wurde besonders im Rahmen des ATM-geprägten Kliniknetzes zur vorherrschenden Gestaltung der Etagenverteiler (s. Kap. 5.4.2).

5.2.3 Maßnahmen FAU, Bauprogramme (NIP)

Im Hinblick des sich entwickelnden bzw. vorhersehbaren Bedarfs an umfassender Vernetzung der FAU, befasste sich das RRZE bereits ab 1988 mit den Planungen einer strukturierten Verkabelung, zunächst innerhalb Erlangens, also den Bereichen der Innenstadt und des Südgeländes, dann auch an den Nürnberger Standorten.

Die Herstellung einer strukturierten Verkabelung bestand/besteht vor allem aus Baumaßnahmen zur Verlegung und Bereitstellung von Übertragungsmedien der Primär-, Sekundär- und Tertiärbereiche. Dies erforderte sowohl Außenarbeiten (z. B. Aufgrabungen in Geländen), als auch Arbeiten in den Gebäuden (Verlegen in Steigbereichen und Etagen) nicht darauf ausgerichteten Voraussetzungen, oft sogar unter äußerst schwierigen Bedingungen unterschiedlichster Art (z. B. Platzfindung für Etagenverteiler, Denkmalschutz usw.). Die Bauplanungen und deren Umsetzungen erfolgten in enger Zusammenarbeit des Rechenzentrums mit dem Bauamt der Universität.

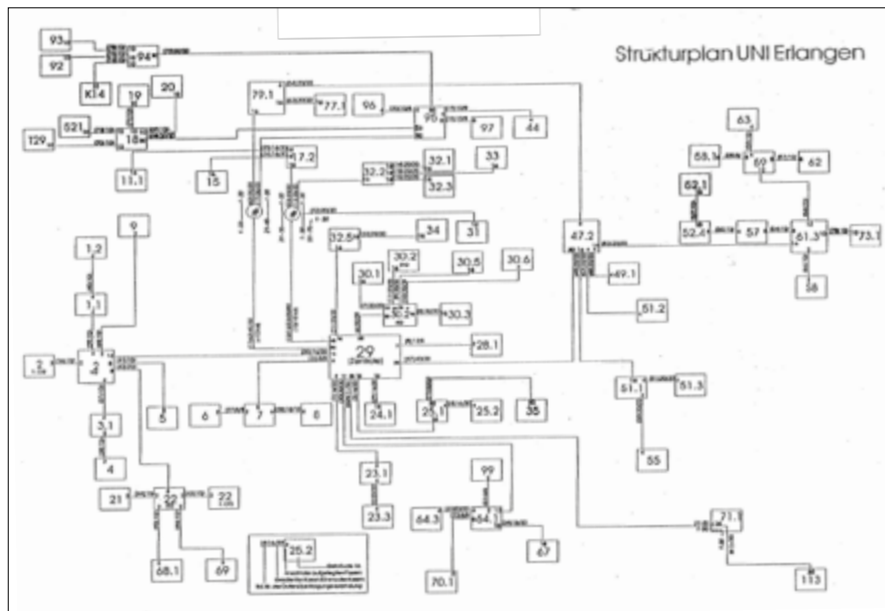
Die erforderlichen Maßnahmen bedeuteten einen nicht unerheblichen finanziellen Aufwand, der nur durch Unterstützung von Land und Bund über spezielle „Netzwerk-Investitions-Programme“ (NIP) geleistet werden konnte. Diese gliederten sich inhaltlich und in ihrer zeitlichen, teilweise überlappenden Abfolge in mehrere, nummerierte Stufen:

■ NIP I, Außenverkabelung (1992 bis 1998)

Die erste NIP-Stufe beinhaltete die (Glasfaser-)Verkabelungen zwischen den Gebäuden der Universität in der Erlanger Innenstadt sowie die Verbindung zwischen der Telefonzentrale und dem Rechenzentrum im Südgelände. Dabei mussten auch Wege über Grundstücksgrenzen hinweg, d.h. über nicht universitätseigene Gelände, erschlossen werden. Planung und Umsetzung erfolgten in Zusammenarbeit mit der Deutschen Bundespost bzw. dem im Januar 1995 im Rahmen der „zweiten Postreform“ gegründeten Nachfolger für Telekommunikation und Fernmeldewesen, der Telekom. In Hinblick auf diese Reform wurde es möglich, mit der Telekom ein kostengünstiges Paket zu verhandeln, ohne bis dahin zwingend vorgegebene, starre Tarifmodelle anwenden zu müssen. Das Projekt umfasste eine komplette, primäre Verkabelung

der FAU in Erlangen (mit Ausnahme der Streulagen), die sowohl innerhalb universitätseigener Gelände verlief, als auch Grundstücksgrenzen über öffentliche Bereiche, Straßen überbrückte.

Die Abbildung „Primäre Verkabelungsstruktur in Erlangen gemäß NIP I“ gibt den erarbeiteten und umgesetzten Strukturplan wieder. Darin stehen die Kästchen mit den eingezeichneten Verwaltungsnummern für die jeweiligen Gebäude und die Linien zwischen ihnen für die verbindenden Kabelstrecken. Eine wichtige Rolle spielt dabei die Telefonzentrale (Gebäude 29), von/zu der die aufgrund ihrer Lage und Vorgeschichte bereits verschiedenen Trassen zur Verlegung von Kabeln genutzt werden konnten. Rund um die Telefonzentrale befinden sich u. a. die „alten“ Klinikgebäude, wie etwa das (inzwischen abgerissene) Bettenhaus (Geb. 32.1). Als weitere Beispiele seien zur Orientierung die Universitätsverwaltung („Schloss“, Geb. 2), die HNO (Geb. 64.1), Zahnklinik (Geb. 47.2), Juristische Fakultät (Geb. 61.3), Klinikverwaltung (Geb. 95.1) oder Kopfklinik (Geb. 79.1) angeführt. Hervorzuheben ist noch die über die (damalige) Dermatologie (Geb.71.1) führende Verbindung zwischen der Telefonzentrale (Geb. 29) und dem Rechenzentrum (Geb. 113), die bereits frühzeitig zum Aufbau von Backbones (FDDI-Ringe im Wissenschafts- und Medizinetz) genutzt werden konnten (s. Kap. 4.4.3, 4 und 5).



Primäre Verkabelungsstruktur in Erlangen gemäß NIP I

Zum Verkabelungsprojekt wurden im November 1992 der Vertrag mit der Telekom unterzeichnet, ausführende Arbeiten Mitte 1993 begonnen, erste Fertigstellungen in 1994 genutzt und das „Außernetz der FAU“ im August 1995 offiziell in Betrieb genommen. Dieser bedeutende Schritt war von öffentlichem Interesse und wurde in der Erlanger Tageszeitung dokumentiert.

- NIP II, Innenverkabelung mit hoher Priorität (1993 bis 1998)

NIP II realisierte hoch-priore (Priorität 1) Anschlusswünsche von Institutionen und Kliniken im Innenstadtbereich. Dazu gehörten z. B. Bibliothek, Chirurgische Klinik/ Medizinische Klinik/Zahnklinik, Kopfklinik/alte Nervenklinik, Radiologie, Schloss-Halbmondstraße aber auch schon WiSo in Nürnberg.

In diesem Zusammenhang konnte sich das RRZE erfolgreich gegen seinerzeit gültige Planungsrichtlinien der obersten Baubehörde wehren, die im tertiären Bereich noch (Thin-)Koax-LAN-Verkabelungen vorschrieb. Da die Grenzen der damit verbundenen Technik z. B. in Bezug auf höhere Übertragungsgeschwindigkeiten (> 10 Mbit/s) bereits ersichtlich waren, setzte das RRZE stattdessen die Realisierung von 4-Draht-Verkabelungen (Twisted Pair, Kupfer) durch. Diese Alternative sollte sich im Rahmen von NIP II und den darauf folgenden Programmen als optimale und langfristig tragfähige Lösung erweisen.

Mit den Baumaßnahmen konnte im Dezember 1994 begonnen werden.

- NIP III, Erweiterung Medizin (1995 bis 1999)

Im Rahmen von NIP III wurde die systematische Innenverkabelung der medizinischen Gebäude geplant und umgesetzt. Dabei stellten sich z. B. wegen weitgehend alter Bausubstanzen, eingespielter Raumnutzungen oder auch der Vermeidung von Beeinträchtigungen des medizinischen Betriebs während der Bauarbeiten schwierig zu lösende Aufgaben.

Zu den Planungsarbeiten gehörten u. a. eine Gliederung der Maßnahmen in Teilprojekte und zeitlicher Zuordnung, Erkundungen örtlicher Verhältnisse, Gespräche mit den betroffenen Einrichtungen, Bedarfsermittlung an Anschlüssen (initialer Grundansatz: 1 Anschlussdose pro Raum) sowie Absprachen über mögliche Standorte (Räume) zur Aufnahme von (Etagen-)Verteilerschranken.

Nach daraus erstellten Planungsvorgaben wurden die einzelnen Maßnahmen vom Bauamt ausgeschrieben und entsprechend an Firmen vergeben, die dann für Detailplanungen, Ausführungen und Übergabe an die Universität verantwortlich waren. Während sich NIP I und II sich auf passive Strukturen bezogen, enthielt NIP III auch erstmals die Beschaffung aktiver Elemente. Damit konnte u. a. ein erheblicher Beitrag zum Aufbau eines ATM-basierten Netzes und der Verteilung virtueller LANs im medizinischen Bereich geleistet werden (s. Kap. 5.4.2).

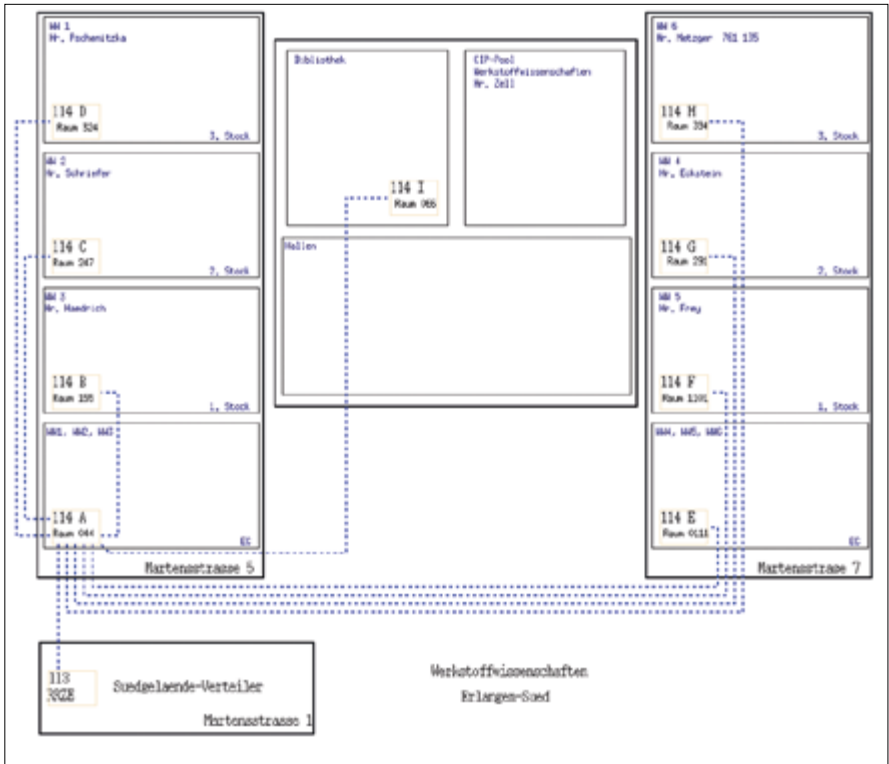
NIP III-Projektstand 08/96										
GB	Adresse	Schlagwort	Sign	Bespr.	Anford.	L-Term.	Anschr.	Vergabe	Beginn	Abnahme
25	Universitätsstr. 21-23	Frauenklinik	0	95				DFE	im Bau	- 9/96
25,1	Universitätsstr. 21-23	Henge-Bau	0	95				DFE	im Bau	- 9/96
25,2	Universitätsstr. 21-23	Schroeder-Bau	0	95				DFE	im Bau	- 9/96
47,1	Glöckstr. 11	Lahoklinik	2	18/ 3/96				Telekom	4/96	- 10/96
47,2	Glöckstr. 11	Lahoklinik	2	18/ 3/96				Telekom	4/96	- 10/96
17	Looschestr. 15	Kinderklinik	6	7/ 3/96 E/W				DFE	- 7/96	
17,1	Looschestr. 15	Behandlung	6	7/ 3/96 E/W				DFE	- 7/96	
17,2	Looschestr. 15	Ratten	6	7/ 3/96 E/W				DFE	- 7/96	
17,3	Looschestr. 15	Virologie	6	7/ 3/96 E/W				DFE	- 7/96	
17,4	Looschestr. 15	Physik. Therapie	6	7/ 3/96 E/W				DFE	- 7/96	
17,5	Looschestr. 15	Brueckenbau, Chirurg. K.	6	7/ 3/96 E/W				DFE	- 7/96	
30	Krankenhausstr. 12	Med. Klinik I-IV	7	95				Telekom	26/ 8/96	
30,01	Krankenhausstr. 12	Med. Klinik I-IV	7	95				Telekom	26/ 8/96	
30,02	Krankenhausstr. 12	Nuklearmedizin	7	95				Telekom	26/ 8/96	
30,03	Krankenhausstr. 12	Zentrallabor	7	95				Telekom	26/ 8/96	
30,05	Krankenhausstr. 12	Med. Klinik I-IV	7	95				Telekom	26/ 8/96	
30,06	Krankenhausstr. 12	Med. Klinik I-IV	7	95				Telekom	26/ 8/96	
30,10	Krankenhausstr. 12	Med. Klinik II	7	95				Telekom	26/ 8/96	
33	Geertl. Stadthausstr. 29	Med. Klinik II	7	14/ 3/96 E/W				Telekom	26/ 8/96	
34	Krankenhausstr. 12	Anaesthetologie	7	14/ 3/96 E/W				Telekom	26/ 8/96	
51,1	Universitätsstr. 27	Med. Klinik II	7	14/ 3/96 E/W				Telekom	26/ 8/96	
51,2	Universitätsstr. 27	Strahlentherapie	7	14/ 3/96 E/W				Telekom	26/ 8/96	
51,3	Glöckstr. 4A	Med. Klinik III	8	18/ 4/96 E/W				Telekom	26/ 8/96	
51,3	Universitätsstr. 29	Immunologie	8	18/ 4/96 E/W				Telekom	26/ 8/96	
51,4,5,6	Glöckstr. 4A	Immunologie-Labor	8	18/ 4/96 E/W				Telekom	26/ 8/96	
64	Waldstr. 1	IMD	9	21/ 3/96 E/W			BA			
64,1	Waldstr. 1	IMD	9	21/ 3/96 E/W			BA			
64,2	Waldstr. 1	IMD	9	21/ 3/96 E/W			BA			
64,3	Waldstr. 1	IMD	9	21/ 3/96 E/W			BA			
67	Waldstr. 6	Physiologie	9	21/ 3/96 E/W			BA			
71	Hartmannstr. 14	Neurologie	10	28/ 3/96 E/W			8/96 - 9/96			

Projektverfolgung NIP III (Auszug Stand 08/1996)

Die Tabelle zur „Projektverfolgung NIP III“ gibt in einem kleinen Auszug u. a. Einblick in die Aufteilung in zusammenhängende Abschnitte (Spalte „Sign“), die zugehörigen Gebäude (Spalte „GB“), betroffene Einrichtungen (Spalte „Schlagwort“), beauftragte Firma (Spalte „Vergabe“) oder den Stand der Arbeiten (Spalten „Beginn“, „Abnahme“).

■ NIP IV, Erweiterung Wissenschaft (1996 bis 2001)

NIP IV befasste sich mit der Innenverkabelung von Gebäuden/Standorten der Erlanger Innenstadt im wissenschaftlichen Bereich, die gemäß Ausgangsplanung im Vergleich zu NIP II mit geringerer Priorität (Priorität 2) eingestuft waren. Hinzu kam die Versorgung des nach der Wiedervereinigung angekauften, ehemaligen US-Geländes (heute Röthelheimpark). Einen weiteren Projektpunkt stellte der Aufbau einer strukturierten Verkabelung innerhalb des Erlanger Südgeländes dar, der primäre (Außenverkabelung), sekundären (horizontale) und tertiäre (vertikale Gebäudeverkabelung) Elemente umfasste.



Gebäudeverkabelung Werkstoffwissenschaften, 2001

Die Abbildung zur „Gebäudeverkabelung Werkstoffwissenschaften“ stellt als Beispiel die passive Netzstruktur des Komplexes der Werkstoffwissenschaften (Geb. 114) dar. Er besteht aus zwei, jeweils vier Etagen enthaltenen Gebäuden (links, rechts) und einer dazwischenliegenden, ebenerdigen Etage (Bildmitte). Vom zentralen Aufpunkt 114 A führen die Verbindungen zu den Etagenverteilern (114 A bis 114 H bzw. 114 I) sowie der Außenanschluss zum Südgeländeverteiler (113) im RRZE. Innerhalb einer Etage verlaufen die horizontal verlegten Kabel von den jeweiligen Verteilerschränken zu den Anschlusspunkten in den einzelnen (Büro-) Räumen, sie zum Erhalt der Übersichtlichkeit in der Abbildung nicht dargestellt. Die darauf aufbauende Gestaltung der aktiven Netzstruktur im Gebäudekomplex der Werkstoffwissenschaften erfolgte unter Einsatz von LAN-Switchen und wird im Rahmen der nächsten Entwicklungsphase näher beschrieben (s. Kap. 6).

- NIP V, Erweiterung Wissenschaft (1999 bis 2008)

In NIP V ging es um anfangs nicht berücksichtigte Gebäude (Priorität 3) in die strukturierte Verkabelung zu integrieren und entsprechende Maßnahmen vorzunehmen. Es handelte sich dabei z. B. um Gebäude, deren Bedarf sich erst im Laufe der Zeit herausstellte, die mittlerweile langfristig angemietet wurden oder die unbedingt saniert werden mussten, da sie z.T. noch in Eigenleistung mit einfachster, inzwischen instabiler Technik ausgestattet worden waren (z. B. mit Koax-Netzen). Hinzu kamen verschiedene Abrundungen, Erweiterungen der bestehenden Struktur.

Mit den beschriebenen Maßnahmen wurde eine weitgehend flächendeckende Vernetzung des Wissenschafts- und Medizinbereichs der FAU erreicht. Sie legten zudem eine ausbau- und anpassbare Basis zur Bewältigung darauffolgender Anforderungen und Entwicklungen. Große Ausbaustufen wurden weiterhin mit der Bezeichnung NIP versehen und entsprechend fort nummeriert (NIP VI, NIP VII, NIP VIII).

5.3 Netzwerktechnologien: ATM und LAN-Emulation

Bereits in den 80er-Jahren befassten sich die in der CCITT (heute ITU: International Telecommunications Union) organisierten Betreiber von Kommunikationsdiensten (darunter z. B. die Deutsche Bundespost) mit der Erweiterung ihrer Dienstleistungsspektren um Angebote, die etwa im Vergleich zur Telefonie, fest geschalteten Leitungen (HfD) oder der Datenpaketvermittlung (X.25) flexibler, leistungsstärker und zukunftsträglicher sein sollten. Unter der Bezeichnung B-ISDN (Broadband Integrated Services Digital Network) wurde ein umfassendes Netzwerk angestrebt, das sich gleichermaßen zur Übertragung von Sprache, Daten und Videos eignet und insbesondere auch deutlich höhere Übertragungsleistungen realisieren kann, als die bis dahin verfügbaren, herkömmlichen Dienste.

Zur technischen Umsetzung wurden von CCITT 1988 der Asynchronus Transfer Mode (ATM) als Transportmechanismus empfohlen und dessen grobe Entwürfe in den folgenden Jahren konkretisiert in Normen beschrieben. Einen besonderen Impuls erhielt die ATM-Entwicklung mit der Gründung des ATM-Forums im Oktober 1991. Dieser Zusammenschluss von Firmen und Institutionen entstand mit der Zielsetzung, die Entwicklung im Bereich ATM-basierender Produkte und Dienste zu forcieren sowie die herstellerübergreifende Interoperabilität sicherzustellen und zu demonstrieren. Diese Gruppe, die auf über 600 Mitglieder anwuchs, verstand sich zwar nicht als Normungsgremium, aufgrund ihrer Bedeutung wurden aber ihre Veröffentlichungen und Spezifikationen zu De-facto-Standards.

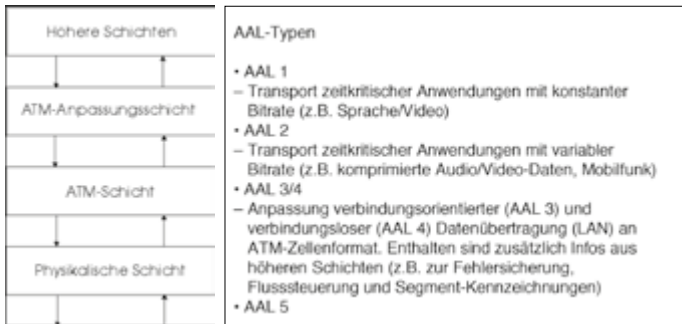
Ähnlich, wie im Falle von X.25 (s. Kap. 3), wurden die Komponenten zum Aufbau von ATM-Netzwerken zunächst vornehmlich für „große“, nationale Provider (wie z. B. der Deutschen Bundespost/Telekom) entwickelt, bis die Hersteller auch einen Markt für „kleinere“ Institutionen (wie z. B. der FAU) erkannten und entsprechend kompakte, erschwingliche Vermittlungseinheiten (ATM-Switche) erhältlich machten.

5.3.1. ATM-Grundlagen

5.3.1.1 Charakteristische Merkmale von ATM

Ein ATM-Netzwerk bietet seinen Teilnehmern einen verbindungsorientierten Dienst, das heißt zu einem Kommunikationsvorgang gehören Verbindungsaufbau zwischen Sender und Empfänger, Übertragung von Daten und Verbindungsabbau. Dabei sind Einspeisung und Auslieferung der Daten im Asynchronus Transfer Mode voneinander entkoppelt, das heißt nicht über einen durchgängigen Takt synchronisiert (im Gegensatz etwa zu Standverbindungen (HfD) im Rahmen der Synchronus-Digital-Hierarchie (SDH)). Neben Verbindungen zwischen zwei Teilnehmern (1:1) sind auch Multicast-Verbindungen eines Senders zu mehreren Partnern (1:n) möglich. Die übertragenen Daten werden in kleine Einheiten, sogenannte Zellen (Cells) fester Länge (53 Byte) aufgeteilt und transportiert. Durch die ausschließliche Verwendung konstant langer Zellen sind die Vermittlungsvorgänge kalkulierbar und sehr effektiv zu gestalten. Das bietet auch eine Grundlage zum Angebot verschiedener Leistungsmerkmale (Quality of Service, QoS), die bei Bedarf im Rahmen eines Verbindungsaufbaus angefordert werden können. Dazu gehören Garantien bezüglich Übertragungsraten (Bitrate), (maximale) Verzögerungszeiten (Delay) und Streuungen der Zeiten zwischen Zellen (Jitter).

Die Funktion von ATM gliedert sich in mehrere Bestandteile, die sich in ein Schichtenmodell einordnen lassen. Dieses ist zwar grob mit dem ISO-/OSI-Modell vergleichbar, aber je nach Kontext damit unterschiedlich in Beziehung zu setzen. Zur Physikalischen Schicht gehören Schnittstellen für kollisionsfreie (Punkt-zu-Punkt-)Verbindungen zwi-



ATM-Schichtenmodell *Varianten der ATM-Anpassungsschicht*

schen zwei Komponenten. Sie decken ein breites Spektrum an Übertragungsgeschwindigkeiten ab, das z. B. 34, 155, 622, 1024, 2500 Mbit/s umfasst. Den Kern bildet die ATM-Schicht, die Funktionen der Steuerung, des Transports und der Vermittlung von ATM-Zellen enthält. Zwischen dieser Ebene und den Anwendungen der höheren (Anwendungs-)Schichten liegt die Anpassungsschicht (AAL, ATM Adaptation Layer), die für unterschiedliche Erfordernisse mehrere Dienstklassen in Form der Typen von AAL 1 bis AAL 5 beschreibt und anbietet (s. Abb. „ATM-Schichtenmodell“ und „Varianten der ATM-Anpassungsschicht“).

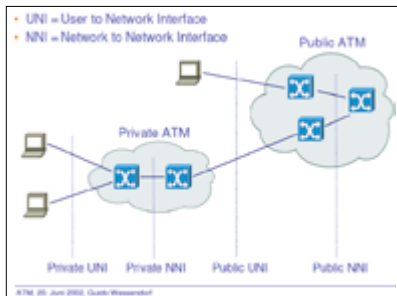
„Private“ ATM-Netzwerke, so auch die der FAU, verwendeten auf der physikalischen Ebene weitgehend Glasfaserverbindungen und stellten darüber auf der Netzwerkebene Schnittstellen der ATM-Schicht bereit. Eventuell erforderliche Anpassungen gemäß AAL waren somit Aufgabe der angeschlossenen Endsysteme oder dedizierter, zwischengeschalteter Komponenten.

5.3.1.2 Netzwerke und virtuelle Verbindungen

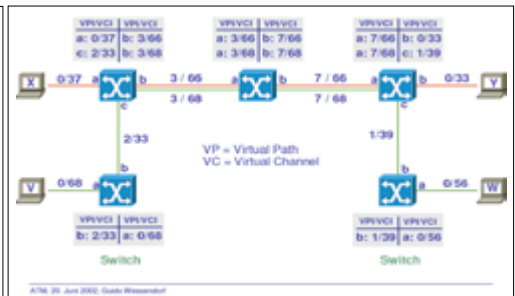
Ein ATM-Netzwerk entsteht aus der Zusammenschaltung von ATM-Vermittlungseinrichtungen (Netzknoten, ATM-Switche) über physikalische Verbindungen. Neben den Schnittstellen zwischen den Vermittlungseinrichtungen, die auf ATM-Ebene mit NNI (Network to Network Interface) bezeichnet werden, enthalten die Knoten auch die UNI (User to Network Interface) genannten Schnittstellen zu den daran angeschlossenen Endsystemen. Dies illustriert die Abbildung „ATM-Netzwerk(e) und Schnittstellen“ (entnommen einer Vorlesungsunterlage von G. Wessendorf, Universität Münster aus dem Jahre 2002). Darin wird noch zwischen privatem (private) und öffentlichem (public) Netzwerk unterschieden, entsprechend einem Netz im Universitätsbereich (z. B. der FAU) bzw. eines Providers (z. B. der Deutschen Bundespost/Telekom).

Im verbindungsorientierten ATM-Netz erfolgt die Kommunikation zwischen zwei Endgeräten über entsprechend aufgebaute, virtuelle Verbindungen. Dabei gibt es folgende Arten:

- SVC (Switched Virtual Circuit), bei Bedarf dynamisch aufgebaute Verbindung, gemäß einer per Signalisierung angeforderten „Ende-zu-Ende“ Verkehrsbeziehung
- PVC (Permanent Virtual Circuit), fest geschaltete Verbindung durch manuelle Konfiguration auf jedem der durchlaufenen Knoten
- SPVC (Soft Permanent Virtual Circuit), fest (permanent) definiert an den Endschnittstellen (UNI), dynamisch aufgebaut innerhalb des Netzwerks.



ATM-Netzwerk(e) und Schnittstellen

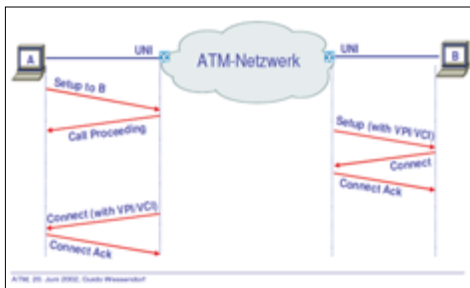


Virtuelle Verbindungen im Netzwerk

Jede virtuelle Verbindung wird durch eine Nummer gekennzeichnet, die in zwei Stufen hierarchisch untergliedert ist, das heißt sich aus einer Pfadnummer (VPI, Virtual Path Identifier) und einer Kanalnummer (VCI, Virtual Channel Identifier) zusammensetzt. Ein virtueller Pfad enthält somit eine Menge von Kanälen, die so z. B. auch gebündelt behandelt werden und u. a. die Wegelenkung (Routing) durch summarische Einträge im Netzwerk vereinfachen können. Die Zahlenpaare VPI/VCI einer Verbindung im Netz sind der Regel pro Abschnitt unterschiedlich. Es ist Aufgabe der Vermittlungsknoten, die passenden Zuordnungen entsprechend zu verwalten.

Hierzu zeigt die Abbildung „Virtuelle Verbindungen im Netzwerk“ als Beispiel ein Netz aus fünf Knoten und darin zwei virtuelle End-zu-End-Verbindungen („rot“ zwischen den Teilnehmer „X“ und „Y“, „grün“ zwischen „V“ und „W“). Sie stellt die abschnittswise VPI-/VCI-Paare der beiden Verbindungen dar und zeigt die zugehörigen Umsetzungstabellen in den jeweiligen Knoten an. Danach verlaufen z. B. die beiden Kanäle („66“, „68“) in den Abschnitten zwischen den drei oberen Knoten innerhalb eines gemeinsamen Pfades („3“).

Der Aufbau einer virtuellen Verbindung, d. h. die Etablierung eines SVC, zwischen zwei Netzteilnehmern wird in Initiative eines der Endsysteme (sendende Station). Dies geschieht über eine Signalisierungsprozedur, die im Rahmen der Schnittstellenbeschreibung UNI (User to Network Interface) mit zugehörigen Nachrichtenformaten und Abläufen standardisiert ist (Versionen UNI 3.0, 3.1, 4.0). Sie erfolgt über einen per PVC festgelegten Kanal 0/5 (VPI=0, VCI=5), der damit (anders als etwa bei X.25) unabhängig (außerhalb) vom dabei dynamisch bestimmten virtuellen Datenkanal ist.



Verbindungsaufbau über UNI

Während des Aufbauvorgangs werden verschiedene Nachrichten ausgetauscht, z. B. folgender Art:

- „Setup“ (Verbindungsaufbau starten)
- „Call Proceeding“ (Lokale Quittung)
- „Alerting“ (Setup auf der gerufenen Seite)
- „Connect“ (Verbindung annehmen)
- „Connect Ack“ (Kenntnisnahme)

Das Diagramm zum „Verbindungsaufbau über UNI“ skizziert einen erfolgreichen Prozedurablauf an den Teilnehmerschnittstellen. Die Vorgänge innerhalb des Netzes, also zwischen den Knoten, laufen gemäß ihrer NNI-Schnittstellen in ähnlicher Weise ab. Die Verbindung bzw. der SVC ist erst dann etabliert, wenn der Initiator eine Bestätigung mit zugeordnetem VPI-/VCI-Paar erhalten und diese schließlich quittiert hat (Connect Ack).

Das Auslösen einer Verbindung kann z. B., über folgende Nachrichten initiiert werden:

- „Release“ (Verbindungsabbau)
- „Release Complete“ (Bestätigen des Verbindungsabbaus, Verbindung ablehnen)

5.3.1.3 Adressierung

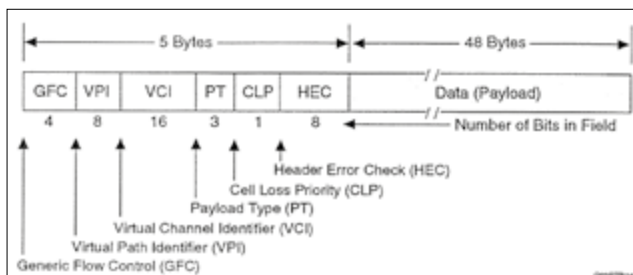
Um Verbindungen im ATM-Netz aufbauen zu können, muss jeder Teilnehmer über eine eindeutig, ihm zugeordnete Adresse erreichbar sein. Im Rahmen von ATM sind dazu Adressen der Länge von 20 Bytes bzw. 40 hexadezimalen Ziffern nach einem hierarchischen Aufbau vorgesehen. Das ATM-Forum hat dazu verschiedene Vorschläge gemacht, die sich u. a. an den allgemeinen Definitionen der OSI für Netzzugangspunkte

Die oberen 22 Ziffern lauteten danach „39 276F 3100 01 11 0000 0101“. Danach folgten, etwa gemäß Variante „d“ im Entwurf, vier Ziffern zur Kennzeichnung von Standort und Nummer des zugehörigen ATM-Knotens (Area), zwölf Ziffern der MAC-Adresse des betroffenen Endsystems (Identifizierer) und schließlich zwei Ziffern zur Auswahl eines Kommunikationsbausteins innerhalb des betreffenden Geräts (Selektor). So setzte sich z. B. der zweite, bzgl. der FAU lokale Teil der Adresse eines auf einem Router ablaufenden Elements der LAN-Emulation (s. Kap. 5.3.2) zusammen aus „2B34“ (Knoten des Wissenschaftsbereichs im Rechenzentrum), „000164126FEF“ (MAC des Routers) sowie die Auswahl „00“ (Spezifikation der LAN-Emulation-Configuration-Server-Funktion). Die Gesamtadresse des Endpunkts lautet im Beispiel somit „39 276F 3100 01 11 0000 0101 2B34 000164126FEF 00“.

Das 40-stellige Schema spannt, etwa im Vergleich zur Adressierung im Internet, einen deutlich größeren Adressraum auf und ermöglicht durch seinen hierarchischen Aufbau ein globales, effektiveres Routen. Der Aufbau wurde seinerzeit oft als „zu kompliziert“ und „schwer merkbar“ kritisiert. Im Laufe der Zeit führten allerdings die „einfacheren“ IPv4-Adressen zu Vergabeengpässen und motivierten so wesentlich zur Einführung von IPv6 (s. Kap. 7) und dessen Adressierung mit 38 Zeichen. Es sei noch erwähnt, dass Endbenutzer ihre Kommunikationspartner in der Regel über symbolische Namen spezifizieren und so unter Zuhilfenahme entsprechender Dienste (Name Service) ohne die Verwendung numerischer Netzadressen auskommen.

5.3.1.4 ATM-Zellen als Übertragungseinheiten

Wie bei den charakteristischen Merkmalen bereits erwähnt, erfolgt der Datentransfer innerhalb eines ATM-Netzes und damit auch zwischen zwei kommunizierenden Partnern über Einheiten fester Länge, die als „ATM-Zellen“ (cells) bezeichnet werden. Neben den zu übertragenden Daten enthalten sie, je nach Typ, auch Informationen zur Verwaltung und Steuerung der Kommunikationsvorgänge. Alle Zellen sind nach einem festen Format aufgebaut und bestehen aus einem 5 Byte langen Kopf (Header) und einem 48 Byte langen Datenteil (Payload). Der grundlegende Aufbau ist im „Format einer (UNI-) ATM-Zelle“ (IBM 1995)



*Format einer (UNI-) ATM-Zelle
(IBM 1995)*

ATM-Zelle“ dargestellt und bezieht sich auf die Schnittstellen zwischen Endsystemen und Netzknoten (UNI). Zellen die (gemäß NNI) innerhalb eines Netzwerks zwischen zwei Vermittlungskomponenten ausgetauscht werden, unterscheiden sich davon lediglich durch Wegfall des Feldes zur Flusssteuerung (GFC, Generic Flow Control) und entsprechender Vergrößerung der virtuellen Pfadkennung (VPI, Virtual Path Identifier).

Zur Formatbeschreibung gelten folgende Erläuterungen:

- Eine Zelle ist immer 53 Byte groß
- GFC hat nur lokale Bedeutung
- VPI und VCI bestimmen die VC (Virtual Connection)
- PT (Payload Type)
 1. User Daten oder Management
 2. Congestion JA/NEIN
 3. 1 = End of Block (AAL 5 only)
- CLP (Cell Loss Priority)
 - 1 = niedrige Priorität
- HEC (Header Error Check)

Die Festlegung auf die konstant langen Übertragungseinheiten bedeutet für die beteiligten Endsysteme, dass sie zum Datenaustausch auf der Sendeseite ihre Datenströme entsprechend aufteilen und auf der Empfangsseite wieder zusammensetzen bzw. reproduzieren müssen. Dazu verwenden sie in der Regel eine standardisierte Anpassungsschicht (AAL). Das Netzwerk hat dabei die Aufgabe, für den Erhalt des gesendeten Zellstroms zu sorgen, d. h. die Zellen ohne Verlust und in der angelieferten Reihenfolge auch wieder auszuliefern.

5.3.1.5 Dienstgüte und Verkehrssteuerung

Die Abbildung des Datenverkehrs auf konstant lange Einheiten bedeutet zwar auf Seiten der Endgeräte einen gewissen Aufwand, schafft aber für das ATM-Netzwerk Voraussetzungen zur Kalkulation und Steuerung der Übertragungsvorgänge. Dadurch ist das Netz in der Lage, Dienste mit unterschiedlicher Güte anzubieten und für die Einhaltung damit verbundener Qualitätsparameter zu sorgen. Die Güte (QoS) wird beim Verbindungsaufbau ausgehandelt und dann vom Netzwerk garantiert (Verkehrsvertrag).

Gemäß ATM-Forum lassen sich die Dienste in folgende Klassen einteilen:

- CBR (Constant Bit Rate)

Zur Übertragung eines konstanten Zellstroms in kürzester Laufzeit, Zellen auf CBR-Verbindungen werden im Netz bevorzugt behandelt

Beispiel: Leitungsemulation

- VBR-rt (Variable Bit Rate, real time)
Übertragungsgarantie für konstante Zellströme, zusätzliche Datenstöße oder Bursts unter bestimmten Bedingungen erlaubt, Dienst mit Echtzeitbezug,
Beispiel: Video-Übertragung
- VBR-nrt (Variable Bit Rate, non real time)
Bezgl. Delays (Verzögerungen) unempfindlicher VBR-Zellstrom ohne Echtzeitbezug
Beispiel: IP über ATM, LANE (LAN-Emulation)
- UBR (Unspecified Bit Rate)
„Best effort“, Dienst ohne garantierte Zusagen, Datenverluste in Lastsituationen möglich
Beispiele: E-Mail, FTP
- ABR (Available Bit Rate)
Dynamische Bandbreitenzuteilung, Endgerät informiert sich fortwährend per Protokoll über verfügbare Bandbreite im Netz und passt sich entsprechend an, Datenverluste kommen nicht vor
Beispiele: Filetransfer, E-Mail, Backup

Neben den grundsätzlichen Dienstklassen gibt es noch eine Reihe weiterer Parameter zur Beschreibung der Verkehrscharakteristik, die ebenfalls beim Verbindungsaufbau spezifiziert und ausgehandelt werden. Dazu gehören etwa die Grenze für die maximale Zellübertragungsrate (Peak Cell Rate, PCR) oder die untere Grenze für den zeitlichen Abstand zweier Zellen (CDVT, Cell Delay Variation Tolerance).

Das ATM-Netzwerk sorgt über verschiedene Maßnahmen eines „Traffic Management“ für seine eigene Funktionsfähigkeit und die Einhaltung der verschiedenen, verbindungsbezogenen Verkehrsabsprachen. Formal erfolgt dies über spezielle Einträge in den Datenzellen aber auch über dedizierte Management-Zellen. Die angewandten Methoden umfassen z. B. das Glätten von Senderaten angelieferter Daten (Traffic Shaping) oder die Verkehrsüberwachung mit kontrollierter Zwischenspeicherung in „Leaky Buckets“ und gezielter Verwerfung von Zellen in bestimmten Überlastsituationen.

Generell ermöglichte die vielfältige ATM-Technik den Providern, verschiedenartige Übertragungsdienste mit anforderungsgerechten Merkmalen anzubieten. „Privaten“ Netzbetreibern, wie der FAU, bot sie die Grundlage zum Aufbau einer flexiblen, nach (betrachtetem) Stand der Technik leistungsfähigen (z. B. schneller, zuverlässiger als Ethernet) Kommunikationsinfrastruktur, die von unterschiedlichen Anwendungen (z. B. Videoübertragungen, LAN-Verknüpfungen, Internetstrukturen) genutzt werden konnte.

5.3.2. LAN-Emulation (LANE)

Um vorhandene Anwendungen traditioneller LAN-Technologien (Ethernet IEEE 802.3, Token Ring IEE 802.5) auch über ATM-Netzwerke unverändert nutzen zu können, definierte das ATM-Forum mit der „LAN-Emulation“ (1995: LANEv1.0, 1997: LANEv2.0) eine Technik, mit der z. B. bestehende LAN-Segmente angebunden und über „Bridging-Funktionen“ (s. Kap. 4.2.2.4) zu logisch zusammenhängenden Einheiten verknüpft werden konnten. Diese auch als „emulierte LANs“ (ELAN) oder allgemeiner „virtuelle LANs“ (VLAN) bezeichneten Einheiten verhielten sich jeweils etwa wie Ethernet-LANs und konnten gemäß der zugrundeliegenden ATM-Struktur auch unter Einschluss von Weitverkehrsverbindungen „beliebig“ verteilt sein. Da entsprechende Komponenten nach der Definition unter Beteiligung relevanter Hersteller ziemlich kurzfristig und preiswert am Markt verfügbar wurden, erlangte die LAN-Emulation (im betrachteten Zeitabschnitt) mit dem Bezug auf Ethernet-LAN auch an der FAU zur der Gestaltung der Kommunikationsstruktur in Wissenschafts- und Medizinbereich eine herausragende Bedeutung.

5.3.2.1 Funktionales Konzept von LANE

Die LAN-Emulation beschreibt nicht etwa nur die Aufteilung von Ethernet-Frames in ATM-Zellen bzw. deren Reproduktion, sondern hat vor allem auch die unterschiedlichen Netzeigenheiten aufeinander abzubilden. Es gilt z. B., dass

- ATM verbindungsorientiert ist
mit „Punkt-zu-Punkt“ oder „Punkt-zu-Mehrpunkt“-Verbindungen
- und
- Ethernet-LANs logische Bus-Struktur haben,
(jeder Teilnehmer ist erreichbar/adressierbar, alle hören mit) und
Broadcasts (Nachrichten an alle) sind möglich.

Zur erforderlichen Umsetzung der spezifischen Eigenheiten ist die LAN-Emulation in funktionale Bausteine gegliedert. Diese, auf verschiedenen Komponenten realisierten Funktionen, wirken weitgehend automatisch zusammen, ohne eine Beteiligung der LAN-Teilnehmer zu benötigen. Die Bausteine lassen sich wie folgt in Stichpunkten beschreiben:

- LECS (LAN Emulation Configuration Server), einmal im Netz (global) enthält und pflegt eine Datenbasis mit dem Verzeichnis aller (registrierten) Emulationsserver (LES) über symbolische ELAN-Namen und deren ATM-Adressen, ist über eine konfigurierbare oder „wohldefinierte“ (well-known gemäß ATM-Forum) ATM-Adresse zu erreichen.

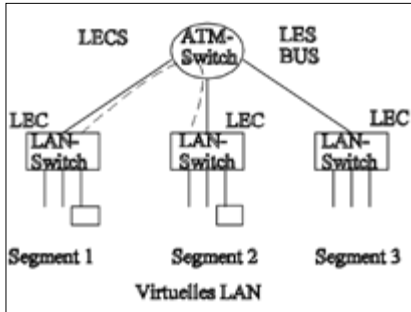
- LES (LAN Emulation Server), einmal pro ELAN,
 - registriert jeden aktiven „Emulation Client“ (LEC) nach seiner Anmeldung,
 - verzeichnet damit alle zum betreffenden LAN gehörenden Segmente,
 - empfängt Daten von Clients (LECs) über singuläre ATM-Verbindungen (1:1),
 - sendet Daten über Mehrfachverbindungen (1:n) an registrierte Clients (LECs),
 - führt/lernt Zuordnungen von MAC-zu ATM-Adressen, bzgl. Ethernet-Endgerä-
teadressen und ATM-Adressen der zugehörigen Clients (LECs).

- BUS (Broadcast and Unknown Server), einmal pro ELAN,
 - realisiert Broadcast-Funktionalität,
 - hält wie LES pro LEC singuläre Verbindung zum Empfang (aus seiner Sicht) und Mehrfachverbindung zum Senden von Daten,
 - folgender (normale) Ablauf skizziert die Verteilung von Broadcasts an alle LAN-Segmente des betreffenden ELAN und damit an alle Teilnehmer:
 - Teilnehmer (Endgerät) sendet Broadcast-Frame in seinem Ethernet-Segment
 - zugehöriger LEC empfängt Broadcast und sendet ihn über ATM-Verbindung an den BUS
 - BUS schickt ihn über ATM (ATM-Verbindung, 1:n) an alle aktiven (angemelde-
ten) Clientserver (LECs)
 - LECs senden Broadcast im betreffenden LAN-Segment an seine Endgeräte
 - behandelt Ethernet Frames mit unbekanntem Ziel (Segmentzugehörigkeit der Ziel-MAC-Adresse ist nicht verzeichnet) wie Broadcasts, schickt sie also an alle registrierten Segmente des ELAN, das geschieht z. B. in der Lernphase zweier Clients zur Findung gegenseitiger Zuordnungen (bevor sie eine direkte ATM-Verbindung etabliert haben).

- LEC (LAN Emulation Client), einmal pro Segment,
 - erfragt LES-Adresse beim globalen LEC über seinen ELAN-Namen,
 - registriert sich bei zugehörigem LES über ATM-Verbindung,
 - führt/lernt Zuordnungen von MAC-Adressen (der Kommunikationspartner) zu ATM-Adressen der entsprechenden Segmente (LECs),
 - hält ATM-Verbindungen zu LES und Bus sowie zu anderen LECs seines ELAN,
 - sendet Ethernet-Frames mit gelernter Zieladresse über direkte ATM-Verbindung an das betreffende Zielsegment und bei unbekannter Zuordnung an den BUS

Die Skizze zur „LAN-Segmentverknüpfung über ATM“ enthält die Darstellung eines emulierten LAN aus drei Segmenten. Das ATM-Netz wird darin durch einen „ATM-Switch“ repräsentiert, auf dem auch die funktionalen Bausteine LECs (global) sowie LES und BUS (ELAN spezifisch) implementiert sind. Die Segmente werden jeweils durch LAN-Switche (s. Kap. 5.3.3) gebildet, die einerseits per ATM mit dem Netz verbunden sind und andererseits Ethernet-Schnittstellen zum Anschluss von Endgeräten

bereitstellen. Zudem sorgen sie als Clientserver für die Abwicklung der jeweils benötigten LEC-Funktionalität. Die gestrichelte Linie, die die beiden linken LAN-Switche miteinander verbindet, deutet an, wie zwei Endgeräte (dargestellt als unbeschriftete Kästchen) nach einer erfolgreichen Aufbau- und Lernphase über einen direkten Weg durch das ATM-Netz miteinander kommunizieren können.



LAN-Segmentverknüpfung über ATM

Die LAN-Emulation ist durch ihre verschiedenen Bausteine und deren Zusammenwirken ein komplexes Gebilde, das zudem in konkreter Umsetzung noch unterschiedliche Gestaltungsmöglichkeiten offen lässt, so z. B. die Wahl der Geräte und Gerätetypen auf denen die Funktionen abgewickelt werden sollen. Aber durch die weitgehend automatisierten Abläufe und eine hohe Interoperabilität verfügbarer Komponenten unterschiedlicher Art und Hersteller, erwies sich ihr Einsatz in der Praxis als gut beherrschbar und mit relativ wenig Aufwand (z. B. zur Konfiguration oder Betriebsüberwachung) verbunden. Gegenüber den Netzteilnehmern verhielt sich die Emulation ohnehin transparent, so dass sie sich unabhängig davon in gewohnter (Ethernet-) LAN-Umgebung bewegen konnten.

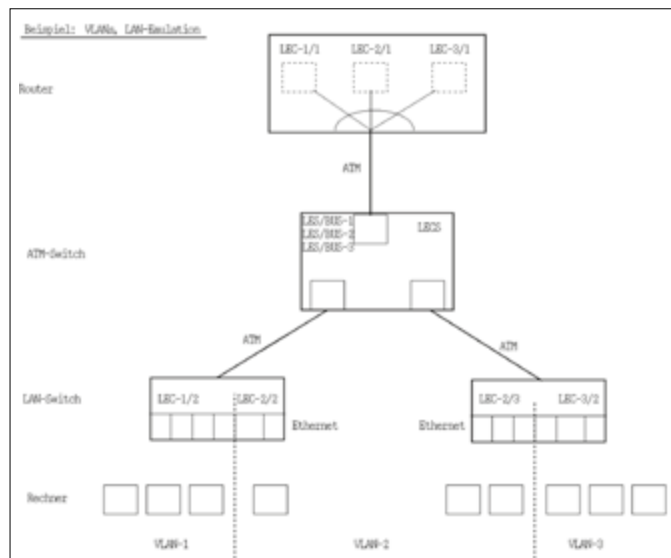
5.3.2.2 Virtuelle (E)LANs

Die Möglichkeit, über eine ATM-Schnittstelle mehrere, parallel laufende ATM-Verbindungen aufbauen zu können, bietet die Grundlage zur Erweiterung des beschriebenen ELAN-Konzepts um virtuelle LANs mit einer weitgehenden Entkopplung von physischer und logischer Netzstruktur. Das nutzen z. B. LAN-Switche, die in der Lage sind, mehrere Segmente verschiedener LANs zu verwalten, d. h. pro Segment einen LEC zu betreiben und die angeschlossenen Endgeräte (gemäß Konfiguration) bedarfsgerecht einzuordnen. Befinden sich etwa in der Etage eines Gebäudes zwei Nutzergruppen mit dem Bedarf jeweils eigener, voneinander getrennter Netze, so kann dies über einen einzigen Switch mit zwei konfigurierten LAN-Segmenten gelöst werden (statt mit dem Einsatz zweier Geräte).

Zur Kommunikation zweier Geräte in unterschiedlichen lokalen Netzen ist ein Router zur Vermittlung erforderlich (s. Kap. 4). Dieser muss (etwa im Fall einer einfachen Sternstruktur) Teilnehmer in den betreffenden LANs sein, also Schnittstellen zu ihnen besitzen. Das ist mit Hilfe der LAN-Emulation zu lösen, nämlich über einer physischen Verbindung des Geräts zum ATM-Netz und jeweiligen LANE-Clients (LEC pro LAN) als implementierte Softwarebausteine. Bezüglich des zu routenden Protokolls (IP) ist jedem Client eine Adresse zugeordnet, die u. a. als Übergabepunkt zum Verlassen eines LAN bzw. Subnetzes angesprochen wird.

Die Abbildung „Virtuelle LANs in Netzstruktur“ stellt ein einfaches Beispiel mit einem Router und drei virtuellen LANs dar, deren Segmente bzw. Clients (LECs) auf zwei Switches sowie den Router verteilt sind. Darin setzt sich z. B. das VLAN-2 aus den Segmenten mit den Clients LEC-2/1, LEC-2/2, LEC-2/3 zusammen und ist bezüglich der Endgeräte (Rechner) an den Standorten beider „LAN-Switches“ verfügbar. Die LANE-Bausteine LECS und LES/BUS-1, 2,3 sind hier auf dem „ATM-Switch“ lokalisiert.

Für die konkrete Umsetzung eines ATM-Netzes mit LAN-Emulation ist die Verteilung der Servicefunktionen auf die Komponenten bzw. Komponententypen zu überlegen. Anders, als im betrachteten Beispiel, entschied sich das RRZE, diese von Routern (der Firma Cisco) abwickeln zu lassen. Dafür sprachen die Möglichkeiten zur Einbettung der Konfigurationen in vorhandene Mechanismen (s. Kap. 4) sowie die von Cisco angebotenen Lösungen zur Erhöhung der Betriebssicherheit. Generell waren mit den



*Virtuelle LANs
in Netzstruktur*

singulären Elementen (LECS, global bzw. LES/BUS je LAN) auch betriebliche Risiken verbunden, da mit ihrem Ausfall Störungen des Gesamtsystems verbunden waren. Cisco machte es daher möglich durch entsprechende (proprietäre) Protokolle (SSRP) die Funktionen redundant zu verteilen, so dass sie bei Ausfall einer primären Komponente von einer sekundären Komponente übernommen werden konnten. Neben der Nutzung redundanter Wege im ATM-Netzwerk leistete der so gestaltete Standby-Betrieb einen deutlichen Beitrag zu einer hohen Betriebssicherheit.

Im Zusammenhang mit der strukturierten Verkabelung bot die flexible Methode zur Definition und Verteilung virtueller LAN ideale Voraussetzungen der Netzgestaltung, vor allem im medizinischen Bereich an der FAU. Erst spätere Entwicklungen von Ethernet-Technik und Komponenten (s. Kap. 6) schufen vergleichbare Möglichkeiten auch ohne ATM bzw. LANE.

5.3.3. ATM-Komponenten

Die ATM-Komponenten lassen sich grundsätzlich in zwei Arten gliedern:

- Vermittlungseinrichtungen zum Aufspannen eines Netzwerks, ausgestattet mit mehreren (physischen) ATM-Schnittstellen
- Geräte mit speziellen Anpassungs- und Anwendungsfunktionen, ausgestattet (in der Regel) mit einer (physischen) ATM-Schnittstelle (zum Anschluss an einen ATM-Switch) und Schnittstellen für Endgeräte oder auch weiter verteilende Komponenten (z. B. Ethernet-LAN-Switche)

Im Folgenden werden verschiedene Geräte/Typen betrachtet, die im Umfeld „privater“ Netze, wie die an der FAU, relevant waren. Von (nationalen) Providern eingesetzte Technik wird hingegen nicht weiter behandelt.

5.3.3.1 Vermittlungseinrichtungen, ATM-Switche

Zum Aufbau von ATM-Netzwerken dienen sogenannte ATM-Switche. Sie haben eine Menge von Schnittstellen, die physikalisch in der Regel für Glasfaser- oder Kupferverbindungen ausgelegt sind und logisch die Schnittstellen NNI zu anderen Switches bzw. UNI zu Endgeräten bedienen. Sie können untereinander beliebig verschaltet werden, also je nach Verfügbarkeit von Übertragungswegen frei vermascht werden. Sie haben u. a. die Aufgabe, virtuelle Verbindungen gemäß angegebener Zieladresse (NSAP) zu etablieren und darüber angelieferte Zellen zu transportieren. Zur Wegefindung innerhalb eines Netzwerks dient ein spezifisches Routingprotokoll (PNNI). Bei Unterbrechung eines Verbindungsabschnitts wird, falls vorhanden, ein alternativer Weg bestimmt und genutzt (im günstigen Fall ohne Unterbrechung für die betroffenen Nutzer).

Am Markt waren Geräte verschiedener Hersteller verfügbar, z. B. von 3Com (Cellplex 7000HD), Cisco (Lightstream 10/10), IBM (IBM 8260, 2220) oder Fore (LE 155, ASX 200WG, 1000, 4000). Dabei fiel am RRZE die Wahl der Geräte zur Gestaltung seiner Netze auf die Komponenten des amerikanischen Herstellers „Fore Systems“, dessen Gerätefamilie am flexibelsten eingesetzt werden konnte. Dabei unterschieden sich die Typen hauptsächlich bzgl. Art und Anzahl ihrer Schnittstellen sowie ihrer nicht zuletzt dadurch bedingten Baugröße.

Die Abbildung „ATM-Switche von Fore“ zeigt zwei an der FAU am meisten eingesetzten Gerätetypen, nämlich die Front eines „ASX 200“ und die Rückseite eines „ASX 1000“. In ihrem modularen Aufbau verwendeten sie weitgehend gleiche Einschubkarten, die waagrecht bzw. senkrecht angeordnet waren. Der ASX 100 konnte mehr Einschübe aufnehmen und darunter auch mit mehreren zentralen



ATM-Switche von Fore: ASX 200 (o.) und ASX 1000 (u.)

ATM-Switcheinheiten (CPU-Boards) ausgestattet werden. Die in den FAU-Netzen genutzten Übertragungsgeschwindigkeiten betrug zunächst 35, 155 oder 622 Mbit/s, später kamen im Rahmen von Projekten auch Switches ASX 4000 mit Schnittstellen von 2.500 bit/s zum Einsatz (z. B. im Rahmen der Hochgeschwindigkeitsprojekte, Kap. 5.4.4).

5.3.3.2 LAN-Switche mit ATM

Wie oben bereits erwähnt, sind (ATM-)LAN-Switche Komponenten, die

- über ATM-Schnittstelle mit dem ATM-Netz bzw. einen ATM-Switch verbunden sind
- Ethernet-Schnittstellen zum Anschluss von Endgeräten bereitstellen
- Anschlüsse gemäß konfigurierter Portgruppen zu voneinander getrennten Segmenten zusammenfassen
- pro Segment einen LEC als Teil eines virtuellen LAN in die LAN-Emulation einbringen
- Verbindungen zu anderen Segmenten des jeweils gleichen LAN aufnehmen
- gesendete Ethernet Frames seiner Endgeräte In Abhängigkeit von der Zieladresse (MAC) dem entsprechenden Zielsegment über die ATM-Verbindung (LEC - LEC) zustellen bzw. empfangene Frames an ein adressiertes Gerät ausliefern

Die Funktionalitäten der Weiterleitung von Ethernet-Frames und die damit verbundenen Lernvorgänge entsprechen denen von Ethernet-Bridges (s. Kap. 4.2.2.4).

Die ATM-Schnittstellen waren in der Regel für Glasfaserverbindungen mit der Möglichkeit zu Übertragungen mit 155 Mbit/s, später gab es auch Geräte mit 622 Mbit/s, die dann vor allem an größeren Konzentrationspunkten eingesetzt wurden.



LAN-Switch 3Com LS 1000



Router Cisco 7200

LAN-Switche mit ATM wurden von verschiedenen Herstellern angeboten, so z. B. auch von 3Com (LS 1000, s. Abb. „LAN-Switch 3Com LS 1000“) oder Cisco (Catalyst 3000, 3200). Die Wahl des RRZE fiel u. a. wegen ihrer Zuverlässigkeit, einfachen Handhabung und ihrer günstigen Preise auf Switche von 3Com.

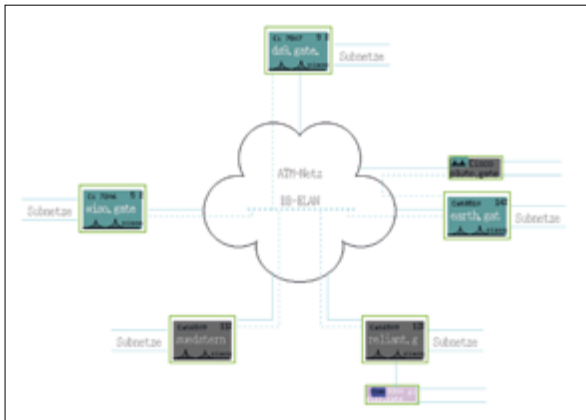
5.3.3.3 Router mit ATM

Die einfachste Möglichkeit zum Transfer von Daten über LAN-Grenzen hinweg bieten Router, die mit ATM-Schnittstelle(n) ausgestattet sind, sich funktional pro LAN als Client (LEC) in die LAN-Emulation einfügen und so auf Netzprotokollebene zwischen den jeweils zugeordneten Subnetzen vermitteln (routen) können (s. auch „Virtuelle LANs in Netzstruktur“).

Da das RRZE aus verschiedenen Gründen zum Routen vorrangig Komponenten des Herstellers Cisco einsetzte, waren dessen Geräte auch im ATM-Kontext erste Wahl. Cisco bot im Laufe der Zeit mehrere Gerätetypen an, z. B. Cisco 7200, 7500 oder Catalyst 6500, 8500, die mit 622 Mbit/s übertragen konnten und sich bzgl. ihrer Leistungsfähigkeit technologischen Entwicklungen anpassen.

Strukturell war es mit Hilfe der LAN-Emulation möglich, (auch weit) verteilte Router über ein gemeinsames LAN bzw. Subnetz im Sinne einer Bus-Struktur untereinander zu verbinden (s. Kap. 4.3.6). Die Abbildung auf S. 182 „Router-Bus-Struktur über emuliertes Backbone-LAN“ stellt ein derart gebildetes Backbone dar. Darin bildet ein „ATM-Netz“ die grundlegende Übertragungsstruktur und stellt ein virtuelles „BB-ELAN“ die Verknüpfung der Router über ein gemeinsames Subnetz her. Die Subnetze in den Nutzerbereichen sind als LANs direkt oder über LAN-Switche mit den Routern verbunden. Dieses Konzept wurde sowohl im Wissenschafts- als auch im Medizinetz der FAU verfolgt.

Wie schon oben erwähnt wurden am RRZE auch die LANE-Funktionen LECS (global) und LES/BUS (pro Bereich) auf Cisco-Routern abgewickelt. Die Komponentenwahl ließ sich durch ATM-Switche von Fore, Router von Cisco und LAN-Switche von 3Com beschreiben und erwies sich im Laufe dieser Entwicklungsphase als optimale Lösung.



Router-Bus-Struktur über emuliertes Backbone-LAN

5.4.3.4 Spezielle Endgeräte

Die ATM-Technik ist generell als Basis verschiedenartiger Anwendungen mit unterschiedlichen Anforderungen konzipiert. Dazu müssen an einem Netzanschluss definierte Anpassungen (AAL1/5) vorgenommen werden, die u. a. jeweils Anwendungsdatenströme in Folgen von ATM-Zellen umwandeln bzw. sie umgekehrt reproduzieren. Dies kann z. B. in programmierbaren Serversystemen erfolgen, die mit ATM-Schnittstellen und entsprechender Software ausgestattet sind, aber auch durch den Einsatz speziell entwickelter Umsetzungskomponenten geleistet werden.

Hierzu sind vor allem Geräte zu nennen, die speziell zur Übertragung von Videos über ATM entwickelt wurden. Neben den Anpassungen an ATM sorgten solche Komponenten in der Regel auch für die Umwandlung (Kodierung) analoger Signale (z. B. einer Kamera) in digital übertragbare Daten von Formaten der „Moving Picture Expert Group“ (MPEG). Als Beispiele für die auch als Codecs (Kodierer/Dekodierer) bezeichneten Geräte seien die von Tektronix oder K-Net angeführt, die am RRZE zur Übertragung von Videos eingesetzt wurden (s. Kap. 5.4.4.4).

5.4 ATM-Netze am RRZE

Im Zusammenhang mit den Maßnahmen zur passiven, strukturierten Verkabelung empfahl sich die ATM-Technik wegen ihrer Eigenschaften und der Verfügbarkeit geeigneter Komponenten etwa ab 1995 zum Aufbau aktiver, flächendeckender Netzstrukturen an der FAU.

5.4.1 Ablösung von „FDDI/Ethernet“ durch „ATM/LANE“

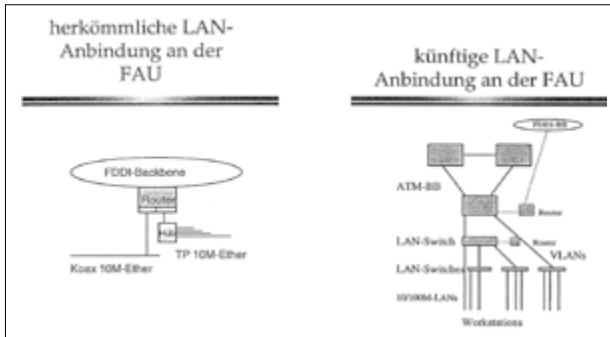
Die über FDDI realisierte Backbone-Technik (Übertragungen mit 100 Mbit/s) und deren lokale Netzanbindungen über Ethernet (Übertragungen mit 10 Mbit/s) stießen im Laufe steigender Anforderungen bezüglich Leistungsfähigkeit und Flexibilität zunehmend an ihre Grenzen. Obwohl es etwa Ansätze von Ethernet mit 100 Mbit/s (Fast Ethernet) Übertragungen oder zu LAN-Switchen mit Kupferschnittstellen (TP) gab, war das Netzmodellmodell zunächst nicht entwicklungsfähig genug, um für einen uniweiten Ausbau geeignet zu sein.

Das RRZE entschied sich daher sowohl im Wissenschafts- als auch Medizinbereich für den Aufbau von ATM-Strukturen und den Einsatz der LAN-Emulation und somit zu einer schrittweisen Ablösung der mit „FDDI/Ethernet“ beschriebenen Technik (s. Kap. 4).

Als Vorzüge der „ATM-/LANE“-Lösung seien hier nochmal in Stichpunkten hervorgehoben:

- Technik bzw. passende Komponenten verfügbar, handhabbar, bezahlbar
- In LAN- und WAN-Bereichen einsetzbar
- „Schneller“ als bis dahin genutzte FDDI/Ethernet-Technik
- Übertragungsgeschwindigkeiten ATM: 155/622 Mbit/s , Ethernet: 100 Mbit/s
- Flexible Definition und Verteilung virtueller LANs
- Mehrere VLANs über eine physikalische Verbindung (Switch-Uplink) transportierbar
- Aktive Struktur gut abbildbar auf passive Struktur
- ATM Vielfältig verwendbar (z. B. auch für Videoübertragungen besonders geeignet)
- Im Einklang mit den Entwicklungen des DFN bzw. dem B-WiN (ATM-basiertes Breitbandnetz)

Der „Vergleich der Strukturen von „FDDI/Ethernet“ und „ATM/LANE““ aus einer Präsentation des RRZE von 1995 skizziert auf S. 184 den prinzipiellen Aufbau der in diesem Zusammenhang „alten“ und „neuen“ Netzstrukturen.



Vergleich der Strukturen von „FDDI/Ethernet“ und „ATM/LANE“

5.4.2 Virtuelle Netze im medizinischen Versorgungsbereich der FAU

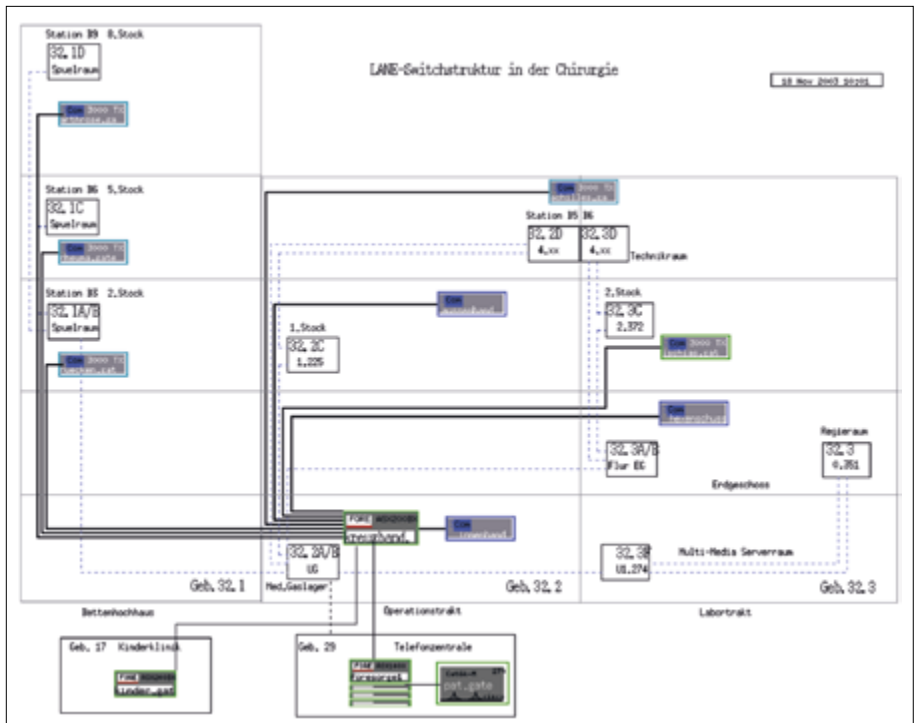
Die angeführten Argumente zur Ablösung der von „FDDI/Ethernet“ geprägten Netzstruktur (s. Kap. 4.4.4) galten natürlich auch für den Bereich der medizinischen Versorgung. Im Zusammenhang mit dem Ausbau der strukturierten Verkabelung in den betreffenden Gebäuden (s. Kap. 5.2.2) boten vor allem die Möglichkeiten von „ATM/LANE“ zur Definition verteilter, virtueller Netze ideale Voraussetzungen zum Aufbau einer angestrebten, flächendeckenden Netzversorgung. Zudem hatten in der „alten“ Struktur verschiedene Kliniken bereits eigene, „physische“ Ethernet-LANs auf Basis dedizierter Koax-Verkabelung aufgebaut, die es galt durch flexible, allgemein nutzbare und zentral (durch das RRZE) betreute Strukturen zu ersetzen.

Zu Migration und Netzausbau stellten sich dem RRZE u. a. folgenden Randbedingungen:

- In jedem Gebäude befanden sich mehrere Einrichtungen (Kliniken, Lehrstühle, Arbeitsgruppen usw.), mit dem Bedarf an ihnen spezifisch zugeordneten LANs.
- Die Einrichtungen waren auf mehrere Gebäude oder Etagen verteilt, mit dem Bedarf an jeweils zusammenhängende LANs.
- Eine Aufteilung von LANs in mehrere, voneinander getrennte LANs mit Strukturierung auf Netzprotokollebene (IP) stieß bei Nutzern auf Schwierigkeiten (kaum Akzeptanz) oder war im Zusammenhang betreffender Endgeräte oder eingesetzter Software erst gar nicht möglich (Beispiele: „Labordatennetz“ des Zentrallabors oder „Patientenmonitoring“ der Medizinischen Klinik II).
- Die Ablösung von Realisierungen eigener, lokaler Netze durch zentral betreute Strukturen empfanden die betroffenen Einrichtungen als Verlust von direkter Einflussnahme und erzeugte Bedenken, denen durch überzeugende Alternativen und Betriebsgestaltung zu begegnen war.
- Mit dem flächendeckenden Ausbau und der damit einhergehenden Ausweitung des Anwendungsspektrums im medizinischen Bereich wuchsen auch die Anforderungen an die Verfügbarkeit des Kommunikationsnetzes und einen stabilen Betrieb.

Durch den Aufbau eines ATM-Netzwerks aus ATM-Knoten und LAN-Switchen, der Realisierung virtueller LANs über die LAN-Emulation sowie dem Einsatz von (IP-) Routern konnte schließlich der gesamte Klinikbereich unter Berücksichtigung der Randbedingungen netztechnisch versorgt werden. (s. Abb. „Kommunikationsnetz im medizinischen Bereich, 2003“).

Als Beispiel der Netzgestaltung in einem Klinikbereich sind „Passive und aktive Netzstruktur im Gebäudekomplex der Chirurgie“ in der unteren Abbildung skizziert. Sie stellt die Gebäude („32.1“, „32.2“, „32.3“), darin installierte Verteilerschränke (z. B. „32.1A/B“, „32.1C“, „32.1D“), verlegte (Glasfaser-)Kabelstrecken zwischen den Verteilern (gestrichelte Linien) und somit die sekundäre Ebene der strukturellen Verkabelung dar. Das aktive Netz wird durch einen ATM-Switch im zentralen Gebäudeverteiler „kreuzband“ und daran per ATM angeschlossene LAN-Switche (z. B. „arthrose“ in „32.1D“) in den Verteilerschränken gebildet. Endgeräte in den Nutzerräumen werden über die hier nicht eingezeichnete tertiäre Verkabelung, den jeweils zugehörigen Verteiler mit dem LAN-Switch ihrer Etage verbunden. Dort sorgen dann die Anschlüsse (Ports)



Passive und aktive Netzstruktur im Gebäudekomplex der Chirurgie, 2003

„kreuzband“) und enthält den für LAN-übergreifende Kommunikation zuständigen (IP-)Router „pat.gate“, der ausserdem die LAN-Emulation integrierte und für deren zentrale Funktionen (LECS, LES/BUS) zuständig war.

Die Abbildung zum „Kommunikationsnetz im medizinischen Bereich“ aus dem Jahre 2002 zeigt auf S. 186 das gesamte Netzwerk auf technischer Basis von „ATM/LANE“ in einer fortgeschrittenen Ausbaustufe, die eine nahezu flächendeckende Versorgung mit Zugängen für die Nutzer herstellte.

Das zugrunde liegende ATM-Netzwerk ist durch seine ATM-Switche (z. B. „forever“ im Südgelände, „foresorge“ in der Telefonzentrale, „tumor“ im Tumorzentrum, „kopf“ in der Kopfklinik oder „kreuzband“ in der Chirurgie) und die Verbindungslinien (dick: 622 Mbit/s, dünn: 155 Mbit/s) zwischen ihnen dargestellt (links von Bildmitte). Man sieht, dass jeder Knoten mit mindestens zwei anderen verbunden ist (Ausnahme „akte“ in Erlangen-Tennenlohe) und so bestimmten Ausfallsituationen durch (automatische) Schaltung auf Ersatzwege begegnet werden kann.

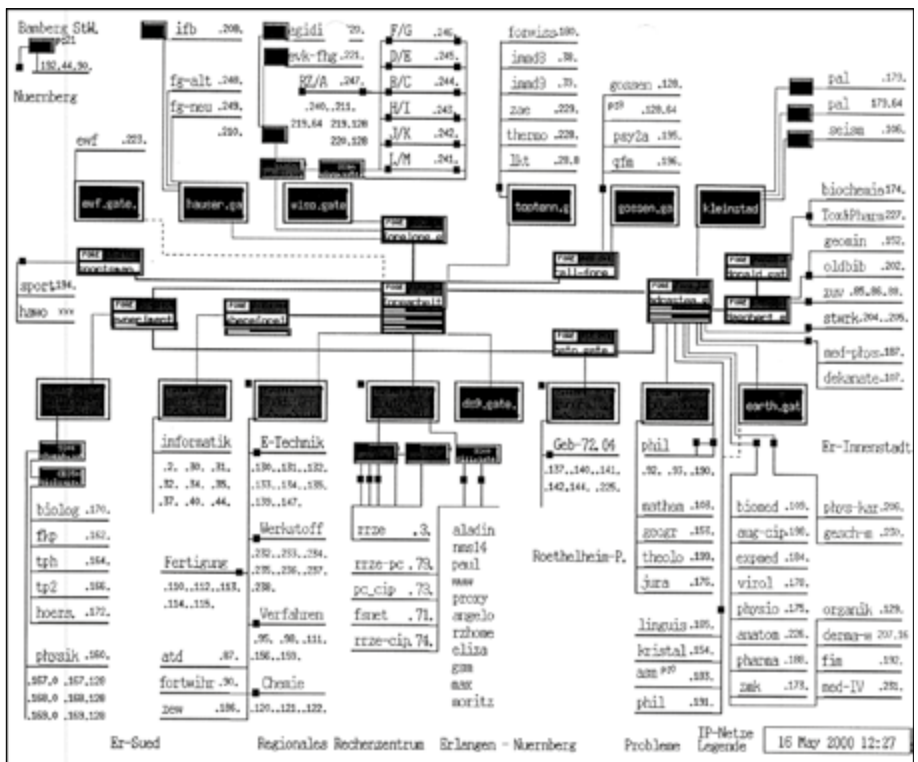
Die rechte Hälfte des Bildes enthält auf die Gebäude bzw. Etagen verteilten LAN-Switche, die einerseits mit einem ATM-Switch verbunden sind (summarisch durch gestrichelte Linien dargestellt) und andererseits die Endgeräteschnittstellen zu den Nutzer-LAN bereitstellen. Die auf den LAN-Switchen jeweils (per Konfiguration) verfügbaren LAN sind durch Angabe ihrer zugeordneten IP-Subnetznummern gekennzeichnet. In der Regel entspricht ein (virtuelle) LAN genau einem IP-Subnetz. So war z. B. der LAN-Switch „arthrose“ (rechte Spalte, 2. Gerätesymbol von oben) mit dem „Port 1C2“ des ATM-Switches „kreuzband“ (Standort Verteiler „32.2AB“) verbunden und stellte er im achten Geschoss des „Bettenhauses“ der Chirurgie (Verteiler „32.1D“) Anschlüsse zu den Netzen „147“ und „149“ bereit (s. auch „Strukturbild der Chirurgie“).

Die Router, dargestellt in der linken Spalte des Bildes, waren als zentrale Bausteine redundant ausgelegt und konnten so gegenseitig Funktionen übernehmen. So erledigten z. B. die Router „victor“ und „victoria“ in der Telefonzentrale primäre Aufgaben des IP-Routings und der LAN-Emulation, wären der Router „pat“ im „StandBy“-Betrieb in bestimmten Ausfallsituationen aktiv wurde.

Im betrachteten Ausbaustand (2002) enthielt das Kommunikationsnetz im medizinischen Versorgungsbereich über 200 LAN-Switche, verteilte insgesamt ca. 90 LAN/ Subnetze und betrieb Zugänge für mehr als 6.000 Endgeräte.

Standort gekennzeichnet, z. B. „forearbeiter“ im RRZE (Er-Sued), „adrastea“ in der Telefonzentrale (Er-Innenstadt) oder „forelong“ in Nürnberg (WiSo-Tuchergelände). Die Abbildung zeigt auch, wie „kleine“ Standorte in verteilten Streulagen günstig und ohne „Strukturbruch“ mit einbezogen werden konnten, für die Anbindungen über eigene Richtfunkverbindungen oder gar Kabelstrecken nicht in Frage kamen. Dies erfolgte über ein öffentliches ATM-Netzwerk („T-ATM“, zunächst von der Telekom), daran verbundene Standortanschlüsse per ADSL, einem zentralen Übergang in das ATM-Netz der FAU sowie fest geschalteten, virtuellen Verbindungen (PVC) zwischen den jeweiligen Standorten und dem RRZE. So konnten z. B. verschiedene Wohnheime oder die EWF in Nürnberg kostengünstig mit Zugangsgeschwindigkeiten von 4 bis 8 Mbit/s in das Netz der FAU integriert werden.

Das gesamte „Kommunikationsnetz der FAU mit ATM-Backbone“ ist in der unteren Abbildung im Überblick dargestellt. Darin findet sich das oben skizzierte ATM-Backbone



Kommunikationsnetz der FAU mit ATM-Backbone, 2000

in der mittleren Zeile wieder (z. B. mit den FORE-Switchen „forearbeiter“ (Standort RRZE) in der Mitte, „adrastea“ (Standort Telefonzentrale) rechts daneben oder „forelong“ (Standort Nürnberg) in der Abbildung direkt darüber).

Die zur Realisierung des IP-Netzes zuständigen Router sind mit ihren Verbindungslinien oberhalb und unterhalb des ATM-Netzwerks dargestellt (z. B. „ds9“ verbunden mit „forearbeiter“, „earth“ mit „adrastea“, „wiso“ mit „forelong“). Sie kommunizierten auf der Ebene des IP-Netzwerkprotokolls untereinander über ein gemeinsames LAN bzw. Subnetz, das über die LAN-Emulation (s. Kap. 5.3.3.3) auf allen Routern konfiguriert war.

Die Router hatten auch in ihrer Funktion als LAN-Switches die Aufgabe, LAN und zugehörige Subnetze der Nutzer in ihren jeweiligen Einzugsbereichen zu verteilen. Dies geschah zum Teil, ähnlich, wie im medizinischen Bereich (s. Kap. 5.4.2), über entsprechende LAN-Switches und die LAN-Emulation (z. B. in der Erlanger Innenstadt, rechter Bildrand) oder der WiSo (obere Bildmitte) oder aber über Ethernet-Schnittstellen der Router und daran angeschlossene LAN-Switches (z. B. im Erlanger Südgelände, linker, unterer Bildrand). In den Anwendungen des Südgeländes entsprach zunächst eine (Physische) Router-Schnittstelle einem zugeordneten LAN/Subnetz. Nachdem es dann aber möglich wurde, mehrere LAN über eine Ethernet-Verbindung zu transportieren (s. Kap. 6), konnten auch hier virtuelle Strukturen mit effektiveren Verteilmethoden eingesetzt werden. Übrigens war die Bildung virtueller LAN mit dem Zweck der Verschmelzung verteilter LAN-Segmente im Wissenschaftsnetz der FAU nie eine Notwendigkeit. Die (geografische) Verteilung von Nutzergruppen konnte stets auf IP-Ebene abgebildet werden.

Zum Zeitpunkt der Darstellung (2000) enthielt das Kommunikationsnetz im Wissenschaftsbereich der FAU etwa 17 ATM-Switches, 25 Router, 170 LAN-Switches mit ca. 300 LAN/Subnetzen für ca. 10.800 Endgeräte.

5.4.4 Hochgeschwindigkeitsprojekte

Das ATM-Netzwerk bekam neben der Bereitstellung von IP-Netz-Infrastruktur der FAU auch seine Bedeutung für Projekte im Hochgeschwindigkeitsbereich, insbesondere für die Übertragung von Videodaten. Diese Anwendungen stellten im Vergleich zu sonst üblichen Datentransfers besondere Anforderungen an Übertragungsgeschwindigkeiten (möglichst hoch), Vermittlungsleistungen der Netzkomponenten (möglichst geringe Verzögerungen/Delays) oder die Gleichförmigkeit der Datenströme (möglichst geringe Schwankungen/Jitter), die im hier betrachteten Zeitraum etwa über Ethernet und IP nicht oder nur unzureichend erfüllt werden konnten.

Das RRZE befasste sich bereits 1988 u. a. im Rahmen von Überlegungen zu einem Bayerischen Hochgeschwindigkeitsnetz mit Möglichkeiten hoher Übertragungsgeschwindigkeiten (34/140 Mbit/s) über Fernstrecken und verfolgte 1991 mit der Deutschen Bundespost einen Ansatz zur Erprobung von Weitverkehrsverbindungen mit 34 Mbit/s, der aber nicht zur Realisierung kam. Ab 1995 förderte der DFN-Verein sogenannte „Regionale Testbeds“ in deren Rahmen das RRZE Übertragungen nach München mit 34/155 Mbit/s praktisch erproben konnte. Dabei standen Videoübertragungen als Anwendungen im Vordergrund, während die darunter liegende Netztechnik auf ATM basierte.



*Hochleistungs-
ATM-Switch*

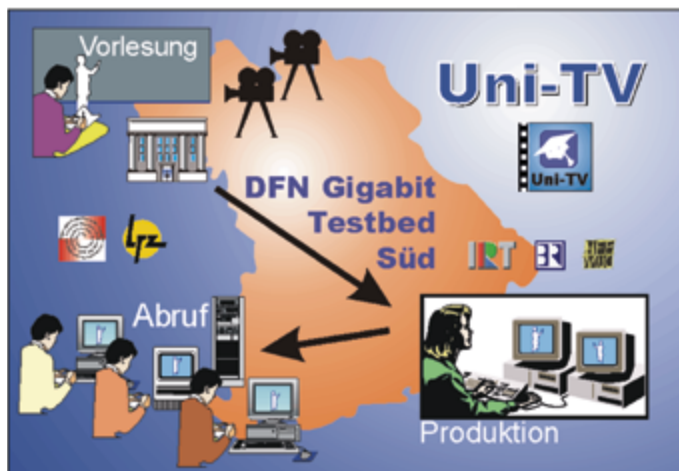


*Weltrekord im Gigabit Testbed,
13.7.1998*

Das Projekt wurde 1998 als „Gigabit Testbed“ weiter geführt, in dem u. a. zwischen Erlangen (RRZE) und München (LRZ) nun vier Glasfaserstrecken zur Verfügung standen, die z. B. über ATM-Switches (ASX 4000 von FORE) und entsprechende Schnittstellen jeweils mit 2,4 Gbit/s nutzbar waren. Dabei gelang es in einem speziellen Testaufbau über zwei Switches und eine Verbindungsstrecke die maximal mögliche Übertragungsleistung nahezu auszuschöpfen. Mit einer gemessenen Datenübertragung von 2,34 Gbit/s wurde 1998 ein seinerzeit neuer Weltrekord aufgestellt (s. Abb. der Tasse zum „Weltrekord im Gigabit Testbed, 13.7.1998“). Die Abbildung daneben zeigt einen „Hochleistungs-ATM-Switch“ vom Typ „Fore ASX 4000“, wie er in den Testbed-Projekten zum Einsatz kam.

Zum Gesamtprojekt gehörten auch innovative Anwendungen, wie etwa im medizinischen Bereich die Übertragung von Live-Bildaufnahmen (zwischen München und Erlangen) zur Erstellung einer zweiten Diagnose (2nd Opinion). Dies bedeutete insbesondere starke Anforderungen an die Qualität der zu übertragenden Bilder und damit auch an die Übertragungsleistung des Netzes.

Eine äußerst anspruchsvolle, 1995 konzipierte, ab 1998 im Wirkbetrieb praktizierte Anwendung, entstand unter der Bezeichnung „UNI-TV“ in Zusammenarbeit mit dem Bayerischen Rundfunk (BR) und dem Institut für Rundfunktechnik (IRT). In ihr wurden ausgewählte Veranstaltungen der Universität Erlangen-Nürnberg mit Kameras aufgenommen, über entsprechende Anpasseinrichtungen (Codecs, s. Kap. 3.3.3.4) und das Netz nach Garching zum IRT gesendet, dort empfangen und (live) aufgezeichnet. Nach entsprechender Aufbereitung der Beiträge wurden diese in regelmäßigen Fernsehsendungen von „ARD-alpha“ unter „Campus Auditorium“ ausgestrahlt. Das so verteilte Vorgehen erforderte u. a. deutlich weniger Arbeitsaufwand, als etwa eine Produktion durch ein Senderteam vor Ort. Der BR stellte an die Qualität der Übertragungen sehr hohe (professionelle) Anforderungen, die die verwendete Technik und das zu diesem Zweck vom LRZ zum IRT verlängerte ATM-Netz erfüllen konnten. Die Abbildung von 1999 zum „Ablauf UNI-TV“ stellt die Produktions- und Nutzungsweise schematisch dar. Diese Anwendung wird heute noch praktiziert, wenn auch inzwischen unter weiter verbesserten, aktuellen technischen Bedingungen.



Ablauf UNI-TV, 1999

Das ATM-Netz der FAU wurde auch innerhalb der Universität zu Videoübertragungen genutzt. So z. B. zur Übertragung von Veranstaltungen im Kollegienhaus (Erlangen Innenstadt) oder der WiSo in Nürnberg.

Zum Teil konnte dies durch ein neues Tarifmodell sowie durch die Einführung sogenannter „Cluster-Zugänge“ für ganze Teilnehmergruppen aufgefangen werden. Der Sammelanschluss für das Baden-Württemberg Landesnetz (BELWUE) ist hierfür ein Beispiel.

Zu Hauptnutzung des Netzes wurden Verknüpfungen von IP-Netzen der teilnehmenden Einrichtungen. Diese wurde über entsprechend eingerichtete, permanente Verbindungen (PVC) zwischen den Kundenroutern hergestellt. „Direkte“ Übertragungen von Videos über ATM kamen über das B-WiN hingegen nur ansatzweise zum Einsatz.

5.5 Stand und weitere Entwicklung

Mit dem Einsatz der ATM-Technik konnte das Kommunikationsnetz der FAU bzgl. Verbreitung, Leistungsfähigkeit und Flexibilität auf eine neue Stufe angehoben werden. Hierzu schufen Auf- und Ausbau des passiven Netzes mit der strukturierten Verkabelung eine wichtige Voraussetzung, die auch die Grundlage für spätere Gestaltungen aktiver Strukturen bilden sollte.

Als etwa ab der Jahrtausendwende mit der Weiterentwicklung der Ethernet-Technik u. a. höhere Geschwindigkeiten (100 Mbit/s, 1 Gbit/s) oder effektive Verteilungen virtueller LAN möglich wurden, begann auch das RRZE damit, entsprechende Komponenten zunehmend einzusetzen und die ATM-Strukturen nach und nach abzulösen. Dies galt zunächst vornehmlich für lokale Bereiche (LAN) und die Struktur des Erlanger Stadtnetzes (MAN) der FAU. Das ATM-Netz behielt noch bis etwa 2011 Bedeutung vor allem für Weitverkehrsverbindungen (WAN), z. B. im Zusammenhang von Fernverbindungen über Richtfunkstrecken, (Hochgeschwindigkeits-)Videoübertragungen oder Zuführungen einzelner, verteilter Standorte (z. B. Wohnheime). Die Darstellung in Kapitel 2.4.4 zum „ATM-Netz der FAU, 2004“ gibt einen Stand wieder, der auch bis zum Ende der Phase noch weitgehend so gültig war.

Referenzen

Abkürzungen

AAL	ATM Adaption Layer
ABR	Available Bit Rate
ACK	Acknowledge
AFI	Authority Format Identifier
ARP	Adress Resolution Protocol
ARPANET	Advanced Research Project Agency Network
ATM	Asynchron Transfer Mode
BB	Backbone
BHN	Bayerisches Hochschulnetz
B-ISDN	Broadband Integrates Services Digital Network
BSC	Binary Synchronus Communication
BUS	Broadcast and Unknown Server
CBR	Constant Bit Rate
CCITT	Comité Consultatif International Téléphonique et Télégraphique
CDVT	Cell Delay Variation Tolerance
CIP	Computer-Investitions-Programm
CLP	Cell Loss Priority
DBP	Deutsche Bundespost
DEE	Datenendeinrichtung
DFG	Deutsche Forschungsgemeinschaft
DFN	Deutsches Forschungsnetz
DFÜ	Datenfernübertragung
DFV	Datenfernverarbeitung
DNS	Donain Name Service
DÜE	Datenübertragungseinrichtung
ECB	Ethernet Control Board (Einschubkarten)
ELAN	Emuliertes LAN
ErWiN	Erweitertes Wissenschaftsnetz
EWf	Erziehungswissenschaftliche Fakultät
FAU	Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
FDDI	Fiber Distributed Data Interface
FIN	Flag zur Endekennung
FT	Filetransfer
FTP	File Tranport Protocol

GFC	Generic Flow Control
HDLC	High-Level Data Link Control
HEC	Header Error Check
HfD	Hauptanschluss für Direktruf
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
ICMP	Internet Control Message Protocol
IEEE	Institut of Electrical Electronics Engineer
IP	Internet Protocol
ITU	Internationale Telecommunications Union
IVMed	Informationsverarbeitung Medizin
LAN	Local Area Network
LANE	LAN-Emulator
LCN	Logical Channel Number
LEC	LAN Emulation Client
LECS	LAN Emulation Configuration Server
LES	LAN Emulation Server
LLC	Local Link Control
LLC2	Local Link Control 2 (Linkprotokoll)
LN	LocalNet
LN20	LocalNet20
LRZ	Leibniz Rechenzentrum
LWL	Lichtwellenleiter (Glasfaser)
MAC	Media Access Control
MAN	Metropol Area Network
MAU	Media Access Unit
MIK	Medizinisches Zentrum für Information und Kommunikationstechnik
MSV	Medium Speed Version
NFS	Network File System
NIP	Netzwerk Investitions Programm
NIS	Network Information System
NNI	Network to Network Interface
NSAP	Network Service Access Point
OSPF	Open Shortest Path First
PAD	Packet Assembler Disassembler
PCR	Peak Cell Rate
PLP	Packet Layer Protocol

PT	Payload Type
PVC	Permanent Virtual Circuit
QoS	Quality of Service
RARP	Reverse Adress Resolution Protocol
REVUE	Rechnerverbund Universität Erlangen-Nürnberg
RFC	Request for Comment
RIP	Routing Information Protocol
RTP	Real Time Protocol
RZMF	Rechenzentrum Medizinischen Fakultät
SDH	Synchronus Digital Hierarchie
SFTPS	Secure File Transfer Protocol
SMTP	Simple Mail Transfer Protocol
SNMP	Simple Network Management Protocol
SPVC	Soft Permanent Virtual Circuit
SSH	Secure Shell
SVC	Switches Virtual Circuit
T-Box	LocalNet20 Anschlussbox
TP	Transport Protocol
UBR	Unspecified Bit Rate
UDP	User Datagram Protocol
UKER	Universitätsklinikum Erlangen
UNI	User to Network Interface
UUCP	Unix to Unix Copy Protocol
VBR	Variable Bit Rate
VCI	Virtual Channel Identifier
VC	Virtual Connection
VLAN	Virtuelles LAN
VPI	Virtual Path Identifier
WAN	Wide Area Network
WiN	Wissenschaftsnetz
WWW	World Wide Web

Literatur, Dokumentationen

[BHN30] RRZE: „30 Jahre Bayerisches Hochschulnetz“, Regionales Rechenzentrum Erlangen, Dr. Gerhard Hergenröder, 2018

[Bräu] I. Bräuer: „Programmierungsmöglichkeiten des SIG50 und Hilfsmittel für ihre Nutzung von FORTRAN“ Studienarbeit im Fach Informatik, angefertigt am IMMD/RRZE, 1984.

[Dxp] Deutsche Bundespost: „Benutzerhandbuch DATEX-P“, Fernmeldetechnisches Zentralamt, 1982.

[DreL] 3Com: „ATM LAN Emulation“, 3Com Corporation, 1996.

[Dreß] Falko Dreßler: „Grundlagen von TCP/IP“, RRZE-Kolloquium, „Grundzüge der Datenkommunikation“, SS 2001, RRZE-Archiv.

[DyPrä] Dynatech: „Entwicklung X.25“, Vortrag 1990.

[ExpA] ExperTeach: „ATM-Technologie – Funktionen, Dienste, Einsatz“, Kurs, ExperTeach GmbH, 2004.

[Fra] R. Franck: „Rechnernetze und Datenkommunikation“, Springer Verlag 1986.

[HillD] U. Hillmer: „Datex-P-Erfahrungsbericht des RRZE“, Beitrag zum DATEX-P-Arbeitskreis, 1981.

[HillK] U. Hillmer: „Das Kommunikationsnetz im Universitätsklinikum Entwicklung 1994 – 2011“, Mitteilungsblatt 88, RRZE, 2011.

[Hilge] Ursula Hilgers: „ATM als Übertragungsprotokoll für hohe Dienstqualitäten“, Vortrag RRZE, 1999.

[Hock] Ansgar Hockmann-Stolle: „TCP/IP Grundlagen“, RRZE-Kolloquium, „Grundzüge der Datenkommunikation“, WS 2005/6, RRZE-Archiv.

[Hoe] Gerd Höfner: „Entwicklung einer RJE-Station auf Basis der Leitungsprozedur MSV2“, Studienarbeit im Fach Informatik, angefertigt an IMMD/INFRA, 1975.

[Hof] H. Hofer: „Datenfernverarbeitung, Eine Einführung“, Heidelberger Taschenbücher, Springer Verlag 1984.

[Hol6] Peter Holleczeck: „Modelle, Begriffe, Mechanismen“, RRZE-Kolloquium „Datenetze - Grundlagen“, SS 2006, RRZE-Archiv.

[Hult] Hagen Hultsch: „Vortrag zum Thema EARN“, Gesellschaft für Schwerionenforschung, Darmstadt, Vortrag vor der WRK, 1984.

[lbmA] IBM: „ATM College“, Kurstyp 23PTB, IBM Deutschland Bildungsgesellschaft mbH 1995.

- [IEEE8] IEEE: „IEEE 802 LAN/MAN Standards Committee“, IEEE 802 Working Groups and Study Groups, <http://www.ieee802.org/>
- [IEEEAc] C. Andres, U. Hillmer, P. Holleczeck, R. Kummer, R. Müller: „Control and accounting of user access to a PDN from private X.25 data networks“, Proceedings IEEE, INFCOM`88, 1988.
- [ITD] IT-Designers Gruppe: „Schichtenmodell nach ISO/OSI“, Vorlesung Betriebssysteme, NT 5, V 1.5, 25.09.95 Gol, [<http://it-designers-gruppe.de/uploads/media/OSI.pdf>]
- [JB-jjjj] Jahresbericht des RRZE (Jahr-jjjj), Jährliche Publikation als „Mitteilungsblatt“ des RRZE, RRZE-Archiv.
- [Jess] Eike Jessen: „Wissenschaftsnetze in Deutschland und Europa: Erwartungen und Erreichtes“, Institut für Informatik Technische Universität München, Beitrag zu GI-Tagung 2004.
- [KleiR] Jürgen Kleinöder: „Anwendung des Revue-Rechnernetzes“, Beschreibung der Netze und unterstützender Software, Informatik 1985.
- [KleiS] Jürgen Kleinöder: „Konzeption einer rechnerunabhängigen Kommunikationsschnittstelle“, Studienarbeit im Fach Informatik, angefertigt am Lehrstuhl VII, 1985.
- [Kraut] Martin Krautwurst: „Eine Operateurschnittstelle zur Bedienung von Dietz-RJE-Stationen auf Basis der Job-orientierten Spoolversion“, Studienarbeit im Fach Informatik, angefertigt am RRZE, 1981.
- [Lind] Petra Lindlein: „Entwicklung einer RJE-Station auf Basis der Leitungsprozedur Mode 4a“, Studienarbeit im Fach Informatik, angefertigt am IMMD/INFRA, 1984.
- [Rech] Jörg Rech: „Ethernet, Technologien und Protokolle für Computervernetzung“ Verlag Heinz Heise, 2002.
- [Rein] Jochen Reinwand: „Handeln mit Adressen ARP, DHCP, DNS“, Netzwerkausbildung, „Praxis der Datenkommunikation“, WS 2015/16, RRZE-Archiv.
- [IETF] IETF: „International Standard RFCs“, Memos in the RFC document series contain technical and organizational notes about the Internet, <https://www.ietf.org/standards/rfcs/>
- [RZK87] H.Adomeit, R.Bell, G.Hergenröder,U.Hillmer, P.Holleczeck: „Das Kommunikationsnetz des RRZE“, Vortrag und Dokumentation, 12/1987, RRZE-Archiv.
- [RZKoll] U.Hillmer, P.Holleczeck: „Das Kommunikationsnetz“, Netzstrukturen“, regelmäßige Kolloquien (pro Semester) zur Darstellungen des Kommunikationsnetzes der FAU, Vorträge und Dokumentation, RRZE-Archiv.
- [SieP] Siemens: „Datenübertragungsprozeduren“, Lehrheft, Siemens AG, 1978.

[TF9] Technische Fakultät, Bericht Nr. 9 : „Das Rechenzentrum“, Planung, Konzepte, 1965, RRZE-Archiv.

[Thom] Bernd Thomas: „Erfahrungen mit einem lokalen Breitbandnetz“, ELEKTRONIK Sonderheft Nr. 56, Datenkommunikation, Franzis-Verlag, 1984.

[Wess] Guido Wessendorf: „ATM, Rechnernetze und Internet - Fortgeschrittene Themen“, Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Vorlesung, SS 2002.

[WoSey] Wolf/Seybold: „EDI: Beschreibung eines Einfachen Dialog-Interpreters für die CD 3300“, Interner Arbeitsbericht (IAB) Nr. 26/26a, RRZE-Archiv, 1971/1973.

Herstellerinformationen, Handbücher

[CodLSI] Codex: „Codex LSI 96/V29 high speed data modem“, Operation Manual, Codex Corporation, 1977.

[Cod910] Codex: „Codex 910 time division multiplexer“, Operation Manual, Codex Corporation, 1978.

[Cod6000] Codex: „CODEX 6000 Series Intelligent Network Processors“, Preliminary Operation Manual, Codex Corporation, 1978.

[Dre] 3Com: „Guide to 2Com Switches“, A Complete Line of High-Performance Switching Solutions, 3Com Corporation, 1995.

[DyS25] Dynatech: „MULTI-Switch.25“, Technical Reference, Issue 1.3, 1982.

[DyP25] Dynatech: „MULTI-PAD.25“, Technical Reference and Installation Guide, Issue 2.3, 1983.

[DyC20] Dynatech: „CPX 20 & 20E“, Technical Reference and Installation Guide, Version 2.00, 1991.

[Gand] Gandalf: „PACX Introduction“, Gandalf Data Communications LTD., 1978.

[Mtec] Memotec: „Asynchronus Data Communications Processors User's Manual“, Handbuch zu MPAC2000, Memotec Data Inc., 1983.

[NetcS2] Netcomm: „Switch2000 Installation Guide“, 1990.

[OST] Ouest Standard Telematique: „ECOM 25, Users' Manual“, 1985.

[SieN] Siemens „Modem N10“ Serviceinformation 1976.

[SieD] Siemens „Modem DX1200S“ Broschüre der DBP zur Inbetriebnahme, FTZ, 1982.

[SpiP] Spider Systems: „SpiderPAD User Guide“, 1987.

[SpiG] Spider Systems: „SpiderGate User Guide“, 1987.

[VisII] Northern Technologie: „Vision II 3221/22 User's Manual“, 1985.

Musikalischer Nachtrag

Liebe Leserinnen, liebe Leser,

neben meiner Tätigkeit als Mitarbeiter der Abteilung Kommunikationssysteme des RRZE bin ich in meiner Freizeit als Musiker aktiv (Gesang, Gitarre, Schlagzeug). Dabei schreibe ich gelegentlich auch eigene Stücke für Gesang und Gitarrenbegleitung.

So entstand z.B. zum 25-jährigen Jubiläum des RRZE ein Lied, das verschiedene Entwicklungen und Ereignisse des Rechenzentrums in seinen Strophen beschreibt. Es wurde in den folgenden Jahren ergänzt und aktualisiert und begleitete so die Zeit, in der Dr. Wolf Leiter des Rechenzentrums war. Dr. Wolf, der in den Anfängen des Rechenzentrums auch direkt mit dem Betrieb der ersten Rechenanlage CD 3300 befasst war, lieferte auch die Anregung zum Refrain des Liedes der Rechenzentrumsgeschichte(n). Das System, das im Vergleich zu seinen Nachfolgern noch relativ einfach strukturiert und transparent gestaltet war, blieb stets eine Referenz. Traten etwa Probleme mit einer neueren Anlage auf, äußerte sich Dr. Wolf sinngemäß: "... an der 33-Hundert konnte man das einfach so und so lösen ...". Im Liedrefrain heißt es dazu: "... Ich zeig euch dann, wie's an der 33-Hundert geht." Die Strophen beziehen sich auf den Zeitraum vom 1968 bis 2000.

Nachdem Dr. Wolf 2000 in den verdienten Ruhestand ging, übernahm Dr. Hergenröder als Technischer Direktor die Leitung des Rechenzentrums. Mit frischem Elan machte er sich an die Aufgaben und legte dabei unter anderem großen Wert auf die Außer-darstellung des RRZE. Seitdem begleitete, das neue, etwas rockiger angelegte Lied vom „Neuen Wind“ das Rechenzentrum auf seinem Weg zum allgemeinen IT-Dienstleister der FAU. Der Refrain des Liedes greift den Aspekt der Neugestaltung auf und spielt darauf an, dass Dr. Hergenröder auch ein begeisterter Rock-Schlagzeuger ist.

Beide, hier in Auszügen abgedruckte Lieder, beschreiben also zusammen Episoden aus der 50-jährigen Geschichte des Rechenzentrums und sollen hier zur Auflockerung und Ergänzung der Dokumentation beitragen.

Ich wünsche Ihnen viel Spaß beim Lesen der nicht immer ganz ernst zu nehmenden Verse.

Uwe Hillmer

RZ-Geschichte(n) (Text/Musik: U. Hillmer)

Refrain:

Was macht ihr denn da, stellt euch nicht so an,
 Wisst ihr nicht, woran man da dreht?
 Lasst mich mal ran und ich zeig euch dann,
 Wie's an der 33-Hundert geht!"

Strophen:

Vor nun 50 Jahren, da fing alles an
 Mit einem Großcomputer und einem jungen Mann.
 Der wurde Chef vom Zentrum, der kannte sich gut aus,
 Verstand man Bits und Bytes nicht, dann rief er lachend aus:

Die 33-Hundert war von C-D-C,
 Die wurde bald zu klein, aber was kam dann, oh je?
 Es gab 'ne starke Lobby, was Deutsches sollt' es sein,
 Doch im Entscheidungsgremium, da heulte Wolf: „Oh nein!“

Man einigte sich schließlich: Es gab der Rechner zwei.
 'Nen großen Telefunken und 'ne Cyber noch dabei
 Die Mitarbeiter stöhnten: "Wann sollen wir noch ruhn?
 Wir haben alle Arbeit doppelt nun zu tun.

Doch das war noch nicht alles, so einfach ging das nicht.
 Teamarbeit mit Sir Reinartz wurd' regionale Pflicht.
 Jobs aus Bamberg, Bayreuth, das gab es vorher nie,
 Neue Probleme brachte uns die D-F-Ü.

Die beiden Jumbos lasteten uns noch längst nicht aus.
 'Nen Zoo vom Mikrorechnern bestellt' man uns ins Haus.
 Z80, Olivetti, was ist denn schon dabei?
 Die betreut man doch ganz einfach so eben nebenbei!

Der TR setzte Rost an, es war wieder soweit,
 Zur Auswechslung der Großen. Das beste weit und breit,
 Nach Rechenzentrumsmeinung kann nur von Control Data sein.
 Der Vorstand der bestand drauf: „IBM muss auch mit rein!“

Also wieder zwei Systeme, das kennen wir ja schon.
 Wofür beziehen wir denn schließlich unsern Lohn?
 Trotzdem hat man wohl Angst, dass die Arbeit wird zu knapp,
 Und drückt uns noch aufs Auge Projekte CIP und WAP.

CIP und WAP genügt nicht, man gab uns noch den Tip,
Das muss auch noch vernetzt sein, das machen wir mit NIP.
Geht irgendwas zu langsam, reißt jemand' die Geduld,
Das ist ab jetzt ganz einfach: Das Netz ist daran schuld!

Vertreter einer Weltfirma brüsteten sich laut:
„Unsere PCs sind in Deutschland nur gebaut“
Bernd Thomas nahm den Schraubendreher: „Seht euch das mal an!
Unter dem Gehäuse steht: Made in Taiwan“.

Es rauchen alle Köpfe, kein technisches Problem!
Wir sollen jetzt erfassen, was wir arbeiten, für wen.
Da brauch' ich mal ,ne Pause, obwohl ich noch nicht weiß,
Auf welche Kostenstelle ich denn nun diesmal ...

Mehr als 30 Jahre hat er uns geführt,
Dank, Anerkennung, Ehre Dr. Wolf dafür gebührt.
Doch nicht nur ihm alleine, man kennt das ja genau:
Hinter jedem klugen Kopf steckt auch immer eine Frau!

Nun setzt er sich zur Ruhe, der damals junge Mann,
Weil auch er nicht ewig als Leit-Wolf dienen kann.
Es bleibt das Rechenzentrum, es kommen neue Leut,
Doch der alte Spruch behält seine Gültigkeit.



*Der legendäre Groß-
rechner „Control Data
CD 3300“*

Neuer Wind (Text/Musik: U. Hillmer)

Refrain:

Es weht ein neuer Wind, eine neue Ära beginnt
 Blick nach vorn und nicht bang, hoer' den Trommelklang
 Es weht ein neuer Wind

Strophen:

Mit dem Jahrtausendwechsel, und zwar genau synchron,
 Bestieg ein neuer Leiter den Rechenzentrums-Thron.
 Der alte Amtsinhaber, verdient im Ruhestand,
 Was er geleistet hat, ist allseits anerkannt.
 Jung, dynamisch, witzig, so ist der neue Chef,
 Der trommeln kann und weiß, das gehört mit zum Geschäft.

Dienstleistungsunternehmen, kundenorientiert,
 Steht auf unsrer Fahne, wir haben es kapiert.
 Wie ist das umzusetzen, sind es Worte nur,
 Brauchen wir am Ende eine ganz neue Struktur?
 Durch die eigne Brille sieht man oftmals nur ein Stück,
 Vielleicht kann eine "Linse" schärfen unseren Blick.

Rechenzentrum, TechFak auf Dauer viel zu klein,
 Ausbau ist versprochen, doch wo, wie soll der sein?
 Eigne Uni Nürnberg nun gezaubert aus dem Hut,
 Politisch so gewollt, aber wozu fachlich gut?
 FAU, Erlangen-Nürnberg (!), schaut mal richtig hie,
 Hochschule für Mittelfranken, so geht Synergie!

Auch in wilder Strömung alles gut im Griff,
 Lenkt durch die Gezeiten das Rechenzentrumsschiff.
 Hände fest am Ruder, unser Kapitän,
 Viel hat er verändert, die Zeit, die bleibt nicht stehn.
 Daneben lebt ein Traum, für ihn als Musiker na klar:
 „Einmal im Square Garden als großer Trommelstar!“

50 Jahre Rechenzentrum, Dienstleister IT,
 Beständigkeit und Wandel, Stillstand gab es nie!
 Großcomputer, Mikrorechner, zentral und verteilt,
 Fernübertragung, schnelle Netze „uniweit“ bereit.
 Vergangenheit, Erreichtes, darauf sieht man stolz zurück,
 Zukunft und Entwicklung aber immer kühn im Blick!

Bildnachweis

- S. 12: IT-Designer Gruppe, Vorlesung, *[ITD]*
- S. 24: Siemens, Broschüre „Modem DX1200S“, *[SieD]*
- S. 27: TRT, Installation Handbook, Sematrans 1001
- S. 28: ADAM, Bedienungsanleitung, Akustik-Koppler
- S. 47: Codex Corporation, „Codex LSI 96/V29 high speed data modem“, *[CodLSI]*
Codex Corporation, „Codex 910 time division multiplexer“, *[Cod910]*
- S. 53: Codex Corporation, „Codex 6040 user’s Reference Guide“
- S. 55: Wikipedia, „[https://de.wikipedia.org/wiki/Anschlussdose_\(Telefon\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Anschlussdose_(Telefon))“
- S. 56: Siemens, Serviceinformation „Modem N10“, *[SieN]*
- S. 70: Deutsche Bundespost, Dateldienste; Datex-P Produktblatt
- S. 72: Deutsche Bundespost, Datex-P-Produkt Beschreibung
- S. 74: Deutsche Bundespost, „Benutzerhandbuch DATEX-P“, *[Dxp]*
- S. 75, 77: Dynatech, „Entwicklung X.25“, *[DyPrä]*
- S. 77: Deutsche Bundespost, „Benutzerhandbuch DATEX-P“, *[Dxp]*
- S. 77: Deutsche Bundespost, DATEX-P-Teilnehmerarbeitskreis
- S. 79: Dynatech, „MULTI.Switch.25“, *[DyS25]*
- S. 80: Dynatech, „CPX 20 & 20E“, *[DyC20]*
- S. 81: Memotec, Handbuch zu MPAC2000, *[Mtec]*
- S. 87: Francis Verlag, ELEKTRONIK Sonderheft Nr. 56, *[Thom]*
- S. 95: Deutsche Bundespost, Produktblatt Datex-P-International
- S. 100: Pan Dacom GmbH, Hauszeitschrift für Kunden
- S. 102: Spider Systems, „SpiderPAD User Guide“, *[SpiP]*
- S. 137: Cisco Systems, Cisco Collaboration, 1986
- S. 163: Erlanger Nachrichten, 8.7.1995
- S. 169-171: Universität Münster, „ATM, Rechnernetze und Internet“, *[Wess]*
- S. 172: IBM, „ATM College“, *[IbmA]*
- S. 180: Fore Systems, „support.realtech.com“, „Marconi Fore Systems PSM List“
- S. 181: 3Com, Werbebroschüre, „Guide to 3Com Switches“
- S. 181: Cisco Systems, „Router Serie 7200“

Alle weiteren Fotos und Abbildungen stammen aus dem Bestand des RRZE.

Genderhinweis

Aus Gründen der Klarheit und Verständlichkeit wurde auf eine sprachliche Differenzierung zwischen weiblicher und männlicher Form im Wortlaut dieses Dokuments verzichtet. Alle Geschlechter sind in gleicher Weise gemeint.



Herausgeber:

Regionales RechenZentrum Erlangen (RRZE)
Dr. G. Hergenröder
Martensstraße 1, 91058 Erlangen
Tel.: +49(0)9131 85-27031
Fax.: +49(0)9131 302941
www.rrze.fau.de
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg