## Netzwerke für Multimedia-Anwendungen

von

# Torsten Neck und Elmar Holler Forschungszentrum Karlsruhe GmbH Technik und Umwelt Institut für Angewandte Informatik

Postfach 3640 • D-76021 Karlsruhe
Telefax: +49 (0)7247 82-5786
Telefon: +49 (0)7247 82-4421 • +49 (0)7247 82-5757
e-Mail: neck@iai.fzk.de • holler@iai.fzk.de

#### Kurzfassung

Die bewährte Ethernet-Technik ist für die wachsenden Ansprüche multimedialer Anwendungen nur noch bedingt geeignet.

Nach einer einleitenden Definition des Begriffes "Multimedia" werden typische Kapazitäts- und Qualitätsanforderungen von Multimedia-Anwendungen – insbesondere im Hinblick auf telemedizinische Anwendungen – betrachtet.

Moderne Netzwerk-Konzepte, allen voran der <u>Asynchrone Transfer Mode ATM</u>, die den erhöhten Anforderungen gerecht werden, werden vorgestellt.

Abschließend werden beispielhafte Szenarien und erste Erfahrungen beim Einsatz dieser Techniken am Forschungszentrum dargestellt.

## 1 Der Modebegriff "Multimedia"

#### 1.1 "Multimedia"

"Multimedia" ist ein Schlagwort, das sich in den letzten Jahren zunehmend verbreitet hat. Kaum eine Technik kommt heute noch ohne "multimediale" Komponente aus.

Hinterfragt man diesen Begriff bei den Menschen, die ihn benutzen, findet man jedoch sehr unterschiedliche Auffassungen über seine Bedeutung, angefangen von "bunt" über "Bild und Ton" bis hin zu den wissenschaftlich fundierten Definitionen, denen auch wir uns anschließen:

"Ein Multimedia-System ist durch die rechnergesteuerte, integrierte Erzeugung, Manipulation, Darstellung, Speicherung und Kommunikation von unabhängigen Informationen gekennzeichnet, die in mindestens einem <u>kontinuierlichen</u> und einem <u>diskreten</u> Medium kodiert sind"[1].

Der Konsens in allen derartigen Definitionen ist die Forderung nach integrierter Verarbeitung von wenigstens einem <u>diskreten</u> und einem <u>kontinuierlichen</u> Medium.

Unter *diskretem Medium* versteht man dabei die Verarbeitung solcher Informationen, die unabhängig von der Dimension der Zeit sind, also typischerweise Texte und Grafiken. Die Zeitunabhängigkeit ist bei diesen Kandidaten insofern gegeben, als die Verarbeitung der Daten eines <u>diskreten Mediums</u> zwar möglichst schnell erfolgen soll, aber eine verlangsamte oder beschleunigte Behandlung die Information als solche nicht beeinträchtigt.

Anders verhält es sich bei einem <u>kontinuierlichen Medium</u>, wie bei Bewegtbildsequenzen ("<u>Video</u>") und bei Toninformationen ("<u>Audio</u>"): Hier spielt die Zeit auch bei der Verarbeitung eine tragende Rolle. Ein verlangsamtes oder beschleunigtes Abspielen beispielsweise eines Sprachsignales verfälscht die Tonlage und Lautfolgen bis hin zur Unverständlichkeit. Die Information wird dadurch beeinträchtigt.

### 1.2 Qualitätsmerkmale multimedialer Übertragungsdienste

Dieser Beitrag betrachtet Multimedia insbesondere im Hinblick auf die Kommunikation, den Austausch von Informationen zwischen wenigstens zwei Kommunikationspartnern. Solche multimedialen Kommunikationsanwendungen stellen verglichen mit herkömmlichen Anwendungen besonders hohe Anforderungen an den <u>Transportdienst</u>, der mit Hilfe der eingesetzten Netzwerke zu realisieren ist. Aus dem Verständnis von "Multimedia" heraus lassen sich dann verschiedene Klassen von Transportsystemen bilden.

Als Kriterien für eine solche Klassifikation der Übertragungsdienste hat die weltweite <u>Telematik-</u>Vereinigung <u>ITU-T</u> (<u>International Telecommunication Union, Telecommunication Section</u>, früher <u>CCITT</u>) vorgeschlagen:

Kriterium	Klasse A	Klasse B	Klasse C	Klasse D
zeitliche Beziehung zw. Sender und Empfänger	zeitkontinuierlich		zeitdiskret	
zeitiche Verteilung des Datenaufkommens	konst. Bitrate CBR	variable Bitrate VBR		
Verbindungs- charakteristik	verbindungsorientiert			verbindungs- los
Beispiele	unkompri- miertes Video	komprimiertes Video, Sprache	Terminal- Dialogbetrieb	Dateitransfer

Abbildung 1: Klassifikation der Telematikdienste nach ITU-TS

- Ist es notwendig, daß Sender und Empfänger im gleichen zeitlichen Raster arbeiten?
  - Der Fachbegriff für diese Eigenschaft ist "Isochronität". Hierdurch wird einerseits gefordert, daß Informationspakete bei Sender und Empfänger im gleichen Zeittakt verarbeitet werden, andererseits ist die Forderung der Isochronität noch strenger, denn sie legt auch fest, daß Taktschwankungen in der Verarbeitung der Informationspakete bei Sender und Empfänger man nennt diese Schwankungen "Jitter" unter einer zuvor vereinbarten Obergrenze bleiben. Jitter bei der Videoübertragung würde sich beispielsweise am Empfänger als Geschwindigkeitsschwankungen zeigen bei der Wiedergabe einer Bewegung, die beim Sender als "gleichförmig" aufgezeichnet wurde.
- Wie ist zeitlich das Datenaufkommen verteilt?
  - Hier unterscheidet man im wesentlichen "<u>CBR</u>" (<u>Constant Bitrate</u>), ein konstantes Datenvolumen über der Zeit, und "<u>VBR</u>" (<u>Variable Bitrate</u>), ein zeitlich schwankendes Datenvolumen.
  - Konstante Bitraten treten typischerweise bei unkomprimierter Videoübertragung auf, denn jedes der 25 Bilder pro Sekunde hat die gleiche digitale Auflösung. Schaltet man Kompressionstechniken vor die Videoübertragung wird durch die unterschiedliche Kompressionswirkung auf jedes einzelne zu übertragende Bild aus der <u>CBR</u> eine <u>VBR</u>.
  - Das variable Datenaufkommen ist besonders typisch für die reinen Datendienste. Als Maß für die Schwankungsstärke bei <u>VBR</u> dient die sogenannte "<u>Burstiness</u>", das Verhältnis der maximalen zur durchschnittlichen Bitrate.

Läuft die Kommunikation "verbindungsorientiert" oder "verbindungslos" ab?

Eine verbindungsorientierte Kommunikation ist uns bei der Telefonie geläufig. Typisch für sie ist, daß zunächst ein Kommunikationskanal eingerichtet wird, der dann für eine unbestimmte Zeit "ständig" und "dauerhaft" zur Verfügung steht. Eine Freigabe des reservierten Kommunikationskanales geschieht explizit durch den Verbindungsabbau. Durch den dauerhaften Kanal ist z. B. die Auslieferung und Reihenfolgetreue der Nachrichtenteile dadurch weitgehend gesichert, daß alle Teile den gleichen Weg nehmen und keine Überholvorgänge möglich sind.

Senden wir dagegen unsere Nachrichten in mehreren Teilen per Post, so haben wir den Fall einer verbindungslosen Kommunikation vorliegen. Durch die Zwischenlagerung der Teilsendungen in Vermittlungsstellen – "Store and Forward" genannt – kann z. B. eine Reihenfolgetreue nicht mehr gesichert werden, da unter Umständen verschiedene Teile der Sendung auf verschiedenen Wegen transportiert werden.

Das <u>ITU</u> bildet mit den vorgenannten Kriterien in der folgenden Weise vier <u>Dienstklassen</u> A bis D (Abbildung 1):

- Klasse A: Ein <u>Dienst</u> zur verbindungsorientierten Übertragung <u>isochroner</u> Daten in <u>konstanter</u> <u>Bitrate</u>. (Beispiel: unkomprimiertes <u>Video</u>.)
- Klasse B: Ein <u>Dienst</u> zur verbindungsorientierten Übertragung <u>isochroner</u> Daten in <u>variabler Bitrate</u>. (Beispiel: Sprachübertragung.)
- Klasse C: Ein <u>Dienst</u> zur verbindungsorientierten Übertragung zeitunabhängiger Daten in <u>variabler</u>
   <u>Bitrate</u>. (Beispiel: Terminalsitzung im Dialogbetrieb.)
- Klasse D: Ein <u>Dienst</u> zur <u>verbindungslosen</u> Übertragung zeitunabhängiger Daten in <u>variabler Bitrate</u>. (Beispiel: rein textuelle "electronic Mail".)

Die möglichen weiteren Kombinationen der Kriterien sind von der <u>ITU-T</u> nicht aufgenommen worden, weil sie keine sinnvollen Dienste definieren.

#### 1.3 Kapazitative Anforderungen verschiedener Medien

Neben den zuvor aufgeführten Qualitätsmerkmalen ist vor allem die *Übertragungskapazität* für multimediale Netzwerke entscheidend. Während für die <u>diskreten Medien</u> eine geringere Übertragungsleistung des Kommunikationssystemes allein in längeren Wartezeiten resultiert, wird die Realisierung eines <u>isochronen Dienstes</u> für <u>kontinuierliche Medien</u> durch Mangel an Bandbreite eventuell ganz vereitelt.

Es ist daher erforderlich die Anforderungen der <u>kontinuierlichen Medien</u> für die Realisierung eines Multimedianetzes zu kennen.

#### 1.3.1 Digitales Audio:

Bei der Verarbeitung von digitalen Audiosignalen kann man von den Anforderungen her zunächst Sprache von Musik unterscheiden, denn während die Musik das gesamte Frequenzspektrum des "Hörschalles" von 16 Hz bis 20 kHz überdeckt, ist für die Sprachverarbeitung nur das Intervall von 300 Hz bis 3 kHz relevant, wie man am Telefon erkennen kann.

Zur <u>Digitalisierung</u> des <u>analogen</u>, zeitkontinuierlichen Signales bedient man sich der sogenannten "<u>Puls-Code-Modulation</u>" (<u>PCM</u>), die das <u>analoge Signal</u> in konstanten Zeitintervallen abtastet und in der Amplitude <u>quantisiert</u> (Abbildung 2). Das zeitliche Abtastraster, "<u>Sampling-Frequenz</u>" genannt, und die Auflösung der Amplitudenquantisierung bestimmen das Datenvolumen und die Qualität.

Beispielsweise wird bei der digitalen Telefonie im <u>Schmalband-ISDN</u><sup>1</sup> mit 8 kHz gesampled und jedes <u>Sample</u> mit 8 bit quantisiert. Die aus dem sogenannten "<u>Nyquist-Theorem</u>" resultierende, maximal

von

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> ISDN ist das Akronym für "Integrated Services Digital Network" oder auf Deutsch "Dienstintegrierendes digitales Netzwerk"; es bezeichnet das in der "Schmalbandversion" als Alternative zum analogen Telefon

übertragbare Frequenz des Nutzsignales liegt damit bei 4 kHz. Die resultierende Kapazitätsforderung auf der digitalen Seite beträgt 64 kbit/s. Gerade aber bei der Sprachverarbeitung ist eine sehr hohe <u>Burstiness</u> zu verzeichnen, so daß die mittleren Bitraten deutlich geringer sind als die für <u>CBR</u> berechneten, maximalen 64 kbit/s.

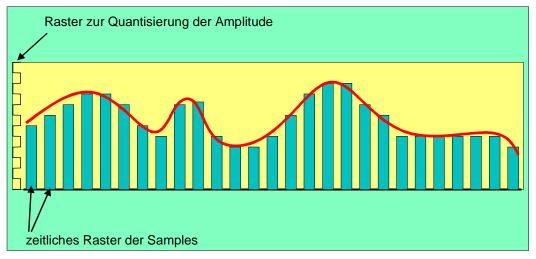


Abbildung 2: Kombinierte Zeit- und Amplitudendiskretisierung bei der Puls-Code-Modulation

Musik die auf Compact Disks (CD) stereo aufgezeichnet wird, wird üblicherweise getrennt für den linken und rechten Kanal mit 44,1 kHz gesampled und in 16 bit quantisiert, bei Digital Audio Tapes (DAT) beträgt die <u>Sampling-Frequenz</u> 48 kHz. Daraus resultieren für das <u>analoge Signal</u> die Grenzfrequenzen 22 kHz bzw. 24 kHz, auf digitaler Seite die Kapazitätsforderungen 1,4112 Mbit/s bzw. 1,536 Mbit/s.

#### 1.3.2 Digitales Video

Sollen Bilder in einem Rechensystem verarbeitet werden, müssen sie entweder "ikonisch" als "Bilder an sich" oder "symbolisch" in Form von Bildbeschreibungen digital vorliegen.

Wir gehen hier von einer ikonischen Verarbeitung aus und können dann ähnliche <u>Diskretisierungstechniken</u> wie bei der Audioverarbeitung einsetzen.

Betrachtet man nun nicht alleinstehende Bilder (des <u>diskreten Mediums</u>) sondern Bildfolgen (des <u>kontinuierlichen Mediums</u>), ist zur <u>Digitalisierung</u> eine <u>Diskretisierung</u> in vier "Dimensionen" notwendig (Abbildung 3):

- Die Zeitdiskretisierung, die die kontinuierliche Szene in eine Folge einzelner Bilder auflöst. (Ihr entspricht bei Audio das Sampling.)
- Die *Ortsdiskretisierung*, die jedes kontinuierliche Einzelbild in einzelne Bildpunkte zerlegt.
- Die Kanaldiskretisierung, die jedes Pixel z. B. in seine Grundfarbbestandteile zerlegt. (Neben der Zerlegung in die Grundfarbkanäle Rot, Grün und Blau sind auch Zerlegungen in einen Helligkeitsund einen oder zwei Farbkanäle üblich; man spricht von <u>Dreikomponenten</u>-Signalen und <u>Zweikomponenten</u>-Signalen, bzw. bei der Auflösung in nur einen Kanal von einem <u>Composite-</u> <u>Signal.</u>)
- Die *Amplitudendiskretisierung*, die die Intensität jedes Farbkanales quantisiert. (Ihr entspricht also die <u>Quantisierung</u> der Amplitude bei der <u>Audio-Digitalisierung</u>.)

konfektioniert erhältliche digitale Telefonnetz mit zwei Benutzerkanälen für Telefon- oder Datenkommunikation mit 64 kbit/s und einem Datenkanal mit 16 kbit/s in einem sogenannten SO-Anschluß.

Die Feinheit der <u>Diskretisierungen</u> bestimmt wiederum die Qualität und die erforderliche Verarbeitungskapazität.

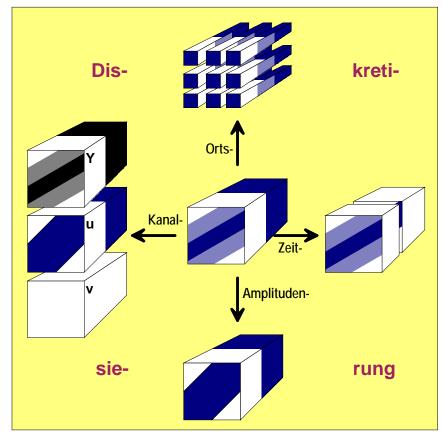


Abbildung 3: Dimensionen der Bewegtbilddiskretisierung

Als Standard haben sich Empfehlungen des <u>Internationalen Fernseh- und Radio-Komitees (CCIR)</u> für die digitale Videoverarbeitung eingebürgert. Sie gehen in Deutschland von einer Vertikalauflösung von 648 Zeilen bei einem Seitenverhältnis 4:3 der Videobilder aus, von einer Zeitdiskretisierung von 25 Bildern pro Sekunde und einer Kodierung in drei Komponenten.

Es resultiert daraus eine Kapazitätsanforderung von 216,0 Mbit/s <u>CBR isochron</u> (Bruttorate). Geht man nun davon aus, daß nur 540 der insgesamt 648 <u>Bildzeilen</u> auf einem Monitor <u>sichtbar</u> sind, kann eine Reduktion der Anforderung auf 165,6 Mbit/s erreicht werden (Nettorate).

Wegen der auch aus heutiger Sicht sehr hohen Anforderung, hat das <u>CCIR</u> unter fortschreitenden Zugeständnissen an die Bildqualität noch drei Substandards definiert, bei denen zunächst die Farbkomponenten (<u>Chrominanzkanäle</u>) mit geringerer Auflösung digitalisiert werden, später jedoch auch die Helligkeitskomponente (<u>Luminanzkanal</u>). Die resultierenden Anforderungen sind:

- Substandard 1: Bruttorate (648 Zeilen) 180,0 Mbit/s, Nettorate (540 Zeilen) 138,0 Mbit/s.
- Substandard 2: Bruttorate 135,0 Mbit/s, Nettorate 103,5 Mbit/s.
- Substandard 3: Bruttorate 108,0 Mbit/s, Nettorate 82,8 Mbit/s.

Betrachtet man weiter reduzierte Anforderungen, wie z. B. ein Einkomponenten-Signal wie in einem Heimvideorecorder, so benötigt man eine Kapazität von 141,76 Mbit/s für <u>FBAS</u> bzw. 80 Mbit/s für das schwarzweiße <u>Composite-Signal</u>.

#### 1.3.3 Bildkompression

Die hohen Kapazitätsanforderungen lassen sich jedoch auch unter Beibehaltung höchster Bildqualität durch Kompressionstechniken reduzieren.

Das Prinzip jeder verlustfreien Kompression ist, daß nur die "unbedingt notwendige", "originale" Information im bearbeiteten Datensatz selbst transportiert wird. Die Menge der unbedingt notwendigen Informationen wird dabei durch vorhergehende Verabredungen von Verarbeitungsverfahren dadurch reduziert, daß mittelbare Informationen im Verarbeitungsverfahren inhärent gespeichert sind. Der bei der Übertragung eingesparte Aufwand wird also in die <u>Digitalisierung</u> und Codierung bzw. in die Rückwandlung zum analog angezeigten Bild verlagert und erfordert dort entsprechend leistungsfähige Komponenten, "<u>Codecs</u>" (<u>Coder-Decoder</u>) genannt.

Bekannte Kompressionsverfahren wie <u>H.261</u>, <u>JPEG</u> oder <u>MPEG</u> machen sich Redundanzen in Bildern zunutzen, die in den verlustfreien Verfahren geschickt und platzsparend aufgezeichnet werden. (Beispielsweise wird anstelle einer Folge von 100 Farbwerten "255" ein Wertepaar (100, 255) abgespeichert.)

Darüber hinaus werden in den verlustbehafteten Varianten für den Betrachter entbehrliche Details unterdrückt, man spricht von "Irrelevanzreduktion". Das angezeigte Bild bzw. die angezeigte Szene ist also bewußt unterschiedlich, detailärmer als die diskretisierte Ausgangsszene.

Spezielle Verfahren für Bewegtbildsequenzen setzen nicht mehr nur auf dem Einzelbild auf, sondern analysieren darüber hinaus noch Redundanzen in aufeinanderfolgenden <u>Videoframes</u>. Es werden dann nach einem anfänglichen Grundbild, das komplett wie in den anderen Techniken übertragen wird, nur noch Veränderungen relativ zum Grundbild übermittelt.

Durch alle Varianten der Kompression erhält man jedoch <u>isochrone</u> Datenströme mit einer deutlich reduzierten Grundlast. Der "Traffic", der Datenverkehr, kann hierbei entweder in <u>CBR</u> bei schwankender Bildqualität realisiert werden, oder — weitaus häufiger zu finden — mit <u>VBR</u> bei gleichbleibender Bildqualität.

Erfahrungen mit <u>VHS-Video</u>, das in <u>Codecs</u> mit <u>JPEG</u>-Kompression verlustbehaftet verarbeitet wird, zeigen, daß mittlere Datenraten von 14 Mbit/s zur Erzielung von heimüblicher Fernsehqualität voll genügen. [4, 10, 11].

#### 1.4 Multimedia-Systeme am FZK

Auch im Forschungszentrum existieren und entstehen multimediale Anwendungen in wachsender Zahl.

Sie beginnen bei lokal gehaltenen Lernprogrammen, bei denen beispielsweise während der durch das Lernprogramm gelenkten Arbeit mit der eigentlich zu erlernenden Software Videosequenzen eingespielt werden. Daneben sind Telekonferenzen – derzeit über schmalbandige Lösungen wie LAN und S-ISDN in reduzierter Qualität realisiert – im Punkt-zu-Punkt-Betrieb möglich, bei denen die Partner nicht nur über das kontinuierliche Medium "Video" kommunizieren, sondern in den sogenannten "Whiteboard-Techniken" einen gemeinsamen, verteilten Datenbereich zum interaktiven Austausch statischer Daten benutzen können. Die Telekonferenz über S-ISDN wird bereits als stationärer Dienst von Seiten des FTU für Mitarbeiter des FZK angeboten.

Eingesetzt werden solche Multimediasysteme überwiegend im Sinne des "<u>Teleteaching</u>", der dezentralen Aus- und Weiterbildung, und im Sinne des "<u>Teleconsulting</u>", der verteilten Hilfestellung oder Beurteilung durch einen Experten bei schwerwiegenden Problemstellungen.

Darüber hinaus existieren komplexe, fortgeschrittene Multimediasysteme bei der Forschungs- und Entwicklungsarbeit in den Instituten, wenn auch z. T. noch im experimentellen Zustand.



Abbildung 4: Designstudie (links) und ihre experimentelle Umsetzung (rechts) für einen multimedialen, ergonomischen Operationssaal der computergestützten, minimal invasiven Chirurgie

Stellvertretend sei hier das medizinische <u>ARTEMIS</u>-System ("<u>Advanced Robot and Telemanipulator System for Minimally Invasive Surgery</u>") des IAI genannt: hier werden zum einen medizinische Geräte über konventionelle Netzwerktechnik zuverlässig gesteuert, zum anderen die kontinuierlichen Informationen etwa aus dem <u>Endoskop</u> für <u>dreidimensionales Video</u> zusammen mit Audioinformationen unter strengsten <u>Echtzeitbedingungen</u> in außergewöhnlicher Qualität übertragen (Abbildung 4).

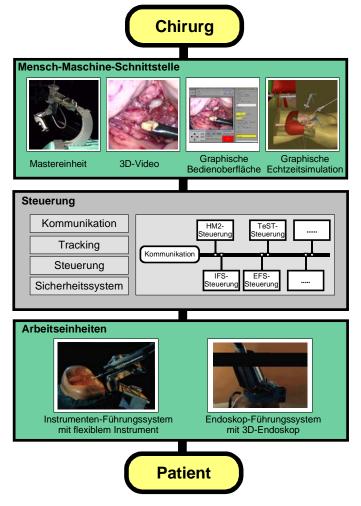


Abbildung 5: Die Architektur von ARTEMIS

Der Kern des <u>ARTEMIS</u>-Systemes ist <u>MONSUN (Manipulator Control System Utilizing Network Technology</u>), ein am IAI entwickeltes Steuerungssystem, das den Fernbetrieb beliebiger, entsprechend angepaßter Manipulatoren, von universell tauglichen Eingabeeinheiten, den sogenannten <u>Mastern</u>, aus ermöglicht (Abbildung 5). Die charakteristischen Eigenschaften dabei sind:

- Die Steuerinformationen für den <u>Echtzeitbetrieb</u> werden über konventionelle Netzwerke im Einsatz befindet sich derzeit <u>Ethernet</u> – mit handelsüblichen Netzwerkkarten übertragen. Ein spezialisiertes Netzwerkprotokoll ist nicht erforderlich.
- Ein <u>Master</u> muß nicht für eine bestimmte Arbeitseinheit entwickelt werden, er kann universell für alle an <u>MONSUN</u> angepaßten <u>Arbeitseinheiten</u> als Eingabegerät dienen, er dient als sogenannter <u>Universalmaster</u>.
- Eine Regelung im prozeßtechnischen Sinne liegt durch eine hochentwickelte optische (dreidimensionales Video) und z. T. taktile Rückkopplung (Kraft- und Momenten-Reflexion) an den Bediener vor. Das Schlagwort für den MONSUN-Regelkreis ist deshalb: "the man in the loop"; der Bediener erzeugt durch seine Betätigung des Masters über MONSUN-spezifische Transformationen regelungstechnische Stellvorgaben. Die Reaktion der Strecke wird durch Video- und Kraftreflexion zum Bediener rückgekoppelt, worauf dieser entsprechend reagiert.

Gerade in der letztgenannten Eigenschaft von MONSUN, "man in the loop", wird die multimediale Charakteristik deutlich: während Stellvorgaben und Statusrückmeldungen in einem solchen Telemanipulations-System von ihrer Natur her diskret sind — wenn auch der strenge Echtzeitbetrieb die Verarbeitungszeit in ein enges Intervall zwingt —, liegen mit der Audio/Video-Rückkopplung wenigstens zwei Repräsentanten für das kontinuierliche Medium vor.

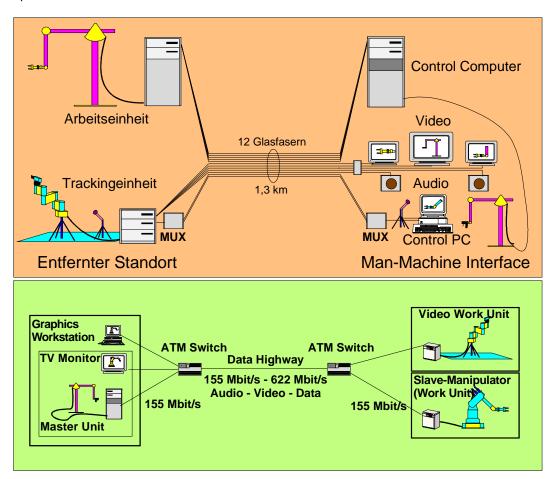


Abbildung 6: Vom örtlich integrierten Telepräsenzsystem (oben) zum multimedialen System (unten) durch Wechsel auf ein geeignetes Transportsystem

Bislang war die verfügbare Netzwerktechnik zwar voll hinreichend für die Übermittlung der Steuerinformationen, die zeitkontinuierlichen Daten mußten jedoch jeweils separat über analoge Technik geführt werden (Abbildung 6 oben).

Somit fehlt nach der einleitenden Definition von Multimedia das Moment der "integrierenden Verarbeitung".

Einer der wichtigsten Gründe für die Trennung ist, daß Verzögerungszeiten in den bislang typischen LAN-Techniken nicht deterministisch bestimmt werden können: Die Auslieferungszeit von Nachrichten ist von mehreren Faktoren (augenblickliche Netzbelastung, eingesetzte Station, Eigenschaften des Netzwerkanschlusses der Station, ...) abhängig und kann in Größenordnungen von Millisekunden bis zu Sekunden schwanken. Für Steuervorgaben kann diese Übertragungscharakteristik in Grenzen durch die Kontrollprogramme ausgeglichen werden, für <u>Audio-/Video</u>-Daten sind große Laufzeitschwankungen nicht tolerierbar.

Mit dem Einsatz neuester Netzwerktechnik, die auf dem sogenannten "Asynchronous Transfer Mode" (ATM) beruht, konnten diese Integrationsbarrieren jedoch überwunden und der Schritt zum echten Multimedia-System ARTEMIS getan werden (Abbildung 6 unten). [2, 3, 5, 6, 7, 8]

#### 2 Herkömmliche Netzwerktechnik

#### 2.1 Die "802.x"-Standards

Lange Zeit hindurch war in der Telekommunikation eine strenge Zuordnung spezieller Techniken und Medien zu jeweils einem <u>Telematik</u>dienst bei einer gleichzeitig geringen Zahl von Berührungspunkten zwischen den einzelnen <u>Diensten</u> selbst festzustellen.

So wurde für die Sprachkommunikation ein analoges Telefonnetz aufgebaut, übrigens das größte weltweite Netzwerk. Für den Telegrafendienst wurden zunächst optische Vermittlungsabschnitte im sogenannten "Store-and-Forward"-Betrieb eingesetzt, später ein spezielles, elektrisches Telegrafennetz. Die Verteildienste für die kontinuierlichen Medien Ton und Video – letzteres nun als Kombination von synchronisiertem Ton und Bildsequenzen aufgefaßt – bedienen sich des terrestrischen und heute auch des kosmischen Rundfunks. Datenkommunikation findet in separaten Datennetzen wie dem Internet statt.

Greift man sich aus diesem Spektrum die letztgenannten Datennetze heraus, stellt man als weiteres Phänomen eine bislang strenge Zuordnung von ausgewählten Techniken zu bestimmten Erstreckungen fest: so findet man eigene Lösungen für LANs, lokale Netze, die sich wesentlich von den MAN-Lösungen für Nahbereichsnetze und den WAN-Lösungen für den Weitverkehr unterscheiden.

Die wichtigsten Vertreter für solche Datennetze haben sich in den 80er Jahren etabliert und sind heute im Einsatz bewährt. Die Netzwerke für relativ kurze Erstreckungen sind weitgehend gemeinsam in übereinstimmenden Standards des <u>IEEE</u> und der <u>ISO</u> festgelegt, nämlich bei <u>IEEE</u> im Standard 802 und im IS 8802 der <u>ISO</u>. Hierbei werden in den ersten beiden Abschnitten gemeinsame <u>Protokoll</u>-<sup>2</sup> und Dienstcharakteristiken aufgeführt und in den weiteren Abschnitten die verschiedenen Techniken gesondert behandelt.

Die vertretenen Netztechniken sind (in der <u>ISO</u>-Nomenklatur):

- 8802/3 CSMA/CD, meist unter dem Namen eines Hauptentwicklers (XEROX) bekannt: "Ethernet".
- 8802/4 Token Bus.
- 8802/5 Token Ring.
- 8802/6 DQDB, Distributed Queue Dual Bus.

Als "Protokoll" bezeichnet man Vereinbarungen zweier Kommunikationspartner über den Ablauf der Kommunikation und die verwendeten Datenformate.

• 9314/2 – FDDI, Fibre Distributed Data Interface.

#### 2.2 Ethernet und Fast-Ethernet

8802/3 bzw. 802.3, "Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection" (CSMA/CD) ist sicherlich die am weitesten verbreitete Netzwerktechnik im lokalen Bereich. Sie ist auch bei uns im Zentrum inzwischen in fast allen Gebäuden vertreten, seit sie 1982 am damaligen IDT erstmals im Zentrum und auch als eine der ersten Installationen in Deutschland eingeführt wurde.

Das Prinzip des <u>Ethernets</u> baut auf einer sogenannten Bus-Topologie auf, einem langen Koaxialkabel mit Abschlußwiderständen an jedem Ende. An dieses Kabel sind die Teilnehmerstationen passiv angekoppelt (Abbildung 7). Das Kommunikationsmedium, der Bus, wird unter allen angeschlossenen, kommunikationswilligen Teilnehmern geteilt, wobei der Betrieb durch ein sogenanntes Zuteilungs-<u>protokoll</u> (Media Access Control Protocol, <u>MAC</u> protocol) geregelt wird, das für diese Variante namensgebend war.

Sendewillige Stationen warten vor dem Medienzugriff auf eine Lücke im Verkehr und überprüfen auch während des Sendens, daß keine Kollisionen auftreten.

Diese Technik ist für Erstreckungen bis zu 1500 m geeignet und bietet eine unter allen angeschlossenen Stationen geteilte Kapazität von insgesamt 10 Mbit/s. Neuere Entwicklungen stellen auf veränderter Verkabelung (Twisted Pair, strukturiert anstelle von Koax, Bus) das gleiche Zugriffsverfahren mit einer geteilten Kapazität von 100 Mbit/s zur Verfügung.

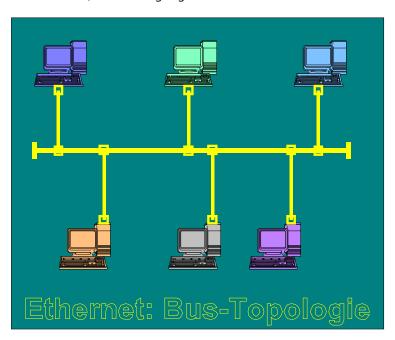


Abbildung 7: Ethernet — mittelschnelle Netzwerktechnik mit geteiltem Medienzugriff und Bus-Topologie

#### 2.3 FDDI

Das schnelle Netz <u>FDDI</u> — Fibre Distributed Data Interface — unterscheidet sich von der Topologie her grundlegend von <u>Ethernet</u>, denn es ist ein ringförmiges Netz und kann insofern als Fortentwicklung des <u>Token Ring</u> Netzes (802.5) aufgefaßt werden. Es ist seit der Mitte der 80er Jahre im Wachsen.

In zwei "konzentrische", gegenläufige Glasfaserringe mit einer Länge von jeweils maximal 200 km sind bis zu 1000 Stationen aktiv eingebunden (Abbildung 8). Das heißt, daß im Allgemeinen jede Station alle auf den Ringen einlaufenden Daten empfängt und neu auf den nächsten Übermittlungsabschnitt schreibt. Dabei beträgt die Kapazität jedes Ringes üblicherweise 100 Mbit/s aber auch 140 Mbit/s.

Der Medienzugriff der Stationen beim Senden eigener Daten wird durch einen sogenannten <u>Token-Passing-Mechanismus</u> wie bei 802.5, dem <u>Token-Ring</u>, gesteuert, bei dem eine sendewillige Station den Medienzugriff erst nach Zuteilung eines expliziten Senderechtes beginnt. Die Zuteilung dieses Senderechtes erfordert hierbei keine zentrale Station sondern wird durch Weiterreichen der Berechtigungsmarke, des <u>"Tokens"</u>, dezentral gesteuert.

Trotz des vermeintlich komplizierten Betriebes dieses Netzes eignet es sich hervorragend für den schnellen Datenverkehr, insbesondere auch durch die verwendete Lichtwellenleitertechnik, die arm an Fehlern ist. Da bei Vollanschluß einer Station ein redundanter Ring vorhanden ist, der unabhängig vom primären Ring betrieben wird, ist die Sicherheit nochmals erhöht.

Für <u>FDDI</u> gibt es darüber hinaus eine Empfehlung, wie auch synchrone Datendienste durch Verwendung von festgelegten Zeitschlitzen in den <u>Übertragungsrahmen</u> realisiert werden können.

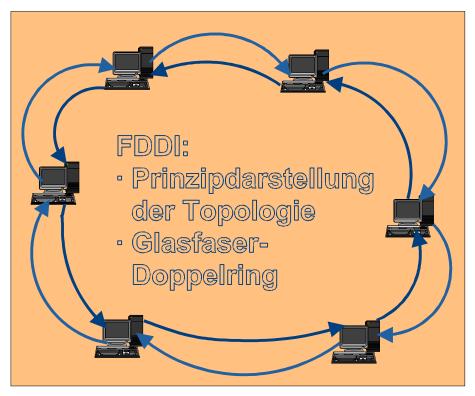


Abbildung 8: FDDI – aktive Einbindung der Stationen in eine doppelte Ringtopologie

#### 2.4 Charakteristikum: Geteiltes Medium

Hier im Forschungszentrum sind <u>Ethernet</u> und <u>FDDI</u> nebeneinander zu finden. Für die schnelle Kopplung der institutseigenen Netze auf dem sogenannten <u>Backbone</u> wird <u>FDDI</u> verwendet, der hausinterne Verkehr wird überwiegend mit <u>Ethernet</u> abgewickelt oder dort, wo bedingt durch den Einsatz einer großen Zahl schneller Workstations hohes Datenaufkommen vorherrscht, ebenfalls mit <u>FDDI</u>.

Charakteristisch für beide vorgestellten Techniken ist die Konkurrenz der sendewilligen Stationen um das knappe, geteilte Übertragungsmedium. Sie wird durch indeterministische Zuteilungsverfahren reguliert, die von den beteiligten Stationen ein faires Verhalten erfordern: ein angemessenes Warten vor einem erneuten Zugriff bei Ethernet bzw. das Freigeben des Tokens bei FDDI. Aus diesem Grunde ist es im Allgemeinen nicht möglich, eine bestimmte Bandbreite oder Antwortzeit für eine Anwendung oder eine Station zu garantieren.

Multimediale Kommunikation ist somit zwar prinzipiell über die etablierten Netzwerke betreibbar, wegen der nicht zu sichernden Dienstgüte jedoch, setzt man in kritischen Szenarien, wie sie z.B. bei der Telemedizin gegeben sind, andere Kandidaten ein, insbesondere <u>ATM</u>-basierte Netze.

## 3 Hochgeschwindigkeitsnetze auf der Basis des Asynchronen Transfer Modes (ATM)

Im Gegensatz zu den Techniken für Datennetze, die eine übliche Vorlaufzeit von 10 Jahren von der Markteinführung bis zur breiten Akzeptanz haben, finden <u>Dienste</u>, die auf dem herkömmlichen Telefonnetz basieren, rascher Verbreitung. Man denke an den Telefaxdienst und die Telefonie-Mehrwertdienste in den privaten Nebenstellenanlagen (<u>PBX</u>, <u>Private Branch Exchange</u>) wie Anrufumleitung, Rückruf bei Freiwerden einer besetzten Leitung etc.

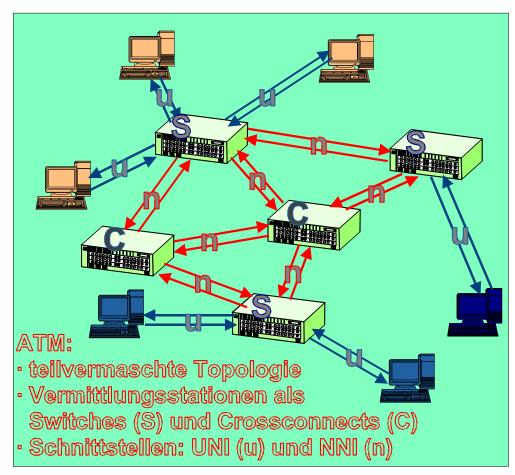


Abbildung 9: ATM — teilvermaschte Topologie mit dedizierten, aktiven Netzwerkknoten

Ein sinnvoller Ansatz für die Einführung eines neuen Netzes ist deswegen, die bisher getrennte Datentechnik mit der Sprachtechnik zu vereinen und gleichzeitig eine einheitliche Struktur von den lokalen Netzen bis zur globalen Erstreckung vorzusehen. Dieser Ansatz wird mit <u>Breitband-ISDN</u> (<u>B-ISDN</u> oder <u>IBCN</u>) verfolgt, wofür als einheitliches, anforderungsgemäß skalierbares Transportsystem der <u>Asynchrone Transfer Mode, ATM</u>, bestimmt ist.

ATM wird seit 1988 eingeführt und drängt seit etwa zwei Jahren auch merklich mit Produkten auf den Markt der lokalen High-Performance-Netzwerke.

Die Grundlage für ATM-Netze bildet eine teilvermaschte Topologie der Stationen (Abbildung 9). Dafür sind mittlerweile elektrische und optische Leitungsvarianten normiert, prädestiniert für den ATM ist jedoch Glasfaserkabel.

Bedingt durch die teilvermaschte Struktur unterscheidet man bei ATM-Netzen mehr als bei traditionellen <u>LANs</u> die Rollen der Komponenten: man siedelt die eigentlichen Stationen am Rande des Netzes in Endknoten an und bezeichnet die vermittelnden Knoten im Innern des Netzes je nach der Art ihrer Vermittlung als "<u>Switches</u>" oder "<u>Crossconnects</u>". Dementsprechend sind aus <u>Protokoll</u>sicht zwei

Schnittstellen zu unterscheiden, das <u>UNI</u>, User Network Interface, wo Stationen an <u>Switches</u> angeschlossen sind, und das *NNI*, Network Node Interface, das <u>Switches</u> und <u>Crossconnects</u> untereinander verbindet.

Der Betrieb eines ATM-Netzes entspricht von der Funktionalität her weitgehend dem Betrieb einer Telefonvermittlung: soll zwischen zwei Stationen eine Kommunikation stattfinden, wird ein Weg durch das Netz gesucht und eine Verbindung aufgebaut. Der Aufbau der Verbindung muß dabei allerdings im Gegensatz zur analogen Telefon-Ortsvermittlung³ nicht durch physikalisches Schalten von Verbindungswegen stattfinden, sondern geschieht durch Reservierung der entsprechenden Kapazitäten und Betriebsmittel zur Erzielung der gewünschten Dienstgüte in allen beteiligten Vermittlungsknoten. Man spricht deswegen auch vom Aufbau eines "virtuellen Kanals" (Virtual Circuit, VC).

Charakteristisch für den VC-Betrieb ist, daß auf einem physikalischen Übermittlungsabschnitt (Kabelverbindung zwischen zwei Knoten) eine Vielzahl von Verbindungen zeitlich ineinander verzahnt geführt werden. Dennoch liegt hier kein "geteilter" Medienzugriff vor wie bei den konventionellen Netzen, denn beim Verbindungsaufbau des VC wurde sichergestellt, daß genügend freie Kapazität auf jedem Übermittlungsabschnitt reserviert wird, um das ausgehandelte Datenaufkommen jederzeit zu befriedigen. Der einzig aus dem Reservierungsprinzip entstehende Nachteil ist, daß eine Anwendung, die beim Verbindungsaufbau Kapazitäten für eine selten erreichte maximale Bandbreite reserviert hat, im Betrieb des VCs Übertragungskapazität ungenutzt läßt. Unter den Stichworten "Policing" und "Traffic Shaping" sind jedoch auch hier Konzepte für eine ökonomischere Nutzung vorhanden.

Der heutige Stand der Normierung gestattet — wie in den Anfängen der Telefonie — die unproblematische Verwendung von "Permanent Virtual Circuits" (<u>PVC</u>), die jedoch an jedem Vermittlungsknoten von einem Netzadministrator eingetragen bzw. gelöscht werden müssen. Die "Selbstwahl", also der automatische Verbindungsaufbau durch *Zeichengabe* (<u>Signalisierung</u>), ist noch nicht vollständig normiert und in den Produkten teilweise uneinheitlich implementiert.

Trotz dieser "Anlaufschwierigkeiten" finden ATM-Netze nicht nur im lokalen Einsatz großen Anklang, insbesondere auch deshalb, weil sie Dienstqualitäten erreichen, die keine andere Technik bieten kann:

- *Geringe Rate an Übertragungsfehlern* durch überwiegende Verwendung von störsicherem Glasfasermaterial.
- Hohe Übertragungseffizienz, einerseits durch den Verzicht auf unnötige Fehlersicherungen, andererseits durch die Vereinfachung der Diensthierarchie und der Übertragungsformate. Die Transporteinheit sind sogenannte "Zellen", Datenpakete von nur 53 Byte Länge, die in einem Kopf von nur 5 Byte Länge alle für den Transport erforderlichen Informationen enthalten.
- Unkomplizierte und damit verzögerungsarme Vermittlung in den Switches und Crossconnects.
  Durch die Zellstruktur kann eine Weiterleitung an den entsprechenden Ausgang des Switches oder Crossconnects bereits nach dem Eingehen des Zellkopfes erfolgen, der alle Routeninformationen enthält. Das Zwischenspeichern von Zellen kann weitestgehend entfallen. Die typischen, blockierungsfreien Vermittlungskapazitäten heute am Markt befindlicher Switches liegen bei wenigstens 2,5 Gbit/s.
- Verbindungsorientierte Übermittlung auf virtuellen Kanälen, denen beim Verbindungsaufbau Eigenschaften bedarfsgerecht zugeordnet werden ("Verkehrsverträge").
- Reservierung von angepaßten Bandbreiten bis derzeit maximal 1,2 Gbit/s, sogenannte "Skalierbarkeit": Eine Kommunikationsanwendung erhält also genau die von ihr benötigte Bandbreite reserviert, wachsen oder schrumpfen ihre Anforderungen wird entsprechend mehr bzw. weniger Bandbreite reserviert. (Komponenten sind auf dem Markt bis zu 155 Mbit/s verbreitet und bis 622 Mbit/s inzwischen erhältlich.)

\_

Die digitalen Ortsvermittlungen und die Weitverkehrsvermittlungen bedienen sich eines sehr ähnlichen Reservierungsprinzips wie der ATM, das STM, Synchronous Transfer Mode genannt wird. Sie werden jedoch in den kommenden Jahren Zug um Zug auf den ATM umgestellt werden.

Unterstützung aller vier ITU-Dienstklassen durch fünf entsprechende Anpassungsdienste. Sie werden nach ihrer Herkunft aus der Dienst- und Protokollhierarchie des B-ISDN kurz AAL1 bis AAL5 genannt, AAL ist dabei das Akronym für "ATM Adaptation Layer". AAL1 und AAL2 sichern beispielsweise auch den in den Klassen A und B erforderlichen Dienstparameter "Isochronität", für die Klasse C und D wurde eine gemeinschaftliche AAL3/4 mit Sicherung der Übertragung und eine effizientere AAL5 entwickelt, die zugunsten eines uneingeschränkten Nutzdatenfeldes in den Zellen ganz auf zusätzliche Sicherung verzichtet. [3]

## 4 Multimediale Ereignisse im Forschungszentrum

#### 4.1 Erste Erfahrungen mit satellitenbasierter, multimedialer Telemanipulation

Im Rahmen des Herbstkongresses 1994 der Society for Minimally Invasive Therapy in Berlin konnten bereits erste Erfahrungen mit der Telemanipulation im digitalen Weitverkehr gesammelt werden: im Sinne eines <u>Teleconsultings</u> sollte aus einem Raum des Krebsforschunsgzentrums Heidelberg (DKFZ) heraus das IAI-eigene Endoskopführungssystem "<u>ROBOX</u>" (Abbildung 10) im Tagungszentrum in Berlin ferngesteuert werden. Die Verbindung wurde über zwei ständige 17 Mbit/s Kanäle auf dem Satelliten Kopernikus realisiert.

Als Bedieneingabe im DKFZ Heidelberg fand eine Workstation mit der IAI-eigenen Simulationssoftware "KISMET" Verwendung. Das Szenario in Berlin stand unter KISMET modelliert in Heidelberg als Echtzeitsimulation zur Verfügung und das Verfahren des Endoskopes wurde in der Simulation mit einer gewöhnlichen Maus gesteuert.

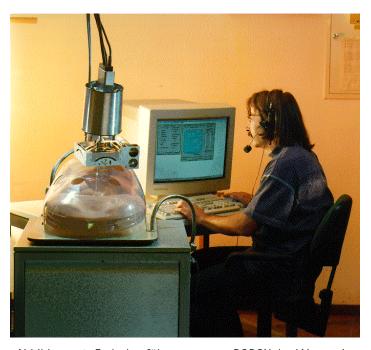




Abbildung 10: Endoskopführungssystem ROBOX des IAI montiert auf einem künstlichen Bauch, dem sog. "Pelvi-Trainer" (links) und in verschiedenen, angefahrenen Positionen (rechts)

Die für die Simulation generierten Steuersignale wurden jedoch über ein spezielles <u>Codec</u>-Paar und die Satellitenstrecke weiter nach Berlin in den tatsächlichen Endoskop-Aufbau geleitet und führten die in der Simulation sichtbaren Aktionen dort live aus.

Zur Realisierung eines sogenannten "*Telepräsenzsystemes"*, bei dem die Fernhantierung "wie direkt vor Ort" geschieht, wurde das Geschehen in Berlin über eine Videokamera aufgezeichnet und über den digitalen Rückkanal (<u>Codec</u>—Satellit—<u>Codec</u>) nach Heideberg eingespielt (Abbildung 11).

Durch dieses Szenario konnten Laufzeiteffekte einfach beobachtet werden, z. B. durch den direkten Vergleich von simulierter und rückübertragener Bewegung der ROBOX. Damit ergab sich insbesondere eine grobe Beurteilung, daß bei Übertragungsverzögerungen über einen Satelliten eine Telemanipulation nicht mehr sinnvoll durchgeführt werden kann: die gemessenen Verzögerungen zwischen 0,3 s und 1,3 s (wovon ca. 270 ms auf die Signallaufzeit zwischen erdgebundener Transmitterstation und geostationärem Satelliten entfallen) vereiteln jede sinnvolle Telemanipulation, in der auf spontane Ereignisse reagiert werden muß.

Als einzig mögliche Infrastruktur für derart zeitkritische Anwendungen, wie sie mit Telepräsenzsystemen vorliegen, muß daher ein leitungsgebundenes, terrestrisches Hochleistungs-Netzwerk mit garantierter Dienstqualität angesehen werden.

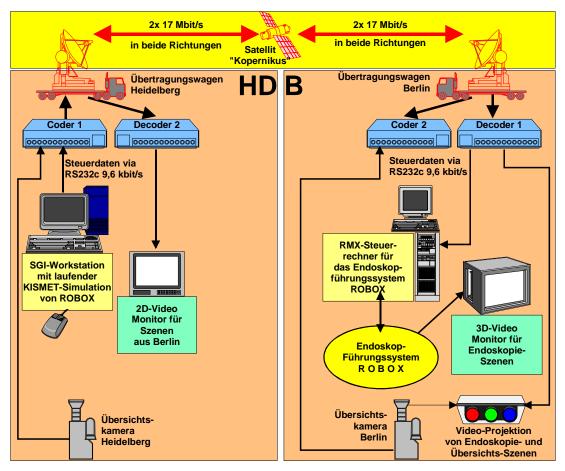


Abbildung 11: Szenario der satellitenbasierten Telemanipulation mit rein optischer Rückkopplung

#### 4.2 Einbindung des FZK in regionale und nationale Hochgeschwindigkeitsnetze

Um die erforderlichen Untersuchungen über die Anforderungen und Eigenschaften von Telepräsenzsystemen fortsetzen zu können, wurde zunächst mit dem Aufbau eines lokalen ATM-Netzes im IAI begonnen. Zur Erzielung aussagekräftiger Ergebnisse müssen jedoch Erfahrungen im Weitverkehrsbetrieb unter realen Bedingungen gesammelt werden.

In diesem Sinne und aus erhöhtem Bedarf an Übertragungsleistung vieler Institute im Zentrum heraus wurde im Laufe des Spätjahres 1995 zwischen dem Rechenzentrum der Universität Karlsruhe ("Rz") und

dem FZK auf rund 13 km Länge durch den Hardtwald ein Strang mit Monomode Lichtwellenleitern (LWL) gelegt. Diese Glasfaserverbindung, die den beiden beteiligten Einrichtungen exklusiv zur Verfügung steht — man spricht dabei von einer "Dark Fibre" —, bildet die Grundlage für außergewöhnlich kommunikationsintensive Anwendungen, wie sie nicht nur bei qualitativ hochwertigen Multimedia-Szenarien vorliegen, sondern auch für die enge Kopplung von Supercomputern für höchstkomplexe Berechnungen benötigt werden.

Doch ist diese LWL-Verbindung an die Universität nicht isoliert zu sehen. Von dort besteht einerseits über das landesweite Hochschul- und Forschungsnetz "BELWÜ" gleichfalls über schnelle LWL die Verbindung zu den Hochschulen und Fachhochschulen Baden-Württembergs, über den "*ATM-Piloten"* der Deutschen Telekom sind — zumindest auf dem Papier — weltweite High-Performance-Verbindungen realisierbar.

Zwei Ereignisse zu Beginn des Jahres, nämlich das Telekolloquium mit dem Chief Executive Officer und Chairman der Microsoft Corporation, William Gates, und die offizielle Einweihung der LWL an die Uni Karlsruhe mit gleichzeitigem Abschluß eines Kooperationsvertrages zwischen beiden Rechenzentren, *Rz* und HIK, boten Gelegenheit, die neuen Möglichkeiten zu demonstrieren.

#### 4.3 Telekolloquium mit Bill Gates

Am 9. Februar 1996 hatte Bill Gates auf eigenen Wunsch hin die Gelegenheit, seine Sicht für die Zukunft der Informationstechnologien in einem Sonderkolloquium vor Studenten der Universität Karlsruhe vorzutragen.

Da eine solche Veranstaltung bislang einmalig war, sollte möglichst vielen Interessierten die Teilnahme ermöglicht werden, möglichst unabhängig von kapazitativen Beschränkungen der Veranstaltungsorte. Großes Interesse bestand daneben nicht nur bei Mitgliedern der Karlsruher Universität, sondern auch am Hochschulrechenzentrum der TU Berlin und am FZK. Durch die Nutzung von Videokonferenztechnik auf der Basis schneller ATM-Verbindungen war es möglich, dieses Interesse zu befriedigen (Abbildung 12).

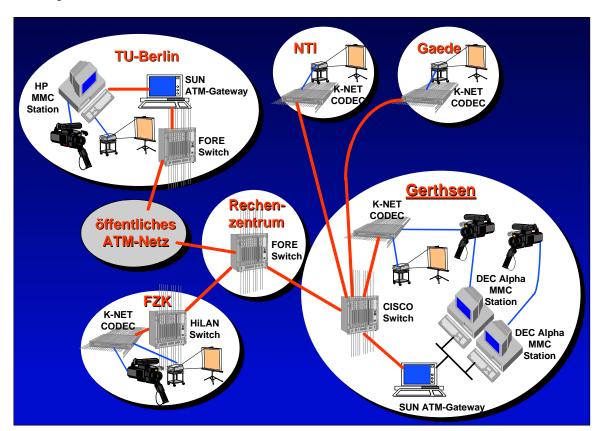


Abbildung 12: Kommunikationsarchitektur für das interaktive Telekolloquium mit Bill Gates

Als zentraler Veranstaltungsort war der Gerthsen-Hörsaal an der Uni Karlsruhe ausgewählt worden. Nebenveranstaltungsorte waren außerdem der NTI- und der Gaede-Hörsaal der Uni Karlsruhe, ein Hörsaal an der TU Berlin und die Aula des FTU im FZK.

Eine Herausforderung bestand also zunächst darin, eine Punkt-zu-Mehrpunkt-Übertragung ("Multicast") der Szene aus dem Gerthsen-Hörsaal an die anderen Schauplätze in ATM-Technik zu realisieren. Dabei genügte jedoch nicht die aus der schmalbandigen Telekonferenz bekannte Qualität, denn die Szene sollte in allen Nebenschauplätzen über eine Video-Beamer-Anlage mit mehreren Metern Diagonale projiziert werden. Die Bildqualität sollte bei einem derartigen Szenario wenigstens dem gewöhnlichen Farbfernsehen entsprechen. ATM-Kommunikation mit Multicastverbindungen ist ein nicht normiertes Feature, so daß zunächst ein geeigneter Switch gefunden werden mußte.

Eine weitere Herausforderung bestand darüber hinaus darin, daß von der TU Berlin und dem FZK her ein wirkliches Telekolloquium ermöglicht werden sollte, bei dem Zuhörer sich aktiv durch Fragen an der sich an den Vortrag anschließenden Diskussion mit Bill Gates beteiligen konnten. Zusätzlich zu der 1:4 <a href="Maudio/Video">Audio/Video</a>-Verteilung mußten also zwei vollwertige Rückkanäle realisiert werden, die über Saalregie im Gerthsen-Hörsaal auf einen dort angebrachten zweiten <a href="Video">Video</a>-Beamer mit Lautsprecheranlage eingespeist werden mußten.

Als ideale Geräte für derartige Anwendungen haben sich <u>Audio/Video-Codecs</u> einer englischen Firma erwiesen. Die "CellStack Video", kurz CSV, genannten Geräte werden seit November 1995 ausgeliefert und befinden sich noch in der Erprobungsphase; die zwei von IAI im Dezember 1995 angeschafften Exemplare konnten die Beteiligten jedoch bereits während der Inbetriebnahme überzeugen und wurden für die A/V-Verteilung an alle Standorte der Region Karlsruhe eingesetzt. Dabei gebührt sowohl der Herstellerfirma als auch dem deutschen Distributor außerordentlicher Dank für rasche und unbürokratische Unterstützung einerseits und die kostenlose Bereitstellung von vier weiteren, der insgesamt sechs eingesetzten CSV-<u>Codecs</u> andererseits.

Die CSV-<u>Codecs</u> besitzen zur Anwendungsseite hin jeweils einen Stereo-<u>Audio</u>- und <u>Composite-Video</u>-Eingang und einen Stereo-<u>Audio</u>- und <u>Composite-Video</u>-Ausgang. Hierbei kann <u>Audio</u> in CD-Qualität mit 44,1 kHz Samples oder in DAT-Qualität mit 48 kHz Samples digitalisiert werden, als Videosignal kann entweder ein PAL- oder ein NTSC-Signal verarbeitet werden [10].

Netzseitig ist in den eingesetzten Exemplaren ein ATM-Interface für 155 Mbit/s über <u>Multimodefaser</u> vorhanden, auf dem Daten mit dem <u>Dienst AAL5</u> transportiert werden. Als Anpassungsdienst wäre für die komprimierten <u>Video</u>- und <u>Audio</u>-Datenströme <u>AAL2</u> adäquat, seine Eigenschaften sind jedoch noch nicht bindend festgelegt und daher keine Implementierungen erhältlich. In der Praxis hat sich gezeigt, daß die hocheffiziente <u>AAL5</u> ebenso für die Aufbereitung aller Datenströme (auch für den möglichen, seriellen) geeignet ist, die Sicherung der <u>Isochronität</u> muß dabei jedoch durch die <u>Codec</u>-Software außerhalb der ATM-Übertragung vorgenommen werden.

Der <u>Codec</u> verarbeitet unabhängig jeweils einen eingehenden und einen ausgehenden <u>Audio</u>- und einen eingehenden und einen ausgehenden Videostrom. Zusätzlich kann noch eine bidirektionale serielle Verbindung mit bis zu 1,5 Mbit/s transparent eingerichtet werden.

Die Videodaten werden dabei für die Übermittlung mit AAL5 nach dem Motion-JPEG-Verfahren (das Standard-JPEG-Verfahren wird auf jedes einzelne Bild separat angewendet) komprimiert, die Qualität und damit der durchschnittliche Bandbreitenbedarf kann über einen Parameter der JPEG-Kompression, den sogenannten "Q-Faktor", beeinflußt werden. In der gewählten Konfiguration wurde pro A/V-Strom eine durchschnittliche Bandbreite von ca. 15 Mbit/s benötigt.

Für die Konferenzschaltung nach Berlin wurde das "Multimedia Conferencing Tool", kurz MMC, eine Mitentwicklung der Karlsruher <u>Telematik</u> über das öffentliche ATM-Netz eingesetzt.

## 4.4 Kooperation mit der Universität Karlsruhe im "Virtuellen Rechenzentrum"

Im Telekolloquium mit Bill Gates war das <u>kontinuierliche Medium</u> "<u>Video</u>" vorherrschend, der multimediale Charakter nicht sehr ausgeprägt. Als wesentliche Ergebnisse der Veranstaltung sind

dementsprechend nicht multimediale Erfahrungen anzusehen, sondern die Erkenntnisse, welche Geräte "interoperabel" sind, d. h. welche Geräte verschiedener Hersteller und unterschiedlicher Entwicklungsstufen auf den jungen Standards unter welchen Bedingungen zusammengeschaltet werden können.

Diese Ergebnisse wurden bei der offiziellen Einweihung der <u>Dark Fibre</u> ans Rechenzentrum der Uni Karlsruhe bei der Planung eines ausgeprägten und komplexen Multimediaszenarios als Grundlage verwendet [12].

Hier wurden zeitgleich sechs Anwendungen mit Höchstanforderungen über das ATM-Netz abgewickelt:

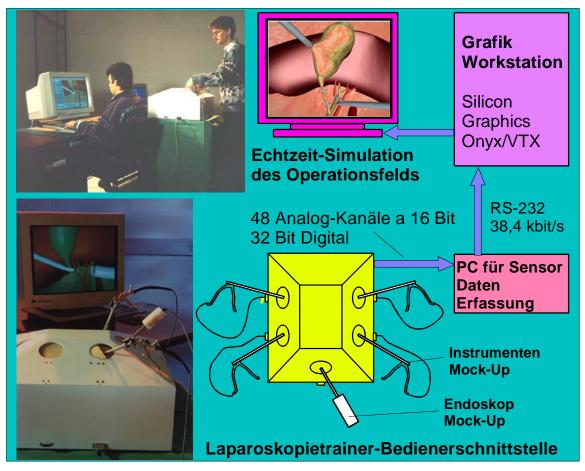


Abbildung 13: Der Laparoskopietrainer des IAI simuliert naturgetreu die Cholezystektomie, das Entfernen der Gallenblase, in Virtual Reality

- Eine konventionelle Telekonferenz in höchster Bild- und Ton-Qualität zum verteilten Abschluß des Kooperationsvertrages zwischen dem Rektor der Universität und Mitgliedern des Vorstandes des FZK; diese Telekonferenz wurde anschließend für die Moderation der Veranstaltung weitergenutzt.
- Die Demonstration eines verteilten Instituts, gezeigt am Beispiel des IMK, das zwar ein Standbein an der Universität, jedoch seine technischen und wissenschaftlichen Einrichtungen hier im Zentrum hat. In diesem Teilszenario wurden Daten aus dem neuinstallierten Niederschlagsradarsystem live an FZK und Uni diskutiert.
- Verteiltes "Video On Demand": lehrreiche Videoclips, die einerseits auf Anlagen des Rechenzentrums, andererseits am HIK in digitaler Form abrufbar sind, können bei Bedarf online vorgeführt werden.
- Die Kopplung zweier Hochleistungsrechner, der IBM SP/2 des Rechenzentrums und der Cray am HIK, zu einem "virtuellen Rechenzentrum": beide Rechner arbeiten parallel und über die schnelle Verbindung koordiniert an der Lösung hochkomplexer Aufgabenstellungen.
- Das <u>Teleconsulting</u> in der Medizin oder der Technik, das wie bei dem Szenario zwischen Heidelberg und Berlin – das Endoskopführungssystem <u>ROBOX</u> (Abbildung 10) von der Uni aus

fernsteuert und die Endoskopszenen aus dem experimentellen Operationssaal im FZK direkt in hoher Qualität am Ort der Bedienung betrachten kann. Auch hier werden wieder die Positionierungs-Sollwerte über einen ATM-Kanal an das Endoskopführungssystem geleitet, das Endoskopbild oder die Szene der Raumkamera beim Endoskop wird über ein Codecpaar zurückübermittelt.

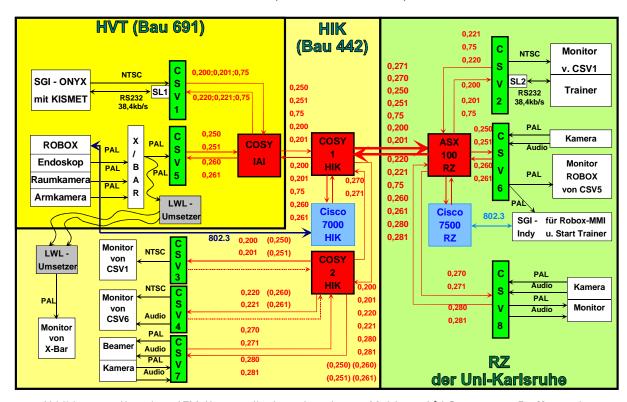


Abbildung 14: Komplexe ATM-Kommunikation mit mehreren Multicast-A/V-Strömen zur Eröffnung des "Virtuellen Rechenzentrums" zwischen Uni-Karlsruhe und FZK

Medizinisches Teletraining in einer virtuellen Realität (Abbildung 13). Über das System KISMET kann die operative Entfernung einer Gallenblase in minimal invasiver Operationstechnik simuliert werden, wobei die Berechnung der dreidimensionalen Objekte eine spezielle Hochleistungs-Grafik-Workstation benötigen. In Anlehnung an eine geplante Trainingsdienstleistung wurde am Rechenzentrum der Universität eine mechanische Eingabebox, die den natürlichen Gegebenheiten bei einem derartigen medizinischen Eingriff nachgebildet ist, aufgestellt. Die daran angebrachten Instrumente enden im Innern der Box in einer Auswerteelektronik, die für die Simulation entsprechende Eingabedaten liefert. Über die ATM-Leitung können in Echtzeit die Eingabedaten an das Simulationssystem übermittelt werden, über den Rückkanal und ein Codec-Paar wird die komplette Virtual-Reality-Szene auf einen Monitor zurückübermittelt, wie er auch bei einer tatsächlichen Operation eingesetzt würde. [9]

Die Fähigkeit der am FZK eingesetzten drei ATM-Switches zum Multicast, zur Auffächerung eines Eingangssignales auf mehrere Ausgänge, konnte in den beiden letztgenannten Demonstrationen wirkungsvoll dazu verwendet werden, die Szenen nicht nur am Ort der Eingabe zu visualisieren sondern auch in den Demonstrationsräumen am HIK (Abbildung 14). Als Audio/Video-verarbeitende ATM-Endgeräte fanden wiederum acht CSV-Codecs Verwendung. Durch ihren Einsatz in Verbindung mit dem über ATM transportierten LAN-Datenverkehr der anderen Anwendungen konnte die neueingeweihte Strecke, die momentan mit 155 Mbit/s betrieben wird, fast voll ausgelastet werden. Eine Steigerung der Kapazität auf zunächst 622 Mbit/s und später auf 2,5 Gbit/s wird angestrebt [12].

#### 5 Ausblick

Die Erfahrungen die mit ATM in den ersten praktischen Versuchen gewonnen werden konnten, berechtigen zur Aussage, daß dies die ideale Netztechnik für zukünftige Multimedia-Anwendungen ist.

Insbesondere im Hinblick auf medizinische Telepräsenzsysteme scheinen ATM-Netzwerke allein in der Lage zu sein, die erforderlichen Qualitätsparameter, garantierte Bandbreite, geringe Verzögerungen, Isochronität, zu gewährleisten. Die mit einer satellitenbasierten Telemanipulation gewonnenen Erfahrungen zeigen, daß insbesondere eine Regelung über den "man in the loop" sensibel gegenüber langen Laufzeiten ist, auch dann, wenn nur geringe oder keine Laufzeitschwankungen (Jitter) zu ersind warten sind. Nach vorläufigen Untersuchungen für die Beherrschbarkeit Telemanipulationssystemes Auslieferungszeiten von weniger als 200 ms erforderlich. Mit ATM-Netzen können diese Zeiten auch auf größeren Entfernungen bis zu wenigstens 2000 km garantiert werden [4].

Die momentan durch die junge Technik und noch nicht abgeschlossene Standardisierung gegebenen Unsicherheiten beim Betrieb von ATM-Netzen sind zweitrangig. Sie eröffnen immerhin die Möglichkeit, aktiv in die Normgebung einzugreifen. So ist es nicht verwunderlich, daß heute noch Networking und Internetworking auf der Basis von ATM-Produkten — nicht auf dem Papier — ein abenteuerliches Unternehmen ist, wofür Großforschungseinrichtungen wie das FZK prädestiniert sind.

Es erscheint wahrscheinlich, daß auf der Basis von ATM in den kommenden Jahren ein einheitliches, alle Kommunikationsdienste integrierendes Netz entstehen wird.

## 6 Abkürzungen, Akronyme, Glossar

AAL ATM Adaptation Layer. Dienst zur Anpassung der Übertragungsdaten auf den ATM.

Analogsignal Das Signal ist zeit- und wertkontinuierlich.

ARTEMIS Advanced Robot and Telemanipulator System for Minimally Invasive Surgery. Te-

lemanipulatorsystem für die Minimal Invasive Chirurgie.

Asynchronous Transfer Mode Modernes Hochgeschwindigkeits-Übermittlungsverfahren, bei dem kleine Datenpakete

(Zellen) verbindungsorientiert durch Vermittlungsstationen (Switches, Crossconnects) geleitet

werden.

ATM Asynchronous Transfer Mode

Audio Schallinformation

Backbone Leistungsfähiges Koppelnetzwerk zur Verbindung zweier lokaler Netze (im FZK fungiert z. B.

ein FDDI-Netz als Backbone zur Kopplung aller Institutsnetze).

B-ISDN Breitband ISDN, ATM-basiertes, skalierbares, dienstintegrierendes Hochleistungs-

Kommunikationsnetzwerk.

Burstiness von engl. Bursts, Ausbrüche: Maß für die Variabilität des Datenaufkommens; definiert als

Quotient aus maximaler Bitrate und mittlerer Bitrate.

CBR Constant Bitrate, konstante Bitrate

CCIR Consultative Committee on International Radio. Internationales Standardisierungsgremium

für die Audio/Video-Verarbeitung.

CCITT Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique, frühere Bezeichnung des

<u>ITU</u>

Chrominanzkanal Teilinformation des Video, die die Farbverteilung einer Farbe oder einer festgelegten

Mischung der Grundfarben wiedergibt.

Codec Coder-Decoder-Gerät: Zum Transport anstehende Signale werden durch den Coderteil für die

Übermittlung umgeformt und im empfangenden Decoder wieder zurückgewandelt.

Composite-Signal Mischsignal bei der Video-Verarbeitung: Luminanz- und Chrominanzinformation des Video

werden gemeinsam in einem Signal transportiert.

Constant Bitrate konstantes Datenaufkommen über alle zeitlichen Meßintervalle.

Crossconnect Vermittlungsknoten in ATM-Netzwerken, der im Gegensatz zum <u>Switch</u> keine Teil-

nehmeranschlüsse besitzt, sondern nur als Transitsystem dient.

CSMA/CD Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection. Medienzuteilungsvariante des

Ethernet bzw. IEEE 802.3.

Dark Fibre Lichtwellenleiter, das zur exklusiven Nutzung der Betreiber ohne Anschlußeinrichtungen der

Telekom zur Verfügung steht.

Dienst konfektioniert angebotene Funktionalität

Digitalisierung Darstellung <u>analoger</u> Information als Menge von Zahlenwerten. diskretes Medium zeitunabhängige Verarbeitung/Speicherung von Informationen

Diskretisierung

Umwandlung eines kontinuierlichen Signales in eine Menge von (diskreten) Einzelereignissen.

DQDB

Distributed Queue Dual Bus. MAN-Standard, der auf einer doppelten Bus-Topologie beruht.

dreidimensionales Video Verfahren zur Erzielung eines realistischen Tiefeneindrucks beim Betrachten eines Video. Das

High-Speed-Shutter-Verfahren ist eine Entwicklung des IAI und Patent des FZK.

Dreikomponenten-Video Qualitativ hochwertige Signalverarbeitung für Video im TV-Studio: die Videoinformation

wird auf drei separate Komponenten aufgeteilt, etwa Rot-Grün-Blau (RGB) oder "Yuv", einen <u>Luminanzkanal</u> (Helligkeitsverteilung) und zwei <u>Chrominanzkanale</u> (zwei unterschiedliche

Farbmischungen).

Echtzeitbedingungen Zwischen der Auslösung einer Aktion und ihrer Ausführung dürfen maximal 150 ms

vergehen.

Endoskop Sichtinstrument für die Medizin.

Ethernet ursprünglich firmeneigene Bezeichnung einer Technik für lokale Netze in Bus-Topologie mit

10 Mbit/s geteilter Kapazität.

FBAS Farb-Bild-Austast-Synchronsignal. Eine weit verbreitete Variante eines <u>Composite-</u>

Videosignales.

FDDI Fibre Distributed Data Interface. <u>LAN/MAN</u>-Standard auf Basis eines Glasfaser-Doppelringes. H.261 <u>ITU</u>-Standard für die Videokompression im Hinblick auf Videokonferenzen im S-<u>ISDN</u>.

IBCN Integrated Broadband Communications Network, Synonym für B-ISDN.

IEEE Institute of Electrical and Electronical Engineers, Verband der Elektroingenieure und

Elektroniker Amerikas. (Vergleichbar mit dem VDI, Verband Deutscher Ingenieure.)

Internet Weltweiter Zusammenschluß unterschiedlichster Rechner über unterschiedlichste

Kommunikationsnetze.

Irrelevanzreduktion Kompressionsprinzip, das die für den Bildeindruck entbehrlichen Details verwirft.

ISDN Integrated Services Digital Network, Dienstintegrierendes, digitales Kommunikationsnetz,

derzeit überwiegend als Telefonnetz genutzt.

ISO IS ISO International Standard: weltweit verabschiedeter Standard der ISO; im Gegensatz zum

ISO DIS - ISO Draft International Standard: internationaler Standard in der

Erprobung sphase.

ISO International Standardization Organisation. Weltweit normgebende Institution.

lsochronität Verwendung des gleichen Zeittaktes zur Verarbeitung von Information des <u>kontinuierlichen</u>

 $\underline{\text{Mediums}}$  bei zwei Kommunikationspartnern.

ITU International Telecommunication Union, Internationales Beratungs- und Standardi-

sierungsgremium für die Telekommunikation, früher CCIT.

ITU-TS Telematik-Ausschuß der ITU

Jitter Taktschwankungen bei der <u>isochronen</u> Verarbeitung von Informationen

JPEG Joint Photographic Experts Group. Ein Standard für die Kompression von Einzelbildern.

KISMET Kinematic Simulation, Monitoring and Off-Line Programming Environment for Telerobotics.

IAI-Entwicklung zur 3D-Simulation vornehmlich medizinischer Szenarien.

kontinuierliches Medium zeitabhängige Verarbeitung/Speicherung von Informationen

Kraft-Momenten-Reflexion Die am Telemanipulator im Zuge der Manipulation auftretenden Kräfte und Momenten

werden dem Bediener am Master eingeregelt, erzeugen also entsprechende Kräfte und

Momenten bei der Bedienung des Masters.

LAN Local Area Network, lokales Netz.

Luminanzkanal Teilinformation des Video, die die Helligkeitsverteilung der Szene quasi schwarzweiß

wiedergibt.

MAC Media Access Control, Steuerung des Medienzugriffs.

MAN Metropolitan Area Network, Campusnetz.

man-in-the-loop Regelungskonzept, bei dem die Rückkopplung durch Beobachtung der Stellwirkungen und

entsprechende nachregulierende Eingriffe durch den Bediener geschieht.

Man-Machine-Interface Bedienoberfläche eines technischen Systems.

Master Eingabe-/Bedieneinheit für einen Telemanipulator.

Monomode Lichtwellenleiter Glasfaserkabel, bei dem der Lichtstrahl nur auf einem Weg geführt wird.

MONSUN Manipulator Control System Utilizing Network Technology. Steuerungskonzept für

Telemanipulation über konventionelle <u>LAN</u>s.

MPEG Motion Pictures Experts Group. Ein Standard für die Kompression von Bewegtbildsequenzen.

Multimode Lichtwellenleiter Glasfaserkabel, in dessen Innerem sich der Lichtstrahl aufgrund von Brechungen aufteilt und

auf verschiedenen Wegen zum Ziel gelangt.

MUX Multiplexer: Sammelgerät das drei Eingänge auf eine Ausgangsleitung konzentriert.

NNI Network Node Interface: Festlegung für die Verbindung von Switches und Crossconnects

untereinander.

Nyquist-Theorem Für die verläßliche Abtastung eines <u>analogen Signales</u> muß der Abtasttakt wenigstens

doppelt so hoch wie die maximal auf dem <u>analogen Signal</u> vorkommende Frequenz sein.

PBX Private Branch Exchange, Private Telefon-Nebenstellenanlage.

PCM Puls Code Modulation

Protokoll Festlegung zu Form und Ablauf von Kommunikation

Puls-Code-Modulation <u>Digitalisierung</u>sverfahren für <u>analoge Signale</u>: In festem Zeitraster wird das Originalsignal

abgetastet, die gemessenen Werte (Samples) werden der Größe nach festen Intervallen

zugeordnet (quantisiert).

PVC Permanent Virtual Circuits: manuell eingerichteter VC.

Quantisierung Zuordnen eines (exakt) gemessenen Wertes zu einer (gröberen) Werteklasse.

ROBOX Endoskopführungssystem des IAI, das die Steuerung eines Endoskopes in vier Freiheitsgraden

erlaubt.

Sampling zeitlich getaktetes Messen eines analogen Signales

Schmalband-ISDN Die heute erhältliche Alternative zum analogen Telefon mit maximaler (gebündelter)

Bandbreite von 2 Mbit/s.

Signalisierung Zeichengabe
S-ISDN Schmalband-ISDN

Store and Forward Vermittlungsprinzip der verbindungslosen Kommunikation: jeder Vermittlungsknoten nimmt

alle eingehenden Nachrichten zunächst entgegen und puffert sie bis zur Weiterleitung an die

nächste Vermittlungsstelle oder den Empfänger.

SVC Switched Virtual Circuits: durch Signalisierung aufgebauter VC.

S-VHS Super-VHS. VHS mit erhöhter Qualität.

Switch Vermittlungsknoten in ATM-Netzwerken mit Teilnehmeranschlüssen.

Teleconsulting Beurteilung eines Sachverhaltes aus der Ferne via Kommunikationsnetz.

Telematik Kunde von der Datenfernverarbeitung

Teleteaching Unterrichtung aus der Ferne via Kommunikationsnetz.

Token Bus Lokales Netz mit Bus-Topologie, das das Medium mittels eines Senderechtes (<u>Token</u>) zuteilt.

Token Ring Ringförmiges Netzwerk mit Medienzuteilung über Berechtigungsmarken (<u>Tokens</u>).

Token Berechtigungsmarke für den Medienzugriff.

Token-Passing Verfahren, das die Weitergabe der Berechtigungsmarke regelt.

Trackingeinheit Videosystem, das einen Telemanipulator beim Verfahren automatisch verfolgt. Übertragungskapazität maximal erzielbare Übertragungsleistung einer Leitung bzw. Verbindung.

Übertragungsrahmen/Datenframe Übertragungseinheit für Daten. Beispiel: ATM-Zellen.

UNI User Network Interface: Festlegungen für den Teilnehmeranschluß im ATM-Netzwerk.

Universalmaster Universell für verschiedene Telemanipulatoren einsetzbare Bedieneinheit. Variable Bitrate wechselndes Datenaufkommen in den zeitlichen Meßintervallen

VBR <u>Variable Bitrate</u>, variable Bitrate
VC Virtual Circuit, Virtual Channel

verbindungslose Kommunikation Jeder Teil einer größeren Nachricht wird ohne vorhergehenden Verbindungsaufbau

abgesendet, die Route jeweils spontan für jeden Teil bestimmt.

verbindungsorientierte Kommunikation Kommunikation über dauerhafte, festgelegte Routen, die beim sog. Verbindungsaufbau

verbindlich ausgehandelt werden.

VHS Video-Home-Standard. Aufzeichnungsnorm für Video.

Video hier – aus dem Kontext ersichtlich – in zwei Bedeutungen verwendet: (a) Bildsequenzen, die

in ihrer Abfolge eine (bewegte) Szene wiedergeben, (b) Video im Sinne von (a) mit

synchronisiertem Ton.

Videoframe Übertragungseinheit für Videobilder.

Virtual Circuit Virtueller Kanal: Durchschaltung eines Kommunikationskanales auf der Basis von reservierten

Kapazitäten.

WAN Wide Area Network, Weitverkehrsnetz.

Whiteboard-Technik Im Rahmen einer Videokonferenz wird eine virtuelle Wandtafel (Whiteboard) allen Konferenzteilnehmern zur Verfügung gestellt, auf der sie für alle sichtbar Anmerkungen

tippen oder Skizzen zeichnen können.

Zeichengabe Metakommunikation zum Aufbau einer Verbindung (etwa beim Telefon: Wählen, Klingeln).

Zweikomponenten-Video Qualitativ anspruchsvolle Signalverarbeitung für Video im semiprofessionellen Bereich: die

Videoinformation wird auf einen <u>Luminanzkanal</u> und einen <u>Chrominanzkanal</u> aufgeteilt;

bekannter Vertreter: **S-VHS**.

#### 7 Literatur

[1] Ralf Steinmetz: Multimedia-Technologie. Einführung und Grundlagen. Springer, Berlin, 1993.

- [2] Elmar Holler, Torsten Neck: An ATM-Based Local Communication System for Telesurgery. In: Interactive Technology and the New Paradigm for Healthcare. IOS Press, Washington, DC, 1995.
- [3] Torsten Neck: Untersuchung der Leistungscharakteristika ATM-basierter Inhouse-Netzwerkinstallationen hinsichtlich ihrer Einsatzmöglichkeiten für Telepräsenzsysteme. Universität Karlsruhe und Forschungszentrum Karlsruhe, 1995.
- [4] Iris Stolte: Durch Bildkomprimierungstechniken im ATM-Netzwerk induzierte Übertragungsverzögerungen und die Einsatzmöglichkeit dieser Techniken in Telepräsenzsysteme für die minimal invasive Chirurgie. Universität Hildesheim und Forschungszentrum Karlsruhe, 1996.
- [5] H. O. Schurr, H. Breitwieser, A. Melzer, W. Kunert, M. Schmitt, U.Voges: Experimental Telemani-pulation in Endoscopic Surgery. In: Surgical Laparoscopy and Endoscopy, USA, 1995.
- [6] Markus Dickerhof: ARTEMIS Advanced Robot Telemanipulator System in Minimally Invasive Surgery. Vortrag, Medicine Meets Virtual Reality, San Diego, 1996.
- [7] Elmar Holler: Operationssysteme für die minimal invasive Chirurgie. PMT-Statusbericht, FZK, November 1995.
- [8] E. Holler, M. Englert, B. Neisius, R. Trapp: Telepräsenzsysteme für die minimal invasive Chirurgie. In: Kl Künstliche Intelligenz, 1994 (3), S. 33–41.
- [9] Ch. Kuhn, U. Kühnapfel, H.-G. Krumm, B. Neisius: The Karlsruhe Endoscopic Surgery Trainer. Vortrag, Workshop New Technologies in Surgery, Hamburg, 1996.
- [10] Michael Auld, Nigel Squibb: Configuration Instructions, Technical Specifications and Experiences with the CSV-Codecs. Persönliche Mitteilungen, 1996.
- [11] Luis Miguel Muro Ruiz: Messprotokolle zum Übertragungsdelay des CSV-Codecs. Persönliche Aufzeichnungen, 1996.
- [11a] Luis Miguel Muro Ruiz: Estudio de la Influencia del Retraso de la Información Multimedia en un Sistema de Telepresencia. Proyecto Fin de Carrera, Forschungszentrum Karlsruhe und Universita de Barcelona, 1996.
- [11b] Luis Miguel Muro Ruiz: Study of the Influence of Frame Delay on the Usability of a Telemanipulation System. Forschungszentrum Karlsruhe, 1996.
- [12] Gerhard Schneider, Adolf Schreiner, RZ Uni-KA: Persönliche Mitteilungen, 1996.