

# Untersuchung der Zellverzögerungsschwankungen in einem ATM-Zugangsnetz

Joachim Charzinski  
Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung  
Universität Stuttgart  
D-70174 Stuttgart  
e-mail: charzinski@ind.uni-stuttgart.d400.de

**Kurzfassung** Im Rahmen des Projekts BAF – Broadband Access Facilities (RACE 2024) wird ein passives optisches Zugangsnetz mit Baumtopologie für das zukünftige Breitband-ISDN- (B-ISDN-) Netz entwickelt. Der vorliegende Beitrag stellt nach einer Einführung in das verwendete Medienzugriffsprotokoll Ergebnisse der Simulationen von Einpunkt- und Zweipunkt-Zellverzögerungsschwankungen für verschiedene Verkehrsszenarien vor.

**Schlüsselwörter:** ATM, B-ISDN, Access Networks, PON, CDV, MAC, Simulation

## 1 Einführung

Das von der EG-Kommission im Rahmen des RACE-Programms geförderte Projekt R2024 "BAF – Broadband Access Facilities" soll einen Zugang zu Breitbandnetzen für private Teilnehmer und kleine Firmen bereitstellen, für die sich das Verlegen eines B-ISDN-Direktanschlusses an eine Vermittlungsstelle nicht lohnt. Es wird davon ausgegangen, daß für das entsprechende Zugangsnetz, über das sich die Teilnehmer den Anschluß an die Vermittlungsstelle teilen, ein passives optisches Verteilnetz in Baumtopologie, wie es ohnehin zur Verteilung von Fernsehprogrammen verwendet werden wird, auf einer weiteren Wellenlänge mitbenutzt werden kann. Solche Netze enthalten nur Glasfasern und passive Splitter/Kombinierer zum Verteilen beziehungsweise Zusammenführen der Signale, was besonders für die Wartung des Netzes von Vorteil ist.

Im Breitband-Zugangsnetz wird der Internverkehr zwischen den einzelnen Teilnehmern am Zugangsnetz gegenüber dem Verkehr der einzelnen Teilnehmer vom und zum Breitbandnetz vernachlässigbar sein, so daß für die Vermittlung des Internverkehrs keine besonderen Vorkehrungen getroffen werden: er wird mit dem restlichen Verkehr über die nächste Vermittlungsstelle gelenkt.

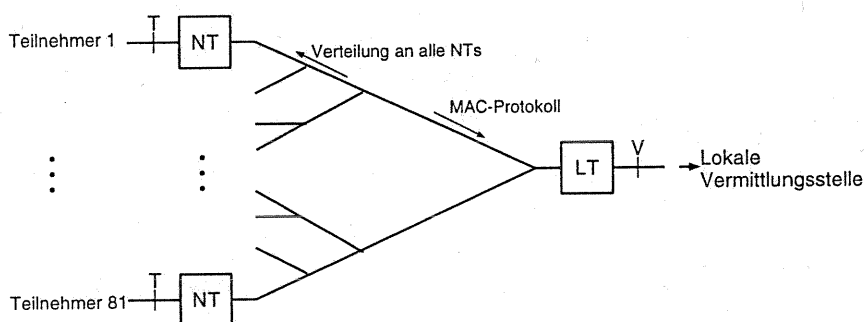


Abbildung 1: Das Zugangsnetz zwischen Teilnehmer und öffentlichem Netz

Das Zugangsnetz soll zwischen dem Netzabschluß T-Schnittstelle (*Network Termination, NT*) und dem Leitungsabschluß V-Schnittstelle (*Line Termination, LT*) als VP-Konzentrador arbeiten (siehe Abb. 1, so daß es keine Signalisierinstanz benötigt und alleine auf den Informationen über virtuelle Pfade (VPs) aufbaut, ohne virtuelle Kanäle (VCs) direkt behandeln zu müssen. Je nach Teilnehmer-Verkehrscharakteristik und dadurch erzielbarem Bündelungsgewinn wird von einem Ausbau des Zugangsnetzes mit bis zu 81 T-Schnittstellen ausgegangen. Der größte Abstand einer NT von der LT wird zu 10km angenommen, was einer einfachen Signallaufzeit von  $50\mu\text{s}$  entspricht. Die Übertragungskapazität auf der physikalischen

Schicht ist 622Mbit/s in beiden Richtungen.

## 2 Beschreibung des Medienzugriffsprotokolls

Ein Medienzugriffs- (MAC-) Protokoll muß verwendet werden, um Kollisionen der Zellen auf dem Weg von der NT zur LT zu verhindern. Besondere Aufmerksamkeit muß in einem diensteintegrierenden Netz auch dem Ziel gewidmet werden, allen Teilnehmern die beim Verbindungsaufbau zugesicherten Netzeigenschaften (Zellverzögerung, Zellverzögerungsschwankung, maximale Bitrate) zu garantieren. Außerdem sollte das Medienzugriffsprotokoll die Zellströme von Verbindungen, die die beim Verbindungsaufbau vereinbarten Parameter einhalten, so wenig wie möglich beeinflussen, so daß nachfolgende Netz-Parameterkontrolleinheiten (NPC) im öffentlichen Netz keine Zellen verwerfen.

Aufgrund der Topologie des Netzes bietet es sich an, ein zentrales Zugriffssteuerungsverfahren einzusetzen. Das in BAF entwickelte Medienzugriffsprotokoll basiert auf Meldungen der NTs an die LT zur Mitteilung von Zellankünften (*Request*) und Meldungen von der LT an die jeweils ausgewählte NT zur Information über die Sendeberechtigung (*Permit*). Diese Meldungen werden zusätzlich zum Overhead der physikalischen Schicht vor jeder Zelle übertragen. Die physikalische Schicht muß dadurch für jede ATM-Zelle insgesamt 56 Bytes übertragen. Ein Zell-Permit adressiert jeweils genau eine NT und berechtigt diese zum Übertragen einer ATM-Zelle und ihrer aktuellen Warteschlangenlänge zur LT. Außer den Zell-Permits gibt es Permits für *Request Blocks*, die mehreren NTs erlauben, innerhalb einer Zelldauer nacheinander die Werte ihrer Warteschlangenlängen an die LT zu übertragen, und Permits für OAM-Zellen, die die optischen Netzabschlüsse adressieren.

Ein *Ranging*-Protokoll auf der physikalischen Schicht stellt sicher, daß alle NTs, auf der MAC-Schicht betrachtet, dieselbe Signallaufzeit zur LT besitzen. Dies bedeutet, daß eine NT auf der MAC-Schicht beim Empfang des Permits sofort eine ATM-Zelle zur LT schicken kann; eine Signalverzögerung auf der physikalischen Schicht in der NT sorgt dafür, daß die ATM-Zelle genau  $100\mu\text{s}$  (doppelte Signallaufzeit) nach dem Absenden des Permits an der LT eintrifft, so daß die von unterschiedlichen NTs stammenden Zellen im zusammengefaßten Zellstrom auf dem Weg zur LT nicht kollidieren.

Detaillierte Beschreibungen des MAC-Protokolls finden sich in [1, 2]. Hier soll seine Funktionsweise kurz anhand des Funktionsmodells in Abb. 2 skizziert werden. Die Zellen der einzelnen Verbindungen werden in der jeweiligen NT-Warteschlange zwischengespeichert. Wenn ein Permit für eine ATM-Zelle oder einen Request Block an einer NT ankommt, überträgt sie ihre aktuelle Warteschlangenlänge zur LT. Dort wird im Permit-Zuweisungsprozeß aus den bis dahin bekannten Informationen und der neuen Warteschlangenlänge die Anzahl der an der NT seit der vorhergegangenen Request-Information eingetroffenen ATM-Zellen berechnet. Für jede so bekanntgewordene ATM-Zelle wird dann frühestens nach einer der Maximalrate aller an der NT aufgebauten Verbindungen entsprechenden Spacing-Zeit ein Permit in die globale Permit-Warteschlange der LT gegeben.

Zu jedem Zelltakt wird ein Permit aus der globalen Permit-Warteschlange entnommen und von der LT an die NTs geschickt. Für OAM-Ströme zwischen der BAF-LT und den optischen Netzabschlüssen sind zusätzliche periodische Permits vorgesehen, die gegenüber Permits für ATM-Zellen priorisiert sind. Wenn weder ein Permit für eine ATM-Zelle, noch ein Permit für eine OAM-Zelle ansteht, wird ein Permit für einen Request Block verschickt, auf den eine Reihe (aus Implementierungsgründen derzeit nur 9) NTs während der Zeitdauer einer ATM-Zelle nacheinander ihre Warteschlangenlängen an die LT melden.

Um den Einfluß der Reaktionszeit des MAC-Protokolls zu begrenzen, wird die Rate, mit der eine NT Permits erhält, auf die Summe der Spitzenbitraten der Verbindungen dieser NT zum Netz begrenzt, was einem Spacing auf ein Verbindungsbündel (*bundle spacing*) entspricht.

Bei diesem Mechanismus, der einen Permit nur dann verschickt, wenn eine Zelle in der NT vorhanden ist, ist das Minimum der Zellverzögerung im Zugangsnetz  $150\mu\text{s}$ , die dreifache Signallaufzeit zwischen NT und LT, da zuerst der Request von der NT zur LT, dann der Permit von der LT zur NT und schließlich die ATM-Zelle von der NT zur LT übertragen werden muß. Zusätzliche Wartezeiten entstehen, während die NT auf die nächste Request-Übertragungsmöglichkeit wartet und beim Multiplexen der Permits in der LT.

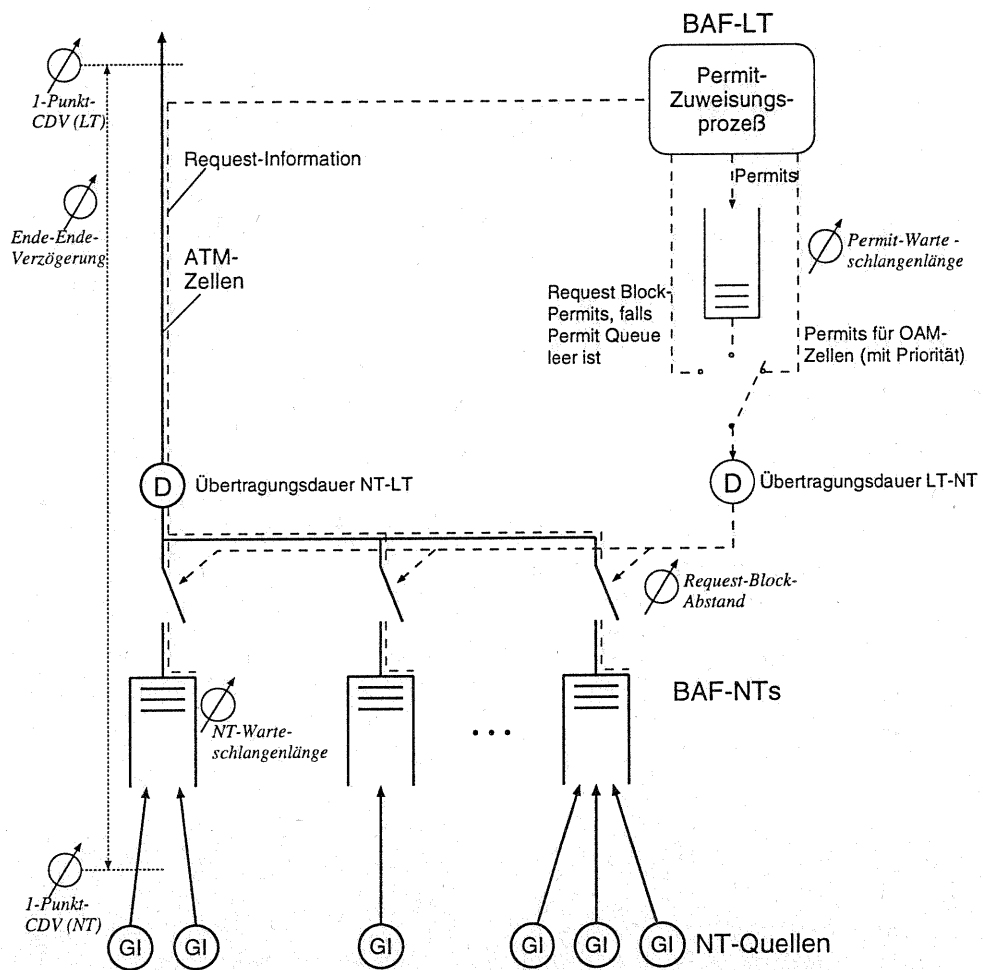


Abbildung 2: Funktionsmodell

Die Meßgeräte-Symbole  $\emptyset$  zeigen die Stellen an, an denen in der Simulation Statistiken geführt werden. Dies sind speziell die Verteilung der Ende-Ende-Verzögerung, die Einpunkt-Zellverzögerungsschwankung (*one point CDV*, siehe [4]) an der Quelle und nach dem Zugangsnetz, die Verteilungen verschiedener Warteschlangenlängen und der mittlere Abstand und die Varianz der Abstände der Request-Blocks. Prinzipiell können die Statistiken für Zellen jeder beliebigen Quelle geführt werden. In der Praxis wird man sich jedoch auf die Statistiken einer "markierten" Quelle konzentrieren oder eine Reihe gleicher Quellen an gleichen NTs zusammenfassen.

Einzelne Details des in BAF entwickelten Medienzugriffsprotokolls wurden bereits analytisch untersucht [3]. Die Ergebnisse der ersten vollständigen Simulation des Medienzugriffsprotokolls werden im folgenden vorgestellt.

### 3 Verkehrsszenarien

Für die hier vorgestellten ersten Untersuchungen, die zum Teil auch noch zur Protokollverifikation dienen, wurden nur homogene Szenarien gewählt, d.h. alle aktiven NTs haben dieselbe Anzahl gleicher Quellen. Die Messung von Verteilungen in der stationären Simulation beruht darauf, daß, über die Laufzeit der Simulation gesehen, die Häufigkeiten des Auftretens bestimmter Wertebereiche einer Meßgröße aufgezeichnet werden. Sind alle Quellen unkorreliert, dann reicht es aus, eine lange Zeit zu simulieren, um

auch sehr seltene Ausprägungen dieser Meßwerte zu beobachten. Dies ist beispielsweise bei der Simulation von Quellen mit variabler Bitrate (VBR-Quellen) der Fall. Werden dagegen gleiche CBR-Quellen (konstante Bitrate) simuliert, dann sind diese deterministischen Quellen hochgradig korreliert, so daß mit den anfänglichen Phasenbeziehungen das Verhalten des Systems für alle Zeiten festgelegt ist. Bei CBR-Szenarien beziehen sich daher die interessierenden Quantile der Durchlaufzeitverteilung nicht nur auf die Häufigkeit der Meßwerte über der Zeit, sondern auch auf die Häufigkeitsverteilung der Phasenlagen der Quellen zueinander bei einem Ensemble von Versuchen mit zufälligen Anfangsbedingungen.

Zur Untersuchung des Protokollverhaltens bei CBR-Verkehr wurden daher zwei Näherungsmethoden angewandt, um die Phasenbeziehungen zwischen den Quellen in der stationären Simulation zu variieren:

1. Simulation einer echten CBR-Quelle mit Statistikerfassung, der Hintergrundverkehr wird durch Quellen simuliert, die nach etwa 100 Zellen ihre Phasenlagen zufällig ändern ("var. back." in Tabelle 1).
2. Alle Quellen werden als "nahezu-CBR"-Quellen modelliert, die nach etwa 100 Zellen ihre Phasenlage zufällig minimal (höchstens 2.5% ihrer Periode) verschieben. Hier können alle Quellen zu einer gemeinsamen Statistik herangezogen werden ("symm. var." in Tabelle 1).

Die simulierten CBR-Szenarien zeigt Tabelle 1. In allen Fällen beträgt die Verkehrsauslastung 80%.

Fall	Quellbitrate	Quellen je NT	aktive NTs	Realisierung	Spacing
a	64 kbit/s	82	81	var. back.	85%
b	580 kbit/s	9	81	var. back.	100%
c	2 Mbit/s	3	70	var. back.	100%
c	2 Mbit/s	3	70	symm. var.	100%
d	10 Mbit/s	1	40	var. back.	100%
e	20 Mbit/s	1	20	var. back.	100%
f	34 Mbit/s	1	12	var. back.	100%
f	34 Mbit/s	1	12	var. back.	50%

Tabelle 1: CBR-Szenarien

Für Fall c wurde der Vergleich zwischen den beiden Verfahren zur simulativen Näherung bei CBR-Verkehr gemacht und für Fall f wird die Wirksamkeit des Spacings im MAC-Protokoll gezeigt.

Das simulierte VBR-Szenario enthält zwölf Talkspurt-Silence-Quellen je NT bei 30 aktiven NTs. Die Quellen haben jeweils eine Spitzenbitrate von 10Mbit/s, eine mittlere Bitrate von 1Mbit/s und eine mittlere Burstlänge von 100 Zellen bei geometrisch verteilter Burstlänge und negativ exponentiell verteilter Pausendauer. Dies führt zu einer mittleren Auslastung von 72% und einer Summe der Spitzenbitraten vom 7-fachen der Übertragungskapazität des Systems.

In den Szenarien mit weniger als 81 aktiven NTs wurden die nicht aktiven NTs trotzdem von den Request-Blöcken abgefragt, was eine Verlängerung der Reaktionszeit des Protokolls für die aktiven NTs zur Folge hat. Simuliert wurden 10 Teilttests mit jeweils  $10^7$  Zellen, die Vertrauensintervalle waren in den dargestellten Bereichen kleiner als 5% der Meßwerte.

## 4 Ergebnisse

Die Abbildungen 3 bis 5 zeigen die Verzögerung für die CBR-Szenarien a-f. Abbildung 3 zeigt die Ende-Ende-Verzögerung, die bis auf eine Verschiebung des Nullpunktes mit der Zweipunkt-CDV identisch ist. Die Einpunkt-CDV nach [4] ist in Abbildung 5 dargestellt. Sie ist bei CBR-Quellen identisch mit der verschobenen, gespiegelten Verteilung der Ende-zu-Ende-Verzögerung. In Abbildung 4 sind die Durchlaufzeitverteilungen auf den Zellabstand normiert dargestellt, wodurch zu erkennen ist, daß für alle betrachteten homogenen CBR-Szenarien die Zellverzögerungsschwankungen in der Größenordnung eines Zellabstandes der Quelle liegen.

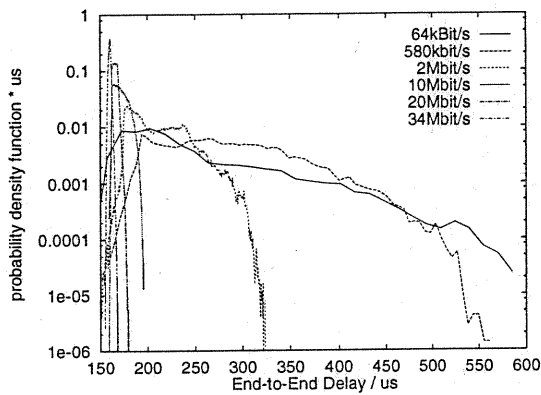


Abbildung 3: Ende-Ende-Verzögerung

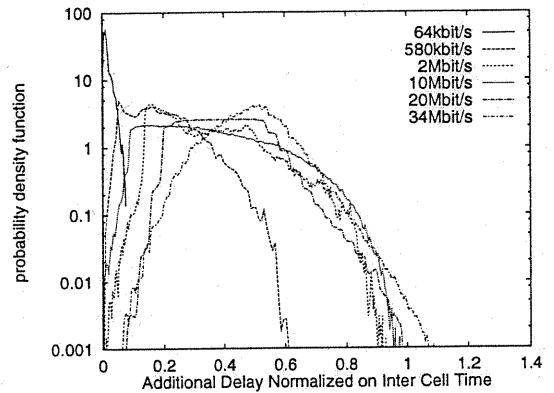


Abbildung 4: Normierte Verzögerung

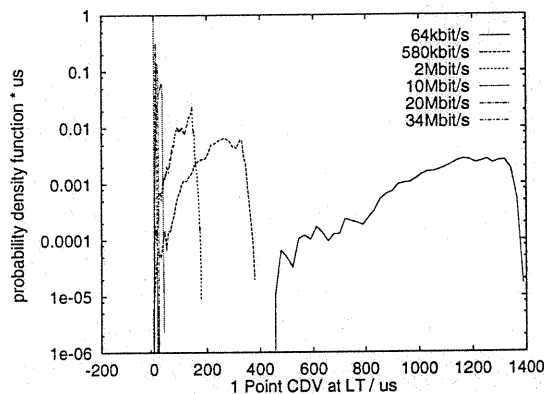


Abbildung 5: Ein-Punkt-CDV

Zur Wirkung des Spacings im MAC-Protokoll zeigt Abb. 6, wie bei den 34Mbit/s-Quellen die Zellverzögerungsschwankungen deutlich reduziert werden können. Die Vergleichbarkeit der beiden Näherungen für homogene CBR-Szenarien ist mit Abb. 7 eindrucksvoll gezeigt.

Zum VBR-Szenario geben schließlich die Abbildungen 8 und 9 die Ende-Ende-Verzögerung und die Einpunkt-CDV an. Die im Vergleich zum CBR-Szenario mit 10Mbit/s-Quellen größeren Zellverzögerungsschwankungen rühren hauptsächlich von der hohen Auslastung mit großem Multiplexgewinn her. Mit einem Medienzugriffsprotokoll mit statischer Bandbreitenzuteilung wäre ein solches Verkehrsszenario

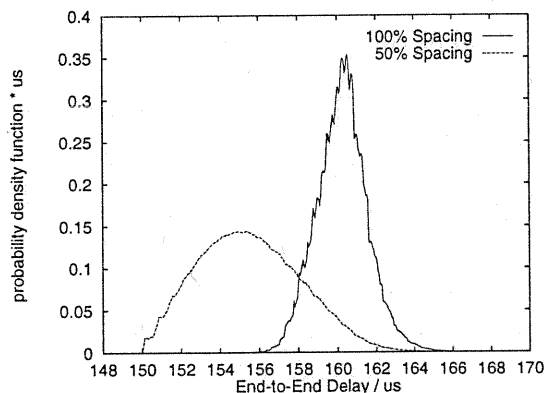


Abbildung 6: Wirkung des Spacings

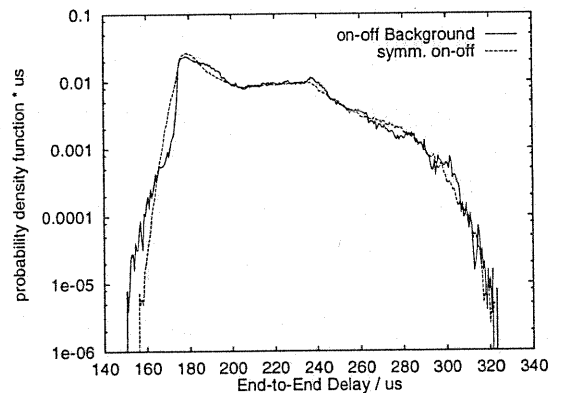


Abbildung 7: Näherungen für CBR

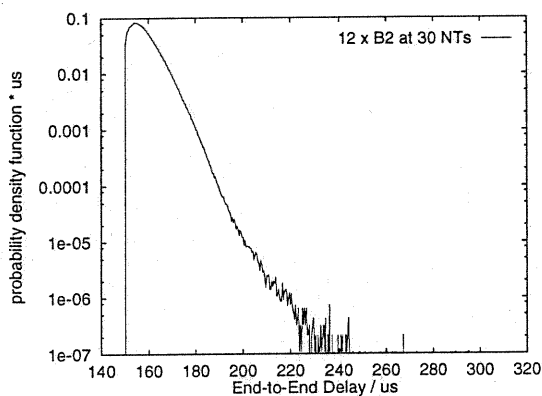


Abbildung 8: Ende-Ende-Verzögerung

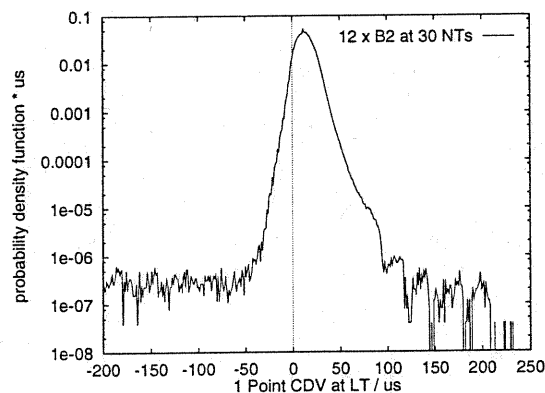


Abbildung 9: Ein-Punkt-CDV

nicht zu realisieren, da die Bandbreite des gemeinsamen Transportmediums nicht auf Zellebene zwischen den einzelnen NTs aufgeteilt werden könnte. Zellverluste traten während dieser Simulation durch die großen Puffer (64 Plätze an jeder NT) nicht auf.

## 5 Zusammenfassung

In diesem Beitrag wurden erste simulative Leistungsuntersuchungen des im Projekt R2024 (BAF) entwickelten Mediengriffsprotokolls vorgestellt. Es konnte gezeigt werden, daß dieses Protokoll bei hoher Flexibilität hinsichtlich des transportierten Verkehrs auch bei großer Netzauslastung nur eine für den jeweiligen Verkehr vertretbare Zellverzögerungsschwankung bewirkt. Auch der Transport von Verkehr mit variabler Bitrate ist unter Ausnutzung des im anschließenden Breitbandnetz erzielbaren Multiplexgewinns möglich.

Weitere Untersuchungen werden die Dimensionierung der Spacing-Parameter und das Verhalten des Protokolls bei heterogenen Verkehrsszenarien zum Gegenstand haben. Außerdem wird die Leistungsfähigkeit des untersuchten MAC-Protokolls mit anderen Protokollvorschlägen verglichen werden.

### Danksagung

Der Autor bedankt sich bei Herrn Dirk Oliver Keck für die hervorragende Implementierung des Simulationsprogramms.

## Literatur

- [1] ROD SMITH, LAURIE CUTHBERT, EDITORS, "Specification of Access Control Functions." BAF Deliverable 2, RACE Document R2024\_QMW\_W21\_DS\_P\_002\_b1, Dec. 1992
- [2] JORGE GARCIA, OLGA CASALS, CHRIS BLONDIA, "A Cell Based MAC Protocol with Traffic Shaping and a Global FIFO Strategy." RACE Open Workshop on Broadband Access, Nijmegen (NL), June 1993
- [3] T. TONIATTI, L. VERRI, O. CASALS, J. GARCIA, C. BLONDIA, J. ANGELOPOULOS, I. VENIERIS, "Performance of Shared Medium Access Protocols for ATM Traffic Concentration." to be published in the *ETT Special Issue on Teletraffic Research for Broadband-ISDN in the RACE Programme*
- [4] CCITT Recommendation I.356 "B-ISDN ATM Layer Cell Transfer Performance.", Geneva, Jan. 1993