

**Michael Hahn**

# Übertragung von multimedialen Prozessdaten über das Internet

**Diplomarbeit**

## **Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:**

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek: Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de/> abrufbar.

Dieses Werk sowie alle darin enthaltenen einzelnen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsschutz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlanges. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen, Auswertungen durch Datenbanken und für die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronische Systeme. Alle Rechte, auch die des auszugsweisen Nachdrucks, der fotomechanischen Wiedergabe (einschließlich Mikrokopie) sowie der Auswertung durch Datenbanken oder ähnliche Einrichtungen, vorbehalten.

Copyright © 2000 Diplomica Verlag GmbH  
ISBN: 9783832429386

**Michael Hahn**

# **Übertragung von multimedialen Prozessdaten über das Internet**



---

Michael Hahn

# Übertragung von multimedialen Prozessdaten über das Internet

Diplomarbeit  
an der Technische Universität Dresden  
Fachbereich Informatik  
August 2000 Abgabe



**Diplomarbeiten Agentur**  
Dipl. Kfm. Dipl. Hdl. Björn Bedey  
Dipl. Wi.-Ing. Martin Haschke  
und Guido Meyer GbR

Hermannstal 119 k  
22119 Hamburg  
agentur@diplom.de  
www.diplom.de

ID 2938

Hahn, Michael: Übertragung von multimedialen Prozessdaten über das Internet / Michael Hahn  
- Hamburg: Diplomarbeiten Agentur, 2000  
Zugl.: Dresden, Technische Universität, Diplom, 2000

---

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Die Informationen in diesem Werk wurden mit Sorgfalt erarbeitet. Dennoch können Fehler nicht vollständig ausgeschlossen werden, und die Diplomarbeiten Agentur, die Autoren oder Übersetzer übernehmen keine juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für evtl. verbliebene fehlerhafte Angaben und deren Folgen.

Dipl. Kfm. Dipl. Hdl. Björn Bedey, Dipl. Wi.-Ing. Martin Haschke & Guido Meyer GbR  
Diplomarbeiten Agentur, <http://www.diplom.de>, Hamburg 2000  
Printed in Germany



**Diplomarbeiten Agentur**

## **Wissensquellen gewinnbringend nutzen**

**Qualität, Praxisrelevanz und Aktualität** zeichnen unsere Studien aus. Wir bieten Ihnen im Auftrag unserer Autorinnen und Autoren Wirtschaftsstudien und wissenschaftliche Abschlussarbeiten – Dissertationen, Diplomarbeiten, Magisterarbeiten, Staatsexamensarbeiten und Studienarbeiten zum Kauf. Sie wurden an deutschen Universitäten, Fachhochschulen, Akademien oder vergleichbaren Institutionen der Europäischen Union geschrieben. Der Notendurchschnitt liegt bei 1,5.

**Wettbewerbsvorteile verschaffen** – Vergleichen Sie den Preis unserer Studien mit den Honoraren externer Berater. Um dieses Wissen selbst zusammenzutragen, müssten Sie viel Zeit und Geld aufbringen.

**<http://www.diplom.de>** bietet Ihnen unser vollständiges Lieferprogramm mit mehreren tausend Studien im Internet. Neben dem Online-Katalog und der Online-Suchmaschine für Ihre Recherche steht Ihnen auch eine Online-Bestellfunktion zur Verfügung. Inhaltliche Zusammenfassungen und Inhaltsverzeichnisse zu jeder Studie sind im Internet einsehbar.

**Individueller Service** – Gerne senden wir Ihnen auch unseren Papierkatalog zu. Bitte fordern Sie Ihr individuelles Exemplar bei uns an. Für Fragen, Anregungen und individuelle Anfragen stehen wir Ihnen gerne zur Verfügung. Wir freuen uns auf eine gute Zusammenarbeit

### **Ihr Team der *Diplomarbeiten Agentur***

Dipl. Kfm. Dipl. Hdl. Björn Bedey —  
Dipl. Wi.-Ing. Martin Haschke —  
und Guido Meyer GbR —

Hermannstal 119 k —  
22119 Hamburg —

Fon: 040 / 655 99 20 —  
Fax: 040 / 655 99 222 —

agentur@diplom.de —  
[www.diplom.de](http://www.diplom.de) —

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Motivation und Zielsetzung</b>	<b>9</b>
<b>2. Zur Übertragung multimedialer Daten geeignete Internet-Technologien</b>	<b>11</b>
2.1. Grundlagen des Internets . . . . .	11
2.1.1. ISO/OSI-Schichtenmodell . . . . .	12
2.1.2. Struktur des Internets . . . . .	14
2.1.3. Kommunikation im Internet . . . . .	18
2.1.4. Adressierung im Internet . . . . .	20
2.2. Multicast im Internet . . . . .	22
2.2.1. Verwaltung von Multicast-Gruppen . . . . .	23
2.2.2. Algorithmen zum Routing von Multicast-Datagrammen . . . . .	24
2.2.3. Der Multicast-Backbone Mbone . . . . .	29
2.3. Zur Echtzeitkommunikation über Rechnernetze geeignete Protokolle . . . . .	32
2.3.1. Anforderungen an ein multimediales Echtzeitkommunikationssystem . . . . .	32
2.3.2. Möglichkeiten zur Ressourcenreservierung . . . . .	33
2.3.3. Multimediale Kommunikation unterstützende Transportprotokolle . . . . .	38
2.3.4. Fazit . . . . .	41
2.4. Datenkomprimierung für multimediale Anwendungen . . . . .	42
2.4.1. Standards für Audio-Übertragungen . . . . .	44
2.4.2. Standards für Video-Übertragungen . . . . .	46



<b>3. Anforderungen an Mehrpunktkommunikation aus Nutzersicht</b>	<b>49</b>
3.1. Anwendungsbeispiele aus Industrie, Lehre und Forschung . . . . .	49
3.2. Nutzeranforderungen an multimedialen Prozessdatenverkehr . . . . .	53
3.3. Notwendige technische Voraussetzungen . . . . .	56
3.4. Mögliche Einsatzszenarien . . . . .	61
3.5. Fazit . . . . .	67
<b>4. Marktanalyse zur Mehrpunktkommunikation</b>	<b>68</b>
4.1. Multimediale Übertragungssysteme . . . . .	69
4.1.1. Konferenzsysteme . . . . .	69
4.1.2. Client-Server Anwendungen . . . . .	76
4.2. Zur Datenübertragung nutzbare Programmierschnittstellen . . . . .	84
4.2.1. RealSystem G2 API . . . . .	84
4.2.2. Windows Media API . . . . .	86
4.2.3. QuickTime API . . . . .	87
4.2.4. Java Media Framework API . . . . .	89
4.3. Möglichkeiten zum Fernbeobachten/-steuern von Leitsystemen . . . . .	90
4.3.1. WinCC/Web Navigator der Fa. Siemens AG . . . . .	91
4.3.2. Embedded Server und WebClient der Fa. Schneider Electric SA . . . . .	93
<b>5. Entwicklungstrends von weiteren zur Übertragung multimedialer Daten wichtigen Technologien</b>	<b>95</b>
5.1. IPv6 - Das zukünftige Netzprotokoll . . . . .	95
5.1.1. Aufbau des Basis-Headers . . . . .	96
5.1.2. Adressierung . . . . .	98
5.1.3. Sicherheit . . . . .	99
5.1.4. Mobiler Einsatz . . . . .	100

5.1.5.	Zusammenfassung der für den multimediale Datentransport wichtigen Eigenschaften . . . . .	101
5.2.	Zukunftsweisende Technologien zur Bandbreitenerweiterung von Internetzugen . . . . .	102
5.2.1.	xDSL . . . . .	102
5.2.2.	TV-Kabel . . . . .	103
5.2.3.	Funk . . . . .	104
5.2.4.	Stromkabel . . . . .	105
5.2.5.	Satellit . . . . .	105
5.2.6.	Zusammenfassung . . . . .	106
<b>6.</b>	<b>Entwurf einer Referenzapplikation für das Intranet des IfA</b>	<b>107</b>
6.1.	Anforderungen an die Funktionalität der Anwendung . . . . .	107
6.2.	Eingesetzte Programmiertechnologien . . . . .	109
6.2.1.	Servlets und Java Server Pages . . . . .	109
6.2.2.	Remote Method Invocation - RMI . . . . .	111
6.2.3.	Java Native Interface - JNI . . . . .	112
6.2.4.	Hardware-Zugriff unter WindowsNT . . . . .	112
6.3.	Struktur der Anwendung . . . . .	113
6.3.1.	Das Model-View-Controller Konzept . . . . .	113
6.3.2.	Objektübersicht der Referenzapplikation . . . . .	115
6.4.	Bewertung der Anwendung . . . . .	118
<b>7.</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>121</b>
<b>A.</b>	<b>Eigenschaften der in der Referenzapplikation implementierten Klassen</b>	<b>122</b>
A.1.	JAVA - Klassen . . . . .	122
A.2.	C++ - Klassen . . . . .	129

<b>B. Hinweise zur Benutzung der Referenzapplikation</b>	<b>131</b>
B.1. Installation der Anwendung . . . . .	131
B.1.1. Java Development Kit - JDK . . . . .	132
B.1.2. Apache Webserver . . . . .	132
B.1.3. Jakarta-Tomcat . . . . .	133
B.1.4. Referenzapplikation . . . . .	134
B.2. Einsatz der Anwendung . . . . .	135
B.2.1. Konfiguration des Servers . . . . .	136
B.2.2. Auswahl des zu empfangenden Datenstromes . . . . .	137
<b>C. Ergebnisse der Leistungsbewertung der Referenzapplikation</b>	<b>139</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>140</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>142</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>144</b>

# 1. Motivation und Zielsetzung

Die immer größer werdende Bedeutung des Internets weckt auch im Bereich der Automatisierungstechnik einen stetig wachsenden Bedarf an neuen Kommunikationsmöglichkeiten. Oft reicht die „klassische“ Informationsübertragung von Mess-, Stell- oder Alarmsignalen nicht mehr aus, um einen komplexen Prozess übersichtlich zu visualisieren. Vielmehr wäre es wünschenswert dem Operator in Ergänzung zu den genannten Informationen der Anlage eine Schnittstelle zur direkten Beobachtung des Prozesses in Bild und Ton zur Verfügung zu stellen.

Diese zusätzlichen Informationskanäle sollten sich nahtlos oder zumindest ohne große Schwierigkeiten in bestehende auch heterogene Systeme integrieren lassen. Damit andere Dienste nicht behindert werden und möglicherweise ihre Aufgabe nicht mehr erfüllen können, darf die Belastung des bestehenden Systems nicht überproportional anwachsen. Weiterhin hängt die Umsetzung solcher multimedialer Informationskanäle zwischen einem zu beobachtenden Objekt und dem beobachtenden System entscheidend von der Struktur und im Speziellen von der Bandbreite des verbindenden Netzwerkes ab.

Die fortschreitende Entwicklung neuer Internet-Technologien ermöglicht es immer besser die oben genannten Bedingungen einer multimedialen Prozessdatenübertragung über das Internet in einem verteilten System umzusetzen. Die durchgängige Anwendung von plattformunabhängigen Programmier-Techniken wie JAVA und HTML erleichtert die Portierbarkeit einer Applikation bzw. ihren Einsatz in heterogenen Umgebungen erheblich. Zusätzlich begrenzt starke Komprimierung die zu übertragenden Datenpakete und damit die Belastung aller beteiligten Systeme. Das Bandbreitenproblem wird durch neue Routingmechanismen, wie z.B. IP-Multicasting, zumindest abgeschwächt. Außerdem ermöglicht der Einsatz von Echtzeitprotokollen die für eine ungestörte Übertragung von Bild und Ton unerlässliche Kontinuität des Datenstromes. Den breiten Einsatz von multimedialen Technologien im Internet unterstützt die schnell wachsende Verfügbarkeit von breitbandigen Netzzugängen.

Im ersten Teil der Arbeit werden zur Aufgabenstellung relevante Technologien näher betrachtet. Im Detail sind dies einerseits wichtige Übertragungsprotokolle und andererseits für die

Komprimierung multimedialer Daten geeignete Standards. Das darauffolgende Kapitel stellt die Anforderungen an Mehrpunktkommunikationssysteme aus dem Blickwinkel verschiedener Nutzergruppen dar. Darauf aufbauend folgt im Weiteren eine Zusammenfassung der zur Zeit am Markt erhältlichen relevanten Produkte. Bei der Auswahl solcher Anwendungen ist besonderes Augenmerk auf die Kostengünstigkeit, die Portierbarkeit und die Integrierbarkeit zu legen. Das folgende Kapitel geht dann einen Schritt weiter und befasst sich mit den Entwicklungstrends auf dem Gebiet der multimedialen Datenübertragung. Nachdem diese Arbeit in den ersten Kapiteln die zugrunde liegenden Technologien und einige mögliche Einsatzszenarien der Übertragung multimedialer Datenströme vorgestellt hat, befasst sich der letzte Abschnitt der Arbeit mit einem praktischen Beispiel der beschriebenen Techniken. Im Detail handelt es sich um eine Referenzapplikation auf der Basis einer „One-to-Many“ Struktur zur Beobachtung eines Prozesses durch mehrere Benutzer. Dabei wird besonderen Wert auf die plattformunabhängige Implementierung und die Integration in bestehende Systeme gelegt.

## 2. Zur Übertragung multimedialer Daten geeignete Internet-Technologien

Dieses Kapitel gibt eine Einführung in die in dieser Arbeit zu behandelnden Internet-Technologien. Dabei werden ausgehend von einem allgemeinen Modell eines Netzwerkes wichtige Technologien, welche für das genauere Verständnis der bei Übertragungen multimedialer Daten auftretenden Probleme notwendig sind, erläutert.

### 2.1. Grundlagen des Internets

Die eingesetzte Hardware sowie die Adressierung einzelner Netzwerktypen sind im allgemeinen inkompatibel zueinander. Um trotzdem Informationen austauschen zu können, ist ein verbindender Universaldienst notwendig. Zur Realisierung eines solchen Universaldienstes wurde das Internetworking-Konzept([26],[44]) entwickelt. Es umfasst Hardware- sowie Softwarekomponenten. Der Zusammenschluss physischer Netzwerke erfordert den Einsatz zusätzlicher Hardware(siehe Seite 16), wobei der Universaldienst mit Hilfe von Software auf den beteiligten Systemen bereitgestellt wird. Dieser auf diese Weise entstandene Netzwerkverbund entspricht einem Internet. Der umgangssprachlich als „das Inernet“ bezeichnete Netzwerkverbund ist somit nur eine Variante eines auf dem Internetworking-Konzept beruhenden Internets. Aufgrund der weltweiten Ausdehnung und der damit einhergehenden Bedeutung dieses speziellen Internets wird im weiteren Verlauf der Arbeit ausschließlich auf diesen Zusammenschluss von Millionen von Geräten eingegangen. Solche Geräte können neben Computern auch andere Netzwerk-fähige Hardwarekomponenten sein. Der Einfachheit halber wird in dieser Arbeit in diesem Zusammenhang jedoch meist von Computern oder Rechnern gesprochen.

Dieser Abschnitt zu den Grundlagen des Internets geht im Detail auf dessen Struktur, die angewandten Kommunikationsformen und die Adressierung der einzelnen miteinander verbundenen Rechner ein.

### 2.1.1. ISO/OSI-Schichtenmodell

Das Open Systems Interconnect (OSI) - Model wurde 1970 von der International Standards Organization (ISO) zum Standard erhoben. Dieses Model beschreibt den Aufbau eines Netzwerkes zur Kommunikation zwischen Computern in sieben sogenannten Schichten (Layern). Diese Struktur beginnt auf der tiefsten Ebene (Bitübertragung) mit der Definition der physischen Verbindung und endet am oberen Rand (Anwendung) mit der Beschreibung der Kommunikation der auf den angeschlossenen Rechnern laufenden Anwendungen. Tabelle 2.1 zeigt die Relationen der einzelnen Schichten zueinander.

Die oberen drei Schichten des Modelles bilden das Anwendungssystem und werden deshalb in diesem mit den Grundlagen des Internets befassten Abschnitt nicht weiter betrachtet. Die unterste Layer (Bitübertragung) beschreibt die mechanischen und elektrischen Schnittstellen des Netzwerkes und wird in Abschnitt 2.1.2 kurz angesprochen. Die nächst höhere Schicht 2 stellt sicher, dass die zu sendenden Bits erfolgreich übertragen werden. Deshalb wird sie Sicherungsschicht oder auch Data Link Layer bezeichnet.

So bleiben noch zwei zu betrachtende Schichten übrig. Zum einen ist dies Layer 3 - die Vermittlungsschicht (Network Layer) und zum anderen Layer 4 - die Transportschicht (Transmission Layer). Erstere koordiniert unabhängig von den unteren beiden Schichten und damit unabhängig vom eigentlichen Übertragungsmedium den eigentlichen Datentransfer im Netzwerk. Die Transportschicht übernimmt in der Gesamtstruktur des OSI-Modelles die Zusammenarbeit der oberen drei Schichten, welche auch als Anwendungssystem bezeichnet werden können, mit den unteren drei Schichten, dem Transportsystem. Auf diese Art und Weise können verschiedene Anwendungen gleichzeitig unabhängig von einander auf ein zugrunde liegendes Transportsystem zurückgreifen.

Schicht/Layer	Bezeichnung	Label
7	Anwendung	Application
6	Darstellung	Presentation
5	Kommunikation	Session
4	Transport	Transmission
3	Vermittlung	Network
2	Sicherung	Data Link
1	Bitübertragung	Physical

Tabelle 2.1.: ISO/OSI-Schichtenmodell

In der folgenden Zusammenstellung (mit kleinen Änderungen aus [29] übernommen) sind die zur Kommunikation zweier Computersysteme notwendigen Teilaufgaben den einzelnen Schichten des OSI-Modelles zugeordnet. Somit ist sichergestellt, dass die auf einer Schicht aufgesetzten Protokolle bzw. Applikationen unabhängig von den verwendeten Technologien der anderen Ebenen des Modelles arbeiten können.

- Schicht 7: Anwendung (Application)
  - Dienste (z.B.: Email)
  - Software-Schnittstellen: API(Application Program Interface)
- Schicht 6: Darstellung (Presentation)
  - Aufbereitung der Daten
  - Umformung der Daten
- Schicht 5: Kommunikation (Session)
  - Datenflusssteuerung
  - Zwischenspeicherung von Daten
- Schicht 4: Transport (Transport)
  - Weiterleitung der Daten zum Endteilnehmer unabhängig vom Medium
- Schicht 3: Vermittlung (Network)
  - Verbindungsauf- und abbau
  - Direktadressierung durch Router möglich
- Schicht 2: Sicherung (Data Link)
  - Synchronization
  - Fehlererkennung und -korrektur
  - Zugriffsverfahren
- Schicht 1: Bitübertragung (Physical)
  - Physikalische Schnittstellen
  - Übertragungsverfahren



– Übertragungsmedien

Auf die reibungslose Übertragung multimedialer Daten haben vor allem die Vermittlungsschicht und die Transportschicht besonderen Einfluss. Abschnitt 2.3 dieser Arbeit befaßt sich daher näher mit verschiedenen auf diese beiden Schichten aufgesetzten Protokollen.

### **2.1.2. Struktur des Internets**

Dieser Abschnitt erläutert im ersten Teil den Aufbau und damit die Ausdehnung Internets. Im folgenden wird kurz auf verschiedene Netzwerktechnologien der unteren Ebenen (Bitübertragung, Sicherung) des in Abschnitt 2.1.1 eins geführten ISO/OSI-Schichtenmodelles eingegangen. Zum Schluss folgen dann Hinweise auf Koppelemente, welche die einzelne physischen Teilnetze des Internet miteinander verbinden.

#### **Netzausdehnung**

Genau betrachtet ist das Internet kein in sich geschlossenes Netzwerk einer bestimmten Anzahl miteinander verbundener Computer sondern ein offener und somit jederzeit dynamisch erweiterbarer Zusammenschluss kleinerer Netzwerke. Die kleinen Teilnetze werden aufgrund ihrer beschränkten Ausdehnung als lokale Netze bezeichnet. Daraus wurde die allgemein übliche Abkürzung LAN für Local Area Network aus dem anglo-amerikanischen Sprachgebrauch abgeleitet. Die Netztopologie solcher kleinerer Netzwerke ist nicht beschränkt. Es kommt eine der üblichen Strukturen, wie Stern, Baum, Bus, Ring oder beliebig vermaschtes Netz zur Anwendung, was aber auch den einfachsten Fall eines einzelnen Rechners beinhaltet.

Um über die lokalen Netzgrenzen hinaus effizient kommunizieren zu können, sind die Teilnetze an ein Weitverkehrsnetz (WAN - Wide Area Network) angebunden (siehe Abschnitt 2.1). Diese Anbindung erfolgt entweder permanent über eine Standleitung oder unter Nutzung einer nach Bedarf aufzubauenden Wahlleitung (siehe hierzu auch Abschnitt 5.2). Die auf diesen Leitungen benötigte Bandbreite hängt allein von dem Kommunikationsbedarf des angebundenen LAN's mit dem Rest des Internet ab. Im Gegensatz dazu muss das Weitverkehrsnetz befähigt sein den Datenverkehr zwischen einer großen Anzahl von lokalen Netzen zu bewältigen. Deshalb sind dessen Verbindungen besonders breitbandig ausgelegt und werden daher auch als Backbone (Rückgrat) des Internets bezeichnet.

#### **Netzwerktechnologie**

Bis heute werden in den zwei Teilbereichen des Internets, dem LAN und dem WAN, unterschiedliche Netzwerktechnologien angewendet. Im lokalen Netz etablierte sich das Ethernet

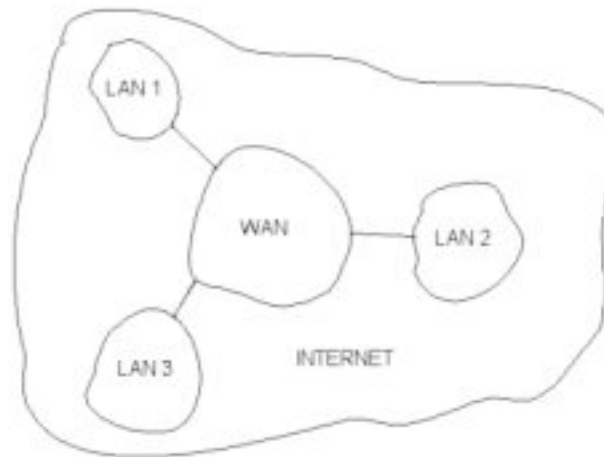


Bild 2.1.: Abstrahierte Struktur des Internets

als Quasi-Standard. Im Weitverkehrsnetz hat sich in den letzten Jahren zunehmend ATM (Asynchronous Transfer Mode gegenüber FDDI (Fiber Distributed Data Interphase) durchgesetzt. Tabelle 2.2 vergleicht die drei genannten Technologien bezüglich ihrer wichtigsten Merkmale. Vor allen Dingen die sehr weit ausbaufähigen Übertragungskapazitäten von ATM-Netzwerken priorisiert diese Technologie für die nahe Zukunft. Das im Internet zur Verfügung gestellte Dokument „ATM Internetworking“ [3] erläutert dieses Datenübertragungsverfahren im Detail.

	Ethernet	FDDI	ATM
Datenorganisation	Rahmen(frame) 60-1514 byte	Rahmen(frame) <4500 byte	Zelle(cell) 53 byte
Netztopologie	Stern/Baum/Bus/ vermaschtes Netz	Ring	Stern
Bandbreite	10/100/1000 MBit/s	100 MBit/s	25/155/622/ 2000 ... MBit/s
Einordnung in OSI-Modell	Schicht 1+2	Schicht 1+2	Schicht 1-3
Standards/RFCs	IEEE 802.3	(ASC)X3T9.5/ISO 9314	RFC1483

Tabelle 2.2.: Vergleich derzeit aktueller Netzwerktechnologien