

**Technische Universität Clausthal
Institut für Informatik und
Rechenzentrum**

Diplomarbeit

Integration studentischer Wohnanlagen in die Datenkommunikationsinfrastruktur einer Hochschule

vorgelegt von:

and. inf. Hans-Ulrich Kiel
Ostlandring 19
37534 Eisdorf

Gutachter:

Prof. Dr. K. Ecker
Dr. G. Lange

Clausthal-Zellerfeld, den 20. August 1996
(2. Auflage, Dezember 1996)

Danksagung

Bei der Anfertigung der vorliegenden Diplomarbeit wurde ich von vielen Seiten direkt oder indirekt unterstützt. Ich möchte allen für die Hilfe danken. Namentlich erwähnt seien Randolph Skerka und Rainer Funke für die Unterstützung bei den Anhang B zugrundeliegenden Netzmessungen.

Mein Dank für die Bereitstellung des Themas sowie für die Betreuung der Arbeit gilt Herrn Professor Ecker (Institut für Informatik) und Herrn Dr. Lange (Rechenzentrum).

An dieser Stelle möchte ich die Gelegenheit nutzen, auf die Mitstreiter im Projekt „Wohnheime am Netz“ der TU Clausthal zu verweisen. Die Erfahrungen, die ich als Koordinator des Projekts sammeln konnte, bildeten die Grundlage für die vorliegende Diplomarbeit. Das Projekt geht ursprünglich auf eine Initiative von Lutz Schröder zurück. Während des Aufbaus und im Betrieb haben eine Reihe von Studenten persönliches Engagement und unzählige Stunden Freizeit investiert. David Werner, Randolph Skerka, Oliver Fromme, Oliver Rüssel und Matthias Apel sind nur die „Top 5“ einer langen Liste.

Die Mitarbeiter des Rechenzentrums haben das Projekt in jeder Phase mitgetragen. Mein persönlicher Dank gilt Herrn Bauer und Herrn Müller für die Unterstützung bei der technischen Planung und für den Aufbau von Firmenkontakten. Den Start des Projekts vor drei Jahren verdanken die Bewohner der Clausthaler Studentenwohnheime den weitsichtigen und unbürokratischen Entscheidungen von Herrn Dr. Lange (Leiter des Rechenzentrums) und Herrn Zimmermann (Leiter des Studentenwerks).

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----------|
| Kapitel 1 Einleitung | 1 |
| 1.1 Studentische Heimarbeitsplätze | 1 |
| 1.2 Zum Inhalt | 2 |
| | |
| Kapitel 2 Typische Anwendungen | 4 |
| 2.1 Gemeinsame Nutzung von Ressourcen | 5 |
| 2.1.1 Datenaustausch | 5 |
| 2.1.2 Zentrale Peripheriegeräte | 5 |
| 2.1.3 Software-Server | 5 |
| 2.2 Der PC als Terminal | 6 |
| 2.2.1 Verteilte Fenstertechnik | 6 |
| 2.2.2 Vorteile der Heimarbeit | 8 |
| 2.3 Elektronische Kommunikation | 8 |
| 2.3.1 Electronic Mail | 9 |
| 2.3.2 Netnews | 9 |
| 2.3.3 Chat-Systeme | 10 |
| 2.4 Informationsbeschaffung | 10 |
| 2.4.1 Wissenschaftliches Angebot | 10 |
| 2.4.2 Lokale Einsatzfelder | 11 |
| 2.4.3 Software-Beschaffung | 11 |
| 2.5 Zusammenfassung | 12 |
| | |
| Kapitel 3 Gebäudeverkabelung | 13 |
| 3.1 Übertragungsmedien | 13 |
| 3.1.1 Symmetrische Kupferkabel | 14 |
| 3.1.2 Koaxialkabel | 16 |
| 3.1.3 Lichtwellenleiter | 17 |
| 3.2 Strukturierte Verkabelung | 20 |
| 3.2.1 Grundstruktur | 21 |
| 3.2.2 Euro Norm 50 173 | 22 |
| 3.3 Konzepte für studentische Wohnanlagen | 23 |
| 3.3.1 Lösungen für die Gebäudeverkabelung | 24 |
| 3.3.2 Kriterien für die Gebäudeverkabelung | 25 |
| 3.4 Busförmige Verkabelung | 25 |
| 3.4.1 Ethernet 10Base2 | 26 |
| 3.4.2 EAD-Technik | 27 |
| 3.4.3 Anwendungsbeispiel | 28 |

| | | |
|------------------|--|-----------|
| 3.4.4 | Bewertung der busförmigen Verkabelung | 29 |
| 3.5 | Die sternförmige Verkabelung | 29 |
| 3.5.1 | Materialauswahl | 30 |
| 3.5.2 | Strukturierte Verkabelung für studentische Wohnanlagen | 30 |
| 3.5.3 | Dienstunabhängige Verkabelungssysteme | 31 |
| 3.5.4 | Anwendungsbeispiel | 32 |
| 3.5.5 | Bewertung der sternförmigen Verkabelung | 33 |
| 3.6 | Kabel-TV Netze | 34 |
| 3.6.1 | Grundlagen | 34 |
| 3.6.2 | Zenith Homeworks | 35 |
| 3.6.3 | Bewertung der Kabel-TV-Netze | 36 |
| 3.7 | Zusammenfassung | 37 |
| Kapitel 4 | Gebäudeanbindung | 38 |
| 4.1 | Standortverkabelung | 38 |
| 4.1.1 | Topologie | 39 |
| 4.1.2 | Wahl der Übertragungsmedien | 39 |
| 4.2 | Alternativen für die Netzanbindung | 40 |
| 4.3 | Wählleitungen | 40 |
| 4.3.1 | Analoge Wählverbindungen | 41 |
| 4.3.2 | Digitale Wählleitungen | 42 |
| 4.3.3 | Bewertung der Wählleitungen | 43 |
| 4.4 | Standleitungen | 44 |
| 4.4.1 | Analoge Standleitungen | 44 |
| 4.4.2 | Digitale Standleitungen | 45 |
| 4.4.3 | Bewertung der Standleitungen | 46 |
| 4.5 | Funkverbindungen | 46 |
| 4.5.1 | Richtfunkverbindungen | 47 |
| 4.5.2 | Funk-Netze | 48 |
| 4.5.3 | Bewertung der Funkverbindungen | 50 |
| 4.6 | Optische Freiraumübertragung | 51 |
| 4.6.1 | Laser-Übertragungssysteme | 51 |
| 4.6.2 | Bewertung der optischen Freiraumübertragung | 52 |
| 4.7 | Zusammenfassung | 52 |
| Kapitel 5 | Netzprotokolle und aktive Komponenten | 54 |
| 5.1 | Grundlagen | 54 |
| 5.1.1 | OSI Referenzmodell | 54 |
| 5.1.2 | Repeater, Bridge und Router | 56 |
| 5.2 | Ethernet | 59 |
| 5.2.1 | Spezifikation | 59 |
| 5.2.2 | Medienzugriff | 60 |
| 5.2.3 | Aktive Komponenten | 61 |
| 5.3 | Hochgeschwindigkeits-LANs | 62 |
| 5.3.1 | Fast-Ethernet | 62 |
| 5.3.2 | 100VG-AnyLAN | 63 |
| 5.3.3 | FDDI | 63 |
| 5.3.4 | ATM | 64 |
| 5.4 | Netzkonzepte für studentische Wohnanlagen | 66 |
| 5.4.1 | Dimensionierung von Ethernet-Segmenten | 66 |

| | | |
|------------------|--|------------|
| 5.4.2 | Konzepte für große Wohnanlagen | 67 |
| 5.4.3 | Sicherheitsaspekte | 68 |
| 5.4.4 | Technik auf Seiten der Hochschule | 69 |
| 5.4.5 | Migration zur ATM-Technik | 69 |
| 5.5 | Zusammenfassung | 70 |
| Kapitel 6 | Bereitstellung von Netzdiensten | 71 |
| 6.1 | Kommunikationsprotokolle | 71 |
| 6.1.1 | TCP/IP | 72 |
| 6.1.2 | IPX/SPX | 73 |
| 6.1.3 | NetBIOS | 73 |
| 6.1.4 | Appletalk | 74 |
| 6.1.5 | Einsatz in studentischen Wohnanlagen | 74 |
| 6.2 | Server-Konzepte | 74 |
| 6.2.1 | Lokale oder zentrale Server? | 75 |
| 6.2.2 | Betriebssystem | 76 |
| 6.3 | Bereitstellung der Internet-Dienste | 77 |
| 6.3.1 | Domain Name Service | 77 |
| 6.3.2 | E-Mail | 78 |
| 6.3.3 | Netnews | 79 |
| 6.3.4 | World Wide Web | 80 |
| 6.4 | Sicherheitsaspekte | 81 |
| 6.4.1 | NFS und NIS | 82 |
| 6.4.2 | Verschlüsselung | 82 |
| 6.4.3 | Schutz gegen Angriffe | 83 |
| 6.4.4 | Allgemeine Datensicherheit | 84 |
| 6.5 | Zusammenfassung | 84 |
| Kapitel 7 | Organisation des Netzbetriebs | 86 |
| 7.1 | Organisationsformen | 86 |
| 7.1.1 | Einzelzugang | 86 |
| 7.1.2 | Nutzungsgemeinschaft | 87 |
| 7.1.3 | Wahl der Organisationsform | 88 |
| 7.2 | Nutzungsvereinbarungen | 89 |
| 7.2.1 | Abkommen mit dem Netzbetreiber | 89 |
| 7.2.2 | Benutzungsordnung | 90 |
| 7.3 | Möglichkeiten der Gebührenerhebung | 91 |
| 7.4 | Zusammenfassung | 92 |
| Kapitel 8 | Ausblick | 94 |
| 8.1 | Konferenzsysteme | 94 |
| 8.1.1 | MBONE | 95 |
| 8.1.2 | Einsatz in der Hochschule | 95 |
| 8.1.3 | Virtuelle Rechner-Übungen | 96 |
| 8.2 | Tele-Seminare | 96 |
| 8.3 | Multimedia Lehreinheiten | 98 |
| Anhang A | Preisvergleich | 100 |
| A.1 | Gebäudeverkabelung | 100 |
| A.2 | Standard-Festverbindungen | 102 |

| | |
|------------------------------------|------------|
| Anhang B Netzanalysen | 103 |
| B.1 Verkehrsmessung | 103 |
| B.1.1 Datenströme | 103 |
| B.1.2 Netzdienste | 104 |
| B.1.3 Nutzung nach Tageszeit | 105 |
| | |
| Literaturverzeichnis | 106 |

Kapitel 1

Einleitung

Der Computer hat sich in den letzten Jahren zu einem Standardwerkzeug für Studierende nicht nur der naturwissenschaftlichen Studiengänge entwickelt. Computer-Praktika sind fester Bestandteil der Studienpläne. Die Grundversorgung dafür wurde seit Mitte der 80er Jahre mit Rechner-Pools aus dem Computer-Investitionsprogramm (CIP) aufgebaut.

Neben der Nutzung von wissenschaftlicher oder büroorientierter Anwendungssoftware spielen Datenkommunikationsdienste eine immer wichtigere Rolle. Über das *Internet* als Prototyp einer globalen Kommunikationsinfrastruktur lassen sich Informationen zu allen Themengebieten abrufen und Nachrichten in wenigen Sekunden austauschen. Die Beschaffung von Informationen aus einem weltweiten Angebot und der Umgang mit Kommunikationsdiensten werden in der zukünftigen *Informationsgesellschaft* eine wichtige Qualifikation darstellen.

Die Hochschulen sind gehalten, ihren Studierenden den Zugang zu den Netzdiensten des Internet zu gewähren, damit diese sich frühzeitig mit den neuen Medien vertraut machen können. Entsprechend heißt es in der Stellungnahme des Wissenschaftsrates zu leistungsfähigen Kommunikationsnetzen [36]: „*In einer wachsenden Zahl von Fächern ist es notwendig, die Studierenden in die Nutzung der elektronischen Datenkommunikation ähnlich frühzeitig und intensiv einzuführen wie in die Benutzung der Universitätsbibliothek. Dies kann zur Entlastung der Hochschule durch Nutzung häuslicher Arbeitsplätze und auch zur Verkürzung des Studiums beitragen.*“

Mit dem Start des *Breitband-Wissenschaftsnetzes (BWIN)* zum 1. April 1996 steht den angeschlossenen Hochschulen eine leistungsfähige Netzinfrastruktur zur Verfügung, die über ausreichend Kapazität verfügt, um die Studierenden an der Nutzung der neuen Kommunikationsdienste teilhaben zu lassen.

1.1 Studentische Heimarbeitsplätze

Mit der Zielsetzung, allen Studierenden den Zugang zu Kommunikationsdiensten zu ermöglichen, wird ein großer Bedarf an vernetzten Arbeitsplätzen generiert. Die CIP-Pools sind dieser Herausforderung zahlenmäßig nicht gewachsen.

Ein massiver Ausbau von Arbeitsplätzen in Form von Rechner-Pools ist aber nicht erforderlich, denn ein großer Teil der Studierenden verfügt zu Hause über einen eigenen PC, der sich als Plattform für die Nutzung von Kommunikationsdiensten eignet. Die Notwendigkeit, private PCs der Studierenden in die Ausbildung mit einzubeziehen und mit Software und einem Netzanschluß zu versehen, wird in den aktuellen Empfehlungen der DFG Kommission für Rechenanlagen [9] unterstrichen. Entsprechende Planungen gehen bereits auf den Beginn des CIP-Programms zurück.

Viele Hochschulen unterstützen solche Heimarbeitsplätze bereits mit der Bereitstellung von Einwahlknoten. Die Studierenden können mit Hilfe eines Modems über Telefonleitung eine Datenverbindung zur Hochschule aufbauen und dann auf Rechnern im Institut arbeiten oder Kommunikationsdienste nutzen. Die Bandbreite dieser Zugänge ist aber begrenzt, und es entstehen laufende Kosten in Form von Telefongebühren – insbesondere nach der Gebührenreform der Telekom Anfang 1996.

Laut „14. Sozialerhebung zum studentischen Wohnen“ [12] haben 13% der Studierenden in West- und 44% in Ostdeutschland ein Zimmer in Studentenwohnheimen. Außerdem wohnen 20% bzw. 9% in privaten Wohngemeinschaften mit anderen Studierenden zusammen. Unter dem Gesichtspunkt der Konzentration von Benutzern in einem Gebäude ist es ineffizient, wenn jeder Studierende eine eigene (kostenpflichtige) Datenverbindung zur Hochschule aufbaut. Vielmehr liegt es nahe, ein lokales Netz zu installieren und dieses über eine breitbandige, fest geschaltete Verbindung in das Datenkommunikationsnetz der Hochschule zu integrieren.

Die Vernetzung der Wohnanlagen stellt die logische Weiterentwicklung der *dezentralen DV-Struktur* in Hochschulen dar. Früher wurde die DV-Versorgung mit einem zentralen Großrechner sichergestellt; in den Hochschuleinrichtungen befanden sich nur Terminals. Der Leistungszuwachs auf dem Gebiet der Unix-Workstations und der PCs ermöglichte es, eine dezentrale DV-Struktur aufzubauen, bei der der Grundbedarf in den Instituten abgedeckt wird. Die Wissenschaftler bekamen Workstations an ihren Arbeitsplatz und für Studierende wurden Rechner-Pools eingerichtet [9]. Mit der Integration der Wohnanlagen in das Hochschulnetz können nun die studentischen Arbeitsplätze auf den heimischen Schreibtisch verlagert werden. Moderne PCs dienen als Plattform für Kommunikationsdienste, und die Datennetze erlauben es, die wissenschaftlichen DV-Systeme der Hochschule von zu Hause zu nutzen.

1.2 Zum Inhalt

Die Arbeit beschreibt den Aufbau eines Datennetzes in studentischen Wohnanlagen und stellt Konzepte für deren Integration in das Datenkommunikationsnetz einer Hochschule vor. Den Anstoß für die Arbeit gab das Projekt „Wohnheime am Netz“ der TU Clausthal [22]. Die TU Clausthal hat Anfang 1994 als erste deutsche Hochschule ein Studentenwohnheim an das Campusnetz angeschlossen und bis Mitte 1996 knapp die Hälfte aller Wohnheimplätze mit einem Netzanschluß ausgerüstet. Die Diplomarbeit ist aber keine Beschreibung des Clausthaler Projekts, sondern behandelt die Thematik allgemein, so daß Lösungen für beliebige Hochschulen davon abgeleitet werden können.

Für die Anwendbarkeit der vorgestellten Konzepte wird vorausgesetzt, daß eine größere Gruppe von Studierenden in einem Gebäude oder auf einem Gelände wohnt. Neben den Wohnheimen der Studentenwerke kann dies auch für privat finanzierte Gebäude, Verbindungshäuser oder größere Wohngemeinschaften zutreffen. Um das Spektrum beginnend bei einzelnen Etagen bis hin zu Gebäudekomplexen aus mehreren Hochhäusern passend umschreiben zu können, wird im folgenden nicht von „Studentenwohnheimen“ gesprochen, sondern der Begriff „studentische Wohnanlage“ eingeführt.

Die Kapitel 2 und Kapitel 8 bilden einen anwendungsorientierten Rahmen zu der technischen Konzeption im Mittelteil der Arbeit. Kapitel 2 „Typische Anwendungen“ faßt die Nutzungsmöglichkeiten zusammen, die in der heutigen DV-Landschaft einer Hochschule realisierbar sind. Im abschließenden Kapitel 8 „Ausblick“ wird das Thema Nutzungsmöglichkeiten mit Vorschlägen für zukünftige Anwendungsfelder wieder aufgegriffen.

Die Verkabelung eines Gebäudes und die Herstellung der Verbindung zum Hochschulnetz sind die Themen von Kapitel 3 „Gebäudeverkabelung“ und Kapitel 4 „Gebäudeanbindung“. Zusammen mit Kapitel 5 „Netzprotokolle und aktive Komponenten“ bildet dieser technische Teil den Schwerpunkt der Arbeit. Die Netzsoftware – insbesondere Konzepte für die Bereitstellung von Kommunikationsdiensten – wird in Kapitel 6 „Bereitstellung von Netzdiensten“ behandelt. Kapitel 7 „Organisation des Netzbetriebs“ befaßt sich mit einigen organisatorischen Aspekten der Integration studentischer Wohnanlagen in das Hochschulnetz.

Ausgeklammert bleiben soziale Aspekte der Netzintegration. Fragen nach den Auswirkungen auf das Lernverhalten und die Fachkenntnisse der Studierenden oder auf deren Freizeitgestaltung und soziale Kontakte sind nicht minder interessant, bedürfen aber umfassender Studien und sollten in eigenständigen Arbeiten abgehandelt werden.

Damit auch Leser ohne weitreichende Kenntnisse auf dem Gebiet der Datenkommunikation den Ausführungen folgen können, werden wichtige Grundlagen zu Beginn der Kapitel erläutert. Den Abschluß eines jeden Kapitels bildet eine kurze Zusammenfassung, die die wichtigsten Aussagen beinhaltet. Mit Hilfe der Zusammenfassungen kann sich der Leser einen schnellen Überblick verschaffen.

Kapitel 2

Typische Anwendungen

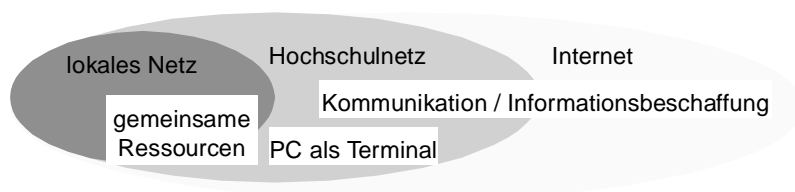
Warum sollen Studierende daheim einen Netzzugang bekommen? Die Frage ist berechtigterweise zu stellen, bevor die Möglichkeiten der technischen Realisierung betrachtet werden. Dieses Kapitel versucht, anhand konkreter Anwendungen eine Antwort auf die Frage zu geben.

Der direkte Anschluß an das Internet zu Hause ist sicherlich der populärste Aspekt einer Vernetzung von studentischen Wohnanlagen. Über die Informations- und Kommunikationsangebote im Internet wird ständig in allen Medien berichtet. So wundert es kaum, daß der Zugang zum Internet oft den Anstoß für ein studentisches Netzprojekt gibt. Daneben sind aber auch lokale Anwendungen nicht weniger bedeutend. Sie werden im folgenden ebenfalls dargestellt.

Die Anwendungen lassen sich nach der Ausdehnung des Netzes in drei Kategorien unterteilen:

- *Anwendungen im lokalen Netz.* Hierzu zählt vor allem die gemeinsame Nutzung von Ressourcen innerhalb einer Wohnanlage.
- *Anwendungen im Hochschulnetz.* Darunter fällt die Nutzung von Rechenkapazität und wissenschaftlicher Software der Hochschule vom heimischen PC aus. Aber auch Kommunikations- und Informationsdienste können hochschulintern genutzt werden.
- *Anwendungen im Internet.* Mit dem Zugriff auf das weltweite Datennetz stehen Kommunikation und Informationsbeschaffung im Mittelpunkt.

Abbildung 2.1:
Nutzungsschwerpunkte



2.1 Gemeinsame Nutzung von Ressourcen

Die gemeinsame Nutzung von DV-Ressourcen ist eine Standard-Anwendung in lokalen Netzen, die seit vielen Jahren im Büroumfeld alltäglich ist. Eine Anbindung von studentischen Wohnanlagen an das Hochschulnetz beinhaltet selbstverständlich den Aufbau eines lokalen Netzes. Damit ergibt sich als Nebeneffekt auch eine Plattform für solche Standard-LAN-Anwendungen.

2.1.1 Datenaustausch

Wo früher Programme und Dateien auf Disketten kopiert und von einem Raum zum anderen getragen werden mußten, ist der Datentransfer jetzt in kürzester Zeit und ohne Aufwand über das Netz möglich. Ein Bewohner kann z. B. seine Dokumente auf dem leistungsfähigeren Drucker eines Nachbarn ausgeben.

Innerhalb eines lokalen Netzes können Arbeitsgruppen gebildet werden, die sich gegenseitig den Zugriff auf den Computer erlauben (*Peer-to-Peer-Netze*). Neben Peripheriegeräten wie Druckern werden Bereiche der Festplatte für andere Mitglieder der Arbeitsgruppe freigegeben. Auf diese Weise können zwei oder mehrere Studierende in Projekten eng zusammenarbeiten und dabei auf die gleichen Daten und Programme zugreifen.

2.1.2 Zentrale Peripheriegeräte

Die Netzteilnehmer in einer Wohnanlage können ihre Computerausstattung mit gemeinsam genutzten Geräten kostengünstig aufwerten. Selten benötigte Peripheriegeräte müssen nicht mehr von jedem Computerbesitzer gekauft werden, stehen aber trotzdem in direkter Nähe des eigenen PCs zur Verfügung. Beispiele für solche Geräte sind:

- hochwertige Drucker
- Bandlaufwerke
- Flachbett-Scanner
- CD-Recorder

Insbesondere ein Bandlaufwerk als Medium zur Datensicherung wird in einem Standard-PC oft eingespart. Ein zentrales Laufwerk versetzt alle PC-Anwender in die Lage, regelmäßig die Daten von ihren Festplatten sichern zu können. Dies ist ein Beitrag, um die nicht selten auftretenden „Katastrophen“ kurz vor Abgabe von Studien- und Diplomarbeiten zu vermeiden.

In der Praxis gestaltet sich die Finanzierung von Gemeinschaftsgeräten aufgrund unterschiedlichen Interesses und Nutzungsverhaltens der Beteiligten als schwierig. Meist bleibt es bei der gegenseitigen Mitnutzung von privaten Geräten. Die Beschaffung zentraler Hardware könnte allerdings auch von dem Vermieter zur Attraktivitätssteigerung der Zimmer oder von einer anderen Einrichtung als Unterstützung für finanziell schwächer gestellte Bewohner gefördert werden.

2.1.3 Software-Server

Ein zentraler PC als *File-Server* kann Software für die Bewohner bereitstellen. Die Programme müssen nur einmal installiert werden und belegen nur an einer Stelle Festplattenkapazität. Die Netzteilnehmer melden die Laufwerke des Ser-

vers in ihrem System an und arbeiten dann genauso damit wie mit Programmen auf der eigenen Festplatte.

Die Bereitstellung kommerzieller Software auf diesem Weg ist problematisch, da entsprechende Lizenzen erworben werden müssen. Die Software-Hersteller bieten aber (wenn überhaupt) ihre Produkte nur als Einzelplatzversionen zu günstigen Preisen für Studierende an. Die Problematik wurde auch von der DFG Kommission für Rechenanlagen erkannt. Sie fordert in [9] besondere Anstrengungen zur Behebung der Defizite in der Software-Ausstattung privater PCs. Mit der Bereitstellung von Campus-Lizenzen könnte sich die Situation in Zukunft ändern. Bisher ist die Mehrfachnutzung eines einmalig gekauften Software-Pakets weit verbreitet. Solche Lizenzverletzungen dürfen durch das Netzprojekt nicht zu einem offiziellen Angebot ausarten.

Rechtlich unproblematisch und vom Umfang relevant ist hingegen ein Angebot von nichtkommerzieller Software über einen zentralen File-Server. Die Bereitstellung solcher freien Software – häufig in Form kleiner nützlicher Programme (Utilities) – kostet einige Arbeit. Aus dem großen Angebot von Public-Domain-Software und Shareware gilt es, eine Auswahl zu treffen, die Programme zu konfigurieren und gelegentlich zu aktualisieren. Besonders anspruchsvoll ist diese Tätigkeit für Unix-Systeme, da die Programme in der Regel aus den Quelltexten übersetzt werden müssen. Wenn solche zeitaufwendigen Arbeiten von engagierten Nutzern zentral erledigt werden, können alle Netzteilnehmer davon profitieren, insbesondere die reinen Computer-Anwender, die über weniger umfassende Fachkenntnisse verfügen.

Die Software-Distributionen müssen kein hausinternes Angebot bleiben. Die Anbindung zum Hochschulnetz bildet die Grundlage für eine übergreifende Zusammenarbeit. Dazu werden die Server in verschiedenen Wohnanlagen mit geeigneten Mechanismen auf einem einheitlichen Stand gehalten. Neben studentischen Einrichtungen können auch Hochschuleinrichtungen in diese Software-Verteilung mit einbezogen werden.

2.2 Der PC als Terminal

Die wissenschaftlichen Computersysteme in der Hochschule laufen überwiegend auf Basis von Unix-Betriebssystemen. Unix-Systeme zeichnen sich unter anderem durch Mehrbenutzerfähigkeit und eine auf TCP/IP basierende Netzintegration aus. Eine typische Eigenschaft ist das *Remote-Login*. Benutzer können nicht nur an der Konsole eines Unix-Systems arbeiten, sondern über Netz auch von einem anderen Rechner, der dann die Funktion eines *Terminals* übernimmt.

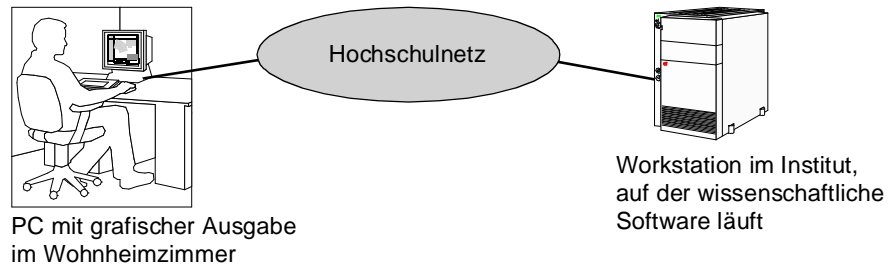
Nach der Anbindung studentischer Wohnanlagen an das Hochschulnetz kann ein solches Terminal der PC zu Hause sein. Die privaten PCs werden zu Heimarbeitsplätzen. Entsprechende Netz-Software (TCP/IP-Protokoll und *Telnet*) gehört zum Umfang gängiger Betriebssysteme oder ist kostenlos erhältlich. Die Studierenden können jederzeit von daheim ein Remote-Login auf Workstations in den Instituten oder dem Rechenzentrum ausführen und dort arbeiten.

2.2.1 Verteilte Fenstertechnik

Die Nutzung der Workstations und der dort laufenden wissenschaftlichen Software vom privaten Schreibtisch aus bleibt nicht nur auf den Textmodus

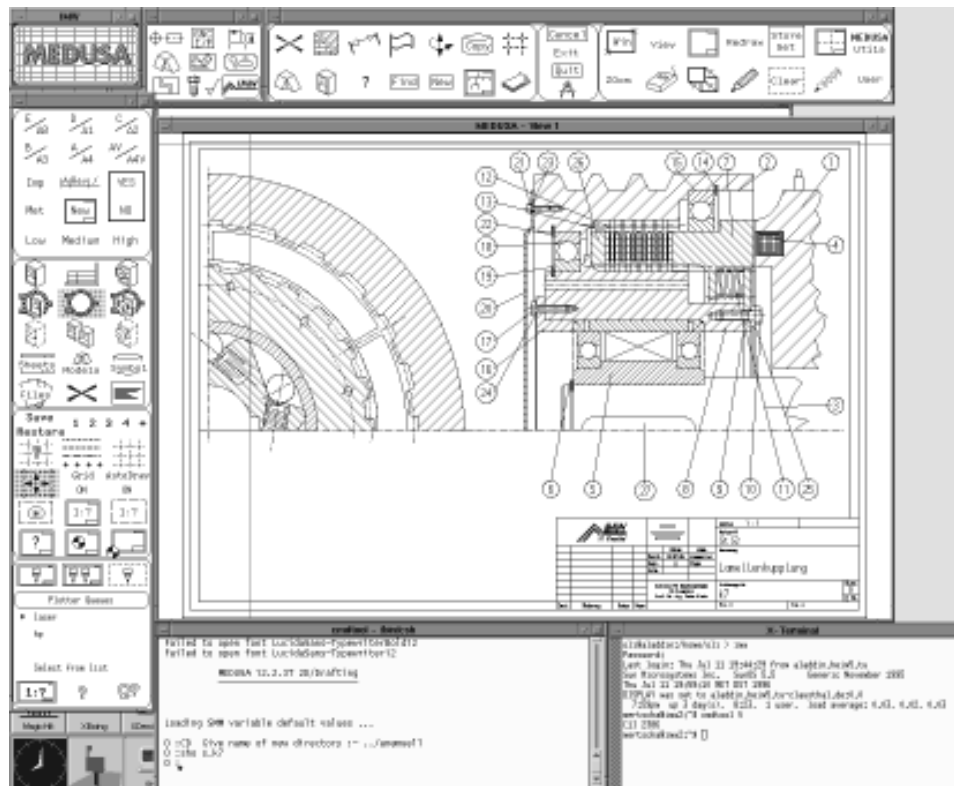
beschränkt. Das im Unix-Umfeld übliche Fenstersystem *X11* und darauf aufsetzende grafische Benutzeroberflächen erlauben eine *verteilte Fenstertechnik*. Die grafische Ausgabe und die Benutzereingabe kann unabhängig von dem System, auf dem die Software läuft, auch an einem anderen Rechner erfolgen. Das heißt: Ein Programm, das auf Rechner A läuft, kann über das Netz von einem Rechner B aus bedient werden. Für den Benutzer an Rechner B zeigt sich kein Unterschied. Er hat den Eindruck, das Programm würde bei ihm lokal ablaufen; in Wirklichkeit ist es aber nur die grafische Ausgabe.

Abbildung 2.2:
Fensterumleitung



Voraussetzung für eine solche Fensterumleitung ist allerdings, daß auf den beteiligten Rechnern das *X11*-Fenstersystem verfügbar ist. Während entsprechende Software für MS Windows vergleichsweise teuer ist, erhält man die nötige Funktionalität automatisch mit der Installation eines freien PC-Unix (Linux oder FreeBSD). Die Leistungsfähigkeit moderner PC-Grafikkarten reicht für den Einsatz des PCs als *X-Terminal* völlig aus. Kritisch ist allerdings die Netzanbindung. Für akzeptable Arbeitsbedingungen bedarf es einer schnellen bzw. wenig belasteten Verbindung.

Abbildung 2.3:
Professionelles CAD
auf dem studentischen PC



Steht auf dem privaten PC die X11-Oberfläche zur Verfügung, so kann der Benutzer die wissenschaftliche Software, die auf Workstations in den Instituten bereitsteht, von dem eigenen Schreibtisch aus nutzen. Damit hat er auch solche Programme zur Verfügung, die in der Anschaffung extrem teuer sind oder wegen ihrer Systemanforderungen für PCs gar nicht angeboten werden. Beispiele sind CAD-Systeme, CASE-Tools, Simulationssoftware etc. Hierbei ist zu betonen, daß diese Art der Nutzung völlig legal ist, denn die Programme werden nicht kopiert, sondern nur fernbedient.

2.2.2 Vorteile der Heimarbeit

Die Vorteile der Heimarbeitsplätze liegen auf der Hand. Die Studierenden sind bei Computer-Praktika nicht mehr auf die Computerräume in den Instituten angewiesen. Öffnungszeiten oder Belegungspläne spielen keine Rolle mehr. Stattdessen können sie zu jeder Zeit mit den bereitgestellten Programmsystemen arbeiten. Die ungestörte Atmosphäre im eigenen Zimmer und die zeitliche Freiheit lassen eine intensivere Beschäftigung mit der wissenschaftlichen Software zu. Daher sind bessere Ergebnisse in der EDV-Ausbildung zu erwarten.

Bessere Chancen ergeben sich insbesondere für Studierende mit Familie und Kindern. Sie sind nun nicht mehr zum Gang in die Computerräume gezwungen. Außerdem können Minderheiten wie Behinderte alle Aufgaben aus der auf ihre Bedürfnisse abgestimmten Umgebung erledigen.

Für die Hochschule bedeutet die Entwicklung in erster Linie eine Entlastung der Computerräume. In Spitzenzeiten auftretende Warteschlangen werden verkürzt, gleichzeitig können für alle Studierenden längere Arbeitszeiten am Computer eingeplant werden. Die unterschiedlichen Arbeitsgewohnheiten der Studierenden – unbeeinflusst von Öffnungs- und Belegungszeiten – sorgen für eine bessere Auslastung der DV-Systeme zu jeder Tages- (und Nacht-)zeit.

Die Computer-Systeme in den Instituten und Rechenzentren werden durch die Heimarbeitsplätze nicht überflüssig; der Schwerpunkt bei der DV-Beschaffung kann aber weg von einer möglichst großen Zahl an Arbeitsplätzen auf weniger, dafür aber deutlich leistungsfähigere Systeme verlagert werden. Die Arbeitsplätze befinden sich auf den Schreibtischen der Studierenden, während die Rechenleistung und die Bereitstellung der Software-Systeme in den Hochschul-einrichtungen verbleibt. Dort werden außerdem Arbeitsplätze mit besonderen Leistungsmerkmalen und Ein-/Ausgabegeräten bereitgestellt – etwa für Video-, 3D-Anwendungen oder Meßverfahren.

2.3 Elektronische Kommunikation

Der Anschluß an das Hochschulnetz stellt den Studierenden Kommunikationsdienste auf dem Schreibtisch zur Verfügung. Bei der textbasierten elektronischen Kommunikation lassen sich drei Arten unterscheiden (siehe auch [14]):

- *Electronic Mail (E-Mail)* entspricht der herkömmlichen Briefpost. Es handelt sich um eine geschlossene Kommunikation, bei der eine Nachricht an einen oder mehrere Teilnehmer adressiert wird. Zu diesem Zweck erhält jeder Teilnehmer eine eindeutige Adresse (*E-Mail-Adresse*).
- *Netnews* stellt hingegen eine offene Kommunikation dar, bei der eine Nachricht in ein themenbezogenes Forum (*Newsgroup*) gestellt und durch

das System weltweit verteilt wird. Diese Nachricht kann dann von anderen Netzteilnehmern gelesen und auf die gleiche Weise (öffentlich) oder per E-Mail (persönlich) beantwortet werden.

- Während Lesen und Empfangen bei E-Mail und Netnews zeitlich versetzt abläuft, bilden *Chat-Systeme* wie der IRC den interaktiven Charakter eines Gesprächs nach. Die Teilnehmer sehen die eigenen Texteingaben und die der anderen in einem Fenster, wodurch sich eine interaktive Kommunikation aufbaut.

2.3.1 Electronic Mail

Der Besitz einer E-Mail-Adresse ist grundsätzlich nicht von dem Betrieb eines eigenen Rechners im Netz abhängig. Die Studierenden können genauso elektronische Post über einen Rechnerzugang im Institut oder auf einem zentralen Studentenserver empfangen und versenden. Der Vorteil einer vernetzten Wohnanlage liegt darin, daß die Wege zum Institut oder Telefongebühren für die Nutzung von E-Mail entfallen. Stattdessen verfügen die Bewohner auf ihrem eigenen Schreibtisch jederzeit über den Zugang zu ihrer Post. Damit können sie uneingeschränkt von dem Vorteil profitieren, daß elektronische Post im Gegensatz zu traditionellen Briefen innerhalb weniger Minuten zugestellt wird.

Für die Teilnehmer ist E-Mail ein sehr angenehmes Kommunikationsmedium. Die Nachricht erreicht den Empfänger ähnlich schnell wie in einem Telefonat. Dieser muß aber nicht an seinem Arbeitsplatz sein und wird nicht bei seiner Tätigkeit gestört, sondern kann die Post zu einem passenden Zeitpunkt bearbeiten.

E-Mail beschränkt sich nicht nur auf Text-Dokumente, sondern erlaubt die Versendung von Daten, Bildern, Audio-Elementen etc. in einem Anhang (*Attachment*). Ein wichtiger Aspekt ergibt sich mit der Möglichkeit, elektronische Postverteiler anzulegen, wo mehrere Personen unter einer Adresse erreichbar sind. Solche Verteiler lassen sich zu sogenannten Mail-Listen erweitern, die ein ideales Medium für die Kommunikation in einer geschlossenen Teilnehmergruppe darstellen.

E-Mail bietet sich nicht nur für die nationale und internationale Kommunikation an, sondern auch lokal innerhalb der Hochschule – etwa für die Mitteilungen zwischen Studierenden und wissenschaftlichen Mitarbeitern oder begleitend zu Projektgruppen und Seminaren. In diesem Bereich kann E-Mail aber nur dann eine Alternative zu Telefonaten und Aushängen sein, wenn alle Beteiligten in die Lage versetzt werden, ohne Aufwand regelmäßig ihre elektronische Post lesen zu können.

2.3.2 Netnews

Die Netnews sind die Diskussionsforen im Internet. Über 10.000 weltweit zugängliche Newsgroups decken alle erdenklichen Themenbereiche ab, darunter auch eine bedeutende Zahl zu wissenschaftlichen oder computerbezogenen Themen. Studierende können in den Netnews sehr aktuelle Informationen finden, Erfahrungen austauschen und Kontakte zu anderen Studierenden aufbauen.

Im lokalen Bereich entsprechen Newsgroups am ehesten den Schwarzen Brettern. Sie bieten ein ideales Medium für Ankündigungen von Veranstaltungen, allgemeine Mitteilungen oder als Flohmarkt. Ein wesentlicher Unterschied zu

den Schwarzen Brettern ist jedoch die Möglichkeit von Diskussionen, Fragen und Antworten in den Newsgroups.

Wie für E-Mail gilt für Netnews, daß eine Vernetzung der Wohnanlagen keine zwingende Voraussetzung ist. Die Studierenden können auch im Institut auf diese Dienste zugreifen. Es gilt aber ebenso, daß man eine weite Verbreitung erst dann erreicht, wenn die Nutzer den Zugang auf dem eigenen Schreibtisch zur Verfügung haben. Wenn die Nutzung der Kommunikationsdienste selbstverständlich geworden ist, können offizielle Ankündigungen der Hochschule die Studierenden auf elektronischem Wege erreichen. Mitteilungen in den Netnews sind im Gegensatz zu Aushängen von verschiedenen Orten einsehbar und erreichen damit auch diejenigen Leser in kurzer Zeit, die nicht täglich das Schwarze Brett im Institut besuchen.

Ein Beispiel für den erfolgreichen Einsatz hausinterner Newsgroups bietet sich in einigen Wohnheimen, wo gemeinsame Aktivitäten und Fragen zu aktuellen Themen in der Wohngemeinschaft über die Netnews besprochen werden. Verglichen mit Aushängen sind die Mitteilungen nicht statisch, und in die sich ergebenden Diskussionen können alle Bewohner eingreifen.

2.3.3 Chat-Systeme

Chat-Systeme decken die interaktive Kommunikation zwischen Netzteilnehmern ab. Beginnend beim einfachen *Talk* für zwei Personen als Ersatz für ein Telefonat erstreckt sich das Angebot bis hin zu internationalen Diskussionsrunden im *IRC* (Internet Relay Chat). Die Chat-Systeme eignen sich eher für die Kommunikation zwischen den Studierenden, etwa für die Klärung kleiner Probleme bei der Computer-Nutzung. Für die Erörterung komplexer Sachverhalte ist diese Technik aufgrund des Schreibaufwandes zu ineffizient.

2.4 Informationsbeschaffung

Die Bereitstellung von Informationen wird im Internet durch die Dienste *Gopher*, *WAIS*, *Word Wide Web (WWW)* und *Hyper-G* abgedeckt. Das WWW nimmt dabei eine herausragende Position ein, die so weit geht, daß Laien oftmals das WWW mit dem Internet gleichsetzen. Tatsächlich hat das WWW dem Internet erst zu der heutigen Popularität verholfen.

Der Erfolg des Word Wide Web ist einerseits durch die sehr leichte Bedienbarkeit eines Hypertext-Systems für den Anwender zu erklären. Zum anderen war es erstmals möglich, Textdokumente ansprechend formatiert im Netz anzubieten und darin Bild-, Ton- und Video-Elemente zu integrieren.

2.4.1 Wissenschaftliches Angebot

Kaum eine Universität der Welt kann es sich heutzutage leisten, kein Informationsangebot im WWW zu haben. Häufig verfügen die einzelnen Institute sogar über einen eigenen WWW-Server. Während sich das Informationsangebot in den Anfängen meist nur auf eine reine Selbstdarstellung der Form „Forschungsgebiete und Mitarbeiter“ beschränkte, wird das WWW zunehmend für die Veröffentlichung neuer Forschungsergebnisse und die Darstellung von Grundlagenwissen genutzt. Damit ergibt sich für Studierende ein interessantes Feld zur Recherche.

Die gezielte Suche nach bestimmten Informationen im WWW ist oft problematisch. Das Hypertext-Konzept gestattet es zwar, sehr einfach Verweise von einem Dokument zu einem anderen herzustellen, beinhaltet aber keinen thematisch geordneten Zugang oder eine zentrale Datenbank, wo alle Dokumente mit Schlagwörtern registriert sind. Verschiedene Suchsysteme bemühen sich, die Lücke zu schließen, indem sie regelmäßig WWW-Server weltweit absuchen und den Inhalt erfassen. Anwender können dann in den gesammelten Datenbestände nach Stichworten suchen. Trotzdem erfordert das erfolgreiche Navigieren im WWW einige Erfahrung und liefert nicht immer das gewünschte Ergebnis. Gleiches gilt allerdings auch für die traditionelle Literaturrecherche.

Für studiengrundende Zwecke sind unter anderem Bibliotheken, Fachinformationendienste, Datenbanken und fachspezifische Zeitschriften von Interesse. Die Bibliotheken stellen einen Zugang zu ihrem Literatur-Recherche-System (OPAC, Online Public Access Catalogue) im WWW bereit. Einige Datenbanken zum Beispiel mit medizinischen Befunden, Daten über Moleküle oder mit Gesetzestexten zeigen eindrucksvoll, welche neuen Möglichkeiten zur Suche und Visualisierung die elektronischen Medien bieten. Fachjournale erscheinen parallel zur gedruckten Ausgabe im Internet. Immer häufiger trifft man in der Wissenschaft reine Online-Journale an. Sie nutzen die Vorteile einer Präsentation im WWW: weltweite Verfügbarkeit, Flexibilität bezüglich Umfang und Erscheinungsdatum der Ausgaben, geringer Produktionsaufwand.

Neben dem wissenschaftlichen Angebot umfaßt das WWW zahllose allgemeine Informationen und Dienste, die für Studierende ebenso interessant und nützlich sind. Zu nennen sind Verlage, die aktuelle Artikel aus ihren Zeitungen veröffentlichen oder mit Auszügen aus Büchern dem Leser einen ersten Eindruck gewähren. Firmen stellen neue Produkte im Netz vor. Insbesondere die Computer-Branche veröffentlicht wichtige Begleitinformationen zu Hard- und Software-Produkten im WWW und verlagert den Support teilweise auf Online-Dienste. Weitere Beispiele sind Veranstaltungshinweise, Fahrplanauskunftsdienste, Mitfahrzentralen, Anzeigenmärkte und Jobbörsen.

2.4.2 Lokale Einsatzfelder

Das WWW kann auch innerhalb einer Hochschule für die Lehre eingesetzt werden. Vorlesungsskripte oder Praktikumsanleitungen, die bisher auf Papier erschienen, können parallel oder ausschließlich als Online-Dokument im WWW bereitgestellt werden. Die Erstellung läßt sich für den Leser unbemerkt auf mehrere Personen aufteilen, und die Ergänzung ist einfach. Im Gegensatz zu einem statischen Skriptum auf Papier kann ein elektronisches Dokument Multimedia-Bestandteile – neuerdings sogar Programme – aufnehmen. Solche Dokumente entwickeln sich weg von einer reinen Vorlesungsmitschrift hin zu einer multimedialen Präsentation des Stoffes.

2.4.3 Software-Beschaffung

Ein weiterer Dienst neben dem Word Wide Web ist anonymous-FTP. FTP ist das Datei-Transfer-Protokoll im Internet. Anonymous-FTP ist eine besondere Variante, die den Dateitransfer von Rechnern ohne eine dort vorhandene Zugangsbechtigung erlaubt. Diese Zugangsform wird von Servern bereitgestellt, die frei kopierbare Software anbieten. Unter der frei kopierbaren Software finden sich neben Hilfsprogrammen für alle Systeme und den neuesten Produkten für die

Nutzung des Internet auch Compiler für Programmiersprachen und ganze Betriebssysteme (Linux, BSD-Unix, ...). Über den Netzanschluß im eigenen Zimmer können die Studierenden solche Software direkt auf den eigenen PC kopieren.

2.5 Zusammenfassung

Die Einbeziehung studentischer Wohnanlagen in das Hochschulnetz bringt den Studierenden eine Reihe von Anwendungen auf den Schreibtisch. Die Nutzungsmöglichkeiten erstrecken sich auf den Zugang zu DV-Ressourcen der Hochschule und auf die Nutzung von Kommunikations- und Informationsdiensten im Internet.

Der private PC im Zimmer des Studierenden wird zum Terminal für den Zugang zu den Unix-basierten Computersystemen der Institute. Diese Terminalfunktion bleibt nicht auf den Textmodus beschränkt. Dank der bei Unix-Systemen selbstverständlichen verteilten Fenstertechnik können komplexe Softwarepakete von einem PC fernbedient werden. Die Studierenden sind nicht mehr an Öffnungszeiten und Belegungspläne gebunden und können sich intensiver mit Computer-Praktika beschäftigen. Die Endbenutzer-Arbeitsplätze werden von den Rechnerpools in den Instituten weg auf die Schreibtische der Studierenden verlagert.

Diese Entwicklung erlaubt andererseits auch den konsequenten Einsatz von elektronischen Kommunikations- und Informationsdiensten in der Lehre. Erst wenn E-Mail, Netnews und WWW für Studierende jederzeit verfügbar sind, kann man diese Dienste zum Standard-Medium erklären und gezielt in der Ausbildung einsetzen. Für internationale Kommunikation finden sich genauso Beispiele wie für Anwendungen innerhalb der Hochschule.

Der Aufbau eines Netzes in den studentischen Wohnanlagen schafft automatisch eine Plattform für traditionelle LAN-Anwendungen. Über das Netz können Peripheriegeräte wie Drucker und Backup-Medien gemeinsam genutzt und Software über einen zentralen Server bereitgestellt werden. Von diesen Angeboten profitieren in erster Linie die weniger gut ausgestatteten PC-Besitzer.

Kapitel 3

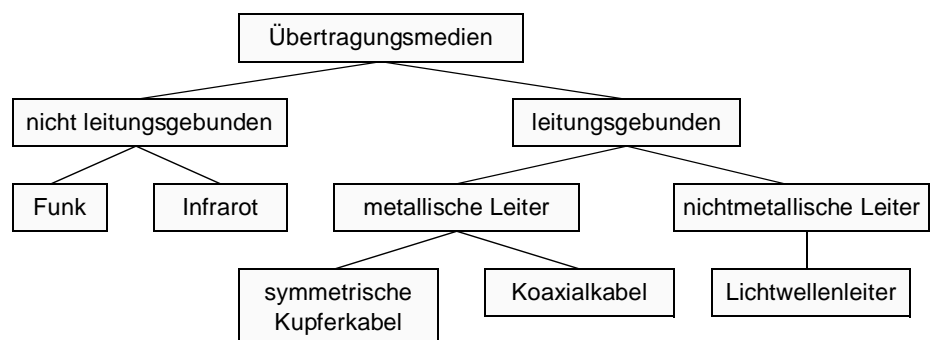
Gebäudeverkabelung

Bei der Schaffung einer Datenkommunikationsinfrastruktur für studentische Wohnanlagen liegt der erste Schritt in der Durchführung einer Gebäudeverkabelung. Es bieten sich verschiedene Techniken an, die in diesem Kapitel näher untersucht werden sollen.

3.1 Übertragungsmedien

Vor der Behandlung einzelner Verkabelungskonzepte sollen die verfügbaren physikalischen Übertragungsmedien besprochen werden. Eine detaillierte Vorstellung der unterschiedlichen Kabeltypen einschließlich einer Gegenüberstellung konkreter Produkte kann man [17] entnehmen.

Abbildung 3.1:
Klassifikation von
Übertragungsmedien



Übertragungsmedien können *leitungsungebunden* oder *leitungsgebunden* sein. Unter leitungsungebundene Medien fallen Funk- und Infrarot-Systeme. Sie kommen bei Spezialanwendungen zum Einsatz, wo Netzverbindungen zu frei beweglichen Geräten benötigt werden (etwa in Produktionshallen mit autonom navigierenden Systemen oder für einzelne Laptops). Für die flächendeckende Erschließung einer Wohnanlage sind die leitungsungebundenen Medien ungeeignet; sie sollen in diesem Kapitel nicht weiter betrachtet werden.

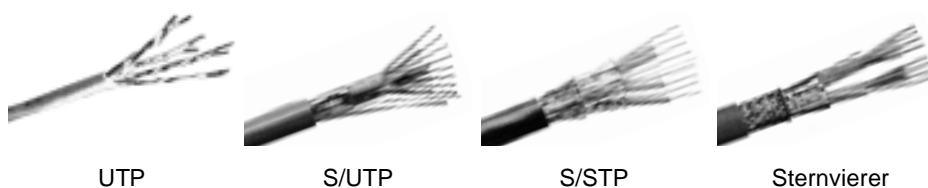
Leitungsgebundene Medien unterteilen sich in *metallische Leiter* (meist Kupferkabel) und *nichtmetallische Leiter* (Glasfaserkabel oder Lichtwellenleiter, abge-

kürzt LWL). Kupferkabel können weiter unterteilt werden in *symmetrische Kabel* und *Koaxialkabel*.

3.1.1 Symmetrische Kupferkabel

Eine einfache Art der symmetrischen Kupferkabel sind die üblichen Telefonleitungen. In den letzten Jahren wurde dieser Kabeltyp für die Übertragung hochfrequenter Signale weiterentwickelt. Symmetrische Kabel bestehen aus mehreren gleich starken, voneinander isolierten Leitern. Diese Adern weisen eine Verseilung auf, die für die Güte des Kabels bei der Übertragung von Hochfrequenz entscheidend ist. Kabel, bei denen die Adern paarweise verdreht sind, werden als *twisted-pair-Kabel* bezeichnet, während beim sogenannten *Sternvierer-Kabel* je vier Adern miteinander verdreht sind.

Abbildung 3.2:
Verschiedene
symmetrische Kabel



Abschirmung

Verdrehte Kabel werden außerdem bezüglich ihrer Abschirmung unterschieden. Bei *shielded twisted pair (STP)* verfügt jedes Adernpaar über eine eigene Abschirmung in Form einer Aluminium-Folie. Diese Schirmung reduziert das Übersprechen von Signalen zwischen den einzelnen Adernpaaren. *Unshielded twisted pair (UTP)* fehlt diese Einzelabschirmung. Unabhängig davon kann ein twisted-pair-Kabel über eine Gesamtabschirmung verfügen, die alle Adernpaare umschließt. Damit wird einerseits die Abstrahlung von Hochfrequenzsignalen nach außen reduziert. Andererseits schützt eine Gesamtabschirmung gegen störende Einflüsse aus der Umwelt. Kabel mit einem Gesamtabschirm erhalten den Zusatz *S/* für *screened*. Damit ergeben sich folgende Ausführungen für twisted-pair-Kabel:

- UTP: ohne jede Abschirmung
- S/UTP: nur mit Gesamtabschirmung
- STP: abgeschirmte Adernpaare, ohne Gesamtabschirmung
- S/STP: abgeschirmte Adernpaare und Gesamtabschirmung

Die Gesamtabschirmung kann aus einem Kupfergeflecht, einer Aluminiumfolie oder aus beiden bestehen. S/UTP-Kabel mit einer Folie als Gesamtabschirmung wird gelegentlich auch mit *FTP* bezeichnet. UTP-Kabel ohne jede Abschirmung sollten für LANs grundsätzlich nicht eingesetzt werden, da sie sehr störanfällig gegenüber elektromagnetischen Feldern und Impulsen sind und selbst eine Störquelle darstellen.

Sternvierer-Kabel ist ebenfalls mit unterschiedlichen Abschirmungen erhältlich. Bei der dem STP-Kabel entsprechenden Ausführung verfügen jeweils vier Adern über eine separate Abschirmung. Sternvierer-Kabel sind in Europa als Telefonkabel verbreitet. Daneben gibt es auch Varianten für Hochgeschwindigkeitsnetze mit sehr guten elektrischen Eigenschaften.

Elektrische Eigenschaften

Bei metallischen Leitern für die Datenübertragung spielen einige Eigenschaften eine wichtige Rolle:

Zur Vermeidung von Reflexionen hochfrequenter Signale am Ende einer Leitung muß diese mit einem Widerstand abgeschlossen werden, der dem *Wellenwiderstand* (oder Impedanz) des Kabels entspricht. Der Wellenwiderstand eines Kabels ist ein komplexer Widerstand; er enthält neben ohmschen Anteilen auch Kapazitäten und Induktivitäten. Der Wellenwiderstand ist weitgehend frequenzunabhängig und kann bei der Konstruktion des Kabels festgelegt werden. Bei symmetrische Kabeln für LANs trifft man gelegentlich Varianten mit einem Wellenwiderstand von 120 Ω oder 150 Ω an; zunehmend setzen sich aber 100 Ω Kabel durch.

Elektrische Signale werden bei der Übertragung gedämpft, d.h. in ihrer Energie gemindert. Die *Dämpfung* nimmt mit höheren Frequenzen und größerer Kabellänge zu. Ist U_{ein} die Spannung am Anfang und U_{aus} die am Ende einer Leitung, so ergibt sich die Dämpfung als $A = 20 \log | U_{\text{ein}} / U_{\text{aus}} |$ und wird in Dezibel (db) angegeben.

Da sich bei symmetrischen Kabeln mehrere Adernpaare in einem Kabel befinden, kommt es zwangsläufig durch elektromagnetische Kopplung zu einer unerwünschten Übertragung der Signale eines Adernpaares auf andere. Dieser Effekt wird als *Nebensprechen* und die damit verbundene Störung als *Nebensprechrauschen* bezeichnet. Gute Kabel weisen eine hohe Dämpfung gegen das Nebensprechenrauschen auf. Dieser Wert wird mit dem Parameter NEXTA (Near End Crosstalk Attenuation) angegeben. STP-Kabel weisen aufgrund der Abschirmung einzelner Adernpaare eine deutlich bessere Nebensprechdämpfung auf.

Mit wachsender Kabellänge und Frequenz nimmt sowohl die Dämpfung eines Signals als auch das Nebensprechenrauschen zu. Für die Klärung der Frage, ob ein Kabel für die Übertragung eines hochfrequenten Signals geeignet ist, ist das Signal-Rausch-Verhältnis aussagekräftig. Je größer der Wert ist, desto „klarer“ kommt das Signal beim Empfänger an und desto geringer ist die zu erwartende Fehlerrate. Das Signal-Rausch-Verhältnis läßt sich durch das *Dämpfung-Nebensprech-Verhältnis ACR (Attenuation to Crosstalk Ratio)* beschreiben, das sich aus der Differenz von NEXTA und der Signal-Dämpfung ergibt. Für eine sichere Datenübertragung sollte ACR größer als 12 dB sein.

Kabelkategorien

Im amerikanischen Verkabelungsstandard EIA/TIA 568 werden symmetrische Kabel nach ihrer Eignung für unterschiedliche Dienste und Geschwindigkeiten in fünf Kategorien eingeteilt:

Tabelle 3.1:
Kategorien nach
EIA/TIA 568

| | | |
|-------------|-----------|--|
| Kategorie 1 | << 1MHz | analoges Telefonkabel |
| Kategorie 2 | < 4 MHz | ISDN |
| Kategorie 3 | < 16 MHz | Ethernet 10 Base-T und Token Ring |
| Kategorie 4 | < 20 MHz | Ethernet 10 Base-T und Token Ring |
| Kategorie 5 | < 100 MHz | Hochgeschwindigkeitsnetze (Fast Ethernet, TPDDI, ATM) |

Für den Netzwerkbedarf werden heutzutage fast ausschließlich *Kabel der Kategorie 5* (auch kurz Kat5-Kabel genannt) eingesetzt. Kabel der Kategorie 3 sind – falls sie überhaupt noch im Angebot sind – nur unwesentlich billiger. Dagegen bietet ein Kat5-Kabel Reserven für zukünftige Hochgeschwindigkeitsnetze.

Die Norm EIA/TIA 568 enthält Grenzwerte für die oben genannten elektrischen Eigenschaften. Tabelle 3.2 zeigt die Werte für Kabel der Kategorie 5.

Tabelle 3.2:
Spezifikation von
Kategorie 5 Kabel

| Frequenz in MHz | max. Dämpfung auf 100m in dB | min. NEXTA auf 100m in dB | min. ACR in dB |
|--------------------|---------------------------------|------------------------------|-------------------|
| 10 | 6,6 | 47 | 35 |
| 16 | 8,2 | 44 | 30,5 |
| 31,25 | 11,8 | 40 | 23 |
| 62,5 | 17,1 | 35 | 14,5 |
| 100 | 22,0 | 32 | 7,5 |

Eine Kategorie 6 befindet sich in der Vorbereitung. Sie soll für Kabel bis 300 MHz gelten. Einige am Markt erhältliche symmetrische Kabel haben so gute elektrische Eigenschaften, daß sie höchstwahrscheinlich schon jetzt den zukünftigen Standard erfüllen.

Anschlußtechnik



Abbildung 3.3:
RJ-45-Stecker

Bei twisted-pair-Kabeln kommen überwiegend 8-polige *RJ-45-Stecker* zum Einsatz. Neben RJ-45 findet man häufiger die Bezeichnung „8-poliger Modular Jack“ oder „Western-Stecker“. Mit Rücksicht auf die Grenzwerte zur elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) sollten nur geschirmte Stecker und Dosen verwendet werden.

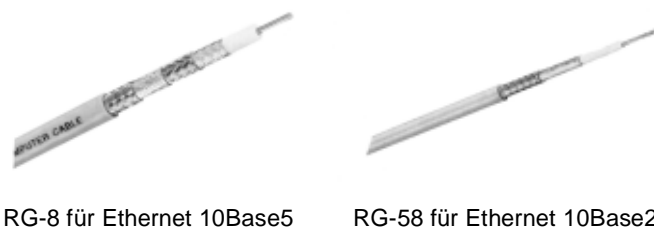
Die feste Verkabelung, also die Strecke zwischen einem Sternverteiler und den Anschlußdosen im Zimmer, kommt ohne Steckerverbindungen aus. Hier werden die Adern direkt an der Dose angeschlossen. Üblich sind sog. Schneidklemmen, die beim Auflegen der Adern deren Isolierung aufschneiden und einen sicheren Kontakt zum Leiter herstellen.

3.1.2 Koaxialkabel

Koaxialkabel bestehen aus einem zentralen, massiven Innenleiter und einem rohrförmigen Außenleiter, die durch ein isolierendes Dielektrikum getrennt sind. Der Außenleiter stellt gleichzeitig die Abschirmung des Kabels dar. Koaxialkabel gehören im Gegensatz zu den bisher besprochenen Kabeln zu den *unsymmetrischen Kabeln*.

Koaxialkabel sind in vielen Variationen für unterschiedliche Anwendungen erhältlich. Sie eignen sich gut für die Übertragung von Hochfrequenz, sogar bis in den Gigahertz-Bereich. Die Unterschiede liegen vor allem im Durchmesser des Kabels und der Art des Dielektrikums, sowie in der Ausführung des Außenleiters. Letzterer kann aus einem Kupfergeflecht mit oder ohne Aluminiumfolie bestehen und ist zum Teil sogar doppelt ausgeführt.

Abbildung 3.4:
Koaxialkabel für LANs



RG-8 für Ethernet 10Base5

RG-58 für Ethernet 10Base2

Betrachtet man die elektrischen Eigenschaften von Koaxialkabeln, so spielt auch hier der Wellenwiderstand eine wichtige Rolle. Zur Vermeidung von Reflexionen muß das Kabel am Ende mit einem Widerstand gleichen Wellenwiderstands abgeschlossen sein. Aus der Sicht eines Senders erscheint das Kabel dann unendlich lang. Bei Koaxialkabeln trifft man folgende Wellenwiderstände an:

- 50 Ω für lokale Netzwerke (Ethernet) und in der Funktechnik
- 75 Ω für Rundfunk-Antennenkabel und Kabelfernsehen
- 93 Ω und 105 Ω im Umfeld von Großrechnern und mittlerer Datentechnik

Ethernet-Kabel

Ethernet (vgl. Abschnitt 5.2 „Ethernet“) sieht zwei Spezifikationen für 50- Ω -Koaxialkabel vor: *IEEE 802.3 10Base5* und *10Base2*. Die zugehörigen Kabel zeigt Abbildung 3.4.

Das Kabel RG-8 für die 10Base5-Variante wird wegen der gelben Außenisolierung auch häufig *Yellow Cable* genannt. Das Kabel hat einen Außendurchmesser von ca. 10mm, was dem 10Base5-Standard auch zu dem Namen Thick-Ethernet verholfen hat. Thick-Ethernet stammt aus den Ethernet-Anfängen und spielt bei der Neuverkabelung kaum noch eine Rolle.

Stattdessen findet man häufig das billigere Ethernet 10Base2 (daher auch der Name *Cheapernet*). Das hier verwendete Kabel RG-58 ist mit ca. 4,5mm Durchmesser viel einfacher aufgebaut. Gelegentlich wird im Handel RG-58-Kabel angeboten, das nicht dem Standard IEEE 802.3 10Base2 genügt. Das richtige Kabel muß neben einer Geflecht- auch eine Folien-Abschirmung aufweisen.



Abbildung 3.5:
BNC-Stecker

Anschlußtechnik

Bei Ethernet 10Base2 finden *BNC-Stecker* Verwendung. Sie werden in der Regel nicht gelötet, sondern auf das Kabel gequetscht. Dieser Vorgang wird als *Crimp* bezeichnet; die Stecker heißen daher Crimp-Stecker.

Die bei Ethernet 10Base5 eingesetzten Stecker haben die Bezeichnung „N-Stecker“.

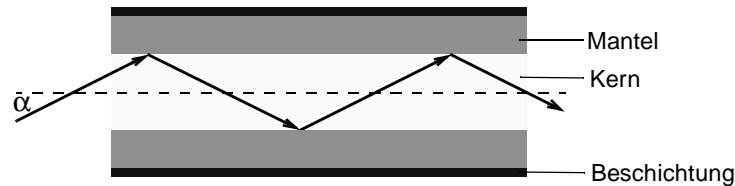
3.1.3 Lichtwellenleiter

Die optische Übertragung von Daten über einen Lichtwellenleiter (LWL) basiert auf dem Prinzip der *Totalreflexion*. Trifft Licht unter einem bestimmten Winkel aus einem dichteren Medium (mit höherem Brechungsindex) kommend auf ein dünneres Medium (mit niedrigerem Brechungsindex) so wird das Licht total reflektiert.

Ein Lichtwellenleiter ist so aufgebaut, daß ein dünner Kern aus einem höher brechenden Glas von einem Mantel mit niedriger brechendem Glas umschlossen ist.

So wird Licht, das an die Grenzfläche des Kernes trifft, wieder zurück in den Kern reflektiert und auf einer längeren Distanz im Kern weitergeleitet. Eine Beschichtung schützt die Faser gegen Beschädigungen.

Abbildung 3.6:
Prinzip der
Lichtwellenleiter



Licht besteht aus vielen Eigenwellen, sogenannten *Moden*. Die Totalreflexion und damit die Lichtleitung tritt nur für diejenigen Moden ein, die annähernd unter einem bestimmten Winkel α eintreffen. Im Vergleich zu Moden, die zufällig parallel zum Leiter auftreffen, legen die in Abbildung 3.6 gezeigten Moden einen längeren Weg zurück. Dadurch kommt es zu einer Laufzeitverschiebung, die kurze Lichtimpulse auf ihrem Weg durch den LWL verbreitert. Dieser Effekt wird *Dispersion* genannt.

Lichtwellenleiter bestehen aus elektrisch nicht leitendem Material; sie können keine elektrischen Potentiale übertragen. Damit entfällt die Notwendigkeit von Erdungsmaßnahmen. Außerdem sind LWL unempfindlich gegen elektromagnetische Einstrahlungen und stellen selbst keine Störquelle dar, was sie auch in kritischen Umgebungen einsetzbar macht.

Ebenso wie bei elektrischen Leitern gibt es bei Lichtwellenleitern eine *Dämpfung* des Signals. Die Dämpfung ergibt sich bei LWL als Folge von Absorption und Streuung durch Verunreinigungen und Fertigungstoleranzen des Materials. Die Absorption des Materials ist von der Wellenlänge des Lichts abhängig. Betrachtet man das Spektrum, so ergeben sich drei Fenster, die sich für eine optische Übertragung besonders eignen: an der Grenze des roten Bereichs bei 850nm sowie im infraroten Bereich bei 1300nm und bei 1550nm.

Typen von Lichtwellenleitern

Für die optische Übertragung unterscheidet man drei Typen von Glasfasern, die sich in ihrem Brechungsprofil unterscheiden:

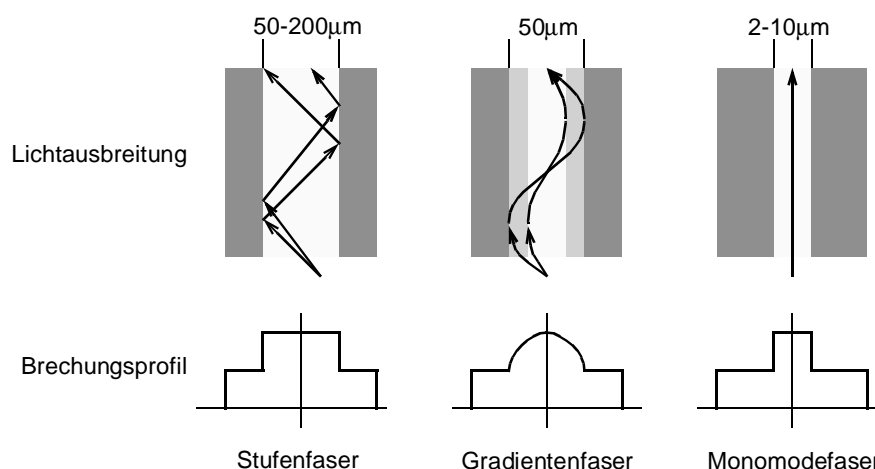
- Multimodefasern mit Stufenprofil (Stufenfasern)
- Multimodefasern mit Gradientenprofil (Gradientenfasern)
- Monomodefasern

Die Unterschiede veranschaulicht Abbildung 3.7.

Multimodefasern mit Stufenprofil ist die einfachste Bauform. Das Material für den Kern und den Mantel hat einen konstanten Brechungsindex. Dadurch breitet sich das Licht zick-zack-förmig aus; die Moden weisen eine sehr unterschiedliche Laufzeit auf. Aufgrund der hohen Dispersion eignet sich Stufenfaser nur für Frequenzen bis maximal 100 MHz und Entfernungen bis 1km. Sie wird daher im Netzwerk-Bereich selten eingesetzt. Bei einer Wellenlänge von 850nm weist dieser Kabeltyp eine Dämpfung von ca. 6 dB/km auf.

Der Brechungsindex von *Multimode Gradientenfasern* ist im Kern nicht konstant, sondern nimmt von der Kernmitte her parabelförmig zum Mantel hin ab.

Abbildung 3.7:
LWL-Typen



Die Moden durchlaufen die Faser in einer Wellenform. Betrachtet man die Laufzeit der einzelnen Moden, so stellt sich ein weiterer Effekt heraus: Das Licht breitet sich im äußeren, dünneren Material schneller aus, als in der Mitte. Dadurch wird der längere Weg einer Welle mit größerer Amplitude kompensiert und alle Moden kommen am Ende des LWLs etwa zeitgleich an. Damit liegt auf der Hand, daß die Gradientenfaser für Datenübertragungen sehr viel besser geeignet ist. Bandbreiten bis zu 1 GHz und Entfernungen von 2 bis 3 Kilometern können mit diesem Kabeltyp erreicht werden. Die Dämpfung beträgt bei einer Wellenlänge von 850nm ca. 3db/km.

Gradientenfaser ist die Standardfaser für LANs. Es gibt zwei Ausführungen mit 62,5µm und mit 50µm Kerndurchmesser bei einem Manteldurchmesser von 125µm. Für Neuinstallationen sollte eine Gradientenfaser vom Typ 50/125 verwendet werden.

Der aufwendigste Fasertyp ist die *Monomodefaser*. Es handelt sich um eine Stufenfaser, bei der der Kerndurchmesser auf 2 bis 10µm reduziert wurde - so weit, daß sich nur noch ein Mode ausbreiten kann. Unter diesen Umständen liegt eine Modendispersion praktisch nicht mehr vor; man kann eine optimale Übertragungsgeschwindigkeit und Reichweite erzielen. Es sind entweder Reichweiten von über 50km oder Frequenzen von deutlich über 10 GHz möglich. Die Dämpfung liegt bei einer Wellenlänge von 1300nm unter 0,35 dB/km. Die Herstellung und der Anschluß von Monomodefasern ist aber sehr viel aufwendiger als der von Multimodefasern, weshalb man im LAN-Bereich fast immer auf diesen Fasertyp verzichtet.

Bei den Multimodefasern werden als Sender Leuchtdioden (LED) eingesetzt, nur bei Monomodefasern kommen Laserdioden im infraroten Spektrum zum Einsatz. In den Empfängern ist eine Photodiode eingebaut, die die optischen Signale wieder in elektrische zurückwandelt.

Mechanische Bauformen

Als Material für die Fasern wird fast ausschließlich hochreines Glas eingesetzt. Eher neu ist die Entwicklung von Lichtwellenleitern aus Kunststoff. Sie haben aber eine um Größenordnungen höhere Dämpfung und spielen bisher für LANs keine Rolle.

In der LWL-Technik findet man ein breites Spektrum von Kabeltypen für verschiedene Einsatzgebiete (Außen- oder Innenkabel). Die Unterschiede liegen vor allem in der Art wie die Fasern vor Beschädigungen geschützt sind und bei Multifaserkabeln in der enthaltenen Faseranzahl.

Anschlußtechnik

Stecker werden bei der Verlegung von LWL vor Ort in der Regel nicht direkt angebracht. Stattdessen werden vorgefertigte, kurze Kabelenden mit Stecker (sog. pigtails) an das verlegte Kabel angeschweißt. Das Zusammenschweißen von Fasern heißt in der Fachsprache *Spleißen*.

Unter der Vielzahl von Glasfasersteckern sind bei älteren Geräten vor allem die sog. FSMA-Stecker mit Schraubverschluß und bei neueren Geräten sog. *ST-Stecker* mit Bajonett-Verschluß verbreitet.

3.2 Strukturierte Verkabelung

In der professionellen Gebäudeverkabelung – etwa beim Aufbau einer Infrastruktur für ein Verwaltungsgebäude – hat sich die *strukturierte Gebäudeverkabelung* als Standard durchgesetzt. Entsprechende Richtlinien finden sich in nationalen und internationalen Normen wieder.

Das Konzept der strukturierten Verkabelung ergibt sich aus den Anforderungen, die beim gewerblichen Einsatz an eine Netzwerkinfrastruktur gestellt werden. Dabei reicht der Geltungsbereich von kleinen Firmen bis hin zu Standorten mit 50.000 Anschlüssen und einer heterogenen Netzwerkstruktur. Dort gilt es, ein Verkabelungskonzept zu erstellen, das den aktuellen und zukünftigen Anforderungen genügt und einen fehler- und wartungsfreien Betrieb gewährleistet.

Die Anforderungen, die sich im gewerblichen Bereich an eine Verkabelung stellen, kann man mit folgenden Punkten zusammenfassen:

- *Investitionsschutz*: Die Verkabelung muß die Bedürfnisse für einen bestimmten Zeitraum (etwa 10 Jahre) erfüllen. Reserven für zukünftige Anwendungen sind einzuplanen, so daß keine weiteren Baumaßnahmen erforderlich werden. Aber zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme müssen auch alte Geräte noch genutzt werden können.
- *Dienstneutralität*: Über ein Kabelsystem sollen unterschiedliche (aktuelle und zukünftige) Dienste realisiert werden können, wie LANs verschiedener Art, Terminalanbindung, Telefon, Videoübertragung etc.
- *Ausfallsicherheit*: Ein möglichst fehlerfreier Betrieb muß gewährleistet sein. Fehler einzelner Anwender dürfen keinen Ausfall ganzer Netzsegmente hervorrufen. Falls Fehler auftreten, müssen diese schnell lokalisiert und behoben werden können.
- *Flexibilität und Erweiterbarkeit*: Die Verkabelung muß offen sein für Expansion oder Umstrukturierungen des Unternehmens (etwa Umzug von Mitarbeitern oder Abteilungen).

Diese Anforderungen gelten für das gewerbliche Umfeld und sind nicht uneingeschränkt übertragbar auf die Situation in studentischen Wohnanlagen. Die Auflie-

stung soll als Motivation für die im folgenden vorgestellten Konzepte der strukturierten Verkabelung dienen.

3.2.1 Grundstruktur

Das Konzept der strukturierten Verkabelung bezieht sich auf einen Standort bestehend aus mehrgeschossigen Gebäuden, in denen Arbeitsplätze zu erschließen sind. Dabei wird eine Unterteilung in drei Bereiche vorgenommen:

1. Die Geländeverkabelung (*Primärbereich*) verbindet die Gebäude untereinander.
2. Die Gebäudeverkabelung (*Sekundärbereich*) erschließt die einzelnen Etagen.
3. Die Etagenverkabelung (*Tertiärbereich*) umfaßt das Netz bis zu jedem Arbeitsplatz.

Gegebenenfalls stellt der *Backbone-Bereich* Verbindungen mit hoher Bandbreite zu anderen Standorten oder zu einem übergeordneten Netz her.

Abbildung 3.8:
Grundstruktur der
Verkabelung

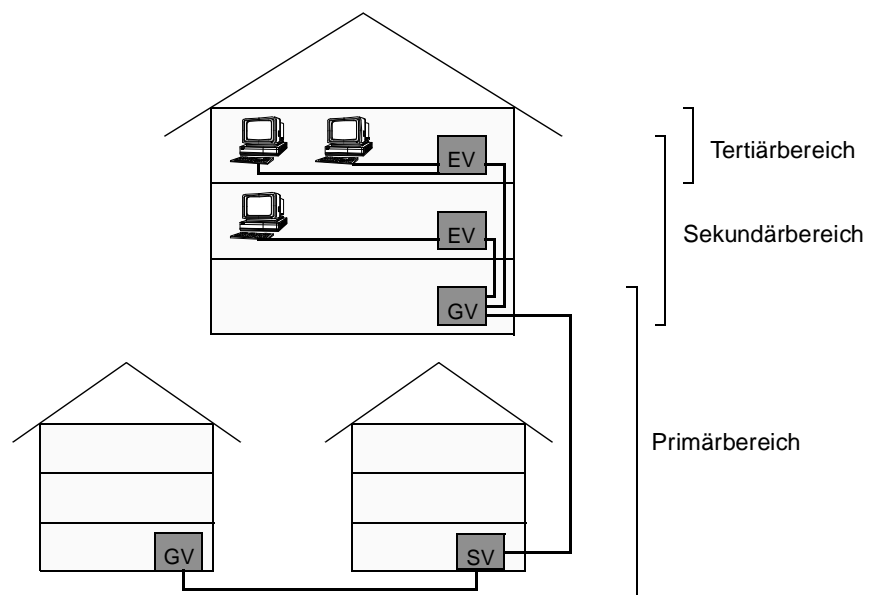


Abbildung 3.8 zeigt schematisch die drei Bereiche. Eine sternförmige Struktur wird erkennbar. Auf einem Verteiler laufen alle Anschlüsse des zugehörigen Bereichs auf; von diesem verläuft dann eine Verbindung zur nächstgrößeren Struktureinheit.

Tertiärbereich

Im Tertiärbereich werden die eigentlichen Endanschlüsse realisiert. In jeder Etage laufen die Verbindungen zu den einzelnen Arbeitsplätzen auf einem Etagenverteiler (EV) auf – genauer gesagt auf einem Rangierfeld im Etagenverteiler. Die Anzahl der Leitungen pro Arbeitsplatz hängt von den geplanten Anwendungen ab. Neben der Festverkabelung gehören auch die Anschlußdosen und -kabel zu diesem Bereich. Die Kabellängen bei der Tertiärverkabelung betragen maximal 100m je Anschluß.

Der Einzugsbereich einer Tertiärverkabelung muß nicht streng eine Etage umfassen; mehrere Etagen oder aber ein Gebäudetrakt können auf einem Verteiler zusammengefaßt werden. Auf diese Weise kommen mitunter einige Hundert Anschlüsse in einem Verteiler zusammen.

Das Ziel der Planung ist es, unter Einhaltung der maximalen Kabellänge und Wahrung einer übersichtlichen Struktur eine möglichst effiziente Wegführung zu allen Endanschlüssen zu finden. Dabei ist ein zentraler Standort des Etagenverteilers von Vorteil.

Sekundärbereich

Die Leitungen zu den Etagenverteilern (EV) eines Hauses werden auf einem Gebäudeverteiler (GV) zusammengefaßt. Dabei kann der Gebäudeverteiler auch gleichzeitig ein Etagenverteiler sein. Die maximale Kabellänge für diesen Bereich beträgt 500m je Verbindung. Der Gebäudeverteiler stellt den Übergang zur gebäudeübergreifenden Verkabelung her.

Primärbereich

Der Primärbereich verbindet mehrere Gebäude eines Standortes. Dazu laufen Verbindungen von allen Gebäuden auf einem Standortverteiler (SV) auf. Die Verbindungen sind maximal 1500m lang.

Eine Netzinfrastruktur, die mit hoher Bandbreite lokale Netze verbindet, wird *Backbone* genannt. Die Verbindung zu einem standortübergreifenden Backbone wird im Standortverteiler hergestellt. Das Backbone kann als logische Netzstruktur aber auch Teile des lokalen Netzes oder einzelne Hochleistungsrechner direkt anbinden und dafür die Primär- oder Sekundärverkabelung nutzen.

3.2.2 Euro Norm 50 173

Für den europäischen Raum enthält die Norm EN 50 173 Hinweise und Richtlinien über eine strukturierte Gebäudeverkabelung. Die Norm stimmt weitgehend mit der internationalen Norm ISO/IEC DIS 11 801 überein. Der Originaltext ist bei [13] erhältlich; eine Zusammenfassung findet sich in Kapitel 3 von [17].

EN 50 173 stellt keine Norm in dem Sinne dar, daß jede Gebäudeverkabelung die angegebenen Spezifikationen erfüllen muß, vielmehr wird an Beispielen aufgezeigt, wie eine universelle, strukturierte Verkabelung aussehen kann. Die aufgezeigten Varianten sollen den Anforderungen verschiedener Dienste für mindestens zehn Jahren gerecht werden und entsprechen damit den eingangs aufgestellten Planungszielen eines Unternehmens.

In der Norm ist spezifiziert:

- Struktur eines Gebäudeverkabelungssystems
- Anforderungen an Kabel, Dosen und Komponenten
- Meßverfahren für die Überprüfung der Verkabelung

EN 50 173 sieht eine sternförmige Struktur mit Primär-, Sekundär und Tertiärbereich vor, wie im vorigen Abschnitt beschrieben. Für den Primärbereich werden fast ausschließlich Lichtwellenleiter (Gradientenfaser) vorgesehen. Empfohlen werden LWL auch für den Sekundärbereich; unter Umständen können aber auch symmetrische Kabel zum Einsatz kommen.

Im Tertiärbereich, also in der Etage bis zu den Endanschlüssen, wird eine sternförmige Verkabelung vorgesehen. Vorrangig werden symmetrische Kabel mit 100Ω Wellenwiderstand und 4 Adernpaaren empfohlen. Bei hohen Anforderungen an die Geschwindigkeit oder besonderen Umgebungsbedingungen (elektromagnetische Einstrahlungen etc.) kann auch LWL Gradientenfaser eingesetzt werden. Pro Arbeitsplatz und je 10 m^2 sind mindestens zwei Anschlüsse vorzusehen, wobei einer (für Telefon) mit symmetrischem Kabel auszuführen ist.

Bezüglich der *elektromagnetischen Verträglichkeit* wird auf die Norm EN 55 022 verwiesen. Zwar muß die Verkabelung selbst als passive Einrichtung nicht geprüft werden, das laufende Netzwerk unterliegt aber den Bestimmungen der EMV-Norm. Dieser Umstand erzwingt die Verwendung von abgeschirmten Kabeln und Anschlußdosen (siehe Kapitel 6 von [27]).

Kabelspezifikationen

Wie in der in Abschnitt 3.1.1 „Symmetrische Kupferkabel“ bereits erwähnten amerikanischen Verkabelungsnorm EIA/TIA 568 werden die Kabel auch in EN 50 173 nach Übertragungsgeschwindigkeit klassifiziert. Bei den Ende-zu-Ende-Verbindungen spricht man hier aber statt von Kategorien von *Klassen*. Die Klasse A entspricht etwa der Kabel-Kategorie 1, Klasse B der Kategorie 2, Klasse C der Kategorie 3 und Klasse D der Kategorie 5. Die geforderten elektrischen Eigenschaften in der EN 50 173 sind in einigen Punkten bis zu 3 dB schlechter als in der EIA/TIA 568.

3.3 Konzepte für studentische Wohnanlagen

Nach dem Überblick über die gängigen Übertragungsmedien und einem Ausblick auf die professionelle Gebäudeverkabelung gilt es nun im folgenden, Konzepte für studentische Wohnanlagen zu finden, zu diskutieren und zu bewerten.

Idealerweise sind mit der Verkabelung ähnliche wirtschaftliche Ziele verbunden, wie die Anfang des vorigen Abschnitts vorgestellten Punkte für das gewerbliche Umfeld. In der Praxis können aber einige Forderungen abgeschwächt werden. Außerdem kommen der meist sehr begrenzte finanzielle Rahmen und der Bedarf, kurzfristig eine Lösung zu schaffen, als wichtige Kriterien hinzu.

Zwar ist ein Investitionsschutz für einen längeren Zeitraum wünschenswert, allerdings muß dieses Ziel in Relation zur Höhe der Investition und zum Umfang der Baumaßnahme stehen. Wird die Installation des Netzes etwa von den Bewohnern in einer Woche in Eigenarbeit selbst durchgeführt, entfällt der größte Kostenfaktor: der Arbeitslohn. Unter dieser Voraussetzung kann auch ein Konzept akzeptabel sein, bei dem eine technische Erneuerung des Netzes bereits in 3 bis 5 Jahren absehbar ist.

Die Dienstunabhängigkeit kann ebenfalls eingeschränkt werden. Bei der Vernetzung von Wohnanlagen handelt es sich sicher um eine Erstinstallation, bei der die zu verwendenden Netzprotokolle vorgegeben werden können. Reserven für zukünftige Dienste sind jedoch wünschenswert.

Bezüglich der Verfügbarkeit ließe sich argumentieren, daß ein Netz mit 90% Verfügbarkeit für die Studierenden besser sei, als gar kein Netz. Die Erfahrung hat aber gezeigt, daß sich das Netzwerk schnell zu einem selbstverständlichen

Medium etabliert, wo jede Unterbrechung als äußerst störend empfunden wird. Eine regelmäßige Fehlersuche stellt ein Ärgernis für alle Beteiligten dar. Dieser Punkt ist also vorsichtig zu behandeln.

Hingegen verliert die Flexibilität an Bedeutung, da studentische Wohnanlagen in ihrer Struktur recht statisch und klar strukturiert sind. Abgesehen vom gelegentlichen Wunsch nach Anschluß eines Zweitrechners bleibt die Anschlußdichte berechenbar bzw. konstant.

3.3.1 Lösungen für die Gebäudeverkabelung

Berücksichtigt man die veränderten Anforderungen für studentische Wohnanlagen, so kommen neben der sternförmigen, strukturierten Verkabelung nach EN 50 173 andere oder technisch ältere Konzepte zur Realisierung einer Datenkommunikationsinfrastruktur für Studierende in Betracht. Denkbare Lösungen sind:

- die *busförmige Verkabelung* mit Koaxialkabel
- die *sternförmige Verkabelung* mit symmetrischen Kabeln
- *Breitbandnetze* auf Basis der Kabelfernsehens

Andere Ansätze scheiden aus unterschiedlichen Gründen aus. So wurde bereits in Abschnitt 3.1 „Übertragungsmedien“ festgestellt, daß Funk- und Infrarot-Übertragungen für eine flächendeckende Vernetzung ungeeignet sind.

Die Realisierung des Netzwerkzugangs über einzelne ISDN-Anschlüsse kommt unter den gegebenen Voraussetzungen ebenfalls nicht in Betracht. Zwar liegt der Aufwand hier vollständig bei dem Telefonanbieter, die dem Einzelnen zu Verfügung stehende Bandbreite ist aber vergleichsweise gering und jedem Teilnehmer werden erhebliche laufende Kosten zugemutet. Man behandelt die Bewohner einer Wohnanlage bei diesem Ansatz wie über eine ganze Stadt verstreute Einzelmietler und nutzt nicht die Vorteile, die sich durch die Konzentration von vielen Studierenden an einem Standort ergeben.

Aus Kostengründen scheidet außerdem eine vollständige *Verkabelung mit Glasfaser* aus. Diese Variante bietet klar die größte Bandbreite und damit die größten Reserven für zukünftige Anwendungen. Daraus folgt eine zu erwartende Nutzungsdauer von mehreren Jahrzehnten. Allerdings liegen die Kosten bei einem flächendeckenden Einsatz von LWL um ein Vielfaches höher als bei Kupferkabeln. Dabei ist nicht der Preis des Installationsmaterials (Kabel, Dosen) entscheidend, sondern vielmehr die Installationsarbeiten (das Spleißen kann nur von Fachpersonal ausgeführt werden) und der höhere Preis für Repeater und PC-Adapterkarten.

Besondere Bedingungen (elektromagnetische Felder, architektonische Auflagen für denkmalgeschützte Gebäude), die den Einsatz von LWL zwingend erforderlich machen, sollten in der Regel nicht vorliegen. Vorteile haben Glasfaserkabel, falls ein älteres Gebäude mangelhafte Erdpotentialverhältnisse aufweist. Allerdings stellt sich dann die Frage, ob die Probleme nicht sowieso mittelfristig bei einer Sanierung des Gebäudes beseitigt werden müssen.

In Kapitel 9 von [17] kommt der Autor zu dem Ergebnis, daß sich eine LWL-Vernetzung bis zum Arbeitsplatz nicht rechnet. Diese Auffassung ist aber sehr umstritten. Befürworter der LWL-Technik führen die lange Nutzungsdauer und geringe Störanfälligkeit an. Angesichts viermal höherer Kosten im Vergleich zur

professionell ausgeführten Installation mit Kupferkabeln ist in studentischen Wohnanlagen nicht an eine flächendeckende LWL-Verkabelung zu denken.

3.3.2 Kriterien für die Gebäudeverkabelung

Um eine Auswahl zwischen den drei im studentischen Wohnbereich realistischen Netzwerkkonzepten treffen zu können, bedarf es Entscheidungskriterien. Je nach den lokalen Gegebenheiten sind einige der Kriterien ausschlaggebend oder weniger bedeutend.

Folgenden Punkte sollen für die drei Netzwerkkonzepte untersucht werden und deren Vor- und Nachteile deutlich machen:

- Mögliche *Netzprotokolle* und *Übertragungsbandbreiten* zur Bewertung der Leistungsfähigkeit und der Eignung für zukünftige Anwendungen.
- *Kosten* der Realisierung, aber auch mögliche Kosten für die Endanwender.
- Aufwand der *Installationsarbeiten* um Baumaßnahmen und mögliche Eigenarbeiten abschätzen zu können.
- Voraussetzungen, Teilnehmer *individuell an- und abzuschalten*; als Möglichkeit, die Netznutzung zu kontrollieren und ggf. abzurechnen.
- *Betriebssicherheit* und *Fehleranfälligkeit*, um Probleme im Betrieb abschätzen zu können.

3.4 Busförmige Verkabelung

Die busförmige Netzwerk-Topologie hängt eng zusammen mit dem *Ethernet-Protokoll* (siehe Abschnitt 5.2 „Ethernet“). Ein Ethernet-LAN besitzt logisch eine Busstruktur, was sich im Medienzugriffsverfahren zeigt. Anfangs gehörte auch eine busförmige Verkabelung zwingend zum Ethernet-LAN; die Möglichkeit, auch andere Topologien und Übertragungsmedien für Ethernet verwenden zu können, wurde erst später geschaffen. Alle Ethernet-Varianten sind im Standard IEEE 802.3 spezifiziert.

Die Tatsache, daß im folgenden nur auf das LAN-Protokoll Ethernet eingegangen wird und die Konzeption der Gebäudeverkabelung an den Spezifikationen in diesem Protokoll festgemacht werden, begründet sich dadurch, daß eine busförmige Verkabelung von keinem anderen gebräuchlichen LAN-Protokoll unterstützt wird.

Das erste Übertragungsmedium für Ethernet war das in Abschnitt 3.1.2 „Koaxialkabel“ bereits angesprochene Yellow Cable. Der zugehörige Standard heißt *IEEE 802.3 10Base5*. Das mit einem Durchmesser von einem Zentimeter recht massive Koaxialkabel wurde bis zu einer Länge von 500m durch die Gebäude verlegt.

Im Gegensatz zu den meisten PC-Adapterkarten für anderen Netzwerk-Protokolle befand sich der Teil, der den physikalischen Zugriff auf das Übertragungsmedium (Medium Attachment Unit, MAU) durchführte, nicht auf der Adapterkarte selbst, sondern in einer *Transceiver* genannten, externen Box. Der Transceiver wurde über ein maximal 50m langes Kabel an die AUI-Schnittstelle (Attachment Unit Interface) auf der Adapterkarte angeschlossen. Damit mußte

der Hauptstrang des Netzes nicht an jedem Arbeitsplatz vorbeigeführt werden, sondern konnte geschützter verlegt werden.

Die 10Base5-Variante wurde weitgehend durch das ebenfalls busförmige, aber billigere *Cheapernet* (10Base2) verdrängt. Für eine Neuinstallation kommt Ethernet nach 10Base5 aufgrund des Preis-Leistungs-Verhältnisses nicht mehr in Betracht.

3.4.1 Ethernet 10Base2

Cheapernet verwendet mit dem RG-58 A/U ein einfacheres Koaxialkabel (siehe Abbildung 3.4) und als Anschluß BNC-Stecker und -Buchsen (siehe Abbildung 3.5). Eine Folge der vereinfachten Technik ist die Verkürzung der maximalen Kabellänge auf 185m.

Ein weiterer Unterschied zur 10Base5-Variante betrifft den Geräteanschluß. Der externe Transceiver entfällt, da die Adapter-Karten bereits die Bauteile für den Medienzugriff (MAU) enthält. Der Anschluß an das busförmig verlegte Koaxialkabel erfolgt mit einem T-Stück direkt am PC.

Abbildung 3.9
10Base2 Anschluß

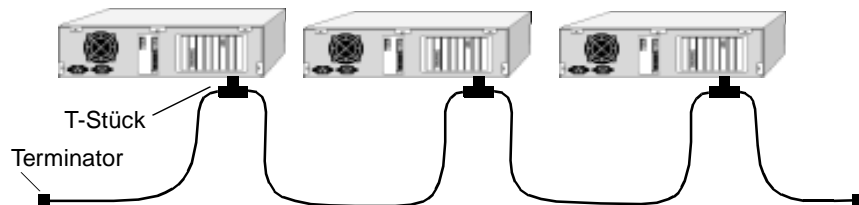


Abbildung 3.9 zeigt das Grundprinzip des PC-Anschlusses bei Ethernet 10Base2. Das Koaxialkabel wird direkt zu jedem Gerät geführt und dort mit einem BNC-T-Stück angeschlossen. Andere Verwendungen der T-Stücke als die gezeigte oder der Einsatz von Stichleitungen zwischen T-Stück und PC sind nicht zulässig. Das Kabel wird an den Enden (meist direkt am letzten Gerät) mit einem $50\ \Omega$ Widerstand (*Terminator* genannt) abgeschlossen. Der abgebildete Kabelstrang wird auch als *Ethernet-Segment* bezeichnet. Ein Segment darf maximal 185m lang sein und 30 Geräte enthalten. Zwischen den Anschlüssen zweier Geräten muß einen Mindestabstand von 0,5m eingehalten werden. Das Segment ist an einem Ende ordnungsgemäß zu erden.

Da zu jedem Rechner eine Kabel-Schleife führt, reduziert sich die bei Einhaltung der Maximallänge mit einem Segment erreichbare Zimmerzahl erheblich. Ist eine der Restriktionen erreicht, so ist man gezwungen, mehrere Segmente zu installieren, die dann an einem Verteiler mittels einer aktiven Netzkomponente (Repeater, siehe Abschnitt 5.1.2 „Repeater, Bridge und Router“) zusammengefügt werden.

Die Installation des Kabels ist denkbar einfach. Es kann etwa entlang eines Flures durch alle Zimmer verlegt werden. Gilt es später einen Rechner einzufügen, stellt dies kein Problem dar. Man kann das Segment an einem T-Stück öffnen und ein Kabelstück mit einem weiteren Anschluß einfügen oder sogar das Kabel durchtrennen und dort Stecker und ein T-Stück einbauen.

Die einfache Handhabung ist zugleich auch das größte Problem dieser Verkabelung. Denn das Ethernet funktioniert nur, wenn das Kabel auf dem ganzen Segment verbunden und an den Enden korrekt mit einem Terminator abgeschlossen

ist. Öffnet ein Teilnehmer versehentlich das Kabel (etwa beim Basteln an seinem Rechner), oder wird das Kabel beschädigt, so fällt das Netz für alle an dem Segment angeschlossenen Teilnehmer aus. Wo der Fehler liegt, ist dann entweder nur mit teuren Meßgeräten oder durch Nachverfolgen des Kabelweges feststellbar.

Die Tatsache, daß das Koaxialkabel an jedem Rechner vorbeigeführt werden muß, macht den Einsatz von Kabelkanälen weitgehend unmöglich und verhindert einen angemessenen Schutz des Kabels gegen Beschädigung. Störungen sind also geradezu vorprogrammiert, insbesondere dann, wenn viele unabhängige Teilnehmer mit ganz unterschiedlichen technischen Kenntnissen daran beteiligt sind. Die Fehlerbehebung gestaltet sich problematisch, wenn der ganze Kabelweg nicht ohne weiteres einsehbar ist.

3.4.2 EAD-Technik



Abbildung 3.10:
EAD-Dose

Die fehlerträchtige Anschlußtechnik und mangelnde Schutzvorkehrungen führten zur Entwicklung verschiedener Anschlußdosen. Die am weitesten verbreitete Variante ist die *EAD-Technik*. Die Dosen sind von den für analoges Telefon verwendeten TAE-Dosen abgeleitet, weisen aber BNC-Buchsen für den Anschluß der Zuleitung auf.

Die Einhaltung der geltenden Regelungen zur elektromagnetischen Verträglichkeit verlangt die Verwendung von vollgeschirmten EAD-Dosen und -Kabeln. Diese relativ neue Bauform wird scEAD genannt.

Das zugehörige PC-Anschlußkabel besteht aus einem doppelten Koaxialkabel und einem speziellen BNC-Stecker am Ende. Dieses EAD-Kabel ist praktisch nichts anderes als eine fertig konfektionierte Kabel-Schleife mit einem T-Stück am Ende. Falls kein Anschlußkabel eingesteckt ist, wird das Ethernet-Segment in der Dose durchverbunden.

Die EAD-Technik hat deutliche Vorteile:

1. Die hochsensible Hauptleitung kann komplett im Kabelkanal (unter oder auf Putz) verlegt werden und ist damit gegen Beschädigungen geschützt.
2. Rechner können ohne Netz-Unterbrechung an- und abgestöpselt werden.
3. Störungen aufgrund von Handhabungsfehlern sind seltener.

Vollständig lassen sich Fehler in der Handhabung nicht ausschließen. Beispiele sind halb eingesteckte oder beschädigte Anschluß-Kabel, aber auch die Verwechslung der LAN-Dose mit einer Telefondose. Bisher nicht betrachtet wurden Störungen durch defekte Netzwerkkarten, die auch zu Ausfällen des Segments führen können. Von solchen Störungen sind nach wie vor alle am gleichen Segment angeschlossenen Teilnehmer betroffen. Die Häufigkeit läßt sich aber mit der EAD-Technik und einer soliden Installationsarbeit auf ein erträgliches Maß reduzieren.

Bei der Planung ist zu beachten, daß die eingesteckten Anschlußkabel Teil des Ethernet-Segments sind. Sie stellen eine Schleife dar und müssen somit doppelt zur Länge des Segments addiert werden. Sind in einem Segment 10 EAD-Dosen geplant und geht man von Anschlußkabeln mit durchschnittlich 3m Länge aus, so sind 60m für die Anschlüsse vergeben. Das zu installierende Koaxialkabel darf maximal noch 135m lang werden.

3.4.3 Anwendungsbeispiel

Geradezu trivial ist die Konzeption bei sehr kleinen Gebäuden. Hier kommt man mit 185m Kabellänge aus. Das Kabel wird als ein langer Strang durch alle Zimmer geführt und in Nähe der Arbeitsplätze wird die Anschlußdose angebracht. Sind keine Kabelschächte vorhanden, so sollte notfalls Aufputz ein kleiner Kabelkanal angebracht werden (z. B. entlang der Fußbodenleiste).

Bei größeren Gebäuden müssen zwangsläufig mehrere Segmente geschaffen werden, die ein Repeater zu einem Netz zusammenfügt. Hierbei ist es unter Betrachtung der Ausfallsicherheit ungünstig, die Segmente zu einer langen Kette aufzureihen. Vielmehr sollten alle Segmente an einem Konzentrationspunkt enden, wo ein *Multiport-Repeater* (z. B. mit 8-BNC-Ports) installiert wird.

Um genügend Reserven für Rechner-Anschlüsse zu behalten und die Auswirkungen von Ausfällen zu begrenzen, empfiehlt es sich, die mögliche Kabellänge nicht voll auszuschöpfen, sondern besser mehr Segmente als rechnerisch notwendig zu planen. Eine Anzahl von 8 bis 10 Zimmern je Segment scheint sinnvoll. Bei sehr großen Gebäuden kann es notwendig werden, mehrere Konzentrationspunkte zu schaffen und diese mit einem Koaxial- oder gar mit einem Glasfaserkabel zu verbinden. Auf diese Weise kommt man ansatzweise zu einer strukturierten Verkabelung wie in Abschnitt 3.2.1 „Grundstruktur“ beschrieben.

Abbildung 3.11:
Skizze eines
Wohnheimflures

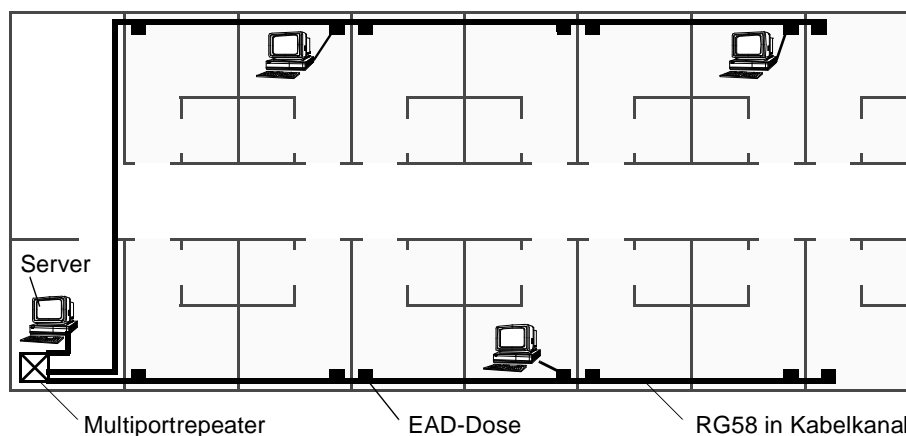


Abbildung 3.11 zeigt schematisch die Verkabelung eines Flures. Je Flurhälfte wird ein Segment entlang der Außenwand verlegt; jedes Zimmer erhält eine EAD-Dose, unabhängig davon, ob der derzeitige Bewohner einen PC hat oder nicht. Zum Schutz des Kabels wird ein kleiner Kabelkanal installiert. Die Segmente laufen in einem Gemeinschafts- oder Abstellraum zusammen, wo sich ein Multiportrepeater befindet. An den Repeater werden weitere Segmente der übrigen Etagen angeschlossen, so daß ein zentraler Gebäudeverteiler entsteht. Ein PC, der für das Gebäude Server-Aufgaben übernimmt, erhält einen eigenen Anschluß am Repeater, was eine optimale Verfügbarkeit garantiert. Entsprechend würde man mit der Leitung für die Hochschulnetz-Anbindung verfahren.

In dem abgebildeten Flur wäre nach der Zeichnung auch ein Segment für beide Flurhälften ausreichend. In der Praxis müssen jedoch Hindernisse wie Heizkörper und vertikale Kabelabschnitte mit bedacht werden, so daß eine Kabellänge von über 100m schnell erreicht ist. Dies gilt insbesondere für andere Etagen, deren Kabel auch zu dem zentralen Gebäudeverteiler geführt werden müssen.

3.4.4 Bewertung der busförmigen Verkabelung

Die busförmige Verkabelung nach 10Base2 besticht durch ihre einfache Installation. Es muß nur ein Kabel durch die Zimmer verlegt werden; große Kabelbäume bleiben den Installateuren erspart. Das Anbringen der Crimpstecker ist mit geeignetem Werkzeug und etwas Übung leicht zu bewerkstelligen, so daß die Installation von den Bewohnern selbst durchgeführt werden kann. Allerdings sollte sich einer der Mitarbeiter vorher mit der Technik vertraut machen und die Arbeiten leiten, damit allzuvielen Ausfällen aufgrund von fehlerhaft angebrachten Steckern, Kurzschlüssen oder Knicken im Kabel vermieden werden. Es empfiehlt sich auch, nach Abschluß der Installation alle Kabel mit einem LAN-Meßgerät zu prüfen. Eine erfolgreiche Datenübertragung zwischen zwei PCs reicht als Kriterium für einen langfristig fehlerfreien Betrieb nicht aus.

Verzichtet man auf Kabelkanäle, Anschlußdosen und kommt ohne Repeater aus, so sind die Materialkosten für das Netz mit 10,- bis 20,- DM pro Zimmer kaum der Erwähnung wert. Wie bereits erläutert, ist die Betriebssicherheit eines solchen Billignetzes leider mangelhaft. Diese Art des Ethernet eignet sich nur für eine Verkabelung innerhalb einer Privatwohnung oder einer privaten Wohngemeinschaft, wo sich alle Teilnehmer gut kennen und über die Handhabung des Netzes hinreichend informiert sind.

Für größere Wohnanlagen kommt man ohne Kabelkanäle und Dosen nicht aus. Wird die busförmige Struktur dann mit Multiportrepeatern in Richtung einer strukturierten Verkabelung weiterentwickelt, so liegen die Materialkosten pro Zimmer um ca. 100,- DM. Die Betriebssicherheit kann als befriedigend bezeichnet werden. Wenn allerdings Störungen auftreten, ist die Lokalisierung der Ursache oft problematisch, da der Zugang zu allen beteiligten Zimmern versperrt ist.

Wie zu Beginn dieses Abschnitts schon angesprochen, wird die busförmige Verkabelung von den gängigen Netzprotokollen nur von Standard-Ethernet mit 10 MBit/s unterstützt. Selbst die neuen Ethernet-Nachfolger (Fast-Ethernet und VG-AnyLAN) mit 100 MBit/s verlangen eine sternförmige Verkabelung. Damit ist die busförmige Verkabelung nur solange nutzbar, wie Ethernet den Anforderungen an die Übertragungsraten genügt.

Eine technische Möglichkeit, Bewohner einzeln ans Netz zu schalten und ggf. vom Netz zu entfernen, besteht mit vertretbarem Aufwand nicht. Von dem Verteilerpunkt aus können nur ganze Segmente an- und abgestöpselt werden. In den einzelnen Zimmern kann jeder Bewohner nach Belieben seinen Rechner anschließen und das Netz nutzen. Selbst wenn die Anschlußdose fehlt, könnte er mit wenig Aufwand eine neue einfügen. Bewohner, die Mißbrauch betreiben, können also physikalisch nicht vom Netz ausgeschlossen werden. Eine Gebührenerhebung für Netznutzer muß auf die Ehrlichkeit der Bewohner vertrauen.

3.5 Die sternförmige Verkabelung

Bei der sternförmigen Verkabelung wird jedes Zimmer bzw. jede Dose mit einem separaten Kabel an einem Verteiler angeschlossen – wie in Abschnitt 3.2 „Strukturierte Verkabelung“ für den Tertiärbereich beschrieben. Im Vergleich zur Bus-Topologie ist in der Regel mit einem erheblich höheren Installationsaufwand zu rechnen. Demgegenüber stehen eine Reihe von Vorteilen, z. B. bei der Betriebssicherheit. Wenn jeder Teilnehmer physikalisch seinen eigenen

Anschluß hat, kann durch Beschädigung oder Fehlbedienung auch nur dieser ausfallen; andere, „unschuldige“ Netzteilnehmer bleiben davon unberührt.

3.5.1 Materialauswahl

Als Kabel für die Tertiär-Verkabelung kommt symmetrisches Kupferkabel zum Einsatz. In Abschnitt 3.1.1 „Symmetrische Kupferkabel“ wurde bereits darauf hingewiesen, daß Material nach Kategorie 3 – obwohl für Ethernet ausreichend – bei Neuinstallationen kaum noch verwendet wird. Erst Kategorie-5-Kabel und Dosen bieten die Reserven für zukünftige Anwendungen und garantieren eine langjährige Nutzungsdauer.

Die Einhaltung der Richtlinien zur elektromagnetischen Verträglichkeit gebietet die Verwendung von Kabeln, Dosen, Rangierfeldern und Steckern mit einer Gesamtabschirmung. Daher sollte mindestens S/UTP-Kabel der Kategorie 5 verwendet werden. S/STP-Kabel oder moderne Sternvierer bieten noch bessere Übertragungseigenschaften und haben Vorteile, falls über ein Kabel mehrere Dienste parallel laufen sollen. Solche Kabel zeichnen sich aber nicht nur durch einen höheren Preis, sondern auch durch einen größeren Außendurchmesser aus, so daß ihr Zusatznutzen gegenüber dem S/UTP-Kabel abzuwägen ist.

Ähnlich der Koaxialkabel-Variante mit T-Stücken, kann man auch bei der sternförmigen Verkabelung auf eine feste Installation verzichten und Kabel mit RJ45-Steckern frei bis zum Verteilerpunkt verlegen. Diese Lösung kommt ebenfalls nur für kleinere Wohnungen in Frage und scheidet bei einer flächendeckenden Verkabelung eines größeren Gebäudes aus. Zwar kann ein beschädigtes Kabel keine anderen Teilnehmer mehr in Mitleidenschaft ziehen; der Schutz der Kabel und die Bewältigung der recht schnell anwachsenden Kabelbäume verlangt aber eine Verlegung in geeigneten Kabelkanälen und definierte Übergabepunkte in Form von RJ45-Anschlußdosen. An den Verteilerpunkten sollten Rangierfelder installiert werden. Nur so läßt sich die Übersicht behalten. Das Rangierfeld gewährleistet ferner eine ordnungsgemäße Erdung des Netzes.

Abbildung 3.12:
Hub für Ethernet
10BaseT



Am Verteiler fügt eine aktive Netzkomponente (sog. *Sternkoppler* oder *Hub*) die Einzelanschlüsse zu einem Netz zusammen. Abbildung 3.12 zeigt einen typischen Hub mit 30 Ports für Ethernet. (Ethernet auf einer sternförmigen Netzstruktur mit symmetrischen Kabeln ist nach *IEEE 802.3 10BaseT* spezifiziert.)

Um die gewünschte Betriebssicherheit zu erreichen, sollte der Hub in der Lage sein, Ports, an denen fehlerhafte Geräte angeschlossen sind, automatisch und ohne Beeinträchtigung des Betriebs vom Netz zu trennen (sog. *Autopartitioning* und *Jabber Protection*) und nach der Fehlerbeseitigung wieder zu integrieren (sog. *Reconnection*). Bei einigen Billiggeräten sind diese Funktionen gar nicht oder nur unzureichend implementiert.

3.5.2 Strukturierte Verkabelung für studentische Wohnanlagen

Der in Abschnitt 3.2.1 „Grundstruktur“ beschriebene Standard der strukturierten Verkabelung stellt nur ein Grundschema dar. Dem Planer bleibt genügend Freiraum, die Kabelwege und Standorte der Verteiler zu variieren. Eine wichtige

Regel für den Tertiärbereich ist jedoch, daß die Länge der Kabel 100m (inklusive späterer Anschlußkabel) nicht überschreiten darf.

Studentische Wohnanlagen weisen meist einen einheitlich strukturierten Grundriß auf; die Anschlüsse sind gleichmäßig verteilt, liegen relativ nahe beieinander und sind bezüglich der Anforderungen identisch. Unter diesen Bedingungen ist eine strikte Aufteilung in Etagen- und Gebäudeverkabelung meist nicht notwendig.

Bei mittelgroßen Gebäuden bis ca. 150 Wohneinheiten kann (günstige Kabelwege vorausgesetzt) eine explizite Sekundärverkabelung meist entfallen. Die Anschlüsse aller Zimmer können zu einem Punkt zusammengeführt werden. Damit wird nur ein Stellplatz für den Verteilerschrank benötigt, in dem sich leicht zugänglich alle Rangierfelder und Netzwerkkomponenten befinden. Damit werden nicht nur die regelmäßigen Wartungsarbeiten erleichtert, die *Hubs* können auch flexibel dimensioniert und optimal genutzt werden.

Es lassen sich Kosten sparen, wenn eine Wohnanlage zwar vollständig verkabelt wird, die aktiven Komponenten aber bedarfsorientiert beschafft werden. Ausgehend vom Rangierfeld werden nur die Zimmer an Hubs angeschlossen, in denen das Netz genutzt wird. Haben bei einem Gebäude von 100 Zimmern etwa die Hälfte der Bewohner Interesse an einer Netznutzung, so reichen zwei Hubs mit 24 Ports vorerst aus. Eine Erweiterung ist jederzeit problemlos möglich.

Eine abweichende Auslegung der strukturierten Verkabelung kann sich bei Wohnanlagen anbieten, bei denen die Zimmer zu Wohngemeinschaften zusammengefaßt sind. Hier könnte sich die Tertiärverkabelung auf je eine oder mehrere benachbarte WGs erstrecken. In einer Sekundärverkabelung – je nach Gebäudegröße mit Kupfer- oder Glasfaserkabel – werden dann die kleinen Gruppen zu einer Gebäudeverkabelung zusammengefaßt. Auf der einen Seite vermeidet man so große Kabelbäume und erleichtert die Installation. Auf der anderen Seite wird die Wartung vieler verteilter Hubs schwieriger und man verliert Flexibilität bezüglich der Dimensionierung der Hubs und dem Betrieb verschiedener Dienste.

3.5.3 Dienstunabhängige Verkabelungssysteme

Eine sternförmige Verkabelung mit symmetrischen Kabeln und einem Wellenwiderstand von 100Ω wird nicht nur von Ethernet unterstützt, sondern von nahezu allen Netzprotokollen und Kommunikationsdiensten angefangen von Telefon bis zu Hochgeschwindigkeitsnetzen. Da jedes Zimmer mit einem oder mehreren unabhängigen Kabeln erschlossen wird, ist es denkbar, unterschiedliche Dienste über dasselbe Verkabelungssystem anzubieten.

Abbildung 3.13:
Nutzung verschiedener
Dienste

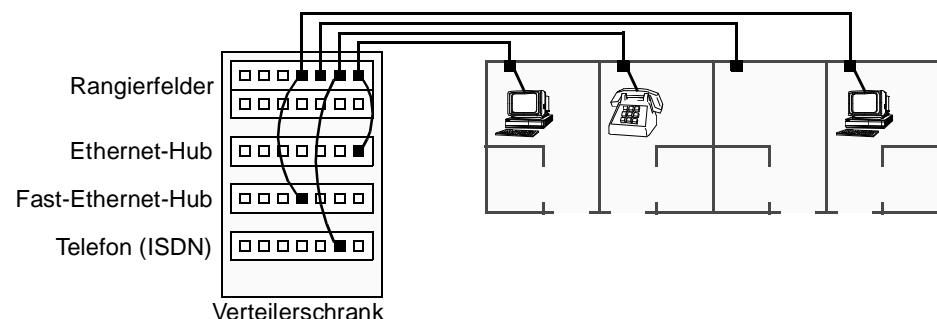


Abbildung 3.13 zeigt den Betrieb unterschiedlicher Dienste über ein einheitliches Verkabelungssystem. Jeder Anschluß kann im Verteilerschrank individuell mit einem anderen Dienst belegt werden. Eine kurzfristige Änderung ist jederzeit möglich.

Oft scheidet die Integration von Netzwerk und Telefon in Wohnheimen aus organisatorisch-rechtlichen Gründen aus, da das Telefonnetz der Hoheit der Telekom unterliegt. Da Telefonanschlüsse individuell abgerechnet werden, muß eine Manipulation oder versehentliche Vertauschung ausgeschlossen werden. Betreibt eine Wohnanlage aber eine eigene Nebenstellenanlage, so stellt die integrierte Verkabelung eine denkbare Alternative dar. In diesem Fall müssen pro Zimmer mindestens zwei Anschlüsse vorgesehen werden.

Einsatzmöglichkeiten für ein dienstunabhängiges Verkabelungssystem finden sich auch im LAN-Umfeld. Einzelne Bewohner, die an Forschungsprojekten mitwirken, können mit Hochgeschwindigkeitsnetzen versorgt werden. Und es bietet sich die Möglichkeit einer schrittweisen Migration zu schnelleren Netzen wie Fast-Ethernet oder ATM, die in einigen Jahren aufgegriffen werden kann.

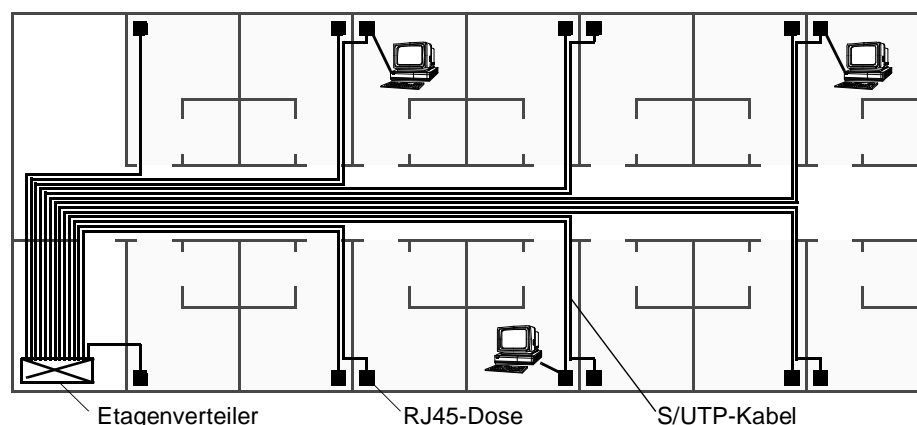
Will man sich die Flexibilität offen halten, so muß dies bei der Planung der Verkabelung berücksichtigt werden. Alle verbreiteten Netzprotokolle nutzen nur vier Adern eines symmetrischen Kabels. Allerdings belegen sie unterschiedliche Pins an den 8-poligen RJ45-Steckern. Beschränkt man sich auf ein vieradriges Kabel, so muß man sich beim Anschluß des Kabels auf ein Protokoll festlegen und kann andere ohne Umbau nicht mehr betreiben. Völlig flexibel ist man hingegen beim Einsatz von achtadrigen (entspricht: vierpaarigen) Kabeln.

Einige Firmen (etwa AMP mit dem ACO-System) bieten Dosen- und Rangierfelder an, bei denen mit wechselbaren Einsätzen unterschiedliche Dienste unterstützt werden können. So sind zwei Ethernet-Anschlüsse, kombiniert Ethernet und ISDN etc. über ein achtadriges Kabel realisierbar. Diese Systeme spielen ihre Vorteile in sehr heterogenen Büroumgebungen aus; in Wohnanlagen ist der Nutzen verglichen mit den Mehrkosten jedoch fraglich.

3.5.4 Anwendungsbeispiel

Für die in Abschnitt 3.4.3 „Anwendungsbeispiel“ präsentierte Etage soll nun auch eine dem Sternprinzip folgende Lösung aufgezeigt werden:

Abbildung 3.14:
Skizze eines
Wohnheimflures



Es kommen 100 Ω S/UTP-Kabel sowie RJ45-Dosen der Kategorie 5 zum Einsatz. Da eine Integration von Telefon nicht vorgesehen ist, erhält jedes Zimmer

einen Anschluß. Bewohnern, die mehr als einen Rechner betreiben, wird damit zugemutet, sich einen eigenen Mini-Hub zu kaufen. Auf diese Weise erhalten sie beliebig viele weitere Anschlüsse. Die Verwendung eines achtadrigen Kabels garantiert die Eignung für verschiedenste Netzprotokolle. Die Trassenführung wird über den Flur geplant, in der Praxis kann man ggf. vorhandene Kabelkanäle mitnutzen.

Die Kabel laufen in dem Etagenverteiler auf ein Rangierfeld auf. Falls die Möglichkeit besteht, die Anschlüsse weiterer Etagen auch auf diesen Verteiler zu führen, entsteht ein zentraler Gebäudeverteiler, in dem ein Hub flexibel beschaltet werden kann. Es wird ein sog. *stackable Hub* gewählt, der leicht zu einem größeren Gerät aufgestockt werden kann, sobald Bedarf besteht.

3.5.5 Bewertung der sternförmigen Verkabelung

Die Offenheit der sternförmigen Verkabelung für verschiedene Netzprotokolle – auch zukünftige mit höherer Übertragungsrate – wurde bereits umfassend dargestellt. Die Tatsache, daß jeder Teilnehmer einen eigenen Anschluß erhält, garantiert darüber hinaus eine optimale Betriebssicherheit und eine problemlose Fehlereinkreisung. Damit wird deutlich, warum diese Variante der Standard in der professionellen Gebäudeverkabelung ist.

Entgegen der Erwartung sind die reinen Materialkosten durchaus angemessen. Geht man davon aus, daß nicht alle Anschlüsse genutzt werden und beschafft man die Hubs bedarfsorientiert, so liegen die Kosten für Kabel, Dosen, Verteiler und Hub in der Größenordnung von 150,- DM pro Zimmer.

Problematisch ist lediglich der Installationsaufwand. Sind keine Kabelkanäle oder ähnliches nutzbar, so kann man die Arbeit den Bewohnern kaum alleine überlassen. Die Auftragsvergabe an eine Firma erhöht die Kosten aber erheblich. Ein Ausweg könnte in der Kopplung der Netzinstallation mit anderen Baumaßnahmen bestehen. Alternativ kann die Verkabelung auch schrittweise durchgeführt werden, wobei man mit den Zimmern beginnt, wo akuter Bedarf besteht.

Entscheidet man sich für eine sternförmige Verkabelung, so sollte man den Standard nach EN 50 173 Kategorie 5 anstreben. Die Verwendung des entsprechenden Materials reicht aber zur Erzielung der 100 MHz Übertragungsbandbreite nicht aus. Die Kabelverlegung muß fachgerecht durchgeführt werden, die bei den Kabeln vorgegebenen Biegeradien sind möglichst einzuhalten und der Anschluß an die Dosen und Rangierfelder muß sorgfältig ausgeführt werden. Als Beleg für die korrekte Ausführung der Installationsarbeiten ist eine Abschlußmessung jedes Anschlusses unerlässlich. Hier müssen die in Tabelle 3.2 aufgeführten Grenzwerte eingehalten werden. Ein Meßprotokoll garantiert dann, daß die Verkabelung auch für zukünftige, schnellere Protokolle genutzt werden kann.

Eine Gebührenerhebung wird begünstigt, da die Zimmer am Verteiler einzeln an- und abgestöpselt werden können. Dies setzt allerdings verschließbare Standorte aller Verteiler voraus. Die professionelle Variante dieses manuellen Vorgehens besteht im Einsatz von *management-fähigen Hubs*. Hier kann von einem zentralen Arbeitsplatz (Netz-Management-PC) jeder Netzanschluß auf einem Campus per Software einzeln an-, abgeschaltet und kontrolliert werden. Diese Lösung setzt aber voraus, daß jeder Anschluß (genutzt oder ungenutzt) mit einem Hub verbunden ist und erhöht damit die Kosten.

3.6 Kabel-TV Netze

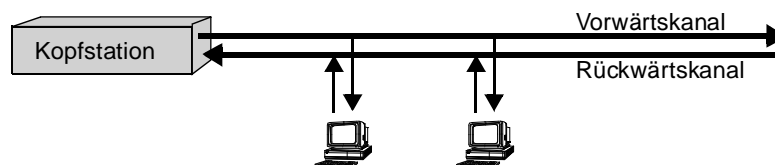
Eine Kabelfernsehinfrastruktur kann gleichzeitig auch für die Datenkommunikation verwendet werden. Damit wird eine unter Umständen schon vorhandene Verkabelung ohne weitere Baumaßnahmen für das Datennetz nutzbar.

3.6.1 Grundlagen

Die bisher behandelten Übertragungstechniken speisen die digitalen Signale direkt in die Netzwirkabel ein und belegen damit das Frequenzspektrum als ein Kanal. Dies wird als *Basisbandtechnik* bezeichnet. Im Gegensatz dazu wird das Frequenzspektrum eines Übertragungsmediums bei der *Breitbandtechnik* in mehrere Kanäle unterteilt, die unabhängig voneinander genutzt werden können. Es handelt sich um ein *Frequenzmultiplex-Verfahren*, bei dem die digitalen Signale auf unterschiedliche Trägerfrequenzen aufmoduliert werden.

Zur Überbrückung größerer Entfernungen kommen Regeneratoren zum Einsatz, die konstruktionsbedingt nur in eine Richtung verstärken können. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, den Datenverkehr ebenfalls richtungsorientiert zu gestalten. Der Datenkanal wird in einen Sende- und in einem Empfangskanal aufgeteilt. Alle Stationen empfangen im Vorwärts- und senden im Rückwärtskanal; eine Kopfstation übernimmt die Umsetzung der Signale vom Rückwärts- auf den Vorwärtskanal.

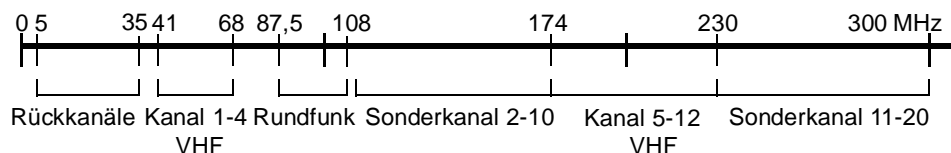
Abbildung 3.15:
Grundtopologie der
Breitbandübertragung



Beide Kanäle können aufgrund der Modulation auf Frequenzbänder über ein Kabel übertragen werden (Einkabel-System). Unter anderem kommt das sog. *Sub-Split-Verfahren* zum Einsatz: der Vorwärtskanal liegt im Frequenzbereich von 54 bis 400 MHz und der Rückwärtskanal im Bereich von 5 bis 35 MHz; in der Kopfstation erfolgt eine Frequenzumsetzung.

Kabelfernsehen ist eine Breitbandübertragung. Die PAL-Fernsehnorm benötigt Kanäle mit einer Bandbreite von 7 MHz, die über das Frequenzspektrum verteilt sind. Diese Kanäle lassen sich aber nicht nur für Fernsehsignale, sondern auch für Datensignale verwenden. Die Technik wird *CATV* (common antenna television) genannt. Amerikanische Hersteller bieten Modems an, die eine an das Ethernet-Protokoll angelehnte Datenübertragung in einem 6 MHz breiten (die Fernsehnorm NTSC belegt 6 MHz) Kanal erlauben. Selbstverständlich ist ein gleichzeitiger Betrieb von Fernseher und Netzwerk möglich.

Abbildung 3.16:
Kanalzuweisung im
Kabelfernsehnetz



Mit CATV-Systemen lassen sich Entfernungen von einigen Kilometern überbrücken. Die Entwicklung entstammt der Vision, private Wohnungen großflächig bis hin zu ganzen Städten mit einem Netzwerk und speziell dem Internet zu

versorgen. Diese Breitbandnetze sind in Deutschland ungebräuchlich. Die Telekom hat aber den Frequenzbereich von 5 bis 35 MHz für Kanäle in Rückrichtung vorgesehen.

Das Antennenkabel einer Kabelfernseh-Installation ist ein 75Ω Koaxialkabel, das baumförmig verlegt ist. Bei Neuinstallationen wird zunehmend eine rein sternförmige Struktur installiert. Zur Überbrückung weiterer Entfernungen wird Glasfaserkabel eingesetzt.

Für den reibungslosen Betrieb von CATV-Netzes wird ein professionelles Kabelfernsehsystem vorausgesetzt, das auch eine Übertragung in der Rückrichtung erlaubt. Gegebenenfalls ist eine Erweiterung der Anlage oder gar eine Neuverkabelung erforderlich. Welche Verkabelung sich eignet, läßt sich pauschal nicht sagen, es sollte aber mindestens die Norm FTZ 1R8-15 erfüllt sein.

3.6.2 Zenith Homeworks

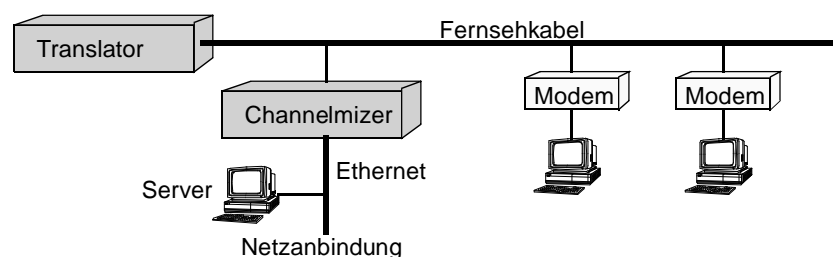
Im folgenden soll ein konkretes Produkt behandelt werden, das in einigen deutschen Wohnheimen (siehe [19]) bereits eingesetzt wird. Zenith Homeworks wird in zwei Varianten angeboten mit 0,5 MBit und mit 4 MBit bei einer Kanalbreite von 1 bzw. 6 MHz. Als Medienzugriffverfahren wird das vom Ethernet bekannte CSMA/CD verwendet. Für die angeschlossenen PCs verhält sich das Netz wie ein Ethernet. Daher können alle üblichen Netzprotokolle (TCP/IP, IPX usw.) unverändert eingesetzt werden.

Das Homeworks-System setzt sich aus drei Komponenten zusammen:

- die LAN-Card stellt den Endgeräte-Anschluß für PC her. Sie besteht aus einer PC-Adapterkarte für den ISA-Bus und einem externen Modem.
- der Channelmizer stellt die Verbindung zu einem normalen Ethernet her. Er hat auf der einen Seite einen Antennenkabelanschluß und auf der anderen Seite AUI-Schnittstellen für Ethernet-Transceiver.
- der Translator bildet die Kopfstation und realisiert die Frequenzumsetzung vom Sendekanal zum Empfangskanal.

Der Rückwärtskanal kann im Bereich von 12 bis 108 MHz eingestellt werden und der Vorwärtskanal im Bereich von 50 bis 550 MHz.

Abbildung 3.17:
LAN basierend auf
Zenith Homeworks



Die maximale Reichweite des Systems liegt bei über 20km. Damit handelt es sich hier nicht nur um eine Lösung für die gebäudeinterne Infrastruktur (Sekundär- und Tertiärbereich), vielmehr wird der Primärbereich mit eingeschlossen und eine Möglichkeit zur Erschließung auch großer Wohnanlagen eröffnet.

Die Verwendung des Ethernet-Protokolls mit seinem CSMA/CD-Medienzugriffverfahren schränkt allerdings die maximale Benutzerzahl pro Netzsegment ein (vergleiche Abschnitt 5.2.2 „Medienzugriff“). In [23] wurde eine vertretbare

Obergrenze bei 100 Teilnehmern ermittelt. Ein großes Kabelfernsehnetz ist aber von der TV-Kopfstation ausgehend in Äste strukturiert. Jeder der Äste kann mit einem eigenen Translator und Channelmizer ein unabhängiges Netzsegment bilden. Außerdem können durch den Einsatz mehrerer Translator und Channelmizer auf einem Ast mehrere unabhängige Netze betrieben werden. So läßt sich der Datenverkehr aufteilen und die Teilnehmerzahl erhöhen.

3.6.3 Bewertung der Kabel-TV-Netze

Die Geräte für Breitbandnetze sind technisch aufwendiger als die üblichen Basisbandgeräte. Dies schlägt sich zusammen mit der geringen Verbreitung der Technik im Anschaffungspreis von ca. 1000,- DM je Homeworks-Modem nieder. Andere Systeme liegen im gleichen Preissegment. Müßten die Geräte gekauft werden, so würde die Lösung in den meisten Fällen ausscheiden. Die Münchner Firma PentaKom bieten allerdings eine Komplettlösung an, bei der die Modems an die Studenten zum Preis von ca. 25,- DM/Monat verliehen werden. Translator und Channelmizer kosten in der Anschaffung zusammen ca. 10.000,- DM.

Ist eine Kabelfernsehinfrastruktur vorhanden, die dem Stand der Technik entspricht, so läßt sich mit geringen Kosten und ohne Baumaßnahmen ein Netzwerk für interessierte Bewohner anbieten. Die Bereitstellung ist kurzfristig und flächendeckend möglich. Falls Kabelfernsehen erst noch bereitgestellt werden soll, liegt die Überlegung nahe, mit einem CATV-Netz einen Mehrwert zu erzielen. Hier sollte allerdings die parallele Installation eines Datennetzes genau geprüft werden, da die Bewohner mit relativ hohen laufenden Kosten belastet werden. Die Kabelwege sind innerhalb des Gebäudes ähnlich und beide Baumaßnahmen gut miteinander kombinierbar.

Die Lösung von Zenith Homeworks ist mit dem Ethernet verwandt, bietet aber mit 4 MBit weniger als die halbe Leistung. Mit anderen Modulationsverfahren läßt sich eine maximale Bandbreite von 10 MBit oder gar 36 MBit erzielen, solche Geräte sind aber (in Deutschland) vorerst nicht am Markt verfügbar. Die Anlehnung an das Ethernet-Protokoll gestattet den Einsatz herkömmlicher Netzsoftware, übernimmt aber auch die konzeptbedingten Nachteile. Die Teilnehmerzahl pro Segment ist trotz großer Reichweiten beschränkt.

Die Qualität des Netzes ist wesentlich abhängig von der Qualität der Kabelfernsehininstallation und -anlage. Die Netzwerkgeräte sind empfindlicher gegen Störungen als Fernsehgeräte. Die Tatsache, daß man in allen Zimmern ein zumutbares Bild empfängt, reicht für den Betrieb eines CATV-Netzes nicht aus. Störungen des Netzbetriebs können vielfältige Ursachen haben und sind schwer zu lokalisieren. Mögliche Fehlerquellen können nicht nur Beschädigungen am Kabel oder fehlerhafte Fernsehtechnik sein, sondern auch Einstrahlungen von naheliegenden Funkdiensten.

Theoretisch kann sich jeder Bewohner unbemerkt an das Netz anschließen. In der Praxis ist aber über die Mietverträge für Modems eine gute Kontrolle über die Netznutzung gegeben.

3.7 Zusammenfassung

Die im kommerziellen Umfeld übliche strukturierte Verkabelung mit symmetrischen Kupferkabeln bildet auch für studentische Wohnanlagen die technisch beste Lösung. Die Unterstützung zukünftiger Netzdienste ist bei einer sorgfältigen Installation gesichert und damit auch eine Nutzungsdauer von ca. 15 Jahren. Die Betriebssicherheit ist sehr hoch, und eine Kontrolle über die Netznutzung ist gewährleistet, so daß die Installationskosten durch eine Kostenbeteiligung der Nutzer über einen längeren Zeitraum wieder zurückfließen.

Die Arbeiten für die Verlegung eines sternförmigen Netzes sind sehr aufwendig und oft nicht ausschließlich von den Bewohnern zu bewerkstelligen. Ein Ausweg bietet die Kombination mit anderen Installations- oder Sanierungsarbeiten. Wo immer eine sternförmige Verkabelung mit vertretbarem Aufwand realisierbar ist, sollte sie gewählt werden.

Die busförmige Verkabelung mit Koaxialkabel wird nur von Ethernet unterstützt. Damit läßt sich absehen, daß die Infrastruktur in etwa 5 Jahren nicht mehr den Anforderungen gerecht wird. Dieser Umstand kann aber bewußt einkalkuliert werden, wenn in absehbarer Zeit eine Gebäudesanierung geplant ist, bei der eine Neuverkabelung einfach durchführbar ist. Eine Umlage der Kosten auf die Nutzer ist grundsätzlich nicht möglich, da nicht kontrollierbar. Die mangelnde Betriebssicherheit läßt es ohnehin fragwürdig erscheinen, ob sich ein Aufpreis für die Netznutzung durchsetzen läßt.

Ungeschlagen ist das Cheapernet allerdings in privaten Wohngemeinschaften und kleinen Häusern. Es sind keine aktiven Netzkomponenten notwendig und das Material ist billig. Außerdem können die Installationsarbeiten von den Bewohnern quasi an einem Wochenende selbst durchgeführt werden.

Die Kabel-TV-Netze bilden eine Alternative, wo Kabelfernsehen bereits in geeigneter Technik vorhanden ist. Ohne jede Baumaßnahme kann hier ein Netzwerk kurzfristig für alle interessierten Bewohner angeboten werden. Auf diese Weise kann man Zeit gewinnen und die Installation eines Datennetzes zu einem günstigen Zeitpunkt nachholen. Langfristig ist eine separates, sternförmiges Netz in großen Gebäuden mit der dort vorhandenen hohen Anschlußdichte für die Nutzer preislich aber auch technisch günstiger.

Eine ideale Lösung bieten die Kabel-TV-Netze unter den Bedingungen, für die sie ursprünglich entwickelt wurden: Für die flächendeckende Versorgung ganzer Wohngebiete mit vielen kleinen oder mittelgroßen Gebäuden. Viele einzeln stehende Gebäude könnte man nur unter der Verwendung von Glasfaserkabeln erschließen. Hier ist das Breitbandnetz mit einer Reichweite von mehreren Kilometern eine kostengünstige Alternative.

Letztlich muß die gebäudeinterne Infrastruktur auch in Relation zur Netzanbindung gesehen werden. Geht man davon aus, daß ein bedeutender Teil des Datenverkehrs zu anderen Einrichtungen am Hochschulnetz oder ins Internet verläuft, so ist als lokales Netz ein Standard-Ethernet solange ausreichend, wie die Netzanbindung nur über eine langsame Standleitung (bis 128 kBit/s) realisiert ist.

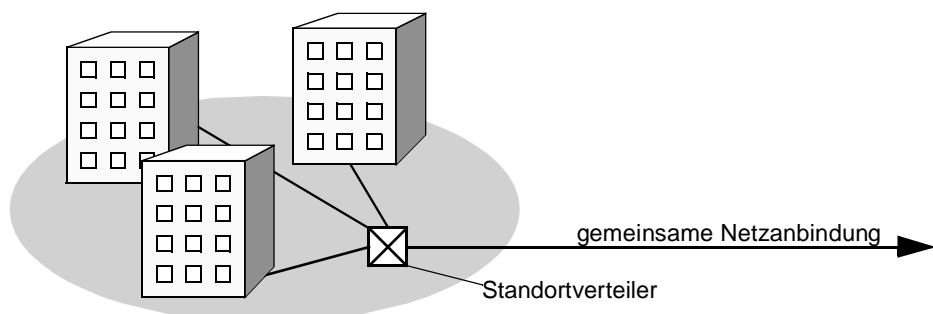
Kapitel 4

Gebäudeanbindung

Nach der Vorstellung verschiedener Techniken für die hausinterne Verkabelung soll in diesem Kapitel die Verbindung der Gebäude untereinander und die Anbindung zum Hochschulnetz behandelt werden.

Häufig befinden sich die Wohnanlagen nicht direkt auf dem Campusgelände oder in der Nähe eines Aufpunkts zum Hochschulnetz, so daß eine direkte Kabelverbindung aufwendig oder nicht realisierbar ist. Die in diesem Fall verfügbaren Alternativen bedeuten mitunter nicht nur hohe Anschaffungskosten, sondern auch laufende Kosten (*Mietleitungen*). Es besteht die Notwendigkeit, mit möglichst wenigen solcher Verbindungen auszukommen und diese optimal zu nutzen. Daher macht es Sinn, in einer Geländeverkabelung (siehe Abschnitt 3.2 „Strukturierte Verkabelung“) benachbarte Wohnanlagen möglichst zusammenzufassen und gemeinsam ans Hochschulnetz anzuschließen.

Abbildung 4.1:
Netzanbindung
benachbarter Gebäude



Selbst dort, wo ein Aufpunkt des Hochschulnetzes direkt vor Ort ist, bietet sich eine Verbindung benachbarter Gebäude an, da der Datenverkehr zwischen den Bewohnern oder zu lokalen Servern auf diese Weise keine Ressourcen des Hochschulnetzes beansprucht.

4.1 Standortverkabelung

Die Zielsetzung, die lokalen Netze effizient zu koppeln sowie die gemeinsame Nutzung einer Netzanbindung und lokaler Server zu ermöglichen, erfordert Ver-

bindungen mit mindestens der gleichen Bandbreite wie die einzelnen LANs. Anderenfalls würde schon an dieser Stelle ein Engpaß entstehen. Bei benachbarten Gebäuden auf einem Gelände kann allerdings davon ausgegangen werden, daß eine direkte Kabelverbindung möglich ist, womit ausreichend Bandbreite bereitsteht.

4.1.1 Topologie

Der hier behandelte Planungsabschnitt entspricht dem *Primärbereich* in der strukturierten Verkabelung. Dort ist eine sternförmige Struktur vorgesehen, bei der Leitungen von allen Gebäuden in einem Standortverteiler zusammenlaufen (siehe Abbildung 3.8 und Abbildung 4.1). Dadurch eröffnen sich Vorteile ähnlich denen bei der sternförmigen Verkabelung im Tertiärbereich:

- Auf einer sternförmigen Struktur lassen sich alle anderen logischen Topologien (wie ein Ring) nachbilden.
- Alle Netzprotokolle können eingesetzt werden.
- Die Gebäude können mit unterschiedlichen Protokollen versorgt werden.
- Bei einer Unterbrechung eines Kabels oder anderen technischen Defekten ist nur das zugehörige Gebäude betroffen.
- Einzelne Gebäude können ggf. später aus dem Verbund ausgegliedert werden (z.B. Verkauf eines Gebäudes). Neue sind leicht integrierbar.

Da eine Primärverkabelung mit umfangreichen Schachtungsarbeiten verbunden sein kann, sollte an dieser Stelle darauf geachtet werden, daß eine Nutzungsdauer von mehreren Jahrzehnten gegeben ist. Dies zwingt nicht nur zu einer sternförmigen Struktur, sondern auch zu einer geeigneten Materialauswahl.

4.1.2 Wahl der Übertragungsmedien

Anders als bei der internen Verkabelung lohnt sich im Primärbereich der Einsatz von *Glasfaserkabeln* auch im Umfeld von studentischen Wohnanlagen. Bei den relativ wenigen Verbindungen spielt hier der Arbeitsaufwand für die Anschlüsse (Spleißen) eine untergeordnete Rolle. Dafür bieten sich eine Reihe von Vorteilen (vgl. Abschnitt 3.1.3 „Lichtwellenleiter“):

- Glasfaserkabel übertragen keine elektrischen Potentiale. Es gibt keine Probleme mit Erdpotentialunterschieden zwischen Gebäuden, wie man sie beim Kupferkabel hätte.
- Glasfaserkabel ist unempfindlich gegen elektromagnetische Felder. Es kann ohne weitere Vorkehrungen gemeinsam mit der Stromversorgung verlegt werden.
- Multimode-Gradientenfaser erlaubt eine Verbindungslänge von 2000m, was in jeder Hinsicht ausreichen sollte. Hingegen kann die Längenbeschränkung bei Kupferkabeln in der Praxis schnell erreicht sein, insbesondere wenn bei der Verlegung Umwege in Kauf genommen werden müssen.
- Die Übertragungsbandbreite von Glasfaserkabeln ist auch für zukünftige Anwendungen ausreichend. Die Installation genügt dem Bedarf für mehrere Jahrzehnte.

- LWL können bei geringem Außendurchmesser sehr viele Fasern vereinigen. Man kann so Redundanz für spätere Anwendungen oder eine Umgestaltung der Topologie vorsehen.

Der Argumentation des letzten Punktes folgend sollte jedes Gebäude mit mindestens 6 Fasern angebunden werden, auch wenn anfangs nur 2 benötigt werden. Bei längeren Strecken oder baulich aufwendigen Abschnitten sollte eine größere Faseranzahl erwogen werden.

Eine große Erleichterung bei der Realisierung bringt das (auch nur teilweise) Vorhandensein von Leerrohren. In diesem Fall kann das Einziehen der Kabel mit Unterstützung der Bewohner in kurzer Zeit erfolgen. Eine Alternative zu teuren Schachtungsarbeiten kann andererseits in der Verwendung von *Freileitungen* liegen. LWL sind in entsprechender Ausführung erhältlich.

4.2 Alternativen für die Netzanbindung

Selbstverständlich gelten die im letzten Abschnitt aufgezeigten Vorteile von *LWL-Verbindungen* auch für die Hochschulnetz-Anbindung. Wo immer eine Glasfaserleitung zu einem Aufpunkt des Hochschulnetzes oder zu einer daran angeschlossenen Einrichtung mit finanzierbarem Aufwand hergestellt werden kann, sollte diese Möglichkeit genutzt werden. Sie garantiert eine äußerst betriebssichere Anbindung mit mindestens der Bandbreite der lokalen Netze und ohne laufende Kosten. Die volle Palette der Netzanwendungen steht den Nutzern offen.

Eine LWL-Verbindung nicht benachbarter Gebäude über öffentlichen oder privaten Grund ist nach dem Wegfall des Leitungsmonopols der Telekom für Datenleitungen (Juli 1996) rechtlich kein Problem mehr. Beispielsweise kann die Infrastruktur der Stadtwerke in Form von Leitungskapazitäten oder von Kabelschächten in die Planung einbezogen werden. Auch die Durchführung von Schachtungsarbeiten zur Verlegung der Glasfaserkabel ist denkbar, wird bei Kosten von 100,- bis 1000,- DM je Meter aber schnell nicht mehr finanzierbar.

Im folgenden sollen daher Lösungen für die Anbindung von Wohnanlagen vorgestellt werden, auf die man zurückgreifen kann, wenn eine LWL-Verbindung ausscheidet. Dies sind im einzelnen:

- Telefonwählleitungen
- Standleitungen
- Funkverbindungen
- optische Freiraumübertragung

Die Alternativen sollen bezüglich der möglichen *Übertragungsbandbreite* und einsetzbarer Protokolle, der *Zuverlässigkeit* und nicht zuletzt hinsichtlich einmaliger und laufender *Kosten* untersucht werden.

4.3 Wählleitungen

Mit Wählleitungen sind normale *Telefonanschlüsse* gemeint, über die mittels handelsüblicher *Modems* oder ISDN-Karten Daten übertragen werden. Die Verbindung steht nicht dauerhaft zur Verfügung, sondern wird bei Bedarf oder zu

festen Zeiten aufgebaut. Dabei fallen die üblichen Telefongebühren im Ortstarif an. Die Hochschule muß einen Einwahlknoten (*Access-Server*) mit Modems als Gegenstelle bereitstellen.

Diese Technik richtet sich vorwiegend an Einzelpersonen, die von ihrem heimischen PC aus arbeiten und Netzdienste nutzen wollen. Mit einer entsprechenden Konfiguration ist es aber auch möglich, ein ganzes LAN über eine Wählleitung an das Hochschulnetz anzubinden. Im TCP/IP-Umfeld stehen für eine solche serielle Verbindung die Protokolle SLIP (Serial Line Internet Protocol) und PPP (Point to Point Protokoll) zur Verfügung. PPP kann transparent aber auch andere Netzprotokolle als TCP/IP übertragen.

Wählverbindungen gibt es in zwei Ausführungen: basierend auf *analogen* und *digitalen* (ISDN) Telefon-Anschlüssen.

4.3.1 Analoge Wählverbindungen

Die Verbindung wird über einen gewöhnlichen, analogen Telefonanschluß aufgebaut. Dabei kommen handelsübliche Modems zum Einsatz. Die *Modems* modulieren die digitalen Datensignale auf den analogen Fernsprechkanal und wandeln die analogen Signale der Gegenstelle wieder in digitale Signale zurück. Dabei wird die mögliche Übertragungsgeschwindigkeit durch die begrenzte Bandbreite des Fernsprechnetzes von 3,1 kHz (300 Hz bis 3400 Hz) stark eingeschränkt.

Schnittstellen für die Datenübertragung in Fernsprechnetzen wurden von der *CCITT* (Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique) und deren Nachfolger *ITU* (International Telecommunication Union) in den V.-Standards festgelegt. Moderne Modems erreichen mit dem V.34 Protokoll eine Geschwindigkeit von 28.800 Bits/s. Einige noch nicht genormte Erweiterungen erlauben sogar 33.600 Bits/s auf Leitungen guter Qualität. Mit dieser Geschwindigkeit ist die physikalische Obergrenze im analogen Fernsprechnet annähernd erreicht. Der Einsatz von Datenkompressionsverfahren nach V.42bis führt zu einer Steigerung des effektiven Durchsatz – allerdings nur, wenn die zu übertragenden Daten nicht bereits komprimiert sind. Telefonmodems sind mit einer asynchronen, seriellen Schnittstelle (V.24) ausgestattet und werden an die RS232-Schnittstelle eines PCs angeschlossen.

Abbildung 4.2:
Anbindung über
analoge Leitungen

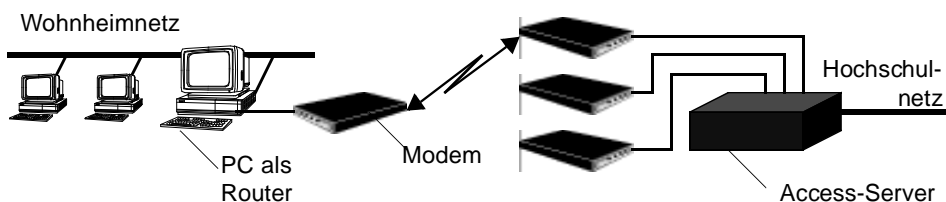


Abbildung 4.2 zeigt schematisch die Anbindung über eine Wählleitung. Ein PC im Wohnheimnetz stellt die logische Verbindung zwischen der Modem-Strecke und dem lokalen Netz her. Er übernimmt also eine Router-Funktion (siehe Abschnitt 5.1.2 „Repeater, Bridge und Router“). Es bietet sich an, diesen PC gleichzeitig als Server für Netzdienste einzusetzen.

Auf Seiten des Hochschulnetzes könnte genauso ein PC die Weiterleitung der Daten vom Netz auf die Modem-Verbindung übernehmen. Häufig werden aber eine ganze Reihe von Modem-Eingängen angeboten, damit Mitarbeiter und Studierende von zu Hause arbeiten können. Aus Gründen der Verfügbarkeit und ein-

facher Administration empfiehlt sich die Anschaffung einer dedizierten Hardware für diese Aufgabe (Access-Server). Moderne Geräte vereinigen Modems, Router und Steuereinheit in einem Gehäuse.

Die Anbindung kann ausgehend vom Wohnheim zu festen Zeiten oder nach Bedarf aufgebaut werden. Solange die Verbindung steht, sind alle Rechner im lokalen Netz vollwertige Teilnehmer des Hochschulnetzes. Da die Verbindungsdauer einige Stunden pro Tag betragen kann, sollte ein separater Telefonanschluß für diese Art der Anbindung vorgesehen werden.

4.3.2 Digitale Wählleitungen

Seit Mitte der achtziger Jahre wird das Fernsprechnet zu einem universalen digitalen Telekommunikationsnetz modernisiert. *ISDN* (Integrated Services Digital Network) vereinigt durch die digitale Übertragung Text, Daten und Sprache. ISDN-Teilnehmeranschlüsse können mittlerweile flächendeckend bereitgestellt werden.

Der für Endanwender konzipierte Basisanschluß besteht aus zwei B-Kanälen mit 64 kBit/s zur Übertragung von Nutzdaten und einem D-Kanal mit 16 kBit/s zur Steuerung. Die beiden B-Kanäle können unabhängig voneinander für Daten oder Sprache genutzt werden. Ein ISDN-Anschluß entspricht also einem vollwertigen Doppelanschluß.

Für einen ISDN-Anschluß installiert die Telekom beim Teilnehmer einen *Network Terminator (NT)*, der über eine herkömmliche Zweidrahtleitung (U_{k0}) mit einer digitalen Vermittlungsanlage verbunden ist. Der NT stellt eine busförmige Vierdrahtleitung mit der Bezeichnung S_0 zur Verfügung, an der der Teilnehmer mehrere Endgeräte wie Telefone, PCs oder Faxgeräte betreiben kann. Die Schnittstelle ist von der CCITT im Standard I.430 festgelegt.

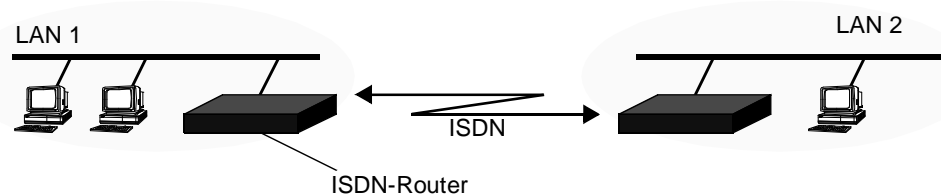
Zum Anschluß eines PCs gibt es sowohl Adapterkarten als auch externe, Terminaladapter genannte Geräte. Einfache PC-Adapterkarten sind passiv; hier wird für die ISDN-Kommunikation die Rechenleistung des PCs mitbeansprucht. Aktive Karten hingegen enthalten einen Prozessor, der das ISDN-Protokoll abwickelt, und entlasten damit das System. Terminaladapter sind externe Geräte, die wie analoge Modems angesprochen und angeschlossen werden. Da eine direkte Datenübertragung von ISDN-Geräten zu analogen Modems nicht möglich ist, enthalten einige dieser Terminaladapter ein V.34-Modem, um mit Gegenstellen aus beiden Welten kommunizieren zu können.

Mit dem Daten-Übertragungsprotokoll X.75 kann man die 64 kBit/s eines B-Kanals voll nutzen und kommt auf einen Durchsatz von knapp 8 kByte/s. Das Protokoll V.110 adaptiert hingegen niedrigere Geschwindigkeiten wie 9,6, 19,2 oder 38,4 kBit/s und wurde in der ISDN-Anfangszeit häufiger eingesetzt. Der erweiterte Nachfolger V.120 ist vorrangig in Amerika verbreitet. Speziell für die Netzanbindung via ISDN bietet sich das *transparente HDLC-Protokoll* in Verbindung mit PPP an (umfassend behandelt in [24]). Einige Karten haben ferner die Möglichkeit, die beiden B-Kanäle zu einem Datenübertragungskanal zusammenzufassen und so den Durchsatz zu verdoppeln. Dies ist aber genau wie die zusätzliche Kompression nach V.42bis nicht standardisiert und funktioniert meist nur mit zwei Geräten des gleichen Herstellers.

Die Konfiguration in Abbildung 4.2 mit einem PC als Router läßt sich genau so mit ISDN aufbauen. Dabei tritt an die Stelle der Modems ein externer Terminal-

adapter oder eine PC-Steckkarte. Für die Verbindung lokaler Netze über ISDN ist aber auch eine andere Variante üblich, die Abbildung 4.3 zeigt.

Abbildung 4.3:
LAN-Kopplung mit
ISDN-Routern



Mit dem Einsatz von ISDN-Routern wird die Netzanbindung funktional von einem PC getrennt. Ein spezieller PC kann entfallen. Außerdem ist eine höhere Verfügbarkeit zu erwarten. Neben dem manuellen oder zeitgesteuerten Verbindungsaufbau kann die LAN-Kopplung von ISDN-Routern auch automatisch aufgebaut werden, sobald auf das Netz der Gegenseite zugegriffen wird. Dies wird möglich, da der Auf- und Abbau von Verbindungen im ISDN sehr zuverlässig ist und weniger als eine Sekunde dauert. Für den Anwender verhält sich die Wählleitung dann wie eine permanente Verbindung.

4.3.3 Bewertung der Wählleitungen

Analoge Wählleitungen können kaum als Netzanbindung zählen. Vielmehr handelt es sich um die gemeinsame Nutzung einer Modemverbindung. Hiermit lassen sich Offline-Dienste wie E-Mail realisieren. Um interaktiv zu arbeiten oder WWW zu nutzen, reicht die Bandbreite höchstens ein bis drei Personen. Die Nutzung wird weiter eingeschränkt, da die Leitung nicht zu jeder Zeit bereitsteht. Bewohner einer privaten Wohngemeinschaft können aber die Netznutzung zeitlich koordinieren und im Vergleich zu Einzelverbindungen Telefongebühren sparen.

ISDN-Verbindungen bieten mehr Datendurchsatz und kommen schon für größere Teilnehmergruppen in Frage. Der automatische Verbindungsaufbau erlaubt einen Betrieb der Wählleitung wie eine Standleitung. Die Bewohner können jederzeit arbeiten und sind immer von außen erreichbar. Diese Lösung birgt aber Gefahren bezüglich der laufenden Kosten. Solange die Verbindung besteht, fallen die üblichen Telefongebühren an. Wird aufgrund von intensiver Nutzung oder fehlerhafter Konfiguration ständig eine Verbindung aufgebaut, so können die Gebühren schnell die einer Standleitung übersteigen. Die Verbindung muß also sehr maßvoll genutzt werden und bedarf der ständigen Überwachung. Ähnliches gilt natürlich auch für die analogen Wählleitungen.

Die Anschaffungskosten sind sehr gering. Normale Telefonanschlüsse werden genutzt. Je nach Konfiguration betragen die Kosten pro Seite für ein Modem 300,- DM bis 2500,- DM für einen ISDN-Router. Der Anschluß-PC kann ein gebrauchtes Gerät der unteren Leistungsklasse sein oder gleichzeitig andere Aufgaben wahrnehmen. Da die Kosten für ISDN-Produkte und -Anschlüsse sinken, sollte möglichst eine digitale Leitung gewählt werden. Die laufenden Kosten sind gleich, der Durchsatz liegt aber deutlich höher und sowohl der Verbindungsaufbau als auch der Betrieb ist stabiler und weniger anfällig.

4.4 Standleitungen

Standleitungen oder permanente Verbindungen über Fernmeldetechnik heißen im Telekom-Sprachgebrauch *Standard-Festverbindungen (SFV)*. Sie stellen einen permanenten Übertragungsweg zwischen zwei Anschlüssen dar. Im Gegensatz dazu beinhalten die *Datendirektverbindungen* zusätzlich Anschaltgeräte (Modems) und stellen eine definierte Datenschnittstelle bereit.

Neben den gemieteten Festverbindungen kommen auch eigene Leitungskapazitäten für eine Anbindung in Frage. Eigene Leitungen können etwa im Rahmen einer Telefon-Nebenstellenanlage oder für Steuerungsaufgaben zwischen größeren Wohnkomplexen liegen. Die Nutzung eigener Leitungen ist gebührenfrei und damit zu bevorzugen.

Mit dem Wegfall des Leitungsmonopols für Datenverbindungen im Rahmen des Telekommunikationsgesetzes (Juli 1996) beschränkt sich die Liste der Anbieter nicht mehr nur auf die Telekom. Auch andere Carrier z. B. Stadtwerke und Energieversorger können eine Festverbindung für die Anbindung bereitstellen. Zur Zeit gibt es aber noch keine flächendeckenden Anbieter, so daß hier nur auf die Telekom-Angebote eingegangen wird.

Die Telekom unterscheidet im Ortsbereich zwei Tarifzonen bei Festverbindungen:

- Die *Ortszone 1 (OZ1)* erstreckt sich auf den Einzugsbereich einer Vermittlungsanlage und deckt damit meist nur einen Teil eines Ortes ab. Der Preis ist unabhängig von der Entfernung.
- Verbindungen in einem Ortsnetz, die über mehrere Vermittlungen laufen, fallen in die *Ortszone 2 (OZ2)*. Die Preise sind genauso wie bei den Fernverbindungen abhängig von der Entfernung.

Auch bei den Standard-Festverbindungen kann man analoge und digitale Anschlüsse unterscheiden.

4.4.1 Analoge Standleitungen

Analoge Festverbindungen sind nichts weiter als permanente Zweidraht- oder Vierdraht-Leitungen der Fernmeldetechnik. Je nach Entfernung können Verstärker, aber auch Multiplexer zwischengeschaltet sein.

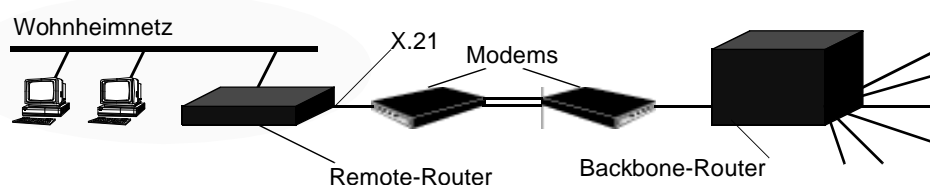
Unter den analogen Standard-Festverbindungen der Telekom kommt die Zweidrahtleitung vom Typ „*Analog TG*“ in Frage. Sie ist insbesondere in der Ortszone 1 kaum teurer als ein Telefonanschluß mit einigen Stunden Gebührenaufkommen. Die einmaligen Installationskosten sind aber deutlich höher. Daher sollte ein längerer Nutzungszeitraum anvisiert werden.

Prinzipiell kann man auf einer analogen Festverbindung die gleichen Modems einsetzen wie für analoge Wählleitungen. Die Modems müssen aber standleitungstauglich sein. Die Konfiguration ist damit genau wie in Abbildung 4.2 gezeigt. Der Durchsatz liegt bei 33.600 kBit/s plus Datenkompression. Als Protokolle kommen auch hier SLIP und PPP zum Einsatz.

Spezielle Standleitungsmodems erreichen höhere Geschwindigkeiten bis 128 kBit/s auf Zweidrahtverbindungen und auf analogen Mietleitungen. Bei hauseigenen Leitungen kann man je nach Länge und Qualität mit einer Vierdrahtleitung Geschwindigkeiten bis 2 MBit/s erreichen, was eine adäquate

Anbindung für ein lokales Ethernet bedeutet. Der Einsatz solcher Hochgeschwindkeitsmodems auf Telekom-Leitungen kann in Ausnahmefällen (kurze, direkt durchgeschaltete Leitung) auch funktionieren, entspricht aber nicht den Zulassungsbestimmungen.

Abbildung 4.4:
Serielle
Routeranbindung



Standleitungsmodems mit 64 kBit/s und mehr werden nicht über eine asynchrone (V.24), sondern über eine synchrone serielle Schnittstelle angeschlossen (X.21 oder V.35). Entsprechende Schnittstellen werden zwar von einigen Herstellern als PC-Adapterkarte angeboten, es empfiehlt sich aber der Anschluß an einen dedizierten Router. Im anzubindenden Gebäude wird ein kleiner *Remote-Router* mit nur einer Ethernet- und einer X.21-Schnittstelle installiert, der an einen zentralen Backbone-Router des Hochschulnetzes angebunden wird. Als Protokoll auf seriellen Punkt-zu-Punkt-Verbindungen zwischen Routern wird in der Regel das HDLC-Protokoll eingesetzt.

4.4.2 Digitale Standleitungen

Digitale Festverbindungen stellen ein Leitungsprotokoll zur Verfügung und benötigen entsprechende Anschlußgeräte. Es handelt sich um festgeschaltete ISDN-Verbindungen.

Die Telekom unterscheidet Varianten mit nur einem B-Kanal (Digital 64S), mit einem B- und einem D-Kanal (Digital TS01) und einen vollen ISDN-Umfang mit zwei B-Kanälen und einem D-Kanal (Digital TS02). In der Ortszone 1 kosten alle Varianten gleich viel, so daß man immer TS02 mit 128 kBit/s nutzen sollte.

Für schnellere Verbindungen kommt eine weitere ISDN-Variante ins Spiel: der *Primärmultiplexanschluß* mit dem S_{2M} -Bus. Ein Primärmultiplexanschluß besteht in Europa aus 30 B-Kanälen mit den üblichen 64 kBit/s und einem D-Kanal mit ebenfalls 64 kBit/s. Durch Bündelung der 30 Kanäle erreicht man eine Übertragungsbandbreite von 1920 kBit/s. Die Schnittstelle ist nach CCITT G.703 genormt. Eine 2-MBit-Leitung entspricht in der europäischen Übertragungshierarchie dem Typ E1 (die weiteren Typen sind je viermal schneller: E2 = 8 MBit/s, E3 = 34 MBit/s und E4 = 140 MBit/s).

Die Telekom-Bezeichnung für eine 2-MBit-Festverbindung lautet „Digital T2MS“. Leitungen mit 34 MBit/s und 140 bzw. 155 MBit/s sind ebenfalls erhältlich, kommen aber aufgrund des hohen Preises nicht in Betracht.

Die Konfiguration einer ISDN-Festverbindung mit 64 oder 128 kBit/s ist die gleiche wie bei der ISDN-Wählverbindung. Es können sowohl PC-basierte Lösungen als auch dedizierte ISDN-Router zum Einsatz kommen (siehe Abbildung 4.3). Für den Anschluß von 2-MBit-Standleitungen gibt es spezielle Terminaladapter zum Anschluß der G.703-Schnittstelle an ein X.21-Gerät. Diese Konfiguration gleicht also der von schnelleren, analogen Standleitungen (siehe Abbildung 4.4).

4.4.3 Bewertung der Standleitungen

Mit Standleitungen kann ein Gebäude permanent an das Hochschulnetz angebunden werden. Die Bewohner haben jederzeit Zugriff auf Netzdienste und auf Rechnern in den Hochschuleinrichtungen. Die ständig bestehende Verbindung erlaubt auch ein eigenes Angebot von Netzdiensten über einen Server in der Wohnanlage.

Besteht eine Chance mit eigenen Leitungskapazitäten eine Verbindung herzustellen, so entstehen keine laufenden Kosten. Modems für den Inhouse-Betrieb sind zudem günstiger, da sie keine BZT-Zulassung benötigen. Ferner sind mit eigenen Leitungen auch schnelle analoge Festverbindungen realisierbar.

Mietleitungen werden in allen Geschwindigkeitsklassen angeboten. Die Gebühren hängen von der eingekauften Bandbreite ab, nicht aber von der Nutzungsdauer. Sie sind damit gut kalkulierbar. Die Tatsache, daß die Verbindung ständig besteht, gestaltet die Benutzung auch bei niedriger Bandbreite angenehmer. So kann die Nutzung gleichmäßig auf den ganzen Tag verteilt werden – etwa Verlagerung von Datentransfers in die Nacht. Kleinere Wartezeiten können gelassener gesehen werden, wenn kein Gebührenzähler mitläuft.

Ähnlich wie bei den Wählleitungen eignen sich analoge Zweidraht-Verbindungen mit PC-Modems nur für kleinere Gebäude. Die nächste Leistungsklasse bilden ISDN-Festverbindungen, wobei in der Ortszone 1 128 kBit/s recht günstig angeboten werden. Damit besteht eine Lösung für mittelgroße Gebäude. Für große Gebäude oder bei intensiver Nutzung interaktiver grafischer Anwendungen wäre eine 2-MBit-Leitung angemessen. Die damit verbundenen laufenden Kosten sind aber erheblich.

Im Ortsbereich zeichnen sich Festverbindungen durch eine sehr hohe Verfügbarkeit aus. Mit geeigneter Hardware (Router-Lösung) liegt die Ausfallhäufigkeit im Promillebereich. Problematisch können schnellere Verbindungen auf Basis von analogen Leitungen sein. Die erreichbare Übertragungsrate hängt von der Leitungsqualität und -länge ab. Erst eine Messung oder ein Test kann Klarheit darüber verschaffen, ob die gewünschte Übertragungsrate erreicht wird.

4.5 Funkverbindungen

Als Alternative zu Glasfaser-Verbindungen oder Standleitungen kommt ein Funk-System in Frage. Es handelt sich um eine *nicht-leitungsgebundene Datenübertragung*. Wie bei den Breitbandnetzen in Abschnitt 3.6 „Kabel-TV Netze“ werden die Datensignale auf eine bestimmte Trägerfrequenz aufmoduliert und beim Empfänger wieder zurückgewonnen. Der Bandbreitenbedarf eines solchen Signals steigt mit der gewünschten Übertragungsrate. Will man eine angemessene Geschwindigkeit für die Anbindung eines LANs erreichen (etwa 2 MBit/s), so benötigt man eine Bandbreite von einigen Megahertz im Frequenzspektrum.

Da das Frequenzspektrum im unteren Bereich mit vielfältigen Diensten wie Rundfunk, Sprechfunk, Mobiltelefone, Fernschreiben etc. eng belegt ist, muß man mit den drahtlosen Netzen in höhere Frequenzbereiche ausweichen. Alle Systeme arbeiten im Gigahertz-Bereich – daher die Bezeichnung *Mikrowellen-Funkstrecken*. Die Ausbreitungsbedingungen in diesem Frequenzbereich sind sehr viel begrenzter als etwa in der Kurzwelle oder der Ultrakurzwelle. Hinder-

nisse wie Gebäude dämpfen die Signale stark, so daß zwischen Sender und Empfänger eine *Quasi-Sichtverbindung* bestehen muß.

Bei den Funkverbindungen kann man zwei grundsätzliche Arten unterscheiden:

1. Richtfunkverbindungen mit einer exklusiv zugewiesenen Frequenz
2. Funknetze ohne exklusiv zugewiesene Frequenz

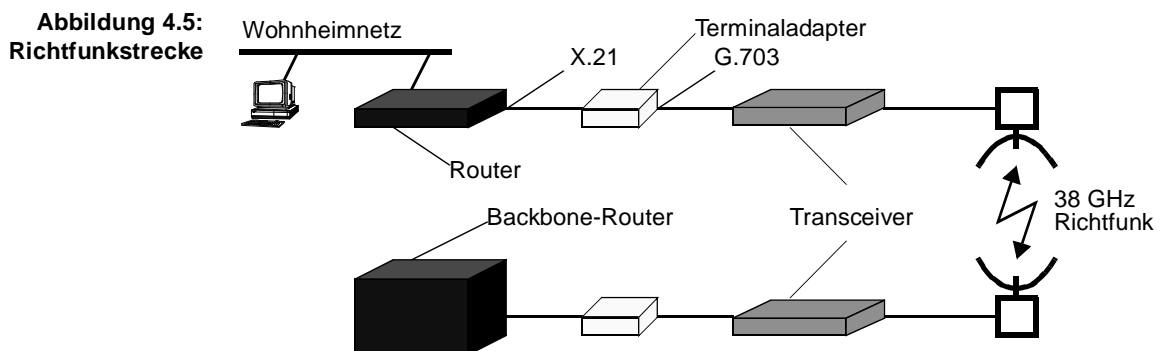
Beide Varianten kommen für die Gebäudeanbindung in Frage.

4.5.1 Richtfunkverbindungen

Die Richtfunk-Systeme stammen aus dem Telekommunikationsbereich. Sie benötigen zum Betrieb eine eigene Frequenz, die in ihrer Umgebung von keinem anderen Funkdienst belegt ist. Als Modulationsverfahren wird *Frequenzumtastung (FSK)* oder *Phasenumtastung (PSK)* eingesetzt. Die Übertragungsrate von 2 MBit/s vollduplex belegt beispielsweise bei den einfachsten Varianten dieser Verfahren 7 MHz Bandbreite. Die Trägerfrequenzen der Systeme liegen vorwiegend im Bereich von 37 bis 39,5 GHz oder im Bereich von 21 bis 23,5 GHz.

Für den Betrieb muß beim Bundesamt für Post und Telekommunikation (BAPT) eine Frequenz beantragt werden. Das BAPT führt eine Funkfeldberechnung (Wellenausbreitung in dem Geländeabschnitt, Dämpfung durch Hindernisse und sonstige Faktoren) durch und erteilt eine Betriebsgenehmigung. Mit der Berechnung wird sichergestellt, daß keine Beeinflussung anderer Funkdienste auftritt. Gegebenenfalls müssen weitere Genehmigungen, etwa von militärischen Nutzern, eingeholt werden. Auch eine Reduzierung der Sendeleistung kann vorgeschrieben werden.

Die Richtfunkssysteme bieten einen Durchsatz von n-mal 2 MBit/s und verfügen über eine G.703-Schnittstelle (vgl. Abschnitt 4.4.2 „Digitale Standleitungen“). Mit Terminaladaptern ist der Anschluß an eine X.21-Schnittstelle eines Routers möglich. Neuere Systeme bieten sogar Übertragungsgeschwindigkeiten von 34 MBit/s oder 155 MBit/s.



Die Antenne ist ein Parabolspiegel von 15cm bis 50cm Durchmesser. Damit erreicht man eine hohe Richtwirkung des Signals (Öffnungswinkel ca. 1°) und einen großen Antennengewinn (ca. 40 dBi), so daß die relativ geringe Ausgangsleistung der Systeme (bis 100 mW) für Entfernungen von mehreren Kilometern ausreicht. Die Antennen müssen selbstverständlich gut justiert werden.

Die Technik für Geräte, die in den hohen Frequenzbereichen arbeiten, ist vergleichsweise aufwendig und wird in geringen Stückzahlen hergestellt. Daher

wundert es wenig, daß die Richtfunk-Systeme ab 50.000,- DM für eine 2-MBit-Verbindung kosten.

4.5.2 Funk-Netze

Die exklusive Zuweisung einer Frequenz für jede Übertragungsstrecke ist recht aufwendig und kommt nur für feste Verbindungen in Frage. Aus dem Bereich der Mobilfunktechnik und der Funk-LANs für den Inhouse-Betrieb (etwa für kabellose Netze zwischen Laptops) stammt ein anderes Verfahren, das ohne eine reservierte Frequenz auskommt. Hier arbeiten mehrere Geräte unabhängig voneinander im gleichen Frequenzbereich.

Die Funk-LANs verwenden üblicherweise Frequenzbereiche, die für industrielle, wissenschaftliche oder medizinische Anwendungen (sog. *ISM-Bänder*) und Funkanlagen kleiner Leistung freigegeben sind. Auf den ISM-Bändern ist kein Funkdienst anderen bevorzugen; Störungen sind möglich und müssen hingenommen werden [5]. Dafür ist keine Anmeldung der Geräte erforderlich. Sehr häufig wird für Funk-LANs der ISM-Bereich im 2,4-GHz-Band (2,400 bis 2,4835 GHz) genutzt. Dabei ist zu bemerken, daß in diesem Bereich auch die Haushalts-Mikrowellengeräte arbeiten.

Um in dem ungünstigen Umfeld dennoch Daten übertragen zu können, verwendet man Verfahren, die unter dem Oberbegriff *Spreizspektrummodulation* zusammengefaßt werden (siehe Seite 190ff in [8]). Ist man sonst bemüht, für ein zu übertragenes Signal eine möglichst geringe Bandbreite im Frequenzspektrum zu belegen, so wird hier das Signal künstlich auf ein Frequenzband verbreitert (beispielsweise ein Datenstrom mit einer Übertragungsrate von 1 MBit um den Faktor 100 auf ein Band mit 100 MHz Breite).

Die Idee stammt ursprünglich aus militärischen Anwendungen. Neben der Möglichkeit, daß mehrere Stationen unabhängig voneinander *im gleichen Frequenzbereich* betrieben werden können, sind noch weitere Vorteile damit verbunden:

- relativ hohe *Unempfindlichkeit gegen Störungen*
- *Abhörsicherheit*; das Signal ist mit normalen Empfängern kaum wahrnehmbar (nur erhöhtes Grundrauschen)
- *hohe Reichweite* bei geringer Sendeleistung
- bei mehreren Stationen sind *einzelne adressierbar* (Punkt-zu-Punkt-Übertragung)
- Gruppen von mehreren Stationen können gebildet werden (*Punkt-zu-Mehrpunkt-Übertragung*)

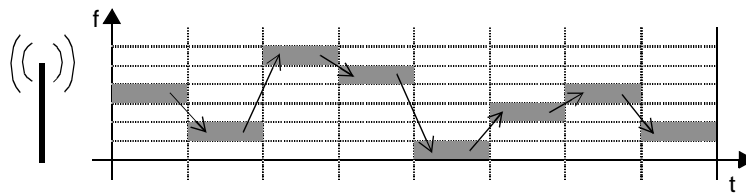
Für Funk-LANs kommen zwei Verfahren zum Einsatz: *Frequency-Hopping* und *Direktsequenz-Spreizspektrum-Verfahren*.

Frequency-Hopping-Verfahren

Das Nutzsignal wird auf ein Trägersignal aufmoduliert, das in kurzen Abständen innerhalb eines Frequenzbandes die Frequenz wechselt. Im 2,4-GHz-Band zum Beispiel im Abstand von wenigen Millisekunden zwischen 80 Kanälen mit je 1 MHz Bandbreite.

Die Reihenfolge der Kanäle beim Frequenzwechsel wird durch eine vorgegebene oder pseudozufällige Codesequenz bestimmt. Der Empfänger synchronisiert sich

Abbildung 4.6:
Frequency-Hopping



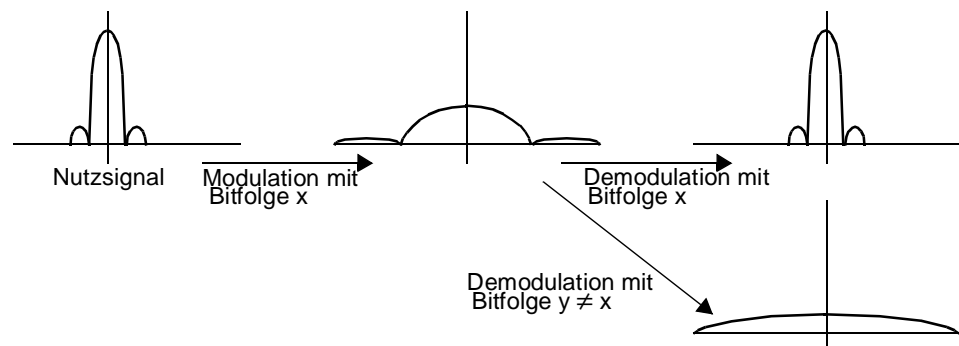
auf die Folge des Senders und kann dann das Signal aufnehmen. Durch die Verwendung von unterschiedlichen Codesequenzen mit möglichst geringer Kreuzkorrelation können mehrere Geräte im gleichen Frequenzbereich arbeiten. Punktuelle Störsignale im Frequenzbereich beeinflussen die Übertragung nur wenig.

Ein ähnliches Verfahren wird bei digitalen Mobilfunktelefonen verwendet.

Direktsequenz-Spreizspektrum-Verfahren

Bei dieser Variante wird der Träger durch Phasenumtastung nicht nur mit den Nutzdaten moduliert, sondern zusätzlich mit einer Bitfolge, die eine viel höhere Bandbreite aufweist. Die Bitfolge kann etwa eine Pseudozufallsfolge sein. Im Empfänger werden die Nutzdaten durch Mischen des empfangenen Signals mit der gleichen, bit-synchronen Codesequenz wiedergewonnen. Mit diesem Verfahren wird das Nutzsignal über ein Frequenzband nahezu gleichmäßig gespreizt. Die Bandbreite des Signals hängt von der Bitrate der Zahlenfolge ab.

Abbildung 4.7:
Direktsequenz-Spreizspektrummodulation



Eine Betrachtung der Signaldemodulation im Empfänger zeigt weitere Effekte des Verfahrens: Schmalbandige Störsignale werden durch die Überlagerung mit der Codesequenz zu einem breitbandigen, schwachen Signal. Genauso wird das Signal einer anderen Station mit einer abweichenden Pseudozufallsfolge im Empfänger weiter abgeschwächt. Lediglich das Signal mit der gleichen Codesequenz wird aus dem breiten Spektrum wieder zu einem starken und schmalbandigen Signal zurückgewonnen.

Genügend viele Pseudozufallsfolgen mit geringer Kreuzkorrelation vorausgesetzt, erlaubt dieses Verfahren, viele Geräte unabhängig voneinander auf der gleichen Trägerfrequenz zu betreiben. Solche Bitfolgen lassen sich konstruieren. Der Aufwand an Digitaltechnik für das Wiederauffinden der richtigen Codesequenz ist aber erheblich und erst in den letzten Jahren kostengünstig realisierbar geworden.

Wie eingangs schon erwähnt, stammen die Geräte mit Spreizspektrummodulation eher aus dem Inhouse-Bereich mit Entfernungen unter 100m. In Verbindung

mit Außenantennen mit einer gewissen Richtwirkung (Senden mit starker Richtwirkung ist nicht zulässig) lassen sich aber Übertragungsstrecken mit einer Reichweite von über einem Kilometer bei einer Geschwindigkeit von 2 MBit/s erzielen. Der Nettodurchsatz lag bei einem Praxistest immerhin im Bereich von 80 bis 150 kByte/s. Solche Geräte für die Verbindung von Gebäuden kosten ca. 5000,- DM pro Stück. Sie arbeiten als Bridge, verfügen über eine eingebaute Ethernet-Schnittstelle und sind somit ohne weiteren Aufwand in ein LAN integrierbar. Andere Produkte mit geringerer Übertragungsgeschwindigkeit sind mit einer seriellen Schnittstelle (asynchron: V.24 oder synchron: X.21) ausgestattet.

4.5.3 Bewertung der Funkverbindungen

Richtfunkverbindungen stellen eine Alternative zu längeren Standleitungen mit höheren Geschwindigkeiten dar. Die Anschaffungskosten um 50.000,- DM sind erheblich, können aber schon nach zwei bis drei Jahren günstiger sein als eine 2-MBit-Mietleitung. Beide Alternativen kommen ohnehin nur bei der Anbindung großer Gebäude mit hoher Anschlußdichte in Frage. Die Richtfunk-Systeme benötigen allerdings eine Sichtverbindung. Kompliziert wird die Errichtung dadurch, daß erst eine eigene Frequenz beantragt werden muß. Im Betrieb sind dafür jährliche Gebühren zu entrichten, die aber vergleichsweise gering ausfallen.

Die Richtfunkssysteme im 38-GHz-Band arbeiten nach fachgerechter Installation sehr zuverlässig. Nur bei extremen Niederschlägen kann es zu Ausfällen kommen. Eine Verfügbarkeit von über 99% kann man daher erwarten. Die Geschwindigkeit von 2 MBit/s steht in der Praxis auch zur Verfügung und ist ausreichend für die Anbindung eines lokalen Ethernet. Der Aufpreis für Geräte mit Vielfachen von 2 MBit/s oder gar 34 MBit/s Übertragungsrate beträgt nur noch einen Teil des Einstandspreises und eine spätere Erweiterung ist möglich. So können auch Lösungen für datenintensive Anwendungen bereitgestellt werden.

Die Geräte aus dem Bereich Funk-Netze können für kürzere Entfernungen (einige hundert Meter) eingesetzt werden. Sie sind deutlich billiger. Da die ISM-Bänder genutzt werden, kommen diese Systeme ohne eigene Frequenz aus und sind sofort einsetzbar. Gleichzeitig muß im ISM-Umfeld aber mit Störquellen gerechnet werden, so daß ein reibungsloser Betrieb nicht garantiert werden kann. In Wohngebieten sind vor allem die Haushalts-Mikrowellengeräte kritisch zu sehen.

Treten Störquellen auf oder laufen viele Geräte gleichzeitig, so äußert sich dieses in einem verminderten Durchsatz. Bei Geräten mit Direktsequenz-Spreizspektrum-Modulation ist in der Praxis eine höhere Übertragungsleistung zu erwarten als bei denen mit Frequency-Hopping. Es empfiehlt sich in jedem Fall, vor dem endgültigen Kauf einen Test vor Ort durchzuführen.

Neben der reinen Punkt-zu-Punkt-Verbindung können bei den Funk-Netzen auch mehrere Stationen mit einer Master-Station kommunizieren. Einige Produkte erlauben sogar die Errichtung von Relaisstationen zur Überbrückung von weiteren Entfernungen oder zur Umgehung von Hindernissen sowie den Aufbau von hierarchischen Netzstrukturen mit Subnetzen. Auf diese Weise können auch mehrere vereinzelt stehende Gebäude frei von laufenden Kosten angebunden werden.

Nach den gültigen Zulassungsbestimmungen ist das Einsatzgebiet der Funknetze sehr begrenzt. Die Geräte dürfen nur innerhalb der Grenzen eines Grundstücks oder auf einem Gelände eingesetzt werden, das eine wirtschaftliche Einheit bildet und nur durch leichtüberwindbare Hindernisse (z. B. Verkehrswege, Gewässer) geteilt ist. Eine Versorgung von Einzelgebäuden mit einem Funknetz, die über eine ganze Stadt verteilt sind, wäre zwar technisch denkbar, ist aber nicht zulässig. Es bleibt zu hoffen, daß in der Folge des neuen Telekommunikationsgesetzes eine Lockerung der Regelung erfolgt.

Ohne den Einsatz kryptographischer Verfahren sind alle Funksysteme prinzipiell abhörbar, auch wenn dies etwas technischen Aufwand und Fachwissen erfordert. Für das in dieser Arbeit behandelte Umfeld sollte das Risiko aber vertretbar sein.

4.6 Optische Freiraumübertragung

Die optische Freiraumübertragung wird auch als *optischer Richtfunk* bezeichnet. Ähnlich wie bei der Datenübertragung über Lichtwellenleiter (siehe Abschnitt 3.1.3 „Lichtwellenleiter“) wird eine Lichtquelle mit Datensignalen moduliert. Die Lichtsignale werden aber nicht über ein Glasfaserkabel geleitet, sondern drahtlos und gerichtet in die Atmosphäre abgestrahlt. Dabei bedient man sich der *Laser-Technik*.

Das Licht eines Lasers ist punktförmig gebündelt und zeichnet sich durch eine äußerst geringe Streuung aus. Auch nach einem Kilometer weist der Lichtstrahl eines Lasers noch eine hohe Intensität und einen Durchmesser im Zentimeterbereich auf. Daher wird eine Übertragung über längere Distanzen möglich.

4.6.1 Laser-Übertragungssysteme

Eine Laserübertragungsstrecke besteht aus zwei Endgeräten, die jeweils einen Sender (Laserdiode) und einen Empfänger (Photodiode) beinhalten. Sender und Empfänger arbeiten unabhängig voneinander, was eine Vollduplex-Übertragung ermöglicht. Die Laser senden Licht im infraroten Spektrum mit einer Wellenlänge um 800nm aus. Der Lichtstrahl ist also mit bloßem Auge nicht sichtbar.

Die Philosophie der Laser-Übertragungssysteme ist der Ersatz eines LWL-Kabels. Die Geräte bieten meist einen Glasfaseranschluß und arbeiten als Signalumsetzer zwischen einer leitungsgebundenen und einer leitungsungebundenen optischen Übertragung. Die Umsetzung erfolgt vollständig protokolltransparent, was den Einsatz der Geräte für alle Netzprotokolle gestattet, die für optische Übertragung spezifiziert sind. Der Anschluß an ein auf Kupferkabel basiertes LAN kann über einen Repeater erfolgen. Weitere aktive Netzkomponenten wie Router werden für die Verbindung nicht benötigt. Die Übertragungsstrecke erscheint nach außen als eine durchgängige Kabelverbindung und fügt die Netze der beiden zu verbindenden Gebäude zu einem LAN zusammen.

Einfache optische Richtfunk-Systeme bieten eine Leistung von 20 MBit/s auf einer Entfernung von einigen hundert Metern und kosten komplett ab 25.000,- DM. Die Produktpalette reicht bis zu einer Bandbreite von 155 MBit/s und Entfernungen von einigen Kilometern. Solche Systeme kosten 50.000,- DM und mehr.

Ein großer Vorteil von optischen Richtfunk-Systemen ist, daß keine Genehmigung für den Betrieb erforderlich ist. Auch eine Strecke über private oder öffent-

liche Grundstücke oder Verkehrswege hinweg ist ohne weiteres möglich. Die Geräte müssen beim BAPT lediglich gemeldet werden.

Es versteht sich von selbst, daß für eine Laserübertragungsstrecke zwischen zwei Gebäuden eine uneingeschränkte Sichtverbindung Voraussetzung ist. Vereinfacht kann man sagen, daß eine Übertragung möglich ist, wenn man mit bloßem Auge die Gegenseite erkennen kann. Bei schlechten Witterungsbedingungen ist diese Voraussetzung nicht mehr erfüllt – entsprechend kann es durch Nebel, Regen oder Schneefall zu Beeinträchtigungen oder Ausfällen der Verbindung kommen.

Für die Überbrückung von größeren Entfernungen (ein Kilometer und mehr) werden Laser mit höherer Leistung benötigt. Solche Laser sind nach dem Sicherheitsstandard DIN VDE 0837 in der Klasse 3B eingestuft. Geräte der Klasse 3B gelten als gefährlich für das Auge. Das Laserlicht kann in der Nähe des Senders das menschliche Auge bei direkter Betrachtung schädigen. Erst ab einem gewissen Sicherheitsabstand (etwa 10 Meter) ist der Laserstrahl ungefährlich. Bei der Planung der Übertragungsstrecke muß dieser Umstand berücksichtigt werden. Die Geräte sollten so installiert werden, daß Personen im Gefahrenbereich nicht in den Strahlenverlauf geraten können.

Sorgfältig gewählt werden muß der Aufstellungsort auch noch aus einem anderen Grund: Bei der relativ kleinen Objektivöffnung des Empfängers und dem geringen Durchmesser des Lichtstrahls führen kleine Abweichungen in der Abstrahlungsrichtung beim Sender dazu, daß der Empfänger verfehlt wird. Bei einer unzureichenden Befestigung können solche Abweichungen durch Wind, aber auch durch thermische Ausdehnung auftreten.

4.6.2 Bewertung der optischen Freiraumübertragung

Laserstrecken verbinden zwei Gebäude mit der vollen Bandbreite der lokalen Netze. Sie sind ein Ersatz für LWL-Verbindungen. Die Geräte arbeiten protokoll-transparent und eignen sich somit für alle aktuellen und zukünftigen Netze. Da neben einem Glasfaseranschluß keine weiteren aktiven Komponenten benötigt werden, gestaltet sich die Integration in ein Netz recht einfach. Die Kosten für ein optisches Richtfunk-System sind, verglichen mit der gebotenen Übertragungsleistung, angemessen.

Problematisch kann aber die Verfügbarkeit der Laserverbindung sein. Je nach Witterung und anderen Umwelteinflüssen ist mit Ausfällen zu rechnen. Die Verfügbarkeit kann bei längeren Distanzen auf 95% sinken, was ein unbefriedigendes Ergebnis für eine Netzanbindung darstellt. Zu diesem Ergebnis kommt auch [28].

4.7 Zusammenfassung

Die technisch beste Lösung für die Anbindung von studentischen Wohnanlagen stellt eine LWL-Verbindung dar. Sie bietet ausreichend Bandbreite für datenintensive Anwendungen und zukünftige Netze. Aus Kostengründen kommt eine Glasfaserverbindung nur für größere Gebäude oder Gebäudekomplexe in Frage. Sie ist auch nur dann realistisch, wenn kostspielige Schachtungsarbeiten weitgehend vermieden werden können.

Ist eine Glasfaserverbindung ausgeschlossen, stehen aber von anderen Kommunikationsdiensten Kupferleitungen bereit, so läßt sich über eine interne Standleitung ebenfalls eine Anbindung ohne laufende Kosten erreichen. Solche internen Standleitungen stellen ferner eine Lösung für die Anbindung kleinerer Gebäude dar.

Besteht keine Leitungsverbindung, aber dafür eine Sichtverbindung, so kommen Funk- oder Laserstrecken in Frage. Eine Laserverbindung kann auf mittleren Distanzen (um einen Kilometer) ein Glasfaserkabel ersetzen. Die Zuverlässigkeit hängt aber von den örtlichen Witterungsverhältnissen ab. Richtfunk-Systeme eignen sich auch für weitere Entfernungen und bieten eine bessere Verfügbarkeit, sind aber technisch und finanziell aufwendiger. Sie lohnen sich nur dort, wo anderenfalls aufgrund des hohen Datenaufkommens eine 2-MBit-Mietleitung erforderlich wäre.

Funk-LANs kommen für kürzere Distanzen in Frage. Sie sind vergleichsweise preiswert, bieten aber auch eine eingeschränkte Zuverlässigkeit. Neben der reinen Punkt-zu-Punkt-Verbindung können mit den Funk-LANs auch sternförmige oder vermaschte Strukturen aufgebaut werden. Daher sind die Systeme auch für die Erschließung einzelner, verstreut stehender Gebäude interessant. Leider erlauben die Zulassungsbestimmungen bisher nur den Einsatz innerhalb eines Grundstücks oder einer wirtschaftlichen Einheit, nicht jedoch ortsübergreifend.

Wählleitungen stellen keine Alternative für die Anbindung von Gebäuden dar. Sie erlauben höchstens kleinen Gruppen von Studierenden, mit der gemeinsamen Nutzung einer Modemverbindung Telefongebühren zu sparen. Eine weitere Anwendung liegt im Einsatz als Backup-Leitung. Die Wählleitung wird als sekundärer Leitungsweg nur dann aktiviert, wenn ein primärer ausfällt. ISDN-Geräte lassen sich so programmieren, daß sie bei einer Unterbrechung automatisch und für den Nutzer unbemerkt eine Backup-Verbindung herstellen. Diese Konstellation scheint insbesondere in der Kombination mit optischem Richtfunk-Systemen sinnvoll.

Gemietete Standleitungen haben gegenüber von Wählleitungen den Vorteil, daß die Anbindung dauerhaft besteht und die laufenden Kosten genau kalkulierbar sind. Für kleine Gebäude und Wohngemeinschaften sind analoge Standleitungen wegen der geringen Kosten interessant. Spätestens ab 10 Bewohnern reicht die Bandbreite aber nicht mehr aus, so daß digitale Standleitungen an ihre Stelle treten. Schon bei weniger als 100 Bewohnern wäre die Bandbreite von 2 MBit angemessen, wenn alle Netzdienste genutzt werden sollen. Die laufenden Kosten sind aber so hoch, daß diese Leitung erst für große Gebäudekomplexe erschwinglich wird.

Es bleibt zu hoffen, daß sich die Situation nach dem Wegfall des Leitungsmonopols für Datenverbindungen verbessert, sei es durch günstigere Tarife für Mietleitungen oder dadurch, daß Kabelkapazitäten oder Kanalsysteme der Stadtwerke bzw. Energieversorger für eigene Leitungsverbindungen nutzbar werden.

Kapitel 5

Netzprotokolle und aktive Komponenten

Die Gebäudeverkabelung und -anbindung bilden die Basis für eine Datenkommunikationsinfrastruktur. Nach der Behandlung der Übertragungstechnik in den vorigen Kapiteln sollen nun die darauf aufsetzenden Netzprotokolle besprochen werden. In diesem Zusammenhang ist auf aktive Netzkomponenten einzugehen, mit deren Hilfe Netze verbunden und logische Strukturen gebildet werden.

5.1 Grundlagen

Als Einstieg in die Thematik wiederholt dieser Abschnitt Grundwissen aus der Datenkommunikation und liefert einige Begriffsdefinitionen, die für die folgende Betrachtung der Netzprotokolle und -komponenten von Bedeutung sind. Eine umfassende Einführung in die Grundlagen der Datenkommunikation würde diesen Rahmen sprengen, stattdessen wird auf [3] und [24] verwiesen.

5.1.1 OSI Referenzmodell

Um die Zusammenarbeit von Rechnern unterschiedlicher Hersteller und die Koexistenz von verschiedenen Anwendungen auf einem Netzwerk zu ermöglichen, bedarf es Software-Schnittstellen und Regelungen. Ende der 70er Jahre stellte die *ISO (International Organisation for Standardization)* ein Architekturmodell vor, das die Struktur von Kommunikationsprotokollen beschreibt. Das Modell enthält Prinzipien und Regeln für die offene Kommunikation von Systemen – daher der Name *OSI-Referenzmodell (Open Systems Interconnection)*.

Das Modell verwendet sieben Schichten für die abstrakte Beschreibung der Rechner-Kommunikation und ist deshalb auch unter der Bezeichnung *7-Schichten-Modell* bekannt. Die Beschreibung enthält keine Implementationsvorgaben, sondern ist offen gehalten für verschiedene Netzprotokolle. Es werden nur die Charakteristik der Schichten und das Verhalten nach außen beschrieben, nicht jedoch die interne Arbeitsweise.

Abbildung 5.1:
7-Schichten-Modell

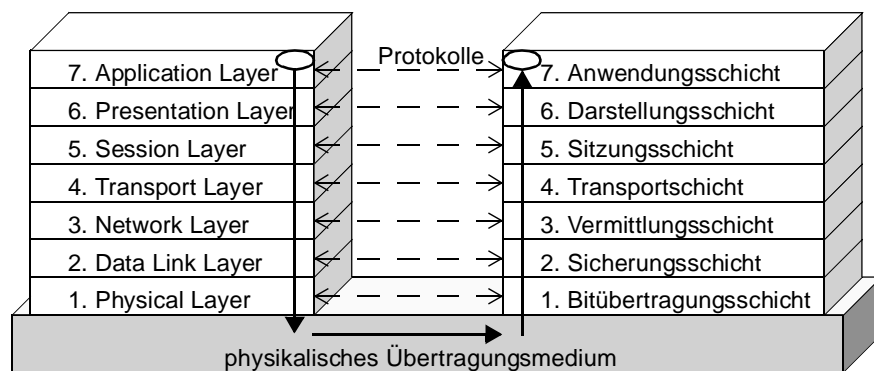


Abbildung 5.1 zeigt die sieben Schichten des OSI-Referenzmodells. Der Kommunikationsvorgang wird in eine Hierarchie von aufeinander aufbauenden Funktionsschichten zerlegt. Jede Schicht baut auf den Diensten der darunterliegenden Schicht auf und bietet der darüberliegenden Schicht Dienste an. Die Schnittstellen zwischen den Schichten sind klar definiert.

Für die Zusammenarbeit einer Schicht mit der gleichen eines anderen Systems sind Kommunikationsregeln und Datenformate festzulegen. Ein solches Regelwerk wird *Protokoll* genannt. Die Implementation der Protokolle in den einzelnen Schichten wird den darüber- und darunterliegenden Schichten verborgen. Dadurch ist es möglich, die Implementierung einer Schicht auszutauschen, ohne daß die Protokolle anderer Schichten geändert werden müssen.

Betrachtet man den Datenverkehr zwischen zwei Anwendungsprogrammen, so durchlaufen die Daten beim Sender ausgehend von der Schicht 7 alle Schichten bis zur Schicht 1, werden von physikalischen Übertragungsmedien zum Empfänger transportiert und dort von der Bitübertragungsschicht bis zur Anwendungsschicht durchgereicht. Jede Schicht betrachtet die Ausgabe der darüberliegenden Schicht als Nutzdaten und versieht sie mit eigenen Protokollinformationen. Die darunterliegenden Schichten interpretieren diese Protokollinformationen nicht mehr. Erst die gleiche Schicht beim Empfänger wertet die Protokollinformationen wieder aus und gibt die Nutzdaten an die darüberliegende Schicht weiter. Abbildung 5.1 zeigt den Weg der Anwendungsdaten durch die Hierarchie.

Die Schichten 1 bis 4 sind netzorientiert; sie stellen den physikalischen Daten-transport von einem Rechner zu einem anderen sicher. Dagegen sind die Schichten 5 bis 7 anwendungsorientiert; hier werden z. B. Anpassungen der Daten an die jeweiligen Endsysteme vorgenommen. In der Schicht 7 laufen letztlich die Anwendungsprogramme.

Für die Netzwerkplanung sind die unteren Schichten von Bedeutung:

- *Schicht 1 (Physical Layer)* beschreibt die Übertragung von Bits auf einem Übertragungsmedium. Dazu gehört die Spezifikation von Kabeln und Steckern. Beispiele: Glasfaserkabel, symmetrisches Kupferkabel, Koaxialkabel, V.24, X.21.
- *Schicht 2 (Data Link Layer)* faßt die zu übertragenden Bits in Blöcke (*Frames*) zusammen und ermöglicht die Kommunikation von Stationen, die an demselben Übertragungsmedium angeschlossen sind. Der untere Teil der Schicht (*Media Access Control – MAC*) regelt den Zugriff auf das Übertragungsmedium, während der obere Teil (*Logical Link Control – LLC*) mittels Prüfsummen die fehlerfreie Übertragung der Datenblöcke sicherstellt.

Fehlerhafte Frames können entweder verworfen oder neu angefordert werden. Beispiele: Ethernet, Tokenring, FDDI, HDLC, ...

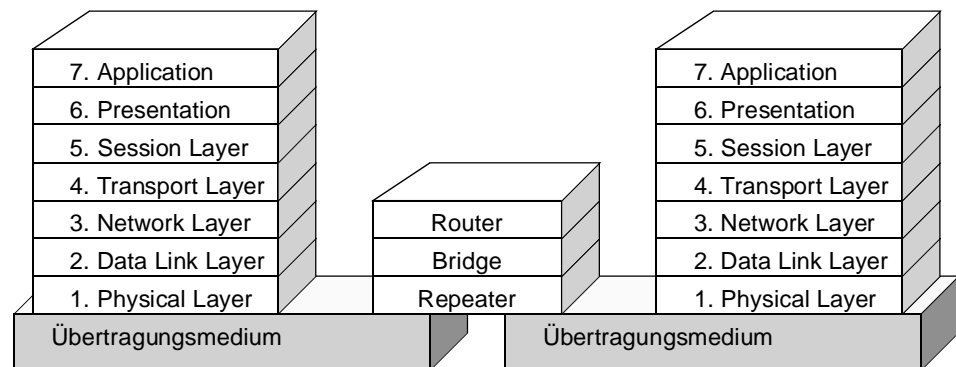
- *Schicht 3 (Network Layer)* stellt Verbindungen zwischen Stationen in weiter entfernten Netzen her. Dazu werden die Datenblöcke mit Adressen versehen – man spricht dann von *Paketen*. Die Aufgabe in dieser Schicht besteht darin, für die Pakete eine Route durch das Netz zu finden (*Routing*). Diese Schicht garantiert, daß Datenpakete die richtige Endstation erreichen. Beispiele: IP, IPX, ...
- *Schicht 4 (Transport Layer)* baut Ende-zu-Ende Verbindungen zwischen Systemen auf und bietet den anwendungsorientierten Schichten eine transparente Datenübertragung mit definierten Qualitätsmerkmalen.

Die Vorteile des Konzepts, insbesondere die Möglichkeit, die Implementierung der Schichten austauschen zu können, zeigen sich in der Praxis: So können die in der Schicht 2 angesiedelten Protokolle Ethernet und FDDI sowohl auf symmetrischen Kupferkabeln, als auch auf Glasfaserkabeln eingesetzt werden. Das *Internet Protocol (IP)* als Vertreter der Schicht 3 kann wiederum auf Ethernet, Tokenring, FDDI oder aber auf einer Modem-Verbindung aufsetzen. Außerdem kann das IP-Protokoll parallel mit anderen – etwa dem *IPX-Protokoll* aus dem Novell-Umfeld – auf dem gleichen Netz betrieben werden.

5.1.2 Repeater, Bridge und Router

Zur Kopplung von Netzsegmenten bedarf es aktiver Komponenten. Repeater, Bridges und Router sind solche aktiven Netzkomponenten, die auf unterschiedlichen Schichten des OSI-Referenzmodells angesiedelt sind.

Abbildung 5.2:
Repeater, Bridge und Router



Repeater

Auf dem Physical Layer angesiedelt ist der Repeater. Er verstärkt und regeneriert die Signale des Übertragungsmediums. Diese Funktion wird in LANs dann benötigt, wenn die maximale Ausdehnung eines Netzsegments erreicht ist oder wenn einzelne Segmente zu einem Netz zusammengefügt werden sollen. Eine weitere Anwendung ergibt sich beim Übergang von einem Übertragungsmedium auf ein anderes, etwa von Koaxialkabel auf LWL. Der Repeater regeneriert den Signalverlauf, Pegel und Takt, ferner kann er Störungen und fehlerhafte Signale ausfiltern.

Ein Repeater interpretiert die Signale nicht, erkennt also nicht die Bedeutung der übertragenen Bits. Daher muß er alle Daten unabhängig vom Bestimmungsort an

alle Ports weiterleiten. Außerdem kann er nur Segmente des gleichen Schicht-2-Protokolls verbinden.

Der Begriff Repeater wird meist im Ethernet-Umfeld benutzt. Im FDDI-Umfeld ist hingegen der Begriff *Concentrator* üblich. Die bei sternförmiger Verkabelung eingesetzten *Hubs* (vgl. Abbildung 3.12) enthalten mindestens die Funktionalität eines Repeater.

Bridge

Eine Bridge arbeitet auf der Ebene 2 des OSI-Referenzmodells, beherrscht also die hier angesiedelten Protokolle wie Ethernet, Tokenring und FDDI. Eine Bridge kann ebenfalls zur Erweiterung von LANs eingesetzt werden – etwa dann, wenn die maximale Anzahl von Stationen oder Repeater erreicht ist. Da eine Bridge alle Frames empfängt, interpretiert und neu abschickt, bieten sich weitergehende Funktionen:

- *Fehlerhafte Frames* werden erkannt und nicht weitergeleitet.
- Die Bridge erkennt die in den Frames enthaltene MAC-Adresse (die MAC-Adresse ist eine eindeutige Hardware-Adresse jeder Station). Sie kann daher mit Hilfe interner Adreßtabelle feststellen, in welchem Teil des Netzes sich der Empfänger eines Frames befindet und das Frame nur an diesen Port weiterleiten. Datenverkehr innerhalb eines Netzsegments wird erkannt und nicht an die anderen Segmente weitergeleitet. Auf diese Weise kann man eine *Lastreduktion* in LANs erreichen.
- Die Adreßtabelle läßt sich darüber hinaus mit Filtereinträgen erweitern. Mit diesen *Filtern* kann manuell die Weitervermittlung bestimmter Frames in andere Netzsegmente unterbunden werden. Beispielsweise können bestimmte Rechner von der Kommunikation mit anderen Teilnetzen ausgeschlossen werden.
- Eine Bridge kann den Inhalt eines Frames auch in dem Format eines anderen Protokolls senden. Damit ist auch ein Übergang zwischen verschiedenen Schicht-2-Protokollen realisierbar – etwa von Ethernet auf FDDI. Eine andere Variante dieser Eigenschaft bilden die sogenannten *Remote-Bridges*, die zwei LANs über eine Stand- oder Wählleitung verbindet.

Entsprechend der Unterteilung des Data Link Layer in den MAC- und den LLC-Layer, unterscheidet man auch *MAC-* und *LLC-Bridges*. MAC-Bridges arbeiten nur auf der MAC-Teilschicht und finden im lokalen Bereich Einsatz, während die LLC-Bridges auch die Sicherungsprotokolle der LLC-Teilschicht beherrschen; sie kommen nur bei Remote-Bridges und der LAN-Kopplung über *Wide Area Networks* zum Einsatz.

Bei der Verwendung von mehreren Bridges in einem Netz kann es zur Entstehung von unerwünschten Schleifen kommen. Dieser negative Effekt ist darin begründet, daß die MAC-Adressen zur Pfadbestimmung in großen Netzen unzureichend sind. Zur Unterdrückung von Schleifen wird der nach IEEE 802.1d genormte *Spanning-Tree-Algorithmus* eingesetzt. Dabei wird ein vermaschtes Netz auf eine Baumstruktur abgebildet, indem redundante Verbindungen abgetrennt werden, solange die primäre Verbindung funktioniert.

Eine Bridge kann den Netzverkehr zweier Segmente mit den Informationen, die sie auf der OSI-Schicht 2 gewinnt, nicht vollständig trennen. Sie muß z.B. Fra-

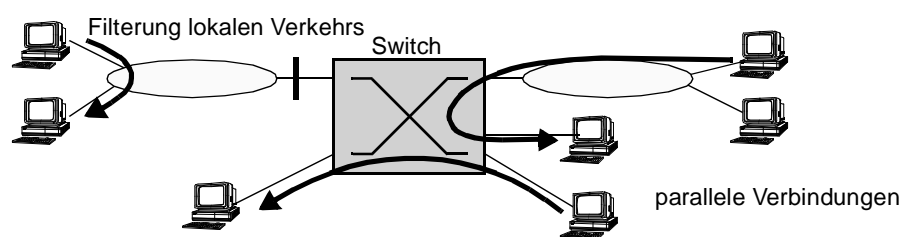
mes mit unbekanntenen MAC-Adressen oder *Broadcast*-Informationen (an alle Netzstationen gerichtete Datenblöcke) durchlassen.

Switch

Ein Switch ist eine besondere Form der Bridge mit mehreren Ports. Switches sind optimiert auf die Aufgabe der Lastreduktion. Dazu ist die Logik zur Interpretation der MAC-Frames und zur Filterung und Weiterleitung der Pakete in Hardware ausgeführt. Mit einem Switch wird eine Segmentierung von großen oder stark belasteten LANs vorgenommen, die zu einer Steigerung des Gesamtdurchsatzes führt.

An den Switch werden einzelne Endgeräte oder kleinere Gruppen von Stationen angeschlossen, die jeweils die dedizierte Bandbreite eines LANs zur Verfügung haben. Der Datenverkehr innerhalb der kleinen Gruppen wird vom Switch nicht weitergeleitet. Ferner kann er mehrere nicht konkurrierende Verbindungen parallel herstellen. Einige Switches verfügen über Anschlüsse für Hochgeschwindigkeitsnetze, auf die mehrere Stationen langsamerer Netze gleichzeitig zugreifen können.

Abbildung 5.3:
Segmentierung mit
Switches



Router

Router verbinden LANs des gleichen Netzprotokolls auf der Ebene 3 des OSI-Referenzmodells. Da Router die Pakete der Netzwerkschicht interpretieren, sind sie grundsätzlich protokollabhängig. Moderne *Multiprotokollrouter* sind allerdings in der Lage, gleichzeitig mehrere Protokolle zu vermitteln.

Die Aufgabe von Routern besteht darin, für Pakete den richtigen Übertragungsweg von der Quelle zum Ziel auszuwählen. Die Adressen in der Schicht 3 enthalten, anders als die MAC-Adressen der Schicht 2, Hinweise auf die Lage der Stationen im Netz. Daher kann ein Router anhand dieser Adressen einen optimalen Pfad (*Route*) für Datenpakete finden. Stehen mehrere Wege zur Auswahl, so kann die Route aufgrund der Übertragungsbandbreite, der Auslastung oder aus Kostengesichtspunkten gewählt werden.

Die Routen können einmalig (manuell) festgelegt werden und gelten dann bis zur nächsten Änderung (*statisches Routing*); sie können aber auch im laufenden Betrieb von den Routern gelernt und angepaßt werden (*dynamisches Routing*). Im Falle des dynamischen Routing tauschen die Router eines Netzes die Topologie-Informationen über *Routing-Protokolle* regelmäßig aus.

Router eignen sich für die Anbindung von LANs an Weitverkehrsnetze oder zum Aufbau von Backbone-Strukturen. Da Router in der Schicht 3 eine „tiefere Einsicht“ in den Inhalt der zu übertragenden Datenblöcke haben und bei der Weiterleitung berücksichtigen können, werden sie auch häufig an Stelle von Bridges zur reinen Kopplung von lokalen Netzen eingesetzt. Beispielsweise kann ein

Router gezielt nur Pakete eines Netzprotokolls weiterleiten und den restlichen Datenverkehr im lokalen Netz kapseln.

5.2 Ethernet

Das am weitesten verbreitete LAN-Protokoll ist *Ethernet* – man kann zu Recht von einem Standard-Protokoll sprechen. Für Ethernet gibt es ein breites Angebot von Adapterkarten für alle Systeme, aktive Netzkomponenten und Softwareunterstützung. Hinzu kommt, daß Ethernet-Technik vergleichsweise billig ist. Die Übertragungsrate von 10 MBit/s stößt zwar mit datenintensiven Multimedia-Anwendungen an eine Grenze, wird aber dem Bedarf im studentischen Umfeld mit durchschnittlichen PCs noch gerecht. Daher besteht kein Zweifel, daß Ethernet für die LANs in studentischen Wohnanlagen zur Zeit das Protokoll der Wahl ist.

Aufgrund der großen Bedeutung von Ethernet wurden bereits einige Aspekte in Kapitel 3 „Gebäudeverkabelung“ angesprochen. Im folgenden soll die Beschreibung abgeschlossen werden.

5.2.1 Spezifikation

Ethernet wurde Ende der 70er Jahre entwickelt und 1980 von Digital Equipment, Intel und Xerox (DIX) vorgestellt. Erst später entstand die überarbeitete Fassung der IEEE als *Standard 802.3*. Das alte Ethernet (Version 2) und IEEE 802.3 unterscheiden sich in einigen Punkten deutlich und sind daher nicht kompatibel.

Der Standard IEEE 802.3 umfaßt die MAC-Teilschicht des Data Link Layer im OSI-Referenzmodell und Spezifikationen für verschiedene Übertragungsmedien im Physical Layer. Die LLC-Teilschicht wurde unabhängig von Ethernet in *IEEE 802.2* festgelegt und gilt auch für andere LAN-Protokolle.

Unter den Spezifikationen für Übertragungsmedien sind *10Base5* und *10Base2* für busförmige Verkabelung mit Koaxialkabel (vgl. Abschnitt 3.4 „Busförmige Verkabelung“), *10BaseT* für sternförmige Verkabelung (vgl. Abschnitt 3.5 „Die sternförmige Verkabelung“) mit symmetrischen Kupferkabeln und *10BaseFL* für sternförmige Verkabelung und Punkt-zu-Punktverbindungen mit Lichtwellenleitern von zentraler Bedeutung. Die wichtigsten Eckdaten zeigt Tabelle 5.1.

Tabelle 5.1:
Ethernet-Spezifikationen

| | 10Base5 | 10Base2 | 10BaseT | 10BaseFL |
|---------------------------------|---------------------|----------------------|------------------------------|-----------------------------|
| Topologie | Bus | Bus | Stern | Stern |
| Kabeltyp | Koaxial RG8 50 Ω | Koaxial RG58 50 Ω | UTP/ STP ab Kat. 3; 100 Ω | LWL 50/125 oder 62,5/125 |
| Stecker | N-Stecker | BNC-Stecker | RJ45-Stecker | FSMA-/ST-Stecker |
| Max. Länge | 500m pro Segment | 185m pro Segment | 100m pro Anschluß | 2000m pro Anschluß |
| Geräte pro Segment | 100 | 30 | | |
| Abstand zweier Anschlüsse | 2,5 m | 0,5m | | |

Allen Teilspezifikationen gemein ist die Übertragungsrate von 10 MBit/s und die maximale Anzahl von 1024 Stationen.

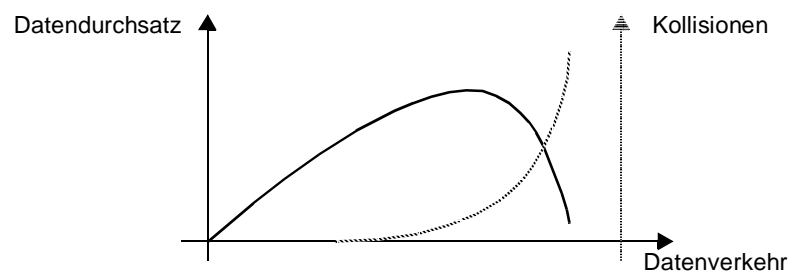
5.2.2 Medienzugriff

Ethernet ist ein Vertreter des *Shared-Medium*-Konzepts. Dabei teilen sich alle Stationen die Bandbreite eines Übertragungsmediums. Arbeiten mehrere Stationen gleichzeitig, so muß geregelt werden, wer wann auf das Medium Daten senden darf. Charakteristisch für Ethernet ist das Medienzugriffsverfahren *CSMA/CD* (Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection). Bei diesem Verfahren sind alle Stationen gleichberechtigt, und man kommt ohne eine zentrale Steuerung aus.

Alle Stationen lauschen am Netz und wissen, ob das Medium frei ist oder Daten übertragen werden (*Carrier Sense*). Falls das Netz frei ist, kann jede Station ohne weitere Nachfrage Daten an eine andere Station senden (*Multiple Access*). Versuchen zwei Stationen gleichzeitig zu senden, so kommt es zu einer *Kollision*, die von anderen Stationen erkannt wird (*Collision Detection*). Die erkennende Station sendet dann ein besonderes Signal (JAM), das allen anderen Teilnehmern am Netz die Kollision deutlich anzeigt. Nach einer Pause ist das Netz wieder frei für Datenübertragungen. Damit sich die Kollision nicht sofort wiederholt, warten die beteiligten Stationen eine zufällige Zeitspanne, bevor sie die Aussendung wiederholen. Tritt trotzdem wieder eine Kollision auf, so wird der Wartezeitraum verdoppelt. Nach 16 Fehlversuchen wird ein Fehler (*Excessive Collision Error*) ausgelöst.

Die Restriktionen von Kabellängen und Abstand der Stationen sind eine direkte Folge des Zugriffsverfahrens. Damit Kollisionen sicher erkannt werden können, ist eine Beziehung aus Übertragungsrate, Kabellänge und Framegröße einzuhalten. Die minimale Framelänge bei Ethernet beträgt 512 Bits. Daraus ergeben sich bei einer Datenrate von 10 MBit/s eine Übertragungsdauer von 51,2 μ s. Das Kabel darf nun nur so lang werden, daß die Laufzeit eines Bits von einem Ende des Netzes zum anderen und ein von dort zurücklaufendes Kollisionssignal unter 51,2 μ s liegt, damit die Kollision noch vor Abschluß der Übertragung von allen Teilnehmern erkannt werden kann.

Abbildung 5.4:
Kollisionen abhängig
von der Netzbelastung



Über das Kollisionsverfahren regelt sich der Datenverkehr von selbst. Das Verhalten ist gut, solange die Belastung des Netzes nicht zu groß wird. Nimmt aber das Verkehrsvolumen zu, so steigt zwangsläufig die Anzahl der zeitgleichen Zugriffe und damit der Kollisionen. Die kollidierten Datenblöcke müssen wiederholt werden, was die Situation weiter verschärft. Ab einem gewissen Datenverkehr auf dem Netz sinkt nicht nur die den einzelnen Stationen verfügbare Bandbreite, sondern auch der Gesamtdurchsatz – wie Abbildung 5.4 schematisch zeigt. Daher wird der theoretische Durchsatz von 10 MBit/s in der Praxis nur sel-

ten erreicht. Bei vielen gleichzeitig arbeitenden Stationen liegt er nur bei einem bis zwei Drittel.

5.2.3 Aktive Komponenten

Sind die in Tabelle 5.1 gezeigten Grenzen eines Netzsegments erreicht, so benötigt man aktive Komponenten für eine LAN-Erweiterung. Die einfache Koppelung von Ethernet-Segmenten wird mit Repeatern hergestellt.

In der Ethernet-Technik unterscheidet man zwei Arten von Repeatern: *lokale* und *Remote-Repeater*. Lokale Repeater verbinden zwei Ethernet-Segmente direkt miteinander. Hingegen besteht ein Remote-Repeater aus einem Paar von Repeater, die über eine Punkt-zu-Punkt-Verbindung (Link) gekoppelt sind. Die beiden Repeater und die sie verbindende Link-Strecke gilt als ein Remote-Repeater. Besonders häufig findet man Remote-Repeater mit einem LWL-Link zur Kopplung zweier LANs. Diese Variante wird auch mit *FOIRL (Fiber Optic Inter Repeater Link)* bezeichnet.

Ein Ethernet-LAN darf mit Repeater nicht unbegrenzt erweitert werden. Als Faustregel gilt die *3-4-5-Regel*: Betrachtet man einen beliebigen Punkt im Netz, so dürfen auf dem Weg zu jedem anderen Punkt maximal 5 Segmente (einschließlich des eigenen) und 4 Repeater liegen, wobei nur 3 Segmente Rechner enthalten dürfen. Die übrigen Segmente sind nur Links.

Abbildung 5.5:
Maximale Ethernet-Konfiguration mit Repeater

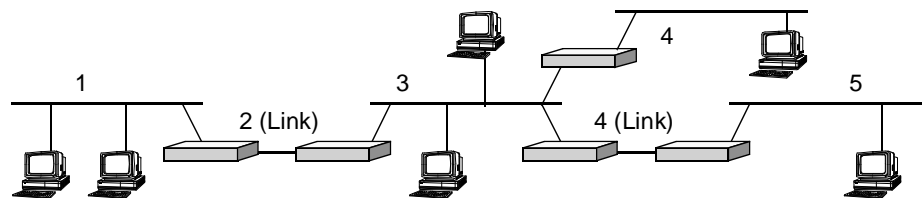


Abbildung 5.5 zeigt ein Beispiel für eine Maximalkonfiguration. Es wird auch deutlich, daß insgesamt durchaus mehr als 4 Repeater und 5 Segmente aufgebaut werden können. Nur dürfen diese nicht zu einer langen Kette aneinandergereiht werden. Die Maximalkonfiguration kann in studentischen Wohnanlagen bei einem verteilten Einsatz von Repeater durchaus erreicht werden, etwa wenn bei einem größeren Gebäude mit WG-Struktur jede Wohngemeinschaft einen kleinen Hub erhält und diese Hubs in einer baumförmigen Topologie über mehrer Repeater verbunden werden.

Repeater fügen Ethernet-Segmente transparent zu einem Shared-Medium zusammen, d.h. alle Stationen teilen sich gemeinsam die Bandbreite des Netzes. Zu einem Zeitpunkt kann nur eine Station senden, ohne daß eine Kollision auftritt. Dies gilt genauso bei der sternförmigen Topologie (10BaseT). Hier ist zwar die Verkabelung sternförmig, Ethernet betreibt das Netz aber logisch wie ein Bus, wo alle Teilnehmer alle Daten bekommen.

Erst der Einsatz von Bridges oder Switches führt zu einer Unterteilung in unabhängig nutzbare Netzsegmente. Auf diese Weise wird eine Lastaufteilung erreicht. Außerdem kann man mit solchen auf dem MAC-Layer arbeitenden Netzkomponenten Restriktionen wie die 3-4-5 Regel überwinden.

Ethernet-Switching ist eine neuere Entwicklung mit dem Ziel, den Gesamtdurchsatz eines Netzes zu steigern. Das große Shared-Medium wird in kleine Segmente unterteilt, die jeweils einen eigenen Switchport belegen. Die einzelnen

Segmente haben zwar nach wie vor nur eine Bandbreite von 10 MBit/s, können aber unabhängig voneinander arbeiten. Meist sind Server an dem Switch einzeln oder mit einem schnelleren Protokoll angeschlossen, so daß Zugriffe aus mehreren Segmenten parallel möglich sind. Im Endausbau wird Ethernet zu einem reinen *Switched-Medium*, bei dem jede Station einen eigenen Switchport erhält und damit über eine eigene Bandbreite verfügt. Ein Switch ist technisch viel aufwendiger als ein Repeater, daher liegt der Preis derzeit noch bei ca. 500,- DM pro Anschlußport.

Auch die Mini-Segmente, die sich beim Einzelanschluß von Rechnern an einen Switch ergeben, sind nicht frei von Kollisionen. Hier ergibt sich eine Halbduplex-Übertragung, bei der entweder der Switch oder der Rechner sendend auf das Medium zugreifen kann. Ein Ausweg bildet das nicht standardisierte *Full-Duplex-Ethernet*, bei dem auf Twisted-Pair- oder Glasfaserstrecken gleichzeitiges Senden und Empfangen möglich wird. Auf stark frequentierten Punkt-zu-Punkt-Verbindungen ist ein höherer Gesamtdurchsatz zu erwarten, da Kollisionen nicht mehr auftreten.

5.3 Hochgeschwindigkeits-LANs

Ethernet bildet den Stand der Technik, aber die Entwicklung geht weiter – hin zu schnelleren Netzen, die einem höheren Datenaufkommen und den Anforderungen von Multimedia-Anwendungen gerecht werden. Als Ausblick auf die Netztechnik der kommenden Jahre sollen schnellere Netze vorgestellt werden.

5.3.1 Fast-Ethernet

Fast-Ethernet ist die Weiterentwicklung des Standard-Ethernet auf 100 MBit/s Übertragungsrates. Da das Medienzugriffsverfahren (CSMA/CD) unverändert geblieben ist, wird Fast-Ethernet weiter unter IEEE 802.3 geführt. Es gibt die Spezifikationen *100BaseFL* für LWL, *100BaseTX* für Twisted-Pair-Kabel der Kategorie 5 und *100BaseT4* für 4-paariges (8-adriges) Twisted-Pair-Kabel der Kategorie 3. Die Kupferkabel dürfen wie beim Standard-Ethernet maximal 100m lang sein, die LWL-Strecken aber nur 412m.

Das Festhalten am CSMA/CD-Verfahren bringt Einschränkungen der maximalen Netzausdehnung. Ein Fast-Ethernet-Segment darf ohne Switches nur zwei Repeater enthalten, die maximal 5m auseinanderliegen. Ferner besteht das Problem der Kollisionen und Überlastsituationen genauso wie beim Standard-Ethernet.

Einen Fast-Ethernet-Port findet man heute häufig als schnellen Uplink an Ethernet-Switches. Stationen aus mehreren Ethernet-Segmenten können parallel auf einen mit Fast-Ethernet angeschlossenen Server zugreifen. Wegen der einfachen Technik kann man erwarten, daß Fast-Ethernet-Produkte in Zukunft ähnlich billig wie heute Ethernet-Produkte werden. Aufgrund der geringen Erweiterbarkeit und dem Beibehalten des CSMA/CD-Verfahrens, eignet sich Fast-Ethernet aber weder für große Netze oder Backbone-Strukturen noch für zeitkritische Multimedia-Anwendungen.

5.3.2 100VG-AnyLAN

Ebenfalls als Nachfolger von Ethernet mit 100 MBit/s wurde von Hewlett Packard und AT&T *100BaseVG* entwickelt (VG steht für Voice Grade; Kabel der Kategorie 3 sollten die Basis bilden). Nach der Einbeziehung einer Migration von *Token-Ring* in das Konzept, entstand der Titel *100VG-AnyLAN*. Da sich die Technik in einigen Punkten von Ethernet unterscheidet, wurde eine neue IEEE Arbeitsgruppe *802.12* für dieses Protokoll gegründet.

An den Ethernet-Standard angelehnt ist das Frame-Format; völlig neu ist jedoch das Medienzugriffsverfahren. 100VG-AnyLAN verwendet das *Demand-Priority-Protocol*. Die Bandbreite des Netzes wird von einem Hub (Repeater) unter den aktiven Stationen aufgeteilt. Dazu fragt der Hub alle Stationen nach Übertragungswünschen ab und verteilt die Senderechte zyklisch unter den sendebereiten Stationen (*Round-Robin-Prinzip*). Die Sendewünsche sind mit Prioritäten gekennzeichnet und werden entsprechend abgearbeitet.

Das Zugriffsverfahren bietet gegenüber CSMA/CD einige Vorteile:

- Es wird immer die gesamte Bandbreite des Netzes aufgeteilt. Kollisionen und dramatische Einbrüche in Überlastsituationen treten nicht auf. Dadurch kann der Gesamtdurchsatz bei 90% der möglichen Bandbreite liegen.
- Die Prioritätsklassen erlauben den Einsatz von zeitkritischen Multimedia-Anwendungen
- Jede Station erhält nur noch die für sie bestimmten Datenpakete.

100VG-AnyLAN-Netze können mit Hubs kaskadiert werden. Als Übertragungsmedium ist 4-paariges UTP der Kategorie 3 vorgesehen.

Das Konzept bietet einen technischen Fortschritt gegenüber der Ethernet-Technik, konnte sich aber bisher bei den Herstellern und Kunden nicht signifikant durchsetzen.

5.3.3 FDDI

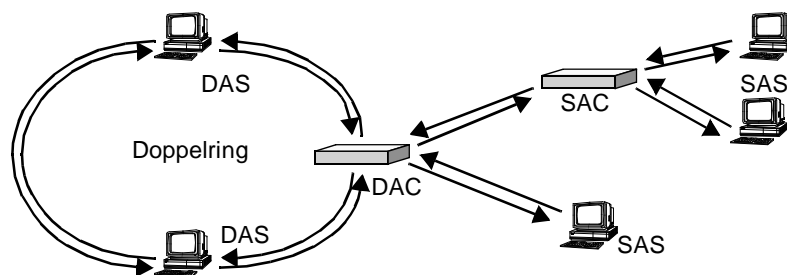
FDDI (*Fiber Distributed Data Interface*) wurde in den 80er Jahren von der ANSI Gruppe *X3T9.5* als Hochgeschwindigkeitsnetz entwickelt und findet sich im ISO-Standard 9314 wieder. Ursprünglich wurde FDDI ausschließlich als Hochgeschwindigkeitsnetz für Lichtwellenleiter mit einer Übertragungsrate von 100 MBit/s konzipiert, seit ein paar Jahren existieren aber auch Spezifikationen für eine Übertragung auf Twisted-Pair-Kabeln der Kategorie 5 zum Anschluß von Endgeräten.

Die Topologie von FDDI ist ein Ring. Jede Station empfängt auf der einen Seite die Daten und sendet sie auf der anderen Seite zur nächsten Station weiter. Als Medienzugriffsverfahren wird das *Token-Prinzip* eingesetzt. Im Ring kreist eine Token genannte Sendemarke. Will eine Station Daten übertragen, so wartet sie auf das Token, entfernt dieses aus dem Datenstrom und positioniert die Nutzdaten an dessen Stelle. Im Anschluß an den letzten Datenblock fügt sie wieder ein freies Token ein, das von anderen Stationen aufgegriffen werden kann. Die Zielstation liest die Daten vom Netz, reicht sie aber nicht mehr weiter. Die Tatsache, daß nach dem Senden von Daten sofort wieder ein Frei-Token für andere Teilnehmer erzeugt wird (Early Token Release) unterscheidet FDDI vom LAN-Protokoll *Token-Ring* (IEEE 802.5). Dadurch werden parallele Datenübertragungen

im Ring möglich, was zu einer optimalen Auslastung des Medium führt (98% Auslastung sind erreichbar).

Der Kern eines FDDI-Netzes ist als *Doppelring* ausgeführt. Er besteht aus einem Primärring und einem entgegengesetzt gerichteten Sekundärring. Der Sekundärring dient als Backup und wird normalerweise nicht genutzt. Bei einer Kabelunterbrechung kann sich das FDDI-Netz aber unter Zuhilfenahme des Backup-Rings ohne Verlust rekonfigurieren. Stationen im Doppelring heißen *DAS* (*Dual Attached Station*), da sie über einen Doppelschluß verfügen. Daneben ist auch eine baumförmige Struktur möglich, bei der die Stationen nur einfach angeschlossen sind (*SAS* = *Single Attached Station*). Die Sternkoppler, die den Ring auf der baumartigen Struktur nachbilden, heißen *Konzentratoren* (*DAC* = *Dual Attached Concentrator* und *SAS* = *Single Attached Concentrator*).

Abbildung 5.6:
FDDI Konfigurationen



Ein FDDI-Ring darf maximal 100km lang werden und 1000 Stationen enthalten. Der maximale Abstand zwischen zwei Stationen beträgt 2km bei Multimodefasern und 60km bei Monomodefasern. Die Kupferkabel-Variante TPDDI existiert nur für Single-Attached-Systeme; hier beträgt die maximale Länge eines Geräteanschlusses 100m.

In der FDDI-Spezifikation ist neben einer asynchronen auch eine synchrone Datenübertragungen vorgesehen, bei der zwischen Stationen Verbindungen mit garantierter Bandbreite aufgebaut werden können. Die Weiterentwicklung FDDI II ermöglicht auch die für Multimedia-Anwendungen wichtigen isochronen Übertragungen.

FDDI ist das Standard-Protokoll im *Backbone-Bereich*, also zur schnellen Koppung von lokalen Netzen und Servern – auch über einige Kilometer Entfernung. FDDI-Technik ist bereits seit Jahren am Markt und gilt als sehr zuverlässig. Trotz der Verfügbarkeit von TPDDI und damit billiger Kupferkabel-Installationen als Medium zeichnet sich ein breiter Einsatz von FDDI-Technik im Endanwenderbereich bisher nicht ab.

5.3.4 ATM

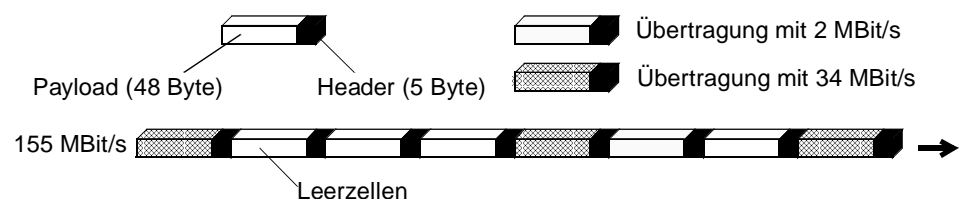
ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) gilt als Netzwerktechnologie der Zukunft. Die Entwicklung ist noch nicht abgeschlossen. Wesentliche Grundelemente sind aber bereits standardisiert und in Produkten realisiert, so daß ATM bereits in Teilbereichen eingesetzt werden kann. Motor der Entwicklung ist das *ATM-Forum* (bestehend aus über 800 Firmen und Organisationen), das sich eine schnelle Markteinführung von ATM-Technologie zum Ziel gesetzt hat.

Verglichen mit den bisher üblichen Netzwerk-Protokollen unterscheidet sich ATM in vielerlei Hinsicht:

- ATM ist ein Netzprotokoll, das sowohl im Umfeld lokaler Netze und im Backbone-Bereich als auch für Weitverkehrsnetze eingesetzt werden kann.
- ATM integriert neben dem üblichen Datentransfer Multimedia- und Video-Übertragungen bis hin zum Telefonverkehr in einem Netzwerk. Dies wird durch mehrere Übertragungsklassen mit unterschiedlichen Qualitätsmerkmalen (*Quality of Service Parameter*) erreicht.
- ATM ist *skalierbar*. Während alle anderen Netzprotokolle an eine bestimmte Übertragungsgeschwindigkeit gebunden sind, bietet ATM eine ganze Palette von Schnittstellen mit unterschiedlichen Bitraten. Der Übergang von langsamen auf schnellere Übertragungstrecken und umgekehrt ist Bestandteil des Konzepts.
- Während die traditionellen LAN-Protokolle die Bandbreite eines Übertragungsmediums zwischen den angeschlossenen Stationen aufteilen (*Shared Medium*), stellt ATM jeder Station eine dedizierte Bandbreite zur Verfügung (*Switched Medium*). Jede Station erhält nur die Daten, die für sie bestimmt sind.
- ATM arbeitet rein *verbindungsorientiert*; es werden virtuelle Ende-zu-Ende-Verbindungen hergestellt. Vergleichbar mit Fernsprechnetzen wird eine Verbindung zwischen zwei Rechnern aufgebaut, die Daten werden übertragen und anschließend wird die Verbindung wieder abgebaut.
- Eine Fehlerkontrolle der zu übertragenden Daten kennt ATM nicht. Die Erkennung und Wiederholung fehlerhafter und verlorengangener Daten wird den höheren Protokollen überlassen.

Die Technik von ATM basiert auf der Übertragung und Vermittlung von Zellen. Zellen sind kleine Datenblöcke fester Länge. Eine ATM-Zelle ist 53 Byte lang und enthält 48 Byte Nutzdaten (Payload) und 5 Byte Steuerinformationen (Header). Auf den Übertragungstrecken fließt ununterbrochen ein Strom von Zellen, wobei die Zellen Nutzdaten enthalten oder leer sein können. Die Endgeräte unterteilen die zu übertragenden Daten in Blöcke von 48 Byte Länge und reihen sie in den Zellstrom ein.

Abbildung 5.7:
ATM als Multiplex-
verfahren



ATM ist ein Multiplexverfahren, d.h. mehrere langsame Übertragungstrecken können über ein schnelles Übertragungsmedium zusammengefaßt werden. Beispielsweise können mehrere Anschlüsse mit einer Bitrate von 2 oder 34 MBit/s zu einer schnellen Übertragungstrecke mit 155 MBit/s zusammengefaßt werden. Dabei werden freie Zellen der 155-MBit-Strecke nach Bedarf mit den Daten aus den langsamen Netzen gefüllt. Im weiteren Verlauf des ATM-Netzes sind alle Zellen gleich; die ursprüngliche Bitrate spielt keine Rolle mehr.

Die Schaltstellen im ATM-Netz heißen ATM-Switch. Anhand von Adreßtabellen leiten sie die ankommenden Zellen von Eingangs- auf Ausgangsports weiter. Die

Ports sind mit Pufferspeichern versehen, um Auslastungsschwankungen auszugleichen. Die ATM-Switches übernehmen neben der Zellvermittlung auch Aufgaben höherer Schichten wie die Wegfindung beim Verbindungsaufbau, Bereitstellung von Verbindungen mit bestimmten Qualitätsmerkmalen, Adaption für andere Netzprotokolle etc.

ATM bietet eine ganze Reihe von Schnittstellen mit unterschiedlichen Übertragungsraten, die aus verschiedenen Standards hervorgehen: 2 und 34 MBit/s aus der europäischen Schnittstellenhierarchie; 1,5 und 45 MBit/s aus der amerikanischen; 100 MBit/s (TAXI) angelehnt an die Medienadaption von FDDI; 155 und 622 MBit/s aus der SDH-Technik (Synchron Digital Hierarchy; wird in modernen Telekommunikationsnetzen eingesetzt) sowie 25 MBit/s. Im LAN-Umfeld sind ATM-155 auf Twisted-Pair-Kabeln der Kategorie 5 oder Glasfaser sowie ATM-25 auf TP-Kabeln ab Kategorie 3 von Bedeutung. ATM-155 eignet sich für den Anschluß schneller Server und zum Aufbau von Hochgeschwindigkeitsnetzen. ATM-25 wird von den Herstellern hingegen als Lösung für die Erschließung der Endgeräte positioniert. Während ATM-155 mit mehreren Tausend Mark pro Anschluß noch sehr teuer ist, liegt ATM-25 mit weniger als 1000,- DM schon in Preisregionen des Ethernet-Switching.

In der Zukunft lassen sich große campus-weite Netze einschließlich Weitverkehrsanschluß basierend auf ATM aufbauen, wobei man ganz ohne die traditionellen Router auskommt. Die Standardisierung und Verfügbarkeit von Produkten ist aber noch nicht so weit fortgeschritten. Zur Zeit kann ATM in Teilnetzen eingesetzt werden, die dann über Router verbunden werden.

Der Standard *LAN Emulation (LANE)* ermöglicht schon heute den transparenten Übergang von herkömmlichen LAN-Protokollen auf ATM ohne Router. Dazu emuliert LANE verbindungslose Datenübertragungen auf ATM und deckt den Physical- und den MAC-Layer gemäß OSI-Referenzmodell ab. LANE ermöglicht das direkte Switching zwischen Ethernet-Segmenten und ATM.

5.4 Netzkonzepte für studentische Wohnanlagen

Im Laufe dieses Kapitels wurde schon mehrfach deutlich, daß Ethernet für den Endanwenderanschluß zur Zeit das Standard-Protokoll ist. Andere Protokolle sind für einen flächendeckenden Einsatz zu teuer und die Übertragungsbandbreite ist noch nicht erforderlich. Schnellere Netze kommen zur Zeit nur bei großen Wohnanlagen für Verbindungen zwischen Gebäuden und für Server- und Hochschulnetz-Anbindung in Frage.

5.4.1 Dimensionierung von Ethernet-Segmenten

Im Anschluß an die Betrachtung von Überlastsituationen bei Ethernet in Abschnitt 5.2.2 „Medienzugriff“ stellt sich die Frage, wie viele Stationen ein Ethernet-Segment beherbergen darf, ohne daß das Übertragungsverhalten inakzeptabel wird. Eine pauschale Antwort läßt sich nicht geben. Die Grenze hängt im Einzelfall sehr von der Leistungsfähigkeit der Systeme, den eingesetzten Netzdiensten und dem Nutzungsverhalten ab. Aufschluß bringt eine Netzanalyse; dabei sollte der Anteil der kollidierenden Pakete unter 5% bleiben.

Für einen Pool von Rechnern der Workstation-Klasse mit einem gemeinsamen Fileserver liegt die Obergrenze bei maximal 20 Geräten. Im Umfeld studentischer Wohnanlagen kann man das Limit aus folgenden Gründen höher ansetzen:

1. Im Gegensatz zum Büro-Umfeld sind die Zeiten, in denen die Nutzer am PC arbeiten, nicht fest, sondern verteilen sich über den ganzen Tag (und die Nacht). Ferner arbeiten die Studierenden im Schnitt nur wenige Stunden pro Tag mit ihrem PC. Daher kann man davon ausgehen, daß nur ein kleiner Teil der angeschlossenen Geräte gleichzeitig aktiv ist.
2. Die PCs sind einzelne stand-alone-Geräte mit lokaler Festplattenkapazität. Datenintensive Zugriffe auf einen File-Server stellen keine zentrale Anwendung dar.
3. Unter den PCs der Studierenden sind überwiegend solche mittelmäßiger Leistung zu erwarten. Die Anforderungen an eine Netzinfrastruktur sind weniger hoch.

Im Gegenzug muß man feststellen, daß das Arbeiten mit verteilten Fenstersystemen (siehe Abschnitt 2.2.1 „Verteilte Fenstertechnik“) datenintensiv ist und durch ein stark belastetes Netz unangenehm gestört wird.

Da ein wesentlicher Teil des Datenverkehrs nicht im lokalen Netz der Wohnanlage verbleibt, sondern zu Einrichtungen des Hochschulnetzes und zum Internet verläuft, hängt die Dimensionierung des Ethernet wesentlich von der Bandbreite der Netzanbindung ab. Eine genügend schnelle Anbindung und lokale Services vorausgesetzt, sollte ein Segment nicht deutlich mehr als 50 Teilnehmer aufweisen.

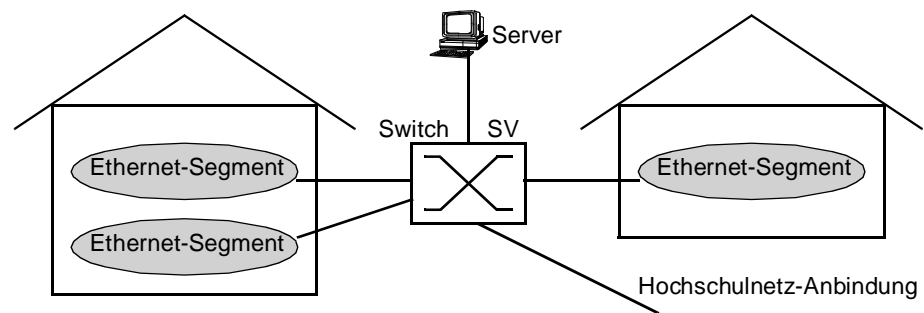
5.4.2 Konzepte für große Wohnanlagen

Bei größeren Netzen empfiehlt sich der Einsatz des Ethernet-Switching zur Lastreduktion. Dabei werden ca. 50 Netzanschlüsse mit Repeater zu einem Ethernet-Segment zusammengefügt. Jedes dieser Segmente erhält einen Anschluß am Ethernet-Switch.

Diese logische Struktur läßt sich hervorragend auf Basis der in Abschnitt 3.2 beschriebenen strukturierten Verkabelung aufbauen. Bei großen Häusern werden die Ethernet-Segmente aus verschiedenen Gebäudeteilen in einem am Gebäudeverteiler installierten Switch zusammengeführt. Bei Wohnanlagen, die aus mehreren Gebäuden bestehen, können die Ethernet-Segmente der einzelnen Häuser in einem Switch als Standortverteiler zusammenlaufen. Hierzu wird eine Standortverkabelung, wie in Abschnitt 4.1 beschrieben, vorausgesetzt. Im Einzelfall kann es günstiger werden, die strukturierte Verkabelung etwas aufzubrechen: Ein Switch im Gebäudeverteiler entfällt und aus den einzelnen Häusern werden mehrere Segmente direkt auf einen Standortverteiler geführt.

Da ein wesentlicher Teil des Netzverkehrs nicht im eigenen Ethernet-Segment bleibt, sondern zu Servern oder über den Netzanschluß zum Hochschulnetz verläuft, sollten hierfür separate Switch-Ports zugewiesen werden. Erst so kann eine Lastreduktion greifen. Bei einigen hundert Netzteilnehmern macht es auch heute schon Sinn, für diese Anschlüsse schnellere Protokolle als Ethernet einzusetzen. FDDI und ATM bieten sich für die Verbindung zum Hochschulnetz an, wobei die Auswahl durch die Netzstrategie der Hochschule vorgegeben wird. Für den Anschluß von Servern kann auch Fast-Ethernet in Betracht kommen.

Abbildung 5.8:
Standortnetz



Der Einsatz eines Routers innerhalb des studentischen Netzes ist in der Regel nicht erforderlich. Alle Netzsegmente sind organisatorisch gleich; die Notwendigkeit einer deutlichen Trennung zwischen einzelnen Häusern ist nicht gegeben. Das Hauptziel liegt in der Lastaufteilung, welche mit der Switching-Technologie billiger, mit höherer Leistung und weniger Konfigurationsaufwand erreicht werden kann.

5.4.3 Sicherheitsaspekte

Die herkömmlichen LAN-Protokolle (Ethernet und Nachfolger, Token-Ring und FDDI) verwenden das Konzept eines *Shared Mediums*. Dabei greifen alle Stationen am Netz gleichberechtigt auf das Übertragungsmedium zu. Außerdem läuft der gesamte Netzverkehr an allen Stationen vorbei, d.h. jeder Teilnehmer bekommt nicht nur die für ihn bestimmten Pakete, sondern auch die anderer Benutzer zu Gesicht.

Diese Situation ist im klassischen LAN-Umfeld tragbar, denn dort sind gleichberechtigte Geräte verbunden, die einer Organisationseinheit angehören und meist auch zentral von zuständigen Personen administriert werden. Die Bewohner einer Wohnanlage sind aber Individualpersonen. Das Netz verbindet dort unabhängig voneinander betriebene PCs, die jeweils der uneingeschränkten Kontrolle des Besitzers unterliegen.

Streng genommen sind traditionelle LAN-Protokolle in diesem Umfeld unter Betrachtung des Sicherheitsaspektes ungeeignet. Denn jeder Netzteilnehmer kann unbemerkt sogenannte Netzmonitor-Software laufen lassen, die sämtlichen Netzverkehr mitprotokolliert. Dabei fallen ihm z.B. in Klartext übertragene Paßwörter der anderen Bewohner in die Hände. Die studentischen Netze bieten aber so große Vorteile durch die Nutzung gemeinsamer Ressourcen, die Arbeit auf Workstations in den Instituten und einen breitbandigen und kostengünstigen Zugang zum Internet, daß diese Sicherheitslücke den Anwendern zugemutet werden kann. Alle Beteiligten sollten aber über die Problematik informiert sein.

Nicht akzeptabel wäre es, wenn der Netzverkehr der Studenten mit dem von Hochschuleinrichtungen gemischt würde. Die Studenten könnten etwa persönliche Post der Mitarbeiter mitlesen, Einsicht in Verwaltungsdaten bekommen usw. Selbst wenn nur ein wissenschaftlicher Rechnerpool eines Instituts im gleichen Gebäude liegt, kommt ein gemeinsames Netz mit studentischen Wohnanlagen nicht in Frage, da die im Unix-Umfeld zum Aufbau von Rechner-Pools eingesetzten Protokolle ein LAN mit Rechnern gleichen Sicherheitsstandards annehmen. Die Sicherheit des wissenschaftlichen Rechnerpool könnte problemlos von den Studenten unterlaufen werden.

Eine auch unter Sicherheitsaspekten saubere Trennung von lokalen Netzen kann nur ein *Router* leisten. Daher muß gefordert werden, daß die studentischen Netze von denen der Hochschuleinrichtungen in jedem Fall durch einen Router getrennt werden. Auf diese Weise ist auch eine bessere Kontrolle über die studentischen Netze möglich.

5.4.4 Technik auf Seiten der Hochschule

Bei der Anbindung über Standleitungen ist ohnehin eine Router-Kombination für die Umsetzung des Netzverkehr auf die Modem-Verbindung erforderlich (vgl. Abschnitt 4.4 „Standleitungen“). Die Anbindung über Glasfaser direkt an den Hochschul-Backbone wird man ebenfalls über einen Router herstellen.

Es hängt von der Netzinfrastruktur der Hochschule ab, wo die Studentennetze angeschlossen werden. Bildet ein FDDI-Ring den Kern des Campus-Netzes, so können die Wohnanlagen an Backbone-Routern in ihrer Nähe angeschlossen werden. Bei einer Stern-Topologie, liegt es nahe, die studentischen Netze zentral anzubinden. Im Falle von mehreren Wohnanlagen, die jeweils eigene Zuleitungen haben, können diese durch einen vorgeschalteten Switch zusammengefaßt werden. Auf diese Weise erhält man nur eine Schnittstelle zwischen Hochschule und studentischem Netz und eine übersichtlichere Netzstruktur. Die Netzkopplung sollte eine ausreichende Bandbreite aufweisen. Aus rein technischer Sicht bietet die Konzentration auf einen Übergabepunkt gegenüber mehreren Router-Anschlüssen keine entscheidenden Vorteile.

Ein gemeinsames Netz mit Studierenden läge dort nahe, wo Hochschuleinrichtungen mit Netzanschluß im gleichen oder benachbarten Haus untergebracht sind. Hier ist trotzdem ein Router zwischenschalten. Bei geringen Anforderungen an die Leistung muß der Router keine teure Anschaffung sein, sondern kann auch mit einem PC und zwei Netzwerkkarten aufgebaut werden.

5.4.5 Migration zur ATM-Technik

Extrapoliert man die Leistung handelsüblicher PC-Systeme und den Umfang von Multimedia-Anwendungen mit den Erkenntnissen der Vergangenheit auf die nächsten Jahre, so ist der Zeitpunkt absehbar, wo die Ethernet-Technik den Ansprüchen im studentischen Umfeld nicht mehr genügt. Zu diesem Zeitpunkt werden die in Abschnitt 5.3 „Hochgeschwindigkeits-LANs“ vorgestellten Techniken zu vertretbaren Preisen erhältlich sein.

Von Experten unbestritten ist die Prognose, daß ATM langfristig die Netztechnologie der Zukunft ist. Für den Einsatz in größeren Wohnanlagen hebt sich ATM auch schon mittelfristig gegenüber den Ethernet-Nachfolgern ab – aus folgenden Gründen:

- Im Umfeld von Forschung und Lehre hält neue Technologie meist schneller Einzug. Es kann davon ausgegangen werden, daß die Hochschule eine ATM-Infrastruktur aufbaut, in die sich die studentischen Netze integrieren lassen. Es werden frühzeitig ATM-spezifische Anwendungen bereitstehen.
- Der Ansatz eines Switched-LANs wird der Situation vieler Individual-Rechner besser gerecht. Man kann erwarten, daß sich hiermit die im vorletzten Abschnitt geäußerten Sicherheitsbedenken ausräumen lassen.
- Die Anschlüsse können innerhalb einer einheitlichen Technologie mit unterschiedlichen Übertragungsraten bereitgestellt werden. Benutzer mit

Hochleistungs-PCs, Server und der Netzanschluß können mit hoher Bitrate arbeiten (155 oder gar 622 MBit/s), während die Standardanschlüsse mit billigeren (ATM-25) Varianten auskommen.

Der Weg von der Ethernet- zur ATM-Technik läßt sich schrittweise vollziehen. Ausgehend von dem in 5.4.2 vorgestellten Netzkonzept sind drei Phasen absehbar:

1. Phase (*Ethernet*): Gruppen von etwa 50 Netzteilnehmer werden mit Hubs zu einem Ethernet-Segment zusammengefaßt. Die Segmente laufen auf einem Ethernet-Switch zusammen. Die Leitung zum Hochschulnetz sowie Server-PCs erhalten separate Ports.
2. Phase (*Ethernet und ATM*): Die Ethernet-Segmente werden verkleinert, so daß jeder Hub einen eigenen Switch-Port belegt. Der Switch wird um ATM-Technik erweitert. Der Netzanschluß und Server-PCs arbeiten mit ATM. Falls mehrere Switches erforderlich werden, werden diese mit ATM untereinander verbunden. Außerdem können einzelne Studierende, die an bestimmten Projekten mitarbeiten, einen ATM-Anschluß bekommen.
3. Phase (*ATM-Netz*): Die Ethernet-Hubs werden schrittweise durch ATM-Switches ersetzt. Jeder Netzteilnehmer bekommt einen Anschluß mit 25 MBit/s; ausgewählte mit 155 MBit/s. Die Infrastruktur zwischen den Switches wird mit ATM-155 aufgebaut und später auf ATM-622 erweitert.

Phase 1 stellt die aktuelle Konfiguration dar. Die Realisierung der folgenden Phasen 2 und 3 ist nach 2 bzw. 5 Jahren zu erwarten. Basierend auf einer zeitgemäßen Verkabelung (sternförmig mit Kabeln der Kategorie 5) lassen sich die Systemwechsel durch Austausch der aktiven Netzkomponenten bewerkstelligen; eine Neuverkabelung wird nicht notwendig.

5.5 Zusammenfassung

Ethernet ist zur Zeit *die* Wahl für studentische Netze; andere Protokolle kommen aus Kostengründen noch nicht in Betracht. Der günstige Preis des Ethernet resultiert nicht zuletzt in dem einfachen Medienzugriffsverfahren, das auf der anderen Seite aber auch Nachteile mit sich bringt. Ethernet-Segmente dürfen zur Vermeidung von lähmenden Überlastsituationen nicht beliebige Ausmaße annehmen. Als Lösung bietet sich das Ethernet-Switching an.

In kleineren Gebäuden kann Fast-Ethernet in einigen Jahren das jetzige Ethernet ersetzen. Bei größeren Wohnanlagen bietet sich eine Migration in Richtung ATM an. Diese Technik macht aber nur dann Sinn, wenn die Anbindung an das Hochschulnetz ebenfalls mit ATM möglich ist (Glasfaser-Kabel, Richtfunk oder Laser-Verbindung). Die ATM-Technik wird den Bedingungen in Wohnanlagen besser gerecht als die herkömmlichen LAN-Techniken, die das Netz als ein Shared Medium betreiben.

Aus Sicherheitsüberlegungen heraus kann der Übergang vom Hochschulnetz zum studentischen Netz nur durch einen Router hergestellt werden. Gemischte Netze von Wohnheimen und Instituten sind nicht tragbar. Innerhalb des studentischen Netzes kann aber auf Router in aller Regel verzichtet werden.

Kapitel 6

Bereitstellung von Netzdiensten

Während die vorangegangenen Teile die Netzwerk-Hardware zum Inhalt hatten, befaßt sich dieses Kapitel mit der notwendigen Software. Es werden Konzepte für die Bereitstellung grundlegender Netzdienste in studentischen Wohnanlagen vorgestellt. Dabei stehen Dienste auf Basis des Internet-Protokolls TCP/IP im Mittelpunkt. Eine Einführung in die Benutzung der Internet-Dienste und in die Konfiguration auf der Endanwender-Seite ist nicht Bestandteil dieses Kapitels. Es wird auf [29] und [31] verwiesen.

6.1 Kommunikationsprotokolle

In Kapitel 5 „Netzprotokolle und aktive Komponenten“ wurde das OSI-Referenzmodell vorgestellt und auf die Netzprotokolle der Schicht 2 (Data Link Layer) eingegangen. Während Protokolle wie Ethernet und FDDI noch hardware-abhängig sind (unterschiedliche Adapterkarten), sind die darauf aufsetzenden *Kommunikationsprotokolle* ein Software-Produkt. Die deutlich ausgeprägte Schnittstelle zwischen dem Data Link Layer und dem Networking Layer ermöglicht, daß ein Rechner mehrere Kommunikationsprotokolle gleichzeitig verwenden kann und daß alle Kommunikationsprotokolle auf unterschiedlichen LAN-Technologien arbeiten.

Abbildung 6.1:
Kommunikations-
protokolle im
Schichtenmodell

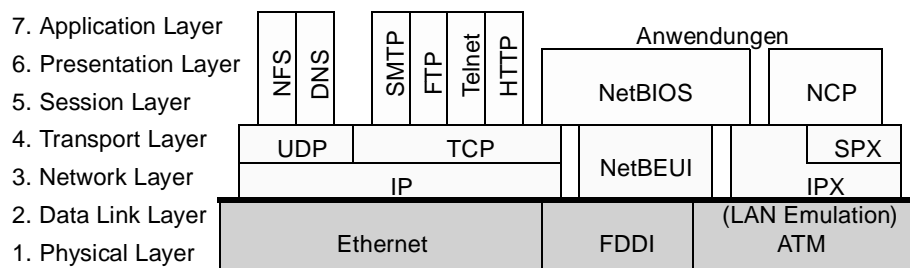


Abbildung 6.1 zeigt die Einordnung verschiedener Kommunikationsprotokolle im Schichtenmodell. Sie werden im Anschluß kurz vorgestellt; eine detaillierte Beschreibung findet sich in [3].

6.1.1 TCP/IP

Die Geschichte von TCP/IP geht bis in die 60er Jahre zurück. Damals verfolgte das Militär in den USA das Ziel, ein Datennetz aufzubauen, das aufgrund eines verteilten Konzepts von Atomschlägen möglichst wenig beschädigt werden konnte. 1969 startete das ARPANET, das sich rasch weiterentwickelte. In der zivilen Anwendung entstand der Wunsch nach einem Netz, das verschiedene autonome Netze miteinander verbindet (sogenanntes *Internetworking*). 1982 wurde das bis dahin benutzte Protokoll NCP durch die Weiterentwicklung TCP/IP ersetzt. In dieser Zeit wechselte der Name des Netzes von ARPANET zu *Internet*.

Die Weiterentwicklung von TCP/IP und darauf basierender Netzdienste ist vor allem den amerikanischen Universitäten zu verdanken. TCP/IP entwickelte sich zum Standard-Netzwerkprotokoll für Unix-Systeme, die in den 70er und 80er Jahren ebenfalls in Universitäten beheimatet waren. TCP/IP ist eine hersteller- und systemunabhängige, offene Protokollfamilie. Daher gab es auch schon frühzeitig Implementierungen für andere Computersysteme beginnend bei Großrechnern bis hin zu PCs. Die Verbreitung von Unix-Systemen und besonders der Internet-Boom machten TCP/IP zu dem bedeutendsten Netzprotokoll weltweit. In den letzten Jahren werden TCP/IP und darauf aufsetzende Dienste zunehmend auch für das interne Firmennetz eingesetzt. Man spricht dann von einem *Intranet*.

In der OSI-Schicht 3 ist das *IP-Protokoll* (Internet-Protocol) angesiedelt. IP arbeitet mit Paketen, die eine Quelle- und Zieladresse (*IP-Adressen*) enthalten. Die Pakete werden ohne einen Verbindungsaufbau zur Zielstation abgeschickt (verbindungslose Datenübertragung) und es besteht keine Garantie über die Ankunft (unzuverlässige Datenübertragung). Die IP-Adressierung erlaubt eine Unterteilung des Adreßraumes in Subnetze, die die Ausdehnung von Einrichtungen markieren. Auf diese Weise ist im Internet ein weltweites Routing zwischen den Einrichtungen möglich.

Auf IP setzen in der Ebene 4 UDP (User Datagram Protocol) und TCP (Transmission Control Protocol) auf. UDP ist wie IP verbindungslos und unzuverlässig. Es wird zum Beispiel von dem verteilten Dateisystem NFS, dem Network Information Service (NIS), dem Name Service (DNS) und dem Netzmanagement-Protokoll SNMP genutzt. TCP stellt dagegen eine gesicherte Verbindung zwischen zwei Endsystemen her, wobei die Ankunft der Daten in richtiger Reihenfolge garantiert wird. Davon machen unter anderem Telnet und Remote Login, der Dateitransferdienst FTP, E-Mail (SMTP), Netnews (NNTP) und das WWW-Protokoll HTTP Gebrauch. Die UDP- und TCP-Pakete enthalten eine Portnummer, die die Zuordnung der Daten zu verschiedenen Diensten ermöglicht.

Bestandteile der TCP/IP Protokoll-Familie sind außerdem ICMP (Internet Control Message Protocol) sowie ARP (Address Resolution Protocol). ICMP dient der Übertragung von Fehler- und Steuerungsinformationen. Mit ARP wird im lokalen Netz die Zuordnung von der IP-Adresse zu den MAC-Adressen der Rechner-Adapterkarten und der Netzkomponenten hergestellt.

6.1.2 IPX/SPX

IPX ist das Protokoll des Netzbetriebssystems *Netware*. Netware wurde 1983 von der Firma Novell als Netz für das PC-Umfeld entwickelt. Im Mittelpunkt des Konzepts steht ein zentraler Server, der mit dem Netware-Betriebssystem läuft. Die Endgeräte laufen vorwiegend unter MS-Dos oder MS-Windows und greifen über eine *Netware-Shell* genannte Betriebssystemerweiterung auf den Server zu.

Bei den Anwendungen steht die gemeinsame Nutzung von Ressourcen im Vordergrund. Die Endgeräte können Anwendungen vom Server starten, dort Daten abfragen und ablegen oder auf verschiedene Peripherie-Geräte zugreifen. Kommunikationsdienste sind eher zweitrangig, können aber auch in die Netware-Umgebung integriert werden. Außerdem gibt es Programme, die die Administration der PCs erleichtern. Netware erfüllt damit die Bedürfnisse von Unternehmen, deren EDV auf vernetzten PCs basiert.

IPX (Internetwork Packet eXchange) ist ein paketorientiertes und verbindungsloses Protokoll, das auf dem Network Layer im OSI-Modells anzusiedeln ist. Die Netware-Dienste greifen entweder direkt auf IPX zu oder auf die verbindungsorientierte Variante SPX. SPX (Sequential Packet eXchange) setzt in der Schicht 4 auf IPX auf und garantiert die verlustfreie Weiterleitung von Daten in der richtigen Reihenfolge. Die Netware-Shell verschickt über die NCP-Schicht IPX-Pakete. NCP (Netware Core Protocol) stellt dabei das zentrale Kommunikationsprotokoll von Netware dar.

Die Adressierung von IPX sieht neben der Rechneradresse auch eine Netzadresse vor. Damit können strukturierte Netze aufgebaut werden. Das Konzept ist ausgerichtet auf Unternehmensnetze, nicht jedoch auf ein weltweites Datenetz, das beliebige Einrichtungen verbindet. Das Angebot von Novell reicht von Netware 2.2 für 100 Rechner bis hin zu Konzepten mit nahezu unbegrenzt vielen Stationen und verteilten Servern in Netware 4.1. Ein Sonderfall bildet Netware Lite 2.2. Hierbei handelt es sich um ein Peer-to-Peer-Netz, das ohne zentrale Server auskommt.

6.1.3 NetBIOS

NetBIOS (Network Basis Input Output System) wurde 1984 von IBM entwickelt. Es stellt PC-Anwendungen eine Schnittstelle für den Zugriff auf ein LAN zur Verfügung. Auf NetBIOS basieren die mit *LAN-Manager* bezeichneten Netzwerkservers von Microsoft und IBM. Weit verbreitet ist auch die Netzwerkfunktionalität von Windows for Workgroups 3.11 und Windows 95. Dabei handelt es sich um ein *Peer-to-Peer-Netz* (Arbeitsgruppe ohne dedizierten Server) auf Basis von NetBIOS.

NetBIOS ist auf der Ebene 5 und 6 im OSI-Modell angesiedelt. Die Ebenen 3 und 4 deckt *NetBEUI* (NetBIOS Extended User Interface) ab. Dieses Protokoll kennt ebenfalls eine verbindungslose und verbindungsorientierte Variante. Im Gegensatz zu TCP/IP und IPX sieht NetBEUI kein Routing vor und ist damit auf den Einsatz in lokalen Netzen beschränkt. Die Adressierung von NetBIOS erfolgt über 16 Zeichen lange Rechnernamen.

NetBIOS ist nicht an NetBEUI gebunden, sondern wird auch von anderen Protokollen unterstützt; z.B. IPX und TCP/IP.

6.1.4 Appletalk

Appletalk ist das Standard-Kommunikationsprotokoll des Apple Macintosh. Es erlaubt die gemeinsame Ressourcennutzung in einem Verbund von Macintosh-Rechnern. Appletalk kann sowohl über Ethernet als auch über eine serielle Schnittstelle (Localtalk) betrieben werden. In gewissen Grenzen unterstützt Appletalk auch ein Routing zwischen Teilnetzen. Internet-Dienste laufen ebenfalls über Appletalk. Für den Übergang zum TCP/IP-basierten Netz muß ein sogenannter MacIP-Server installiert werden.

6.1.5 Einsatz in studentischen Wohnanlagen

In studentischen Wohnanlagen mit Netzanschluß ist TCP/IP das primäre Netzprotokoll. Diese Wahl ist wie folgt zu begründen:

- TCP/IP ist das primäre Netzprotokoll an Hochschulen.
- Die Studierenden sollen die Informations- und Kommunikationsdienste des Internet (lokal oder weltweit) nutzen können. TCP/IP ist das Protokoll des Internet.
- Arbeiten vom Schreibtisch zu Hause auf Unix-Workstations in den Instituten war eine zentrale Anwendung des Netzprojektes. Die Datenkommunikation in der Unix-Welt basiert auf der TCP/IP-Protokollfamilie.
- TCP/IP ist im Gegensatz zu den anderen Protokollen herstellerunabhängig und systemübergreifend. Eine Treiber-Unterstützung gehört mittlerweile zu allen Betriebssystemen oder ist kostenlos erhältlich.
- Die Adressierung von TCP/IP erlaubt es allen Einrichtungen am Hochschulnetz, eigene Teilnetze zuzuweisen und über Router zu trennen.

Die Verbindung zwischen Hochschule und studentischer Wohnanlage wird nur über TCP/IP hergestellt. Damit lassen sich alle angestrebten Anwendungen realisieren. Der Einsatz anderer Protokolle ist außerhalb des lokalen Netzes verzichtbar. Die Beschränkung auf TCP/IP ermöglicht der Hochschule, mit einem Router eine klare Schnittstelle zum studentischen Netz aufzubauen. Einschränkungen des Netzzugangs oder Messungen und Kontrollen der Nutzung sind an dieser Stelle möglich.

Im lokalen Netz können aber neben TCP/IP auch andere Kommunikationsprotokolle zum Einsatz kommen, da zum Beispiel das Netzwerk-Dateisystem NFS von Nicht-Unix-Systemen meist unzureichend unterstützt wird. Die im Windows-Betriebssystem integrierten Peer-to-Peer-Netze eignen sich für den Zugriff auf einen kleinen File-Server oder auf Festplatten und Drucker eines anderen Netzteilnehmers besser. Ähnliches gilt für Appletalk in der Macintosh-Welt. Der Einsatz von Netware als kommerzielles Produkt lohnt sich in den meisten Fällen dagegen nicht. Es sei denn, ein zentraler Server hält offiziell PC-Anwendungen für Studierende bereit.

6.2 Server-Konzepte

Die wichtigsten Netzdienste der TCP/IP-Familie arbeiten nach dem Client-Server-Prinzip. Der Server ist der Anbieter eines Netzdienstes, auf den die Clients als Endsysteme zugreifen. Betrachtet man das Beispiel Netnews, so läuft auf

einem Unix-System ein Programm als News-Server. Er speichert alle Artikel auf einer lokalen Festplatte. Die Clients sind die News-Reader, mit denen die Endanwender einzelne Artikel lesen oder neue schreiben.

6.2.1 Lokale oder zentrale Server?

Wenn die Bewohner vernetzter Wohnanlagen TCP/IP-Dienste nutzen sollen, müssen sie auf Server zugreifen können. Hier stellt sich für jeden Netzdienst einzeln die Frage, wo der Server anzusiedeln ist. Es bieten sich drei Möglichkeiten:

1. Betrieb der Server auf einem Rechner im lokalen Netz der Wohnanlage.
2. Betrieb einer zentralen Workstation, die die Dienste für alle studentischen Einrichtungen anbietet. (Studentenserver)
3. Mitnutzung der für den Hochschulbetrieb bereits laufenden Server.

Die Notwendigkeit, die Server im lokalen Netz zu betreiben, hängt von der Geschwindigkeit der Netzanbindung ab. Falls die Bandbreite der Gebäudeanbindung nicht die der lokalen Netze erreicht, wird zumindest für einige Dienste ein lokaler Server unvermeidlich. Bei größeren Wohnanlagen mit einer langsamen Netz-Anbindung (bis 128 kBit/s Bandbreite) wird es sogar erforderlich, die Server aller wesentlichen Dienste lokal anzusiedeln.

Das verteilte Konzept erfordert in jeder Wohnanlage einen dedizierten Rechner mit angemessener Leistung und Peripherie für die Wahrnehmung der Serveraufgabe. Die Mitnutzung privater PCs scheidet aus, da der Server ständig verfügbar sein sollte. Ein Dauerbetrieb des eigenen PCs kann aber von den Bewohnern nicht erwartet werden. Ein Problempunkt ist die Pflege des Server-Systems, die erhebliches Fachwissen voraussetzt und Arbeitszeit in Anspruch nimmt. Soll diese Tätigkeit nicht von bezahlten Mitarbeitern erledigt werden, so müssen sich Bewohner finden, die in der Lage und gewillt sind, die Aufgabe zu übernehmen.

Die Nutzung eines zentralen Servers spart Aufwand, da die Dienste nur an einer Stelle administriert werden müssen. Die Rechner können im geschützten Rechenzentrumsbereich untergebracht werden (Diebstahlschutz, unterbrechungsfreie Stromversorgung, Klimaanlage). Diese Variante sollte dort präferiert werden, wo die Netzinfrastruktur es zulässt.

Die Frage, ob ein spezieller Rechner für die Netzdienste der Studierenden betrieben wird oder die Server der Hochschule mitgenutzt werden, ist aus der konkreten Situation heraus zu beantworten. Im wesentlichen hängt die Entscheidung davon ab, wie mit dem Zugang für Studierende allgemein verfahren wird. Ein zentraler Studentenserver erlaubt eine strikte Trennung zwischen Wissenschaft und Studierenden. Die Trennung läßt sich aber schwer aufrecht erhalten, wenn die Studierenden ohnehin schon zu einem großen Anteil über einen Zugang in den Instituten verfügen und von dort Netzdienste nutzen können.

Beispielsweise besteht keine Notwendigkeit, gesonderte E-Mail-Zugänge auf einem Studenten-Server einzurichten, wenn in den Instituten Benutzerkennungen für die Unix-Systeme an alle Studierenden vergeben werden. Ist der Zugang zu Netzdiensten für Studierende jedoch wenig verbreitet, so bietet es sich an, die Postkästen der neuen Nutzer auf einem getrennten Studentenserver einzurichten. Die Pflege eines solchen Rechners können die Studierenden größtenteils selbst durchführen und damit die Systembetreuer der Hochschule entlasten.

Wie eingangs schon angedeutet, ist die Frage, wo der Server betrieben wird, für jeden Dienst einzeln zu stellen. Es kann z. B. praktikabel sein, einen File-Server im lokalen Netz zu betreiben, Raum für private WWW-Seiten auf einem zentralen Studenten-Server bereitzustellen und für Netnews den Server der Hochschule mitzunutzen.

6.2.2 Betriebssystem

Während die Client-Programme der Internet-Dienste für alle gängigen Betriebssysteme verfügbar sind, gibt es bei der Server-Seite Einschränkungen. Die vollständige Palette leistungsfähiger Server-Software bekommen man – zumindest kostenlos – nur für Unix-Systeme. Unix bietet sich mit seinen Multiuser-/Multi-tasking-Eigenschaften und weitreichender Netzintegration für den Einsatz als Server-Betriebssystem an. Nicht ohne Grund sind die Server der Hochschulen fast ausschließlich Unix-Workstations und Unix-Serversysteme.

Ein lokales Server-System in einer Wohnanlage muß keine teure Workstation sein. Hier kann auch ein handelsüblicher PC mit einem freien PC-Unix eingesetzt werden. Bei der Beschaffung des PCs sollte das Augenmerk weniger auf der CPU-Leistung (Taktrate), als auf einem ausreichenden Hauptspeicherausbau, schnellen Festplatten und einer leistungsfähigen Netzwerkkarte liegen.

Als Unix-System kommen Linux und FreeBSD in Frage. Für beide Systeme finden sich leidenschaftliche Befürworter. FreeBSD gilt als konsistenter und ausgereifter, Linux ist wesentlich weiter verbreitet, was sich im Angebot an Literatur und Software bemerkbar macht.

Neben der Bereitstellung der Internet-Dienste kann ein lokaler Server noch andere Aufgaben übernehmen:

- In einer kleinen Wohnanlage, die über eine analoge oder digitale Telefonleitung angebunden ist, kann der Anschluß mit einem PC erfolgen (siehe Abschnitt 4.3.1 „Analoge Wählverbindungen“). Das Unix-System übernimmt das Routing zwischen dem lokalen Netz und der mit SLIP bzw. PPP betriebenen Außenanbindung.
- Der PC kann in begrenztem Umfang als Arbeitsplatz genutzt werden. Bewohner, die keinen eigenen Rechner haben, erhalten die Gelegenheit, dort Kommunikationsdienste zu nutzen. Sie sind nicht von den neuen Medien ausgeschlossen. Auch PC-Besitzer können den Server mitnutzen, wenn sie gelegentlich eine Unix-Umgebung zur Arbeit benötigen. Unix ist zwar in der Lage den Benutzer-Betrieb parallel zur Bereitstellung von Netzdiensten zu bewältigen, trotzdem ist die Mitnutzung kritisch. Fehlverhalten der Benutzer oder Überlastungen des Systems könnten die Netzdienste und damit den Netzbetrieb beeinträchtigen.
- Mit dem Network-File-System (NFS) kann ein Unix-System Dateibäume an andere Unix-Systeme exportieren. Der Server-PC wird zu einem File-Server. Bewohner, die auf dem eigenen PC ebenfalls Linux oder FreeBSD betreiben, haben die Möglichkeit, auf dem Server installierte Software mitzunutzen. Sie müssen den vollen Systemumfang und zusätzliche Software nicht mehr lokal installieren und pflegen.
- Ein Unix-System kann Teil eines heterogenen Netzes sein. Dateisysteme und Drucker werden nicht nur über Protokolle der TCP/IP-Familie bereit-

gestellt, sondern auch über IPX oder NetBIOS. Das `samba`-Paket ermöglicht die Einbindung in die Peer-to-Peer-Netze von Windows for Workgroups bzw. Windows 95 [18]. Der Unix-Server wird damit zu einem Fileserver auch für Windows-Systeme. Entsprechende Software für Netware und Appletalk ist in der Entwicklung.

Die aufgeführten Punkte unterstreichen die Vielseitigkeit eines Unix-Systems und den Nutzen eines Server-PCs innerhalb der Wohnanlage.

6.3 Bereitstellung der Internet-Dienste

Im folgenden soll auf die Kommunikationsdienste der TCP/IP-Familie detaillierter eingegangen werden. Die Bereitstellung dieser Dienste ermöglicht nicht nur den Zugang zum Informationsangebot des Internet, sondern bildet auch die Grundlage für die Kommunikation innerhalb der Hochschule.

6.3.1 Domain Name Service

Die Adressierung von Rechnern erfolgt im TCP/IP-Protokoll über die vier Byte langen numerischen IP-Adressen. Die Zahlenkombinationen sind aber für Menschen wenig aussagekräftig und schlecht zu merken. Daher werden den numerischen Adressen im Internet Namen zugeordnet. Die Namen sind in mehrere Komponenten unterteilt: dem Rechnernamen (*Hostname*) und dem Namensraum (*Domainname*). Der Domainname kann in weitere Komponenten unterteilt sein (*Subdomain*). Er gibt Aufschluß über das Land und die Organisation, zu dem der Rechner gehört. Bei der Adresse `theke.heim2.tu-clausthal.de` ist `theke` der Rechnername, `de` deutet auf den Bereich Deutschland hin, `tu-clausthal` auf die angeschlossene Einrichtung und `heim2` auf eine Organisationseinheit innerhalb der TU Clausthal.

Die Zuordnung von Namen zu IP-Adressen wird über den Domain Name Service (DNS) hergestellt, der hierarchisch organisiert ist. Jede Hochschule betreibt für ihren Adreßbereich einen Nameserver, der eine Datenbank mit allen Rechnernamen und den zugehörigen IP-Adressen bereithält. Alle Rechner des Hochschulnetzes fragen diesen Nameserver, wenn sie Adressen auflösen müssen. Kann er die Anfrage nicht beantworten, so fragt er seinerseits einen übergeordneten Server. Um die Anzahl solcher Rückfragen zu begrenzen, verwalten die Nameserver einen Cache mit den häufig gefragten Rechneradressen.

Der Nameserver einer Domain kann die Zuständigkeit für Teilbereiche (Zonen) an untergeordnete Nameserver delegieren. Im obigen Beispiel kann der Nameserver für `tu-clausthal.de` die Zuständigkeit für die Zone `heim2` an einen anderen Server abgeben. Die Pflege der Zuordnungstabellen wird von den Administratoren vor Ort durchgeführt. Andererseits ist ein fehlerfreier und ständig verfügbarer Nameserver eine wichtige Voraussetzung für den reibungslosen Netzbetrieb. Daher kommt ein Delegieren nur dann in Betracht, wenn fachkundiges Personal die Verantwortung für den Betrieb übernimmt.

Aufgrund der hohen Fluktuation in studentischen Wohnanlagen und damit einer verhältnismäßig großen Zahl von Änderungen gilt es, eine Verlagerung des Nameservice für die Studentennetze in den Aufgabenbereich der Studierenden abzuwägen. Damit wird das Personal der Hochschule entlastet und Änderungen können unbürokratisch durchgeführt werden. Auf der anderen Seite stehen die

hohen Anforderungen an die Zuverlässigkeit des Services. Im Falle von größeren Wohnanlagen kann davon ausgegangen werden, daß die technischen und organisatorischen Voraussetzungen für den Betrieb eines eigenen Nameserver erfüllt sind und die Vorteile einer dezentralen Lösung überwiegen.

Bei der dezentralen Lösung läuft ein Nameserver (verwendet wird `bind` = Berkeley Internet Name Domain) auf einem Server-PC im lokalen Netz oder auf einem Studenten-Server. Er verwaltet als *primärer Nameserver* die Dateien, in denen Namen auf IP-Adressen und IP-Adressen auf Namen abgebildet werden. Der zentrale Nameserver der Hochschule fungiert als Backup-System (sogenannter *sekundärer Nameserver*). Der oder die sekundären Nameserver fragen regelmäßig den primären ab und geben auf Anfrage die Informationen weiter.

Den lokalen Nameserver tragen alle Benutzer im lokalen Netz als ihren Nameserver ein. Da ein Nameserver als Cache arbeitet, kann er häufig gefragte Rechneradressen sofort beantworten, was sich bei einer langsamen Anbindung auszeichnet. Um ausschließlich die Cache-Funktion bereitzustellen, bietet `bind` die Konfiguration als sogenannter *Slave-Server*. Diese Variante ist für Wohnanlagen mit einer langsamen oder instabilen Anbindung und ohne eigenen primären Nameserver interessant.

Hinweise zum Aufbau eines `bind`-Nameserver und zur Vergabe von Namen findet man in [18]. Die Rechnernamen sollten nicht von den Namen ihres Besitzers abgeleitet sein oder fortlaufend vergeben werden. Trotzdem bietet es sich aus organisatorischen Gründen an, Hinweise auf den Besitzer in den Datenbestand aufzunehmen. Für Angaben, wie Name und Zimmernummer eignet sich das Feld `IN TXT`.

Server-PCs sollten nicht nach den Diensten, die sie anbieten, benannt werden. Für funktionsbezogene Namen wie `www.wohnheim.uni.de` werden Aliase mit `IN CNAME` eingetragen, die auf den Rechner mit dem entsprechenden Dienst zeigen. Auf diese Weise wird der Umzug des Dienstes auf einen anderen Rechner erleichtert.

6.3.2 E-Mail

Das Gegenstück zu den Mail-Programmen der Endanwender bilden auf der Server-Seite die *Mail Transfer Agents* (MTA); als Protokoll wird SMTP (Simple Mail Transfer Protocol) verwendet. Die Mail-Clients schicken die Nachrichten an einen MTA, der für die Ermittlung des Empfängersystems und den Transport dorthin verantwortlich ist. Empfängt ein MTA Nachrichten per SMTP, die für ihn bestimmt sind, so legt er sie in einem bestimmten Verzeichnis (*Mail-Spool*) in einer Datei ab, die dem angeschriebenen Mail-Teilnehmer gehört. Der Teilnehmer kann dann die Datei (seinen Postkasten) mit seinem Mail-Client auslesen.

Auf Unix-Systemen ist *Berkeley sendmail* der am weitesten verbreitete MTA. Das System zeichnet sich durch eine hohe Flexibilität aus, die aber auch eine hohe Komplexität bedingt. Die Konfiguration wird in [7] umfassend beschrieben. Sendmail läuft üblicherweise als Prozeß auf jedem Unix-Rechner.

Für PC-Betriebssysteme wie Windows gibt es keine leistungsfähigen MTAs. Die Systeme können ohne MTA keine E-Mail per SMTP annehmen, sondern überlassen dies einem Unix-basierten Mail-Server. Damit fehlt den Mail-Clients aber der direkte Zugriff auf den Mail-Spool (Postkasten). Eine Lösung bietet das *Post Office Protocol* (POP), mit dem der Mail-Client über das Netz auf den Mail-

Spool eines Unix-Systems zugreifen kann. Auf dem Unix-System muß dazu der POP Daemon laufen.

Ein E-Mail-Nutzer kommt also nicht ohne den Zugang auf einem Unix-System aus. Dieser Zugang kann auf einem lokalen Server, einem zentralen Studentenserver oder auf Workstations in den Hochschuleinrichtungen eingerichtet werden. Um eine doppelte Benutzerverwaltung zu vermeiden, sollte der Mail-Account dort angesiedelt werden, wo für andere Netzaktivitäten (z. B. private WWW-Seiten) ein Zugang existiert.

Benutzer, die selbst ein PC-Unix betreiben, könnten sich ihre E-Mail direkt auf den eigenen Computer zustellen lassen. Es muß nur sendmail laufen. Diese Lösung hat sich aber in der Praxis als unpraktikabel erwiesen. Denn die Mail-Systeme gehen davon aus, daß sie den MTA des Empfängers jederzeit oder zumindest innerhalb eines Tages erreichen können. Zwar ist es möglich, mit einem MX Eintrag im Name Server einen *Mail Exchanger* anzugeben, der die Nachrichten vorübergehend annimmt, wenn der Zielrechner nicht erreichbar ist. Aber auch dort ist die Lagerzeit begrenzt, so daß die E-Mail als unzustellbar zurückgeschickt wird, wenn das Zielgerät mehrere Tage nicht eingeschaltet wurde. Diese Situation tritt in der vorlesungsfreien Zeit bei fast allen Studierenden auf.

Um solche Probleme von Grund auf zu vermeiden, sollten für alle privaten PCs die MX Einträge nicht auf den PC selbst, sondern auf einen zentralen Server zeigen, der alle E-Mail verwaltet. Damit kann kein Rechner selbst Mail empfangen und die Benutzer sind von der aufwendigen sendmail-Konfiguration entbunden. Die Unix-Betreiber können entweder POP-Mail-Produkte nutzen oder einen Remote Login auf den Mail-Server machen.

Die E-Mail-Adressen der Benutzer sollten so angelegt werden, daß ein Rechnername darin nicht vorkommt. Anzustreben ist `name@wohnheim.uni.de` bzw. `name@institut.uni.de`. Denkbar wäre auch eine Vergabe nach dem Schema `vorname.nachname@uni.de`. Die Vergabe hochschulweit einheitlicher E-Mail-Adressen muß aber mit allen beteiligten Einrichtungen koordiniert werden und ist kurzfristig nicht zu erreichen. Sendmail bietet Mechanismen zur Verwaltung von Mail-Adressen und zugehörigen Accounts in einer Datenbank (userdb).

6.3.3 Netnews

Die Netnews sind die Diskussionsforen des Internet. In über 10.000 Gruppen zu allen erdenklichen Themen werden täglich annähernd hunderttausend Artikel ausgetauscht. Diese Informationsflut stellen die News-Server den Endanwendern zur Verfügung. Die News-Server tauschen untereinander die Artikel aus und speichern sie auf einer lokalen Festplatte. Nach einer vorgegebenen Lagerdauer – die meistens durch die Größe der Festplatte vorgegeben ist – werden die Artikel automatisch gelöscht. Der Austausch zwischen den News-Servern wird als *Newsfeed* bezeichnet. Innd heißt der gebräuchlichste News-Server.

Der Betrieb eines News-Servers mit allen Gruppen verbraucht sehr viel Ressourcen. Es wird ein separater Rechner mit einigen Gigabyte Plattenkapazität benötigt und die Netzzuleitung wird erheblich beansprucht. Außerdem ist eine intensive Betreuung erforderlich. Daher sollte die Anzahl von News-Servern auf das zwingend notwendige Maß reduziert werden. Falls einige Einrichtungen

„private Gruppen“ nutzen wollen, die im Rest der Universität nicht sichtbar sind, so ist dies kein Grund für einen eigenen News-Server, denn in Konfigurationsdateien des `inn` können entsprechende Zugriffsrechte vergeben werden.

Unter bestimmten Bedingungen ist ein News-Server mit einer Teilauswahl der Gruppen im lokalen Netz sinnvoll; nämlich dann, wenn viele News-Leser über eine langsame Leitung (bis 128 kBit/s) angebunden sind. In diesem Fall kann ein lokaler News-Server eine gezielte Auswahl der gefragten Gruppen vorhalten und den Benutzern einen flüssigen Zugriff auf die Artikel ermöglichen. Die Bereitstellung einer begrenzten Auswahl kostet deutlich weniger Ressourcen, und die Beanspruchung der Leitung bleibt akzeptabel, wenn der Newsfeed in die späte Nacht verlegt wird.

Die Frage welche Gruppen gefragt sind und welche nicht benötigt werden, kann manuell durch Umfrage oder auch automatisch durch Auswertung der Zugriffsstatistik und persönlicher Konfigurationsdateien (`.newsrc`) geklärt werden. Der Newsfeed vom Hauptserver wird dann ständig dem Bedarf angepaßt. Programme wie `gup` erlauben es, diesen Vorgang vollständig zu automatisieren.

6.3.4 World Wide Web

Die Nutzung des World Wide Web erzwingt keinen Server im studentischen Netz. Die Clients (WWW-Browser) greifen direkt auf die Rechner zu, die Informationen im WWW bereitstellen. Solche WWW-Server können innerhalb der Hochschule stehen, aber auch an einem anderen Ort weltweit. Der WWW-Server läuft also dort, wo Informationen angeboten werden.

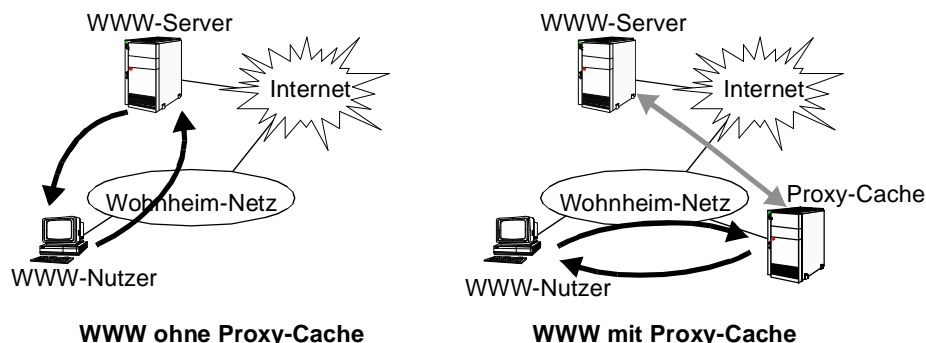
Den Studierenden sollte der Zugang zu einem WWW-Server ermöglicht werden, um selbst Informationen anbieten zu können. Denn es ist längst Standard im Internet, daß sich die Netzteilnehmer – vergleichbar mit einer Visitenkarte – auf einer privaten WWW-Seite kurz vorstellen. Außerdem erhalten sie so die Chance, sich mit der Erstellung von WWW-Seiten und dem Anbieten von Informationen im WWW vertraut zu machen. Von den Studierenden in Eigeninitiative erstellte WWW-Seiten sind oftmals eine Bereicherung für das Informationsangebot der Hochschule.

Die studentischen WWW-Seiten können auf einem WWW-Server der Hochschule, auf einem zentralen Studentenserver oder auf einem Server-PC im lokalen Netz der Wohnanlage untergebracht werden. In jedem Fall empfiehlt es sich, den studentischen Bereich deutlich vom offiziellen WWW-Angebot der Hochschule zu trennen, damit sich die Inhalte für den Leser nicht vermischen und die Verantwortlichkeit für die Dokumente deutlich erkennbar wird. Eine solche Trennung erzwingt aber keinen eigenen Rechner, sie ist auch innerhalb eines Servers realisierbar. Beispielsweise können moderne WWW-Server wie der `apache` abhängig vom Rechnernamen, unter dem sie angesprochen werden, verschiedene WWW-Seiten anbieten.

Eine wichtige Rolle zur Beschleunigung der WWW-Zugriffe spielen die *Proxy-Cache-Server*. In allen WWW-Browsern findet sich ein Konfigurationsfeld für einen HTTP-Proxy. Der Browser richtet dann alle seine Anfragen nicht mehr direkt an den Ziel-WWW-Server, sondern an den Proxy. Dieser verwaltet auf einer Festplatte einen Cache mit den häufig angeforderten WWW-Seiten. Hat er eine angefragte Seite gespeichert und ergibt eine kurze Überprüfung beim Herkunftsserver, daß sie noch aktuell ist, so gibt er die Daten direkt aus seinem

Archiv weiter. Nur wenn er eine Seite nicht gespeichert hat, besorgt er sich selbst die Information vom Originalserver und beantwortet damit die Anfrage. Der Proxy-Cache kann seinerseits wieder andere Proxies anfragen.

Abbildung 6.2:
WWW-Proxy-Cache



Ein Proxy-Cache sollte in jedem lokalen Netz installiert werden, das nicht mit mindestens 1 MBit/s angebunden ist. Mit dieser Technik kann WWW auch noch über eine Leitung von 64 kBit/s Bandbreite unter vertretbaren Bedingungen angeboten werden. Studierende in Wohnanlagen mit einem schnellen Netzanschluß sollten einen Proxy-Cache im Hochschulnetz verwenden. Auf diese Weise werden die Außenanbindung der Hochschule und die Auslandsverbindung des Wissenschaftsnetzes entlastet.

6.4 Sicherheitsaspekte

Der Betrieb unabhängiger, privater PCs in einem gemeinsamen lokalen Netz stellt eine Situation dar, für die keine ausreichenden Sicherheitsmechanismen in den Netzprotokollen vorgesehen sind. In Abschnitt 5.4.3 „Sicherheitsaspekte“ wurde bereits auf die mangelnde Abhörsicherheit in LANs eingegangen. Trotzdem muß es das Ziel beim Einsatz von Netzdiensten und dem Betrieb von Servern sein, einen Schutz der Daten gegen Abhören, Manipulationen oder Zerstörung zu gewährleisten.

Die Ursachen für Probleme der Datensicherheit lassen sich mit folgende Punkten zusammenfassen:

1. Netzprotokolle wie Ethernet betreiben das Übertragungsmedium als ein *Shared Medium*. Alle Daten erreichen die Netzkarten aller Stationen im lokalen Netz ohne Rücksicht darauf, an wen sie adressiert sind. Da die Daten unverschlüsselt übertragen werden, könnte ein Bewohner den gesamten Netzverkehr aufzeichnen und auswerten.
2. Jeder Netzteilnehmer hat über seinen PC die *vollständige Kontrolle*. Er kann sein System beliebig konfigurieren und unbemerkt Programme starten. Einige Netzdienste gehen aber von einem Rechnerpool aus, der unter einer zentralen Kontrolle steht.
3. Der Netzanschluß erlaubt es nicht nur, daß die Studierenden von ihrem PC auf Internet-Dienste zugreifen, sondern auch, daß Teilnehmer aus dem Internet auf das studentische Netz zugreifen können. Damit sind *Angriffe von außen* denkbar.

Die besondere Situation in vernetzten studentischen Wohnanlagen gilt es beim Einsatz von Netzdiensten und bei der Rechnerkonfiguration zu berücksichtigen.

6.4.1 NFS und NIS

Mit NFS (Network File System) können Unix-Systeme über das Netz auf Dateisysteme eines anderen Rechners zugreifen. Die für eine Nutzung durch andere Rechner in Frage kommenden Verzeichnisbäume müssen auf dem NFS-Server freigegeben werden (*export*). Die Client-Rechner integrieren den Verzeichnisbaum dann in ihren eigenen (*mount*) und greifen über das Netz auf die Dateien zu.

Das NFS-Konzept geht davon aus, daß alle beteiligten Systeme einen einheitlichen Sicherheitslevel haben und gemeinsam administriert werden. Insbesondere wird eine zentrale Verwaltung der Benutzerkennungen (User-ID) gefordert. Diese Voraussetzungen sind aber in einer vernetzten Wohnanlage nicht gegeben, da die Kontrolle der PCs bei ihren Besitzern liegt.

Im NFS-Protokoll werden die Zugriffsrechte auf Dateien über die numerischen Benutzerkennungen (UID) zugeordnet. Da jeder Betreiber eines PC-Unix auf seinem System beliebige Benutzerkennungen mit ihm bekannten Paßwörtern einrichten kann, kann er sich Zugriff auf alle per NFS exportierten Dateien verschaffen unabhängig davon, wem sie gehören. Dies gilt auch für Dateien, die dem Super-User root gehören, falls sie mit root-Rechten exportiert wurden.

Aufgrund der bisherigen Überlegungen dürfen keine Verzeichnisbäume per NFS exportiert werden, auf denen die Zugriffsrechte für unterschiedliche Benutzer eine Rolle spielen. Dies gilt z. B. für den home-Bereich (private Benutzer-Verzeichnisse) oder den Mail-Spool (ein Export des Mail-Spool hätte den Vorteil, daß die Unix-Benutzern trotz eines zentralen Mail-Servers auf ihrem lokalen PC direkten Zugriff auf ihre E-Mail hätten – siehe Abschnitt 6.3.2 „E-Mail“). Außerdem dürfen keine Bereiche mit Schreibrechten oder gar mit root-Rechten exportiert werden. Nach diesen Einschränkungen bleibt nur die Bereitstellung von Anwendungsprogrammen über NFS als Einsatzfeld übrig.

NIS (Network Information System) – früher auch als YP (yellow pages) bekannt – dient in einem Pool von Unix-Systemen dazu elementare Dateien mit sich regelmäßig ändernden Informationen zentral zu verwalten. Die wichtigste Anwendung ist die Verwaltung der Paßwort-Dateien über NIS. Abgesehen davon, daß für diese Anwendung in den vernetzten Wohnanlagen kaum Bedarf besteht, ist der Einsatz von NIS kritisch. Die NIS-Clients nehmen ohne Überprüfung Antworten von Servern im lokalen Netz an. Ein Bewohner könnte einem eigenen NIS-Server aufsetzen und damit beispielweise eine von ihm geänderte Paßwort-Datei in Betrieb nehmen.

6.4.2 Verschlüsselung

Jeder Netzteilnehmer kann für die anderen unbemerkt auf seinem PC einen Netzmonitor laufen lassen, der sämtlichen Netzverkehr mitprotokolliert. Ist der Datenschutz bei den meisten Netzanwendungen in einem Studentennetz eher unwesentlich, so gibt es doch kritische Problemfälle. Die Paßwörter bei einem Remote Login werden im Klartext übertragen. Ein Netzlauscher könnte gezielt Benutzerkennungen anderer Studierender sammeln und sich unberechtigten

Zugang zu Systemen der Hochschule verschaffen. Besonders betroffen sind davon Bewohner, die bei der Systemadministration in Instituten mitwirken.

Das *ssh-Paket* stellt eine Alternative zu den Programmen `rlogin`, `rsh` und `rcp` dar, bei der zusätzliche Authentisierungsverfahren und eine Verschlüsselung der Sitzung eingebaut wurden. Das Paket gestattet ein relativ sicheres Arbeiten auf einem entfernten Rechner. Einweg-Paßwörter (`s/key`) sind eine weitere Maßnahme gegen das Mitscheiden von Paßwörter. Der Benutzer läßt sich von einem Programm eine Liste von Paßwörtern generieren, die jeweils nur bei einem Login gültig sind. Es gibt Programme, die den Prozeß beim Remote-Login automatisieren.

Dateien oder die persönliche E-Mail lassen sich mit Programmen wie `pgp` (*Pretty Good Privacy*) verschlüsseln. Das in `pgp` eingesetzte Verfahren kann nach heutigen Erkenntnissen als sicher eingestuft werden. Allerdings hängt der tatsächlich erreichte Schutz wesentlich von der Sicherheit der Rechner ab, auf denen die Verschlüsselung durchgeführt wird, und davon, wie gewissenhaft der Anwender mit dem System umgeht.

6.4.3 Schutz gegen Angriffe

Die Teilnahme am Netz erlaubt es nicht nur, auf andere Rechner zuzugreifen und Netzdienste zu nutzen, auch Zugriffe auf den eigenen Rechner sind möglich. Solche Zugriffe können durchaus sinnvoll und beabsichtigt sein, z. B. wenn mehrere Studierende gemeinsam an einem Projekt arbeiten. Es gilt aber, unerwünschte Zugriffe oder gar Angriffe auf das eigene Systeme zu verhindern. Solche Angriffe können entweder ein Streich eines Mitbewohners sein oder aber von Fremden über das Internet verübt werden. Für *Cracker* (Hacker mit negativer Absicht) aus dem Internet sind die Daten auf einem studentischen Rechner zwar uninteressant, er könnte aber auf der Suche nach einer Plattform für weitere Aktivitäten sein.

Grundsätzlich kann man sagen, daß Windows-Systeme, auf denen nur Client-Software (WWW-Browser, POP-Mail etc.) genutzt wird, aus dem Internet nicht attackiert werden können. Es treten höchstens PC-typische Probleme auf, wie Computer-Viren oder destruktive Programme, die der Anwender aus dem Netz zugeschickt bekam und die er arglos gestartet hat. Unter diesem Gesichtspunkt sind auch einige Erweiterungen von WWW-Browsern kritisch zu sehen. Im lokalen Netz sollte das Augenmerk darauf gerichtet sein, nicht unbewußt oder uneingeschränkt die Workgroup-Funktionalität zu aktivieren. Womit andere Netzteilnehmer Zugriff auf die lokalen Dateien bekämen.

Unix-Systeme sind als Netzwerksystem ausgelegt. Es ist vorgesehen, daß man über das Netz auf ihnen arbeiten oder Netzdienst von ihnen nutzen kann. Daher muß der Betreiber eines Unix-Systems bei der Konfiguration darauf achten, daß der Zugang auf einen berechtigten Personenkreis eingeschränkt bleibt und öffentliche Netzdienste keinen Ansatzpunkt für einen Einbruch bieten.

Schutzmaßnahmen können ganz elementar sein. Alle Benutzerkennungen sind mit einem *nichttrivialen Paßwort* zu versehen (nichttrivial heißt: kein Wort eines Wörterbuches oder mit direkten Bezug zum Benutzer). Von den zahlreichen Netzdiensten, die ein Unix-System unterstützt, sollten nur diejenigen aktiviert werden, die für den Betrieb zwingend erforderlich sind. Bei einem reinen Endanwender-System sind das nur sehr wenige.

Mehr Aufwand erfordert die Konfiguration der Server, da dort mehrere Benutzer arbeiten und öffentliche Dienste angeboten werden (WWW-Server). Dadurch wird die Existenz des Rechners im Internet bekannt. Auch hier sollten zuerst unnötige Netzdienste deaktiviert werden (Beispiele: TFTP, rexd, anonymous-FTP; möglicherweise NFS und NIS). Die notwendigen Dienste gilt es, sorgfältig zu konfigurieren und auf Sicherheit zu testen. Von den Zugriffen auf öffentliche Netzdienste und von besonderen Vorkommnissen sollten Log-Dateien angelegt und regelmäßig gesichtet werden. Mit der Hilfe dieser Dateien können versuchte oder erfolgte Angriffe erkannt und Sicherheitsprobleme aufgedeckt werden.

Hinweise, worauf bei der Konfiguration von Unix-Systemen und Netzdiensten im Detail zu achten ist, gibt es zuhauf. Sie würden diesen Rahmen sprengen. Eine gelungene Einführung findet sich in [25] und [16]. Aktuelle Hinweise gibt das DFN-CERT heraus (<http://www.cert.dfn.de/>). Die Einrichtung hilft auch bei akuten Sicherheitsvorfällen weiter.

6.4.4 Allgemeine Datensicherheit

Bisher standen Probleme wie Abhören des Netzverkehrs oder Angriffe auf Unix-Systeme im Mittelpunkt. Betrachtet man aber die Datensicherheit allgemein, so spielen diese Risiken nur eine untergeordnete Rolle. Viel häufiger ist die Zerstörung von Daten durch Hardware-Ausfälle oder Fehlbedienung der Benutzer und der Systemadministratoren. Das einzig wirkungsvolle Mittel gegen Festplattenschäden oder versehentliches Löschen ist ein funktionierendes *Backup*. Deshalb sollte zur Inbetriebnahme eines Server auch ein Backup-Konzept erarbeitet werden. Die Datensicherung kann über ein lokales Bandlaufwerk erfolgen oder im Falle einer schnellen Netzanbindung zu einem zentralen Backup-Server mit Bandarchiv.

Wie bereits in Abschnitt 2.1.2 „Zentrale Peripheriegeräte“ ausgeführt, sollte die Möglichkeit ein Backup zu erstellen nicht nur für einen Server genutzt werden, sondern auch den Endanwendern offen stehen. Die Bereitstellung eines leistungsfähigen Backup-Mediums im Netz trägt zur Verbesserung der Datensicherheit aller Systeme bei.

Auf Unix-Systemen hilft der konsequente Einsatz der Benutzerrechte, große Katastrophen in Folge von Fehleingaben zu verhindern. Für die wenigsten Arbeiten am System sind die root-Rechte zwingend erforderlich, so daß der Kreis der Super-User klein gehalten werden kann. Alle anderen Aufgaben werden mit den eingeschränkten Rechten eines Benutzer durchgeführt.

6.5 Zusammenfassung

TCP/IP ist das Standard-Kommunikationsprotokoll für die vernetzten studentischen Wohnanlagen. Mit Protokollen aus der TCP/IP-Familie stehen den Bewohnern die Kommunikations- und Informationsdienste des Internets offen. Außerdem besteht die Möglichkeit, auf Unix-Systemen in den Instituten zu arbeiten. TCP/IP ist ein unabhängiges Protokoll, das von allen Computersystemen unterstützt wird.

Während die Anbindung zum Hochschulnetz nur über TCP/IP hergestellt wird, können parallel andere Protokolle im lokalen Netz eingesetzt werden. Netware oder NetBIOS eignen sich für den Aufbau eines Rechnerverbundes von Win-

dows-Systemen besser als Unix-basierte Protokolle der TCP/IP-Familie. Ähnliches gilt für Appletalk im Macintosh-Umfeld.

Als Server-Betriebssystem bietet sich Unix an. Kleine Server lassen sich kostengünstig auf PC-Basis mit Linux oder FreeBSD als Betriebssystem aufbauen. Als grundlegende Netzdienste für das studentische Netz müssen der Name-Service, E-Mail, Netnews und WWW betrieben werden. Die Server für diese Dienste können im lokalen Netz, auf einem zentralen Studentenserver oder auf den Server-Systemen der Hochschule angesiedelt sein. Die Entscheidung für den Standort hängt wesentlich von der Bandbreite der Netzanbindung ab. Ein lokaler News-Server oder ein WWW-Cache-Proxy trägt bei einer langsamen Anbindung zur Verbesserung der Arbeitsqualität bei.

In die Planung müssen Überlegungen bezüglich Datensicherheit und Datenschutz mit einbezogen werden. Als Schutz gegen Hardware-Ausfälle und Fehlbedienungen ist ein Backup (zumindest der Server-Rechner) vorzusehen. Der Einsatz einiger Netzdienste gestaltet sich im lokalen Netz als problematisch, da in einem Wohnheim jeder Netzteilnehmer die Kontrolle über seinen PC hat. Alle Netzteilnehmer sollten darüber informiert sein, daß es ohne weiteres möglich ist, den gesamten Netzverkehr mitzulauschen. Will man sich dagegen schützen, so muß man auf Verschlüsselungsverfahren zurückgreifen.

Der Zugang zum Internet für die Studierenden ermöglicht es im Gegenzug Teilnehmern aus dem Internet, auf die Wohnheimnetze zuzugreifen. Wird bei der Konfiguration von Netzdiensten und Betriebssystemen diese Tatsache bedacht, so entsteht dadurch aber ein vertretbares Risiko.

Kapitel 7

Organisation des Netzbetriebs

Parallel zum Aufbau des Netzes gilt es, ein Konzept für die Bewältigung der im Routinebetrieb anfallenden Arbeiten und Probleme zu erarbeiten. Dazu zählt etwa Betreuung des Netzes, Systemadministration der Server, Schulung und Beratung der Anwender sowie Vorkehrungen gegen Störungen und Mißbrauch. Zur Absicherung der Finanzierung ist zu prüfen, in welcher Form die Installationskosten oder laufende Kosten an die Bewohner weitergegeben werden können.

7.1 Organisationsformen

Grundsätzlich sind zwei entgegengesetzte Sichtweisen des Netzzugangs von Bewohnern in studentischen Wohnanlagen denkbar:

1. Jeder Bewohner wird als einzelner Nutzer gesehen, der an die Netzinfrastruktur der Hochschule angebunden ist.
2. Die Bewohner einer Wohnanlage werden als Gemeinschaft gesehen, die ein lokales Netz betreibt, welches als Ganzes angebunden wird.

Die Sichtweise hat Auswirkungen auf die Frage, wie die im Routinebetrieb anfallenden Tätigkeiten organisiert werden, wer für den ordnungsgemäßen Netzbetrieb verantwortlich ist und zwischen welchen Personen Nutzungsverträge geschlossen werden.

7.1.1 Einzelzugang

Jeder Bewohner einer studentischen Wohnanlage wird als unabhängiger Teilnehmer gesehen, der direkt Zugang zum Hochschulnetz erhält. Im lokalen Netz gibt es keine Organisationsstruktur. Die Sichtweise entspricht der Zugangsform über Wählleitungen aus dem öffentlichen Telefonnetz. Im Vergleich zum Telefonzugang steht der Anschluß im Wohnzimmer ständig zur Verfügung, ist deutlich schneller und frei von laufenden Kosten. Jeder Nutzer ist aber genauso ein direkter Endanwender im Hochschulnetz.

In das Konzept lassen sich nur schwer lokale Netzdienste einbeziehen, da vor Ort keine Gemeinschaft existieren muß, die für den Betrieb verantwortlich ist.

Benutzerkennungen der Bewohner (E-Mail, WWW-Seiten, etc.) werden zentral von der Hochschule verwaltet und – sofern es die Netzinfrastruktur zuläßt – auf zentralen Servern oder in öffentlichen Rechnerpools eingerichtet. Lokale Server werden vermieden, da die Fernwartung verteilter Systeme problematisch ist.

Mit der zentralen Verwaltung behält die zuständige Hochschuleinrichtung die Übersicht über die Netznutzung. Dafür wird aber ein erheblicher Arbeitsaufwand generiert. Denn täglich ziehen Studierende ein und aus. Die Datenbank muß angepaßt, Nameserver-Einträge müssen aktualisiert, Benutzerkennungen eingerichtet und gelöscht werden. Nicht zuletzt muß die Netzverbindung geschaltet werden. Bei der sternförmigen Verkabelung sind dafür vor Ort Kabel umzustecken, es sei denn, man sieht für jedes Zimmer einen Hub-Port vor und setzt ein Netzmanagementsystem ein (siehe Abschnitt 3.5.5 „Bewertung der sternförmigen Verkabelung“). Werden die An- und Abmeldungen nicht konsequent verfolgt oder sind grundsätzlich alle Netzanschlüsse aktiv, so können sich Benutzer unbemerkt an das Netz anschließen. Damit wäre der Vorteil einer zentralen Kontrolle in Frage gestellt.

Neben den Verwaltungsaufgaben besteht bei den Endanwendern in der Anfangsphase ein erheblicher Beratungsbedarf. Falls eine ausgeprägte soziale Gemeinschaft in den studentischen Wohnanlagen fehlt, muß eine zentrale Beratungsstelle eingerichtet oder Schulungen durchgeführt werden. Es ist fraglich, ob sich Studierende finden, die alle diese Aufgaben ehrenamtlich übernehmen. Das heißt, gegebenenfalls müssen Stellen geschaffen werden.

7.1.2 Nutzungsgemeinschaft

Die Sichtweise als Nutzergemeinschaft macht eine Wohnanlage vergleichbar mit Instituten und zentralen Einrichtungen am Hochschulnetz. Es wird ein lokales Netz mit Servern betrieben, in dem die Grundversorgung sichergestellt wird. Das lokale Netz ist als eine Einheit an das Hochschulnetz angeschlossen. Der Betreiber des Hochschulnetzes stellt nur übergreifende Netzdienste bereit und hat koordinierende und beratende Aufgaben.

Für die Studierenden in einer Wohnanlage bedeutet dieser Ansatz, daß sie den Betrieb ihres Netz weitgehend selbständig sicherstellen müssen. Dazu zählt der Anschluß neuer Teilnehmer, Netzmanagement und Bereitstellung von lokalen Netzdiensten. Die Einrichtungen von Benutzerkennungen auf einem Mail-Server und gegebenenfalls die Verwaltung des Nameservers wird von der Nutzergemeinschaft in eigener Verantwortung ausgeführt. Auf diese Weise erreicht man eine hohe Flexibilität bezüglich der sich ständig ändernden Zimmerbelegung. Das Hochschulrechenzentrum wird entlastet, da es nur Kontrollinstanz und Ansprechpartner bei Problemen ist, aber keine Routinearbeit übernehmen muß.

Aufgaben der Nutzungsgemeinschaft können nicht nur die Betreuung des Netzes und der Server sein, sondern auch Beratung und Unterstützung neuer Netzteilnehmer. Unter den Bewohnern finden sich meist Computer-Experten, die bereit sind, ehrenamtlich die Server-Pflege zu übernehmen und Laien bei ihren ersten Schritten im Netz zu helfen. Damit entfällt die Notwendigkeit zum Aufbau einer zentralen Beratungsstelle.

Eine wichtige Voraussetzung für das Konzept ist es, eine Gemeinschaft aufzubauen, mit der sich alle Bewohner identifizieren. Von dieser Gemeinschaft können nicht nur produktive Anwendungsprojekte ausgehen (z. B. Aufbau eines

Informationsangebots im WWW), sondern auch Impulse zu einem verantwortungsbewußten Umgang mit dem Netz. Falls Mißbrauch nicht nur als Fehlverhalten eines Einzelnen gesehen wird, sondern auch das Ansehen der Nutzergemeinschaft gefährdet, achten alle Teilnehmer gegenseitig darauf, solche Vorfälle zu vermeiden.

In kleinen Wohnanlagen bis 50 Bewohner findet man häufig eine stark ausgeprägte soziale Gemeinschaft vor. Dort ist es einfach, die Verantwortung für den Netzbetrieb an eine Nutzergemeinschaft zu übergeben. In großen Gebäudekomplexen kann keine übergreifende soziale Gemeinschaft erwartet werden. Sie existiert nur noch in Gebäudeteilen (Flurebene) oder geht in der Anonymität unter. Der Aufbau eines gemeinsamen Netzes kann in dieser Umgebung zu einer Wiederbelebung der sozialen Gemeinschaft beitragen. Es besteht aber auch die Gefahr, daß sich keine Struktur bildet, die das Netz trägt. In diesem Fall ist der ordnungsgemäße und stabile Betrieb in Frage gestellt.

7.1.3 Wahl der Organisationsform

Die Tatsache, daß viele Studierende gemeinsam in einer Wohnanlage wohnen, sich täglich treffen oder gegebenenfalls eine soziale Gemeinschaft bilden, sollte in jedem Fall beim Aufbau eines Netzes genutzt werden. In der Gemeinschaft finden sich sowohl Computer-Laien, als auch Fortgeschrittene und Experten, wobei letztere gerne die Gelegenheit nutzen, ihre Kenntnisse unter Beweis zu stellen oder weiter auszubauen. Die Notwendigkeit einer zentralen Nutzerberatung besteht nicht; Probleme können von den Bewohnern untereinander gelöst werden.

Zur Vermeidung von Mißbrauch ist es wichtig, daß die Studierenden keine anonymen Einzelnutzer in einem schwer überschaubaren, großen Hochschulnetz sind, sondern in eine Nutzergemeinschaft eingebunden werden, in deren Verantwortung der ordnungsgemäße Netzbetrieb liegt.

Ob die Systemadministration den Bewohnern vollständig überlassen werden kann, hängt neben allgemeinen, hochschulpolitischen Grundsätzen davon ab, ob Studierende mit entsprechenden Kenntnissen vor Ort sind. Andererseits kann es auch im Interesse der Hochschule sein, in der Umgebung vernetzter Wohnanlagen Know-how über den Betrieb von Netzen und Internet-Servern zu generieren. Einerseits stellt das erworbene Wissen eine zusätzliche Qualifikation dar und andererseits besteht in der dezentralen DV-Struktur einer Hochschule ständig Bedarf an fachkundigen Systembetreuern. Bei großen Wohnanlagen scheint es angemessen, die studentischen Systembetreuer für ihre Tätigkeit finanziell zu entschädigen (als studentische Hilfskraft). Mit einer vertraglichen Bindung ließe sich die Verantwortung für einen zuverlässigen Netz- und Server-Betrieb leichter übertragen.

Für die Kommunikation mit dem Hochschulrechenzentrum ist es wichtig, daß die Nutzungsgemeinschaft einen oder mehrere Ansprechpartner benennt, die im Falle von Störungen oder Problemen erreichbar sind. Der Ansprechpartner sollte über den Netzbetrieb gut informiert sein und in regelmäßigem Kontakt mit dem Rechenzentrum und dem Vermieter stehen. Sind in einer Hochschule mehrere Wohnanlagen vernetzt, so sollte eine Arbeitsgruppe initiiert werden, der alle studentischen Netz- und Systembetreuer angehören. Ziel dieser Arbeitsgruppe ist es, den Netzbetrieb übergreifend zu koordinieren, Know-how auszutauschen und im Falle des Ausscheidens von Teilnehmern zu sichern und weiterzugeben.

7.2 Nutzungsvereinbarungen

Mit der Netzanbindung studentischer Wohnanlagen werden diese ein Teil des Hochschulnetzes und bekommen Zugang zum Wissenschaftsnetz bzw. zum Internet. Das Hochschulnetz und das Wissenschaftsnetz dienen der Erfüllung von Aufgaben in Forschung, Lehre und Studium. Um Beeinträchtigungen des Netzbetriebs oder Mißbrauch vorzubeugen, gilt es, einen Rahmen für die Netznutzung festzulegen. Dazu sind die für das Hochschulnetz und die Benutzung von Rechner-Pools geltenden Regelungen in geeigneter Form zu übertragen.

7.2.1 Abkommen mit dem Netzbetreiber

Vor Beginn des Vernetzungsprojekts sollte zwischen der Hochschule und dem lokalen Netzbetreiber ein Abkommen geschlossen werden. Der Netzbetreiber bzw. Investor kann der Vermieter, aber auch eine von den Bewohnern gegründete Gesellschaft sein. Der Aufbau des Netzes stellt einen erheblichen Aufwand dar. Daher ist es für den Netzbetreiber wichtig, die Zusagen für einen dauerhaften Anschluß an das Hochschulnetz zu bekommen. Der Betreiber des Hochschulnetzes muß seinerseits sicherstellen, daß der Netzanschluß zweckgebunden genutzt wird und daß die geltenden Regelungen eingehalten werden.

Zentrale Punkte des Abkommens sollten daher sein:

- *Leistungen des Hochschulnetz-Betreibers.* Dazu zählt die Anbindung an das Hochschulnetz und der Zugang zum Wissenschaftsnetz sowie die Bereitstellung von Netzprotokollen und -diensten. Weitere Leistungen können sein: Unterstützung bei der Planung und dem Betrieb des Netzes sowie Bereitstellung von Netzkomponenten und Server-Rechnern.
- *Pflichten des lokalen Netzbetreibers.* In erster Linie fällt darunter der Aufbau und der Betrieb des lokalen Netzes. Dabei ist sicherzustellen, daß alle Studierenden einen Anschluß an das Netz erhalten können. Der lokale Netzbetreiber sollte laufend aktualisierte Benutzer-Listen an die Hochschule weitergeben, damit dort eine Beobachtung des Netzbetriebs möglich ist.
- *Technische Standards.* Zur Vermeidung von Störungen des Hochschulnetzes sind technische Standards einzuhalten. Das Rechenzentrum muß ermächtigt sein, unzulässige Installationen außer Betrieb setzen zu können.
- *Zugangsbedingungen für Bewohner.* Das Hochschulnetz ist ein Datenkommunikationsnetz für Einrichtungen und Angehörige der Hochschule. Eine Mitnutzung durch Außenstehende kann in der Regel nicht geduldet werden. Dieser Punkt ist von Bedeutung, falls in der Wohnanlage nicht nur Studierende wohnen.
- *Gebührenerhebung.* Sowohl die Hochschule als auch der lokale Netzbetreiber könnte ein Interesse haben, Gebühren für die Netznutzung zu erheben. Über Zulässigkeit der Gebührenerhebung, Umfang und Berechnungsverfahren sollte Einigkeit erzielt werden.
- *Vorgehensweisen bei Verstößen und schwerwiegendem Mißbrauch.* Hier sind folgende Fragen zu klären: Kann ein einzelner Netzteilnehmer von der Netznutzung ausgeschlossen werden? Wer trifft diese Entscheidung?

Darf die Netzanbindung des ganzen Hauses vorübergehend oder dauerhaft unterbrochen werden?

- *Geltung von anderen Ordnungen.* Verwiesen werden kann auf die „Betriebsordnung für das Hochschulnetz“, die „Benutzungsordnung für das Zusammenwirken der Anwender der DFN-Kommunikationsdienste“ [10] oder eine spezielle Benutzungsordnung für Studierende.

Nicht alle Punkte müssen vertraglich im Detail festgelegt werden. Es gilt die Zuständigkeiten zu klären und Einigkeit über die weitere Verfahrensweise herzustellen.

7.2.2 Benutzungsordnung

Den einzelnen Netzteilnehmern sollten Hinweise auf die ordnungsgemäße Netznutzung und auf die Pflichten als Rechnerbetreiber an die Hand gegeben werden. Häufig entstehen Fehlverhalten und Mißbrauch aus Unwissenheit oder Fahrlässigkeit der Anwender. Dem gilt es vorzubeugen.

Folgende Punkte sollten Bestandteil der Benutzungsordnung sein:

- *Nutzungsberechtigte.* Es wird festgelegt, welche Bewohner zur Teilnahme am Netz berechtigt sind. In der Praxis ist damit zu rechnen, daß die Bewohnern ihren Freunden und Bekannten einen Zugang über den eigenen Rechner einräumen wollen. Hier ist zu klären, in welchem Rahmen eine Mitnutzung geduldet wird.
- *An- und Abmeldung.* Regelungen für den Anschluß neuer Teilnehmer (Rechneranschluß, Adreßvergabe, Kostenbeteiligung) werden festgehalten. Wichtig ist ein zuverlässiges Verfahren für die Abmeldung, damit der Netzbetreiber eine Nutzerdatenbank führen kann und der Netzanschluß nach dem Auszug nicht unkontrolliert weitergenutzt werden kann.
- *Verwendungszweck.* Das Hochschulnetz und das Wissenschaftsnetz dienen Aufgaben in Forschung, Lehre und Studium. Daher ist auch der Anschluß im Wohnheimzimmer auf diesen Verwendungszweck eingeschränkt. In der Praxis ist es schwer einen Trennstrich zwischen studiengebundener und privater Netznutzung zu ziehen. Beispielsweise kann die Beschäftigung mit Software der Verbesserung der EDV-Kenntnisse dienen oder die Betrachtung von WWW-Seiten der Allgemeinbildung zugerechnet werden. Da die zugrundeliegende Netzinfrastruktur aus öffentlichen Geldern finanziert wird, ist die Nutzung des Netzanschlusses zu kommerziellen Zwecken oder ausschließlich zur persönlichen Unterhaltung nicht akzeptabel.
- *Betrieb von Netzdiensten.* Es ist zu klären, in welchem Rahmen die Bewohner eigenverantwortlich Netzdienste anbieten dürfen, auf die von außen zugegriffen werden kann. Gleiches gilt für die Erstellung eigener WWW-Seiten.
- *Verantwortung als Rechnerbetreiber.* Jeder Bewohner ist für Aktivitäten, die von seinem Rechner ausgehen, verantwortlich. Er muß angemessene Maßnahmen zum Schutz seines PC ergreifen. Bei Unix-Systemen z. B.: Vergabe von Paßwörtern und sorgfältige Konfiguration der Software.
- *Garantien und Haftung.* Unter den gegebenen technischen Voraussetzungen kann der Netzbetreiber keine uneingeschränkte Funktionsgarantie

übernehmen. Ferner muß eine Haftung des Netzbetreibers für Beschädigungen der privaten Rechner oder Datenverlust in Folge der Netzteilnahme ausgeschlossen werden.

- *Veränderungen am Netz.* Bewohner dürfen unautorisiert keine Veränderungen der Netzinstallation vornehmen. Beispielsweise Verlegen bzw. Austauschen der Netzdosen oder Manipulationen an aktiven Netzkomponenten.
- *Mißbrauch.* Neben der zweckentfremdeten Netznutzung, fällt unter Mißbrauch der unberechtigte Zugriff auf fremde Rechner und Daten, das Mitlauschen des Netzverkehrs, Arbeiten mit falschen Rechneradressen oder unter falschem Namen sowie die vorsätzliche Störung des Netzbetriebs. Daß Verstöße gegen geltende Gesetzesbestimmungen einen Mißbrauch darstellen, ist selbstverständlich.
- *Konsequenzen bei Verstößen.* Es muß eine Möglichkeit geschaffen werden, den Mißbrauch des Netzes zu ahnden. Das letzte Mittel sollte der Ausschluß von der Netznutzung sein.

7.3 Möglichkeiten der Gebührenerhebung

Interesse an einer Erhebung von Gebühren für die Netznutzung kann von verschiedenen Seiten bestehen. Auf den Vermieter bzw. die Betreibergesellschaft kommen mit dem Aufbau des Netzes Ausgaben zu, die mit höheren Mieteinnahmen oder Nutzungsgebühren ausgeglichen werden könnten. Unter Umständen fallen laufende Kosten für Standleitungen an. Die Hochschule könnte eine Kostenbeteiligung an dem von Studierenden mitgenutzten Wissenschaftsnetz-Anschluß erheben. Nicht zuletzt hätten die Bewohner selbst ein Interesse, Geld für gemeinsame Anschaffungen wie Peripheriegeräte zu sammeln.

Eine rechtlich-politische Grundsatzfrage ist, ob die Hochschule die Studierenden an den Kosten zum Betrieb des Hochschulnetzes oder der Außenanbindung beteiligen darf oder muß. Zu klären ist unter anderem, ob das Netz für Studierende ein *Lehr-* oder ein *Lernmittel* darstellt. Diese juristische Problemstellung soll hier nicht weiter behandelt werden.

Grundsätzlich sind folgende Formen der Gebührenerhebung denkbar:

- *Einmalige Kostenbeteiligung*, die beispielsweise bei der Anmeldung als Netzteilnehmer fällig wird.
- *Laufende Nutzungsgebühr*, die monatlich pauschal erhoben wird.
- *Nutzungsabhängige Gebühr.*

Mit einer einmaligen Beteiligung zu Beginn der Netznutzung könnte eine Betreibergesellschaft die Kosten für die Herstellung des Netzanschlusses an die Nutzer direkt weitergeben. Der Beitrag kann je nach Vernetzungstechnik bei über 100,- DM liegen. In diesem Fall besteht die Gefahr, daß Computer-Laien vor einer Beteiligung zurückschrecken. Dieser Effekt liegt nicht im Interesse des Netzprojektes.

Pauschale Gebühren könnten als Teil der Mietnebenkosten erhoben werden. Auf diese Weise könnten laufende Kosten – etwa für Standleitungen – an die Bewohner weitergegeben werden. Genauso ist ein Ausgleich der Investitionskosten

über einen längeren Zeitraum möglich. Das Modell ist vergleichbar mit der Erhebung von Gebühren für einen Kabelfernsehanschluß. Zu entscheiden ist, ob die Gebühren auf alle Bewohner verteilt werden oder nur auf die Netznutzer. Eine sichere Kontrolle darüber, wer an das Netz angeschlossen ist, läßt sich nur bei einer sternförmigen Verkabelung erreichen. Anderenfalls muß auf die Aufrichtigkeit der Bewohner vertraut werden.

Eine nutzungsabhängige Gebühr wäre gegeben, wenn die übertragene Datenmenge oder die tägliche Nutzungsdauer in die Berechnung einginge. Hier bietet sich der Vergleich zu Telefongebühren an. Im folgenden soll dargelegt werden, daß eine solche Abrechnung nicht möglich ist.

Router sind in der Lage, systematisch Daten über den Netzverkehr zu erfassen. Die Funktion wird als *Net-Accounting* bezeichnet. Die Protokolle enthalten die Quell- und Zieladresse sowie Uhrzeit und Größe aller Datenpakete. Solche Daten sind geeignet, Statistiken über die Netznutzung anzufertigen (siehe Anhang). Obwohl die Adressen der Endstationen festgehalten werden, ist die Messung für eine Abrechnung pro Endstation ungeeignet. Die Adressen lassen sich nämlich nicht zweifelsfrei den Nutzern zuordnen. Jeder Anwender kann entgegen der Adreßzuweisung andere Werte einstellen und damit auf dem Konto eines Mitbewohners arbeiten. Dies stellt zwar nach der Benutzungsordnung einen Mißbrauch dar, ist aber schwer nachzuweisen.

Mit einem PC als Meßstation im lokalen Netz, läßt sich der Umfang der Meßprotokolle noch deutlich steigern, an dem Grundproblem, daß die Datenvolumina nicht zweifelsfrei den Verursachern zugeordnet werden können, ändert dies aber nichts. Lösungen, die an jedem Anschlußport Protokolle anfertigen, scheiden als unbezahlbar aus. Erst die zukünftige ATM-Technik kann eine Veränderung der Situation bringen.

Ein wesentlicher Teil der Zugriffe auf das Internet erfolgt nicht direkt, sondern über Server im lokalen Netz oder in der Hochschule. Über diesen Umweg fällt es schwer, den Verursacher des Datenverkehrs festzustellen.

Selbst wenn eine vollständige Messung der Datenvolumina möglich wäre, bleibt die Relevanz für eine Gebührenerhebung fraglich. Denn der Datenverkehr ist von Netzdienst zu Netzdienst sehr unterschiedlich. Beispielsweise verursacht die verteilte Fenstertechnik einen erheblichen Datenverkehr, ist aber für die Lehre von großem Nutzen.

7.4 Zusammenfassung

Es gibt zwei Sichtweisen für den Netzzugang Studierender in vernetzten Wohnanlagen. Die Benutzer können als Einzelpersonen gesehen werden, die unabhängig voneinander Endanwender im Hochschulnetz sind. Diese Variante ist vergleichbar mit dem Zugang von zu Hause über Telefon-Wählleitungen. Die andere Variante sieht eine Wohnanlage als Nutzergemeinschaft, die als eine Einheit an das Hochschulnetz angeschlossen wird. Damit ist der Anschluß studentischer Wohnanlagen mit dem von Hochschuleinrichtungen vergleichbar.

Der Aufbau einer Nutzergemeinschaft bietet Vorteile, da die Verantwortung für den Netzbetrieb und die Administration von Servern an die Studierenden übergeben werden kann. Wenn zu den Aufgaben auch die Beratung und Unterstützung

von Computer-Laien zählt, lassen sich Heimarbeitsplätze ohne einen wesentlichen Mehraufwand für zentrale Hochschuleinrichtungen durchführen.

Um den Rahmen der Netznutzung festzulegen, bedarf es schriftlicher Vereinbarungen zwischen den beteiligten Parteien. Ein Abkommen zwischen dem Betreiber bzw. Investor des studentischen Netzes und der Hochschule sollte die Modalitäten der Netzanbindung regeln. Für die Endanwender wird eine Benutzungsordnung erlassen. Auf diese Weise erhält man eine für alle Beteiligten verbindliche Festlegung der Leistungen, Pflichten und Vorgehensweisen.

Für eine Erhebung von Nutzungsgebühren kann es unterschiedliche Beweggründe geben. Interessenten könnten sowohl der Vermieter, als auch die Hochschule sein, aber auch die Nutzergemeinschaft kommt in Frage. Die einzig sinnvolle Vorgehensweise ist die Erhebung von pauschalen Gebühren, die monatlich oder semesterweise anfallen. Eine nutzungsabhängige Berechnung ist mangels technischer Voraussetzungen ausgeschlossen.

Kapitel 8

Ausblick

Der Schwerpunkt dieser Ausarbeitung lag in den technischen Aspekten eines studentischen Netzes. Als Motivation diente die Vorstellung verschiedener, bereits etablierter Anwendungen in Kapitel 2 „Typische Anwendungen“. Die Frage nach den Nutzungsmöglichkeiten soll in diesem abschließenden Kapitel wieder aufgegriffen und ein Ausblick auf zukünftige Einsatzfelder gegeben werden.

Die zukünftigen Anwendungen sind geprägt durch zwei Entwicklungen:

1. Einbeziehung moderner Medien in die Präsentation des Lernmaterials und Nutzung von elektronischen Diensten für die Kommunikation zwischen Dozenten und Studierenden.
2. Standort-übergreifende Lehrangebote und Intensivierung der Zusammenarbeit zwischen Hochschulen auf Basis schneller Weitverkehrsnetze.

Richtungsweisend sind in diesem Zusammenhang die Projekte aus den Regionalen Testbeds (RTB) des DFN-Vereins [10]. Im Vorfeld des Breitband-Wissenschaftsnetzes (BWIN) wurden ab Mitte 1994 in regionalen Testnetzen Anwendungen für Hochgeschwindigkeitsnetze erprobt. Die Testbeds verbanden einige Universitäten regional über ATM mit 34 MBit/s. Die in diesem Rahmen durchgeführten Projekte befaßten sich unter anderem mit den Themen „Multimediale-Teledienste“ und „Tele-Teaching“.

Die Inbetriebnahme des Breitband-WIN zum 1. April 1996 und der geplante Ausbau auf 155 bzw. 622 MBit/s versetzt die beteiligten Universitäten in die Lage, datenintensive Netzanwendungen im Routinebetrieb einzusetzen. Basierend auf den Erfahrungen aus den RTB-Projekten können Konzepte zur Nutzung der neuen Infrastruktur in der Lehre erarbeitet werden. Die studentischen Wohnanlagen lassen sich darin einbeziehen.

8.1 Konferenzsysteme

Unter den in Abschnitt 2.3 „Elektronische Kommunikation“ vorgestellten Standard-Kommunikationsdiensten fehlt eine gelungene Abbildung des direkten

Gesprächs. Chat-Systeme erlauben zwar eine interaktive Kommunikation, sind aber ausschließlich textbasiert. Viele Anwender halten diese Art der Kommunikation für zu unkomfortabel und zeitraubend; sie ziehen ein Telefongespräch vor.

Die Lücke wird durch *multimediale Konferenzsysteme* geschlossen. Sie beinhalten die Echtzeit-Übertragung von Sprache, Bildschirmgrafiken oder auch Videobildern zu anderen Teilnehmern im Netz (Beispiel: [15]). Die Systeme decken sowohl die reine Punkt-zu-Punkt Kommunikation zwischen zwei Personen, als auch Konferenzen zwischen mehreren Teilnehmern ab.

8.1.1 MBONE

Für die Mehrbenutzer-Variante bietet sich als Netzprotokoll ein IP-basiertes *Multicast* an. Multicast leitet Daten nicht nur zu einer Zielstation, sondern zu einer Gruppe von Stationen weiter. Da die Daten innerhalb eines LANs nicht mehrfach übertragen werden, ist es für die Netzbelastung unbedeutend, wieviele Teilnehmer im lokalen Netz die Aussendung empfangen. Im Internet wurde eine Struktur für die Weiterleitung von Multicast-Strömen aufgebaut: der *Multicast Backbone (MBONE)*. Über MBONE können internationale Audio- und Video-Konferenzen durchgeführt werden oder Gespräche zwischen zwei Personen stattfinden.

Für die Multicast-Übertragung wurden unter Unix einige Programme entwickelt, die Grundfunktionen abdecken wie Audio- und Video-Kommunikation oder eine Zeichenfläche. Diese Bausteine bilden häufig die Basis für Konferenzsysteme im TCP/IP-Umfeld. Für MS Windows steht Multicast erst seit kurzer Zeit zur Verfügung; entsprechende Programme sind in der Entwicklung.

Die Minimalvoraussetzungen für den Einsatz solcher Konferenzsysteme sind mit einem handelsüblichen PC und einer Sound-Karte erfüllt. Eine Desktop-Videokamera ist nicht zwingend erforderlich; sie muß aber gar nicht teuer sein (Color mit Parallelport-Schnittstelle ab 500,- DM). Für die Netzübertragung muß eine freie Bandbreite von mindestens 64 kBit bereitstehen.

8.1.2 Einsatz in der Hochschule

Die Programme aus dem MBONE-Umfeld lassen sich auch lokal (innerhalb der Hochschule) einsetzen. Die naheliegendste Anwendung für multimediale Konferenzsysteme liegt im Ersatz von herkömmlichen Telefongesprächen. Dabei spielt die Einsparung von Telefongebühren nur eine untergeordnete Rolle. Mit entsprechender Hardware-Ausstattung kommt zur Sprachübertragung ein Videosignal hinzu. Sollte auf einer Seite (etwa beim Student zu Hause) die Video-Kamera fehlen, so kann in eine Richtung Video und Audio und in der Rückrichtung nur Audio übertragen werden.

Ein großer Vorteil ergibt sich im Computerumfeld mit der Übertragung von Bildschirmgrafiken zum anderen Gesprächspartner. Die Teilnehmer erhalten Werkzeuge, um der Gegenseite Grafiken und Bildschirmhalte zu zeigen oder auf einer gemeinsamen Zeichenfläche (Whiteboard) Skizzen anzufertigen. Damit läßt sich ein Sachverhalt besser darstellen oder ein Problem schneller klären als am Telefon.

Für die Vorführung eines Programms oder die Unterstützung bei Computer-Problemen sind Systeme zum „*Application-Sharing*“ nützlich. Hierbei handelt es sich um einen Spezialfall der in Abschnitt 2.2.1 „Verteilte Fenstertechnik“ vor-

gestellten Nutzung grafikbasierter Anwendungen über einen entfernten Rechner. Zwei oder mehrere Teilnehmer bedienen gleichzeitig von unterschiedlichen Rechnern aus ein Programm. Auf diesem Wege kann ein Experte einem Anwender bei der Lösung von Problemen helfen, ohne vor Ort sein zu müssen.

8.1.3 Virtuelle Rechner-Übungen

Die Funktionalität des Application-Sharing ist im Zusammenhang mit den studentischen Heimarbeitsplätzen besonders wichtig. Zwar bringt das Arbeiten am eigenen Schreibtisch viele Vorteile (Ruhe, zeitliche Unabhängigkeit, gewohnte Arbeitsumgebung), eine Komponente entfällt allerdings: die Möglichkeit, bei Problemen einen anderen Übungsteilnehmer oder einen Tutor fragen zu können. Solche Beratungsdienste lassen sich im Netz mit den Konferenzsystemen aufbauen.

Multimediale Teledienste wurden von der Universität Erlangen-Nürnberg im Rahmen des RTB-Projekts „Tele-Teaching“ zur Übungsbetreuung eingesetzt [4]. In Nürnberg wurde ein virtueller Übungsraum eingerichtet, aus dem Studierende an Rechnerübungen in Erlangen teilnehmen konnten. Die Systeme wurden jedoch selten genutzt, was die Projektverantwortlichen unter anderem darauf zurückführen, daß die Studierenden die Aufgaben lieber zu Hause erledigen und auf die Konferenzsysteme verzichten, als sich in einen Übungsraum zu begeben. Zitat aus dem 3. Zwischenbericht: *„Die im Rahmen des RTB-Teilprojekts 3.12 mögliche Realisierung des „Virtuellen Übungsraums“ steht den Arbeitsgewohnheiten der Studierenden entgegen.“* Als Lösung wird eine hohe Verfügbarkeit und ein vereinfachter Zugang zu den Konferenzsystemen gefordert. Diese Forderungen wären mit der Einbeziehung vernetzter Wohnanlagen erfüllt.

Der Einsatz von multimedialen Tele-Diensten für die Kommunikation innerhalb der Hochschule bietet sich insbesondere in Großstädten oder verteilten Universitäten an, wo weite Wege vom Wohnort zu den Instituten zurückgelegt werden müssen. Die neuen Netzdienste kommen dort ins Spiel, wo Telefongespräche aufgrund mangelnder Visualisierungsmöglichkeiten ausscheiden. Denkbar ist beispielsweise der Einsatz von Konferenzsystemen für kürzere Arbeitsgruppensitzungen.

Obwohl die ersten Programme schon zwei bis drei Jahre alt sind, ist die Technik noch nicht ausgereift. Die Systeme arbeiten bei mehreren Teilnehmern unzuverlässig und viele technische Probleme sind noch unzureichend gelöst (z. B. Rückkopplungen und Echos bei der Sprachübertragung). Außerdem fehlen Standards für eine systemübergreifende Kommunikation. Ein weiteres Entwicklungsziel für die Zukunft muß eine intuitiv einfache Bedienbarkeit sein – ähnlich der eines Telefons.

8.2 Tele-Seminare

Nicht nur Arbeitsgruppensitzungen (wie im vorletzten Absatz vorgeschlagen), sondern auch Lehrveranstaltungen können basierend auf den multimedialen Konferenzsystemen durchgeführt werden. Die Übertragung von Vorlesungen und Seminaren innerhalb einer Hochschule macht aufgrund der örtlichen Nähe meist wenig Sinn – auch dann, wenn die Teilnehmer in den Wohnheimzimmern

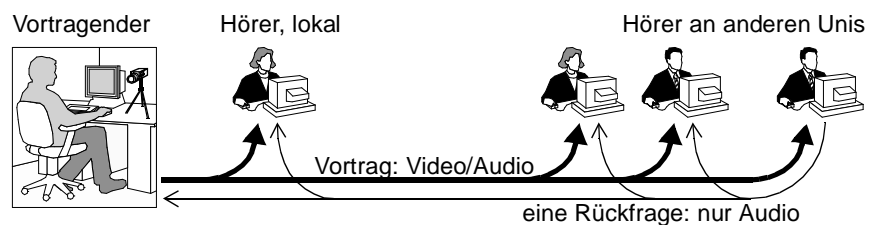
zuhören könnten. Anders sieht die Situation aus, wenn die Veranstaltungen einen überregionalen Charakter bekommen.

Besonders Seminare bieten sich als Netz-Veranstaltung an. Die Teilnehmer eines Seminars können aus verschiedenen Hochschulen kommen, ohne daß dabei Reisekosten anfallen. Die gemischte Zusammensetzung ermöglicht einen fachlichen Austausch zwischen den Universitäten. Wissen aus den Forschungsschwerpunkten verschiedener Hochschulen wird bereits in der Lehre direkt mit einbezogen.

Aufgrund der relativ geringen Teilnehmerzahl in einem Seminar sind die multimedialen Konferenzsysteme ohne weiteres einsetzbar. Die mit Multicast arbeitenden Programme des MBONE erlauben eine Reduzierung des Netzverkehrs auf das zum Erreichen aller Teilnehmer nötige Minimum. Der Datenstrom wird nur einfach übertragen und ausschließlich in die LANs geleitet, in denen Teilnehmer sitzen. Eine Video-Kamera benötigt nur der Vortragende; für Rückfragen der Zuhörer genügt ein Audio-Kanal. Zur Veranschaulichung des Stoffes nutzt der Vortragende eine Whiteboard-Software, über die er Folien zeigen, kleine Zeichnungen anfertigen und Text eingeben kann. Die begleitende Dokumentation wird im WWW abgelegt.

Das Tele-Seminar kommt vollständig ohne einen Vortragsraum aus. Die Teilnehmer sitzen an ihrem PC in der vernetzten Wohnanlage oder in Rechnerräumen im Institut. Da für den Rückkanal auf eine Video-Übertragung verzichtet wird, sinkt die benötigte Netzbandbreite auf einige hundert kBit/s und gängige PCs reichen als Endgeräte auf der Hörerseite aus. Lediglich für den Vortragenden wird ein leistungsfähiger Video-Arbeitsplatz benötigt.

Abbildung 8.1:
Szenario „Tele-Seminar“



Zur Durchführung des Projekts gilt es, die vorhandene Software aus dem MBONE-Umfeld in einer zuverlässig funktionierenden Version bereitzustellen bzw. mit diesem Ziel weiterzuentwickeln. Ferner wird ein Steuerprogramm benötigt, mit dem der Sitzungsleiter den Verlauf koordiniert. Der Sitzungsleiter muß gezielt das Wort für Rückfragen erteilen und in der Zwischenzeit Störungen durch Fehlbedienungen oder Unaufmerksamkeit der Zuhörer verhindern.

Die Notwendigkeit einer solchen Steuerung ist erst recht gegeben, wenn das Konzept von Seminaren auf Vorlesungen übertragen wird. Damit könnten Vorlesungen ebenfalls überregional angeboten werden. Während das Grundwissen an allen Hochschulen vermittelt wird, ist das Angebot an Vertiefungsrichtungen und Nebenfächern im Hauptstudium je nach Ausrichtung der Universität begrenzt. Mit überregionalen Veranstaltungen im Netz wird das Angebot deutlich erweitert. Die Studierenden können aus einem breiten Spektrum von Vorlesungen wählen oder die Erläuterungen verschiedener Professoren zu einem Thema vergleichen.

Im Bezug auf die bisher vorgestellte Softwarebasis muß aber bezweifelt werden, daß die Programme den sich mit Netz-Vorlesungen ergebenden Anforderungen bereits gewachsen sind.

8.3 Multimedia Lehreinheiten

Bisher bildete ein Skriptum auf Papier – sei es eine persönliche Mitschrift oder die gedruckte Ausgabe vom Dozenten – das vorlesungsbegleitende Material und ein Nachschlagewerk für später. Mit der Verfügbarkeit der Netzdienste auf dem Schreibtisch der Studierenden, stellt sich die Frage, wie man solche Dokumente in den neuen Medien angemessen bereitstellen kann.

Es ist naheliegend und mit wenig Aufwand verbunden, die Skripte unverändert im Netz zu veröffentlichen (als Postscript- bzw. PDF-Datei oder als WWW-Seite in HTML). Solche Online-Dokumente bringen aber gegenüber dem papiergebundenen Äquivalent kaum Vorteile. Vielmehr sind sie am Bildschirm unbequem zu lesen und werden daher von den Interessenten als erstes ausgedruckt.

Online-Dokumente im World Wide Web können mehr beinhalten als nur Text und Abbildungen. Zu nennen sind Animationen, dreidimensionale Darstellungen, Ton- und Video-Elemente oder auch kleine Programme. Setzt man diese Möglichkeiten ein, so wird aus dem statischen Vorlesungsskriptum eine dynamische Multimedia-Präsentation des Stoffes, die die Darstellungsmöglichkeiten auf Papier weit übertrifft. Bestandteile eines solchen Multimedia-Dokuments könnten neben Textdokumenten etwa Animationen eines Vorgangs, kleine Simulationsprogramme oder Filme von Versuchen sein. Auch Video-Aufzeichnungen aus der Vorlesung sind denkbar. In die Online-Dokumente lassen sich Verweise auf andere Dokumente oder Ressourcen im Netz wie Datenbanken einbauen.

Die Vorlesungspräsentation kann von den Studierenden über das Netz zur jeder Zeit und entsprechend dem persönlichen Lernverhalten beliebig oft eingesehen werden. Der Teilnehmerkreis beschränkt sich nicht nur auf Studierende der eigenen Universität, sondern ermöglicht auch auswärtigen „Hörern“ den Zugriff auf das Dokument. Der Ansatz der multimedialen Lehreinheiten führt ebenfalls zu einem überregionalen Vorlesungsangebot. Falls die Online-Dokumente den Stoff vollständig darstellen, wäre möglicherweise eine Vorlesung im herkömmlichen Sinne nicht mehr erforderlich. Der Stoff wird über die Online-Dokumente präsentiert. Der Dozent kann parallel dazu in Diskussionen ausgewählte Aspekte vertiefen und Fragen klären. An dieser Stelle kommen wieder die in den vorigen Abschnitten behandelten Konferenzsysteme zum Einsatz.

Wie solche multimedialen Lehreinheiten aussehen können, zeigt das Tele-Teaching-Projekt im RTB Berlin. Unter dem Titel DIALEKT (Digitale Interaktive Lektionen in der Studentenausbildung) [1] wurde ein System unter MS Windows entwickelt, das Lehrinhalte aus der Betriebswirtschaftslehre unter Nutzung von Filmszenen, Simulationssoftware und interaktiven Übungen in Theorie und Praxis vermittelt. Ein wesentlicher Bestandteil ist ein Autorensystem, mit dem ein Team die Lektionen erstellt.

Die Lektionen werden von einem Multimedia-Server auf PCs in den Rechnerpools der Berliner Universitäten geladen. Da auf die Qualität der Präsentation großen Wert gelegt wurde, sind schnelle Netze (ab 10 MBit/s) und leistungsfähige PCs (Pentium-100) Voraussetzung. Die studentischen Netze der ersten

Generation wären mit der Anwendung noch überfordert, Konzepte für eine leistungsfähige Infrastruktur wurden aber in dieser Arbeit vorgestellt. Mit Realisierungen ist im Laufe der nächsten Jahre an verschiedenen Hochschulen zu rechnen, womit eine geeignete Plattform geschaffen wäre.

Anhang A

Preisvergleich

A.1 Gebäudeverkabelung

Ergänzend zu Kapitel 3 „Gebäudeverkabelung“ soll ein Preisvergleich der busförmigen und der sternförmigen Verkabelung einen Anhaltspunkt zu den zu erwartenden Kosten für den Aufbau eines lokalen Netzes geben. Aufgenommen werden die Kosten für das Installationsmaterial sowie aktive und passive Netzkomponenten, nicht jedoch die von den Bewohnern zu beschaffenden PC-Adapterkarten (50,- bis 150,- DM) sowie Technik für eine Gebäude übergreifende Infrastruktur und eine Hochschulnetz-Anbindung.

Die Preise basieren auf Informationsangeboten und Prospektmaterial, die im ersten Halbjahr 1996 eingeholt wurden und stellen eine grobe Orientierung dar.

Als Beispiel dient ein viergeschössiges Haus mit dem Grundriß aus Abbildung 3.11 und Abbildung 3.14. Damit ergibt sich eine Anzahl von 56 Zimmern. Die Kabelwege werden wie abgebildet gewählt; ein zentraler Gebäudeverteiler wird im Gemeinschaftsraum der ersten Etage eingerichtet. Bei einem Maßstab von 1cm = 3m ist ein Zimmer insgesamt 4,5*6m groß; der Flur ist 31,5m lang.

Die busförmige Verkabelung wird ausgeführt, wie in Abschnitt 3.4.3 „Anwendungsbeispiel“ beschrieben:

Tabelle A.1:
Preise bei busförmiger
Verkabelung

| Artikel | Anzahl | Stückpreis in DM | Preis in DM |
|---------------------------------------|--------|---------------------|----------------|
| Koaxialkabel RG58 | 500m | -,75 | 375,- |
| PVC-Kabelkanal 15*15mm und 15*30mm | 350m | 2,- | 700,- |
| scEAD-Doppeldosen, Aufputz | 56 | 40,- | 2.240,- |
| BNC-Stecker | 120 | 1,20 | 144,- |
| 50-Ω-Terminatoren | 10 | 4,50 | 45,- |
| Repeater, 8 BNC-Ports, 1*AUI | 1 | 2.400,- | 2.400,- |

| Artikel | Anzahl | Stückpreis in DM | Preis in DM |
|--------------|-----------|------------------|----------------|
| Wandbox | 1 | 200,- | 200,- |
| Summe | 56 | 109,- | 6.104,- |

Die sternförmige Verkabelung wird gemäß Abschnitt 3.5.4 „Anwendungsbeispiel“ installiert. Bei der Dimensionierung der Hubs sei mittelfristig eine Teilnehmerzahl von 34 (entspricht 60%) angenommen.

Tabelle A.2:
Preise bei sternförmiger Verkabelung

| Artikel | Anzahl | Stückpreis in DM | Preis in DM |
|---|-----------|------------------|----------------|
| S/UTP Kabel, 8-adrig, Kat5 | 2.400m | -,75 | 1.800,- |
| PVC-Kabelkanal 15*15mm, und 25*40mm | 500m | 3,- | 1.500,- |
| Dosen 1*RJ45, Kat5, Aufputz | 56 | 25,- | 1.400,- |
| Patchfeld 16*RJ45, Kat5 | 4 | 240,- | 960,- |
| 19" Wandschrank H*B*T 600*600*500mm | 1 | 600,- | 600,- |
| Hub Ethernet 10BaseT, 24 RJ45-Ports, 1*AUI, stackable | 1 | 1.500,- | 1.500,- |
| Hub Ethernet 10BaseT, 12 RJ45-Ports, 1*AUI, stackable | 1 | 900,- | 900,- |
| S/UTP Patchkabel, Kat5, 1m | 36 | 8,- | 288,- |
| Summe | 56 | 159,79 | 8.948,- |

Die Gegenüberstellung zeigt, daß für die reinen Materialkosten die Größenordnung von 100,- DM pro Zimmer bei der busförmigen und 150,- DM pro Zimmer bei der sternförmigen Verkabelung kalkuliert werden muß.

Bisher wurde davon ausgegangen, daß die Installation in Eigenarbeit erfolgt, also keine Lohnkosten anfallen. Die folgende Tabelle soll einen Überblick über die zusätzlichen Kosten bei der Ausführung der sternförmigen Verkabelung durch eine professionelle Firma geben:

Tabelle A.3:
Lohnkosten bei sternförmiger Verkabelung

| Tätigkeit | Arbeitsstunden | Preis in DM (bei 70,-/h) |
|---------------------------------------|----------------|--------------------------|
| Wand- und Deckendurchbrüche | 40 | 2.800,- |
| Kabelkanal anbringen | 50 | 3.500,- |
| Kabel einziehen | 100 | 7.000,- |
| Dosen anbringen und anschließen | 25 | 1.750,- |
| Schrank mit Patchfeldern installieren | 8 | 560,- |
| Abschlußmessung | 12 | 840,- |
| Summe | 235 | 16.450,- |

Die Auflistung ergibt 235 Arbeitsstunden und einen Preis von 16.450,- DM. Dies entspricht Kosten von 294,- DM pro Zimmer. Rechnet man die Materialkosten hinzu, so liegt der Gesamtpreis bei 25.000,- DM; pro Zimmer sind etwa 450,- DM zu kalkulieren.

Auf eine Aufschlüsselung der Lohnkosten für die busförmige Verkabelung wird verzichtet, da es wenig sinnvoll erscheint, ein technisch veraltetes Konzept durch eine Installationsfirma realisieren zu lassen. Man müßte etwa die Hälfte der oben errechneten Arbeitszeit annehmen und käme dann einschließlich Material auf Gesamtkosten von ca. 14.000,- DM bzw. 250,- DM pro Zimmer.

Abhängig vom Grundriß des Gebäudes und der möglichen Kabelwege können die tatsächlichen Kosten abweichen, so daß es sich hier nur um einen groben Richtwert handeln kann.

A.2 Standard-Festverbindungen

Ergänzend zu Abschnitt 4.4 „Standleitungen“ stellt Tabelle A.4 die Gebühren für die wichtigsten Festverbindungen vor. Die Angaben basieren auf den Telekom-Tarifen vom 1. Januar 1996. Preise in DM ohne MwSt.

**Tabelle A.4:
Telekom-Tarife**

| Bezeichnung | Installation beide Seiten | Ortszone 1 pro Monat | Ortszone 2 < 15km pro Monat | |
|------------------|------------------------------|-------------------------|-----------------------------|-------------------|
| | | | Grundbetrag | pro km |
| Analog TG 2Draht | 900,- | 70,- | 10,- | 30,- ^a |
| Analog TG 4Draht | 1800,- | 140,- | 130,- | 30,- ^b |
| Digital 64S | 4000,- | 250,- | 385,- | 22,50 |
| Digital TS02 | 4000,- | 250,- | 935,- | 78,- |
| Digital T2MS | 8000,- | 1640,- | 1950,- | 149,- |

a.Minimalbetrag: 100,-; maximal: 190,-

b.Minimalbetrag: 220,-; maximal: 310,-

Anhang B

Netzanalysen

Um Anhaltspunkte für die Konzeption studentischer Netze zu gewinnen, wurden in zwei vernetzten Wohnanlagen der TU Clausthal Analysen des Netzverkehrs durchgeführt.

B.1 Verkehrsmessung

Mit dem Programm `net-acct-0.4` von Ulrich Callmeier wurde auf dedizierten Linux-PCs der Netzverkehr mitprotokolliert. Das Programm erfaßt – ähnlich wie das auf anderen Unix-Systemen verbreitete `tcpdump` – von jedem IP-Paket Quell- und Zieladresse, Port-Nummer, Uhrzeit und Paketgröße. Aus technischen Gründen kann nur der IP-Verkehr gemessen werden; andere LAN-Protokolle bleiben unberücksichtigt. Sie werden ohnehin nur innerhalb des lokalen Netzes eingesetzt.

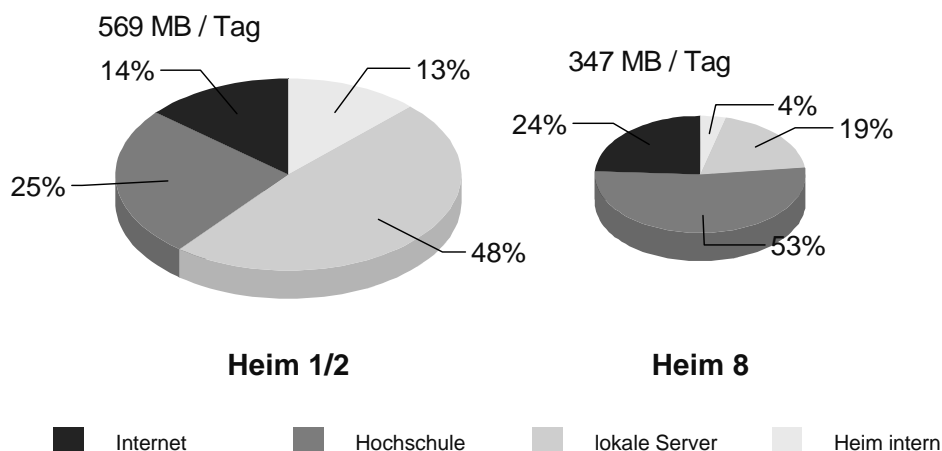
Die Messung wurde über sechs Wochen von Anfang Mai bis Mitte Juni 1996 parallel in den Wohnanlagen „Heim 1/2“ und „Heim 8“ durchgeführt. Im Netz von Heim 1/2 waren während der Zeit 68 Benutzer-PCs aktiv und in dem von Heim 8 59. Es kann in beiden Fällen von einem Routine-Betrieb ausgegangen werden, da die Netz-Installation eineinhalb bzw. zweieinhalb Jahre zurücklag.

B.1.1 Datenströme

Die Testumgebungen repräsentieren unterschiedliche Netzkonzepte. Das LAN von Heim 1/2 ist über eine 128-kBit-Standleitung an das Hochschulnetz angeschlossen. Zur Entlastung der langsamen Anbindung arbeitet ein lokaler Server als WWW-Proxy und News-Server. Heim 8 ist über Glasfaser-Ethernet an das Hochschulnetz angebunden. Als WWW-Proxy und News-Server werden Server in der Hochschule genutzt. Der lokale Server im Wohnheim bietet nur E-Mail und eigene WWW-Seiten an.

In den Meßergebnissen von Abbildung B.1 spiegeln sich die beiden Konzepte wieder. Der IP-Netzverkehr wurde in vier Kategorien unterteilt: Der Verkehr zwischen Bewohnern eines Heimes (*Heim intern*), Zugriffe von Bewohnern auf Server im Wohnheim (*lokale Server*), Datenverkehr zwischen dem Wohnheim

Abbildung B.1:
IP-Datenströme
im Wohnheimnetz



und Hochschuleinrichtungen (*Hochschule*) und direkte Übertragungen von und nach außerhalb (*Internet*). Während die ersten beiden Kategorien den ausschließlich internen Datenverkehr ausmachen, nehmen die Pakete der beiden letzten den Weg über die Gebäudeanbindung.

Die Werte für den lokalen Bereich sind nur eingeschränkt aussagekräftig. Denn das Datenaufkommen durch andere Protokolle in diesem Bereich (z. B. das IPX basierte Novell Netware) wurde nicht erfaßt. Solche Protokolle spielen in der Testumgebung aber nur eine untergeordnete Rolle, so daß der Gesamteindruck dadurch nicht verfälscht wird.

Etwa die Hälfte des Datenverkehrs wird in Heim 1/2 mit dem lokalen Server abgewickelt und ca. 40% mit Stationen außerhalb des lokalen Netzes. In Heim 8 überwiegen Zugriffe auf Workstations und Server der Hochschule deutlich. Der lokale Datenverkehr macht dort nur ein Viertel aus.

Das Datenaufkommen auf der Leitung zum Hochschulnetz ist bemerkenswert hoch. Die Messung bestätigt, daß „Arbeiten von zu Hause im Institut“ und „Zugang zum Internet“ die primären Anwendungen bilden. Das Ergebnis macht aber auch deutlich, daß die Leistungsfähigkeit des Netzes entscheidend von der Bandbreite der Netzanbindung abhängt.

B.1.2 Netzdienste

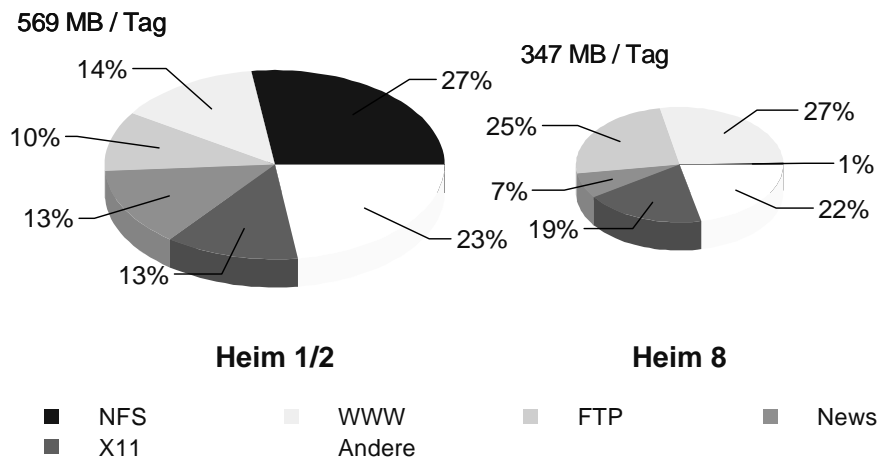
Die in den Netzprotokollen ermittelten Port-Nummern geben einen Hinweis darauf, welche Netzdienste den Datenverkehr generieren. Üblicherweise wird eine Datenverbindung von einem beliebigen freien Port auf der Client-Seite zu einem definierten Port auf der Server-Seite aufgebaut. Die Nummern dieser definierten Ports sind dienstspezifisch und lassen einen Rückschluß auf den zugehörigen Netzdienst zu.

Abbildung B.2 zeigt die Auswertung für Heim 1/2 und Heim 8. In Heim 1/2 ist die Nutzung von Festplatten des lokalen Servers über das Netz (NFS) weit verbreitet. Offensichtlich ist dieser Dienst maßgeblich für den Unterschied im Gesamtdatenaufkommen verantwortlich. In Heim 8 werden FTP und WWW stärker genutzt – sicher bedingt durch die schnellere Anbindung.

Unter dem Block „Andere“ finden sich z. B. textbasierte Terminal-Verbindungen und E-Mail mit je 2-3% sowie weitere Dienste mit geringem Datenaufkommen

wie der Domain-Name-Service. Die Auswertung bezüglich übertragener Megabyte erlaubt eine Aussage zur Belastung des Netzes durch die verschiedenen Netzdienste. Anzahl und Größe der generierten Pakete variieren aber von Dienst zu Dienst so stark, daß anhand der Meßdaten eine Bewertung des Interesses auf Seiten der Benutzer nicht möglich ist.

Abbildung B.2:
Anteile der Netzdienste
am Datenvolumen

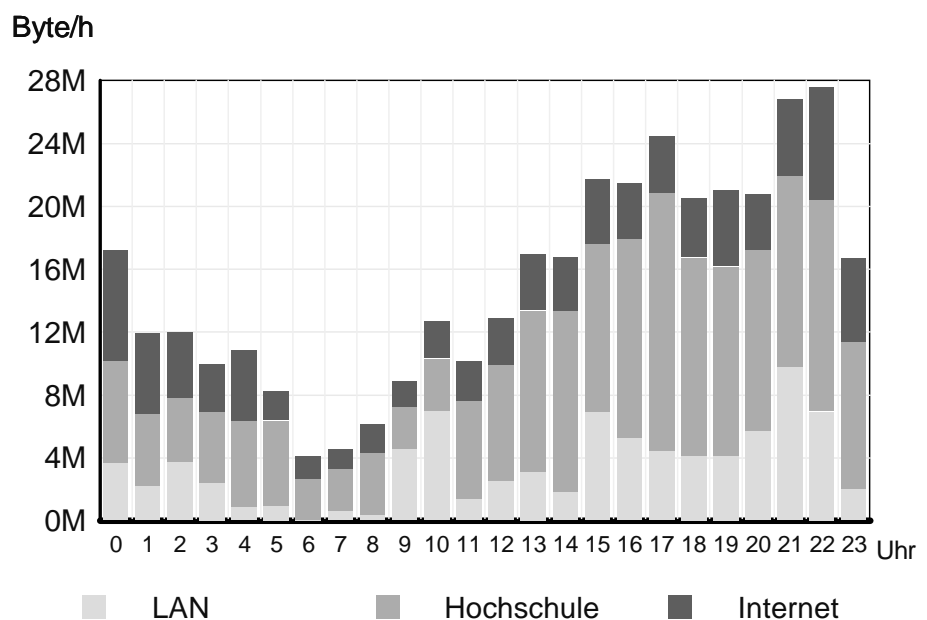


B.1.3 Nutzung nach Tageszeit

Abbildung B.3 zeigt die Netznutzung im Bezug auf die Tageszeit. Als Beispiel wurde Heim 8 gewählt; das Schaubild für Heim 1/2 würde einen ähnlichen Gesamtverlauf zeigen.

Die Hauptarbeitszeit der Studierenden am Netz erstreckt sich anscheinend auf den Zeitraum von Mittag bis Mitternacht. Das Maximum gegen 22 Uhr liegt außerhalb der üblichen Instituts-Öffnungszeiten. Ruhig bleibt das Netz hingegen am Vormittag – zur Zeit der Vorlesungen. Außerdem läßt sich beobachten, daß der Datenverkehr mit dem Internet überwiegend außerhalb des Hochschulbetriebs abends und nachts abgewickelt wird.

Abbildung B.3:
Datenverkehr nach
Tageszeiten in Heim 8





Literaturverzeichnis

- [1] N. APOSTOLOPOULOS. DIALEKT – Digitale Interaktive Lektionen in der Studentenausbildung. DFN-Mitteilungen. Heft 40. März 1996
- [2] ANATOL BADACH. ISDN im Einsatz. Datacom.
- [3] ANATOL BADACH, ERWIN HOFFMANN, OLAF KNAUER. High Speed Internetworking. Addison Wesley, 1994
- [4] F. BODENDORF. MM-unterstützte Dezentralisierung interdisziplinärer Lehre. Regionales Testbed Bayern. Universität Erlangen-Nürnberg. 1996
- [5] BUNDESMINISTERIUM FÜR POST UND TELEKOMMUNIKATION, Frequenzbereichszuweisungsplan für die Bundesrepublik Deutschland. BAPT, 1994
- [6] BRYAN BUUS, u.a. Internet-Server – Einrichten und Verwalten. O'Reilly & Associates Inc., 1995
- [7] BRYAN COSTALES, ERIC ALLMAN, NEIL RICKERT. Sendmail. O'Reilly & Associates Inc., 1993
- [8] Datacom Magazin. Spezial: Verkabelung. Datacom Verlag, 1991
- [9] Deutsche Forschungsgemeinschaft, Kommission für Rechenanlagen. Informationsverarbeitung und Rechner für Hochschulen 1996 bis 2000.
- [10] DFN-Verein. Benutzungsordnung für das Zusammenwirken der Anwender der DFN-Kommunikationsdienste. Mai 1994
- [11] DFN-Verein. RTB-Projekte. <http://www.dfn.de/entwicklung/home.html>
- [12] DSW. Wohnheimtagung, Mai 1995, Tagungsunterlagen. Deutsches Studentenwerk
- [13] Euronorm EN 50173, Beuth Verlag, Berlin, 1994
- [14] CHRISTIAN FALCKENBERG. Studienarbeit: Internet – Spielzeug oder Werkzeug?. RWTH Aachen, August 1994
- [15] CLEMENS FRICKE. Confman: Telefonieren über das Internet. DFN-Mitteilungen. Heft 40, März 1996
- [16] SIMSON GRAFINKEL, GEENE SPAFFORD. Practical UNIX & Internet Security. O'Reilly & Associates Inc., 2nd Edition, 1996
- [17] LARS GERSCHAU. Strukturierte Verkabelung. Datacom, 1995

- [18] JOCHEN HEIN. Linux-Companion zur Systemadministration. Addison Wesley, 1996
- [19] FRANK KARGL. Bewertung der Zenith Z-LAN Lösung zur Vernetzung des Wohnheims Heilmeyersteige. Universität Ulm, Juli 1994
- [20] FRANZ-JOACHIM KAUFFELS. Lokale Netze. Datacom. 8. Auflage, 1996
- [21] HANS-ULRICH KIEL, DAVID WERNER. Netzordnung für Studentenwohnheime am Hochschulnetz der TUC. November 1994
- [22] HANS-ULRICH KIEL. Wohnheime am Netz. DFN-Mitteilungen. Heft 37, März 1995
- [23] RUDI KISTEMAKER. Innovation Project Zenith HomeWorks 0.5 Mb. Wageningen, März 1995
- [24] WOLFGANG PETER KOWALK, MANFRED BURKE. Rechnernetze. Teubner Stuttgart, 1994
- [25] WOLFGANG LEY. Diplomarbeit: Praktische Unix-Sicherheit im universitären Bereich am Beispiel der TU Clausthal. 1994
- [26] KLAUS LIPINSKI (Hrsg.), Lexikon der Datenkommunikation. International Thomson Publishing, 4. Auflage, 1996
- [27] WALTER VON PATTAY. Informationstechnische Verkabelung von Gebäudekomplexen. expert verlag. 1993
- [28] U. PILLER, 38 GHz-Richtfunkstrecke IWZ – GWZ und Vergleich mit Laser-Hochleistungsstrecken. Fachhochschule Köln, Mai 1995
- [29] RRZN Dokumentation. Internet. Regionales Rechenzentrum Hannover. 3. Auflage, April 1996
- [30] RRZN Dokumentation. UNIX-Systemverwaltung. Regionales Rechenzentrum Hannover. 1. Auflage, Mai 1996
- [31] MARTIN SCHELLER, KLAUS-PETER BODEN, ANDREAS GEENEN, JOACHIM KAMPERMANN. Internet: Werkzeuge und Dienste. Springer-Verlag, 1994
- [32] TECHNOLOGIE-VERMITTLUNGS-AGENTUR BERLIN E.V. (HRSG.). Hochschul-Computer-Forum 1993, Dokumentation der Präsentation. Berlin. 1993
- [33] TECHNOLOGIE-VERMITTLUNGS-AGENTUR BERLIN E.V. (HRSG.), Hochschul-Computer-Forum 1993, Synergie durch Kommunikation. VISTAS Verlag, Berlin. 1994
- [34] Telekom T-LAN, Grundlagen und Produktbeschreibungen, <http://www.t-lan.dtag.de/bam/tlan/ind/>
- [35] JAN ULBRICH. Zugang für alle. DFN-Mitteilungen, Heft 35, Juni 1994
- [36] WISSENSCHAFTSRAT. Empfehlungen zur Bereitstellung leistungsfähiger Kommunikationsnetze für die Wissenschaft. <http://www.dfn.de/dfn/wiss-rat/netze.html>, Mai 1995