

Simulative Untersuchungen an einem ATM-Koppelement mit Zentralspeicher

ALBRECHT SCHWARZ, THOMAS THEIMER

Universität Stuttgart,
Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung
Seidenstr. 36, D-7000 Stuttgart 1

Kurzfassung:

In diesem Beitrag wird ein 4×4 -Koppelement simulativ untersucht, das für ATM-Vermittlungen eingesetzt werden soll. Dabei wurde die Puffergröße dimensioniert und die Pufferanordnung mit einem Koppelement mit Ausgangspuffern verglichen. Außerdem wurde das Zentralspeicherverhalten bezüglich inhomogenem Verkehr, sowie die Prioritätsbehandlung verschiedener Verkehrsklassen untersucht.

1 Einführung

Im Rahmen einer Kooperation mit dem Institut für Mikroelektronik, Stuttgart (IMS) wird ein 4×4 -Koppelement mit einem Zentralspeicher entworfen. Für einen ATM-Einsatz muß dieses Element bestimmten Anforderungen genügen: hoher Durchsatz, geringe Durchlaufzeit, kleine Varianz der Durchlaufzeit, sowie eine niedrige Zellverlustwahrscheinlichkeit. Auf der Hardwareseite sind die Grenzen durch Chipfläche, Pinzahl und Verarbeitungsgeschwindigkeit vorgegeben.

Zentraler Teil in einem Koppelement ist sein Puffer zur Zwischenspeicherung von Zellen, welcher hier als Zentralspeicher ausgelegt ist. Dies hat den Vorteil, daß nur ein Bruchteil von Speicherplätzen gegenüber anderen Pufferkonzepten benötigt wird. Sein Nachteil, die hohe Anzahl von Speicherzugriffen wird durch ein besonderes Konzept [2] umgangen.

Mit Hilfe einer Simulation wurde nun dieser Puffer untersucht. Unter *Bernoulli*-Verkehr wurde seine Größe für die geforderte Verlustwahrscheinlichkeit von 10^{-10} bei 80% Last ermittelt. Als Vergleich wurde ein entsprechendes Koppelement mit getrennten Ausgangspuffern untersucht und der *Pufferreduktionsfaktor* bestimmt. Neben verschiedenen Lastverhältnissen wurde das Koppelement auch innerhalb eines 64×64 -Koppelnetzwerkes simuliert.

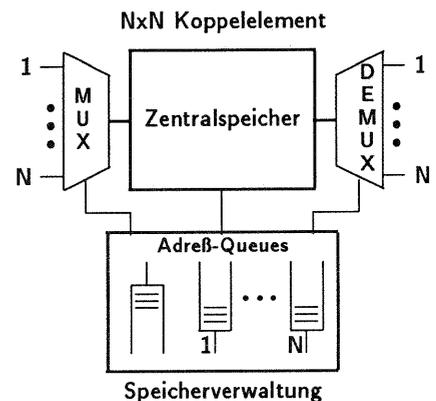


Bild 1: KE mit Zentralspeicher

Weiterhin wurde das Koppelement verschiedenen Verkehrsarten unterworfen. Dazu wurde neben einem *Burst-Silence*-Verkehr (mit verschiedenen Burstlängen) auch ein *GMDP*-Verkehr¹ verwendet.

Da die Dienstgüte (GOS) einer ATM-Verbindung sich durch Aufteilung des Verkehrs in Klassen verbessern läßt, wurde vom *CCITT*² im Zellheader ein Bit für eine explizite Priorisierung der Zellen vorgesehen. Das Simulationsprogramm wurde deshalb dahingehend erweitert, Koppelemente mit einem Prioritätsmechanismus zu untersuchen. Implementiert wurde der *partial buffer sharing*-Mechanismus (Schwellwertverfahren), der gute Leistungsmerkmale bei einer einfachen Pufferverwaltung verspricht.

¹allgemein modulierter deterministischer Prozeß [10]

²International Telegraph and Telephone Consultative Committee

2 ATM-Koppelemente mit Zentralspeicher

Die Struktur eines Koppelementes besteht im allgemeinen aus zwei Funktionselementen: dem *Puffer* zur Speicherung konkurrierender Zellen und dem *Verbindungsmechanismus*, der die Zellen von den Eingängen zu den ausgewählten Ausgängen vermittelt. In Bild 1 ist ein Zentralspeicherelement abgebildet. Ankommende Zellen werden direkt in den Speicher geschrieben. Die Vermittlungsfunktion geschieht über die Speicheradressierung durch den Kontrollpfad. Die Speicherverwaltung wird durch *verkettete Listen* (Adress-Queues) realisiert. Dabei steht jeweils für einen Ausgangslink sowie für freie Speicheradressen eine Liste zur Verfügung. Durch die Steuerinformation³ einer Zelle läßt sich ihre Speicheradresse einer Adress-Queue zuordnen.

3 Bemerkungen zur Simulationstechnik

Aufgrund der Komplexität eines ATM-Vermittlungs-Systemmodells (Verkehrsgeneratoren, getaktete Warte-Verlust-Systeme der Multiplexer und Puffer, etc.) sind diese für eine rein analytische Behandlung schwer zugänglich. Daher wird meist die Simulation für solche Systeme verwendet.

Bei der Simulation wird das reale System durch Datenstrukturen auf einem Rechner abgebildet. Verwendet wird das Prinzip der zeitreuen, ereignisgesteuerten Simulation.

Da die Simulation vom Prinzip her ein experimentelles Verfahren ist, hängt die Genauigkeit der Ergebnisse von der Anzahl betrachteter Ereignisse ab. Dadurch ist die Anwendbarkeit simulativer Methoden für Untersuchungen in Hochgeschwindigkeitsnetzen prinzipiell beschränkt. Durch die Betrachtung auf Zellebene können mit vertretbarem Rechenzeitaufwand nur sehr kleine Echtzeitspannen (hier *ms - sec*) simuliert werden. Ein weiteres Problem ist die Erfassung seltener Ereignisse (z.B. Zellverluste). Für die Simulation wurde das Programm von R. Medow [1] verwendet.

4 Simulationsergebnisse

4.1 Bestimmung der Puffergröße

Bei einem ATM-Koppelement dürfen die Zellverluste durch Pufferüberläufe nur sehr gering sein. Da in ATM-Netzen, aufgrund der großen Entfernungen von Vermittlungseinrichtungen eine Flußsteuerung nicht möglich ist, müssen diese Verluste durch eine ausreichende Puffergröße klein gehalten werden. Hier wurde der Zentralspeicher für eine Zellverlustwahrscheinlichkeit von 10^{-10} bei 80% Last dimensioniert.

Simulativ können jedoch Zellverluste nur bis zu Verlustwahrscheinlichkeiten von $10^{-4} \dots 10^{-5}$ einigermaßen genau gemessen werden. Einen Ausweg bietet folgendes Verfahren: man dimensioniert die Puffer so groß, daß keine Zellverluste auftreten und betrachtet dann die komplementäre Verteilungsfunktion der Belegungswahrscheinlichkeiten. Da die Kurven bei abnehmenden Verlustwahrscheinlichkeiten ab einem gewissen Punkt ein exponentielles Verhalten aufweisen, lassen sich diese relativ genau auf eine Verlustwahrscheinlichkeit von 10^{-10} extrapolieren. Dieses Verfahren liefert zwar prinzipiell nur approximative Ergebnisse, deren Genauigkeit jedoch hier völlig ausreichend ist.

Bild 2 zeigt die Simulationsergebnisse für das Zentralspeicherelement. In Tabelle 1 ist der ermittelte Gesamtspeicherbedarf für ein 4×4 -Koppelement mit Zentralspeicher bzw. getrennten Ausgangspuffern aufgeführt.

Koppelemente werden in der Regel in mehrstufigen Koppelnetzstrukturen eingesetzt. Dabei zeigt sich daß die Zellverlustwahrscheinlichkeit von Stufe zu Stufe zunimmt. Zurückzuführen ist dieser Effekt auf die Koppelementpuffer, durch welche sich die Verkehrscharakteristik von Stufe zu Stufe ändert. Aus diesem Grund wurden noch Simulationen an einem 64×64 -Koppelnetz (3 Stufen, 16 KE/Stufe) in *Omega*⁴-Topologie durchgeführt. Ebenfalls durch Extrapolation wurde nun die Puffergröße für einen 'worst-case-Einsatz' eines Koppelementes in der letzten Koppelnetzstufe dimensioniert.

³Die Steuerinformation wird der Zelle in Form eines 'routing tag' vorangestellt.

⁴selbststeuerndes Einpfad-Netzwerk welches regulär aufgebaut ist und bidirektional betrieben werden kann

Angebot [Erlang]	0.64	0.72	0.8
Puffergröße $S_{x,central}$	33	44	63
Puffergröße $S_{x,output}$	100	134	192
Reduktionsfaktor R	0.325	0.328	0.328

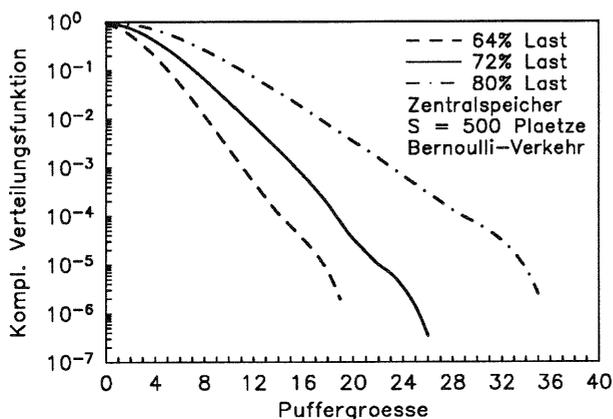
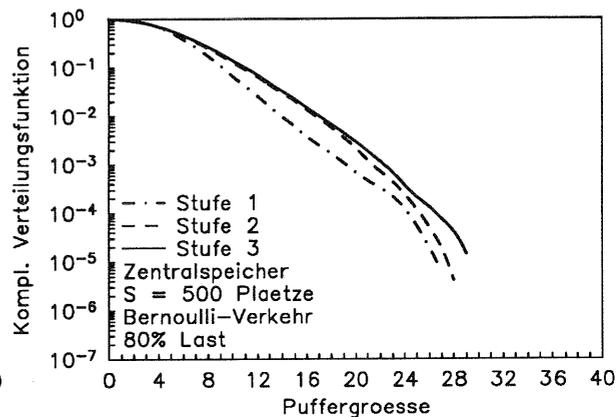
Tabelle 1: Gesamtspeicherbedarf für ein 4×4 -Koppelement ($B_{loss} = 10^{-10}$)Bild 2: einzelnes 4×4 -KoppelementBild 3: 4×4 -KE in einem 64×64 -Koppelnetz

Bild 3 zeigt die Simulationsergebnisse für ein 64×64 -Koppelnetz. Bei einem dreistufigen Netzwerk mit 4×4 -Koppelementen ergaben sich unter Bernoulli-Verkehr folgende Puffergrößen:

Angebot [Erlang]	0.70	0.80	0.85	0.90
Puffergröße $S_{x,central}$	35	70	114	155

Tabelle 2: 4×4 -KE in einem 64×64 -Koppelnetz ($B_{loss} = 10^{-10}$)

Wie man sieht, müssen hier die Puffer gegenüber einem 'isolierten' Koppelement größer dimensioniert werden.

Durch eine interne Takterhöhung⁵ kann allerdings die interne Last verringert werden, und somit können die Puffer eines Koppelementes kleiner ausgelegt werden.

Neben Koppelementen mit 4 Ein-/Ausgängen wurden auch noch 2×2 -Koppelemente bzw. 8×8 -Koppelemente innerhalb eines 64×64 -Koppelnetzes (4 Stufen bzw. 2 Stufen) untersucht. Dabei zeigte sich, daß die Pufferbelegungswahrscheinlichkeit nahezu unabhängig von der Anzahl Ein-/Ausgänge ist. Mit zunehmender Anzahl von Ein-/Ausgängen eines Koppelementes wird jedoch der Effekt der Speicherausnutzung ('Bündelungsgewinn') größer, d.h. ein $N \times N$ -Koppelnetz aus 8×8 -KE benötigt insgesamt weniger Speicherplätze als z.B. eines aus 2×2 -KE (siehe auch [8]). Eine VLSI-Implementation schränkt jedoch die Koppelementgröße ein.

4.2 Bestimmung des Reduktionsfaktors unter verschiedenen Verkehrsarten

Zentralspeicher können durch die gemeinsame Speicherausnutzung gegenüber Koppelementen mit getrennten Ausgangspuffern kleiner als diese dimensioniert werden. Die verschiedenen Pufferanordnungen lassen sich über den Reduktionsfaktor R vergleichen, welcher als das Verhältnis der gesamten Speichergröße eines Zentralspeichers und der getrennten Ausgangsspeichern für eine bestimmte Verlustwahrscheinlichkeit definiert ist [3].

Bis jetzt wurde nur mit Bernoulli-Verkehr, d. h. ein ankommender Zeitschlitz ist mit einer konstanten Wahrscheinlichkeit⁶ q mit einer Zelle belegt, simuliert. Da dieses einfache Verkehrsmodell einen realen ATM-Verkehr nicht ausreichend widerspiegelt, wurden auch Simulationen mit anderen Verkehrsmodellen gemacht.

Burst-Silence-Verkehr (sporadische Quelle, [7], [11], Bild 4): die Quelle ist entweder im Pausenzustand

⁵ speed-up-Betriebsweise

⁶ diese Wahrscheinlichkeit entspricht dem Verkehrsangebot

oder aktiv. Während der Aktivitätsphase werden Zellen mit konstantem Ankunftsabstand T erzeugt, (wobei eine Aktivitätsphase mindestens eine Zelle umfaßt).

GMDP-Verkehr (allgemein modulierter deterministischer Prozeß, [10], Bild 5): Er basiert auf einem Automatenmodell mit m Zuständen. Simuliert wurde ein GMDP-Verkehr mit 2 aktiven Zuständen und einem Pausenzustand.

Hier war vor allem interessant, ob die Kurven ab einem bestimmten Punkt wieder ein exponentielles Verhalten aufweisen und ob der Reduktionsfaktor verkehrsabhängig ist.

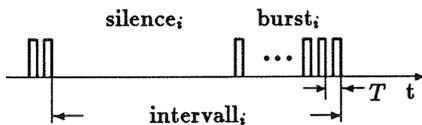


Bild 4: Burst-Silence-Verkehr

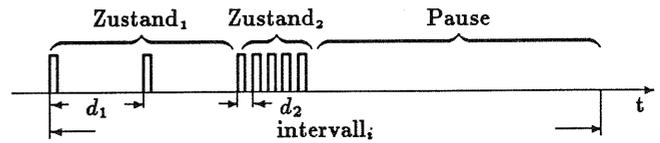


Bild 5: GMDP-Verkehr

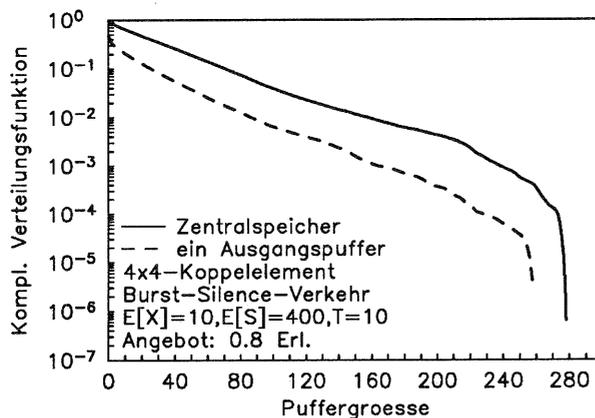


Bild 6: Burst-Silence-Verkehr

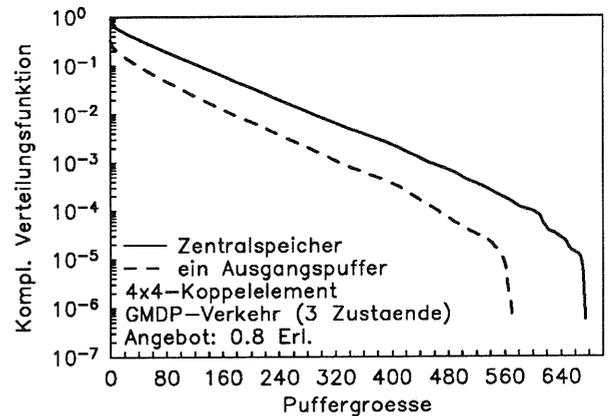


Bild 7: GMDP-Verkehr^a

^aParameter - Zustand 0: Pause, $E[S]=500$; Zustand 1: $E[X]=10$, $E[B]=500$, $T=50$; Zustand 2: $E[X]=50$, $E[B]=500$, $T=10$; symmetrische Übergangswahrscheinlichkeiten $p = 0.5$

Ergebnis: Die Kurven lassen sich wieder im logarithmischen Maßstab auf eine Verlustwahrscheinlichkeit von 10^{-10} linear extrapolieren. Der Reduktionsfaktor (Tabellen 3/ 4) liegt in dem Bereich des *Bernoulli*-Verkehrs.

Last λ	Puffergröße		Red.faktor R	Gewinn $G=1/R$
	output	central		
64%	1124	313	0.278	3.59
72%	1360	396	0.291	3.43
80%	2308	805	0.350	2.87
	$S_{x,output}$	$S_{x,central}$	$R \approx 0.3$	$G \approx 3.3$

Tabelle 3: Burst-Silence-Verkehr mit $E[X]=10$, $E[S]=400$, $T=10$ ($B_{loss} = 10^{-10}$)

Last λ	Puffergröße		Red.faktor R	Gewinn $G=1/R$
	output	central		
64%	1920	520	0.27	3.7
72%	-	-	-	-
80%	5300	1665	0.31	3.2
	$S_{x,output}$	$S_{x,central}$	$R \approx 0.29$	$G \approx 3.4$

Tabelle 4: GMDP-Verkehr: 2 aktive Zustände, 1 Pausenzustand ($B_{loss} = 10^{-10}$)

4.3 Einfluß der Adress-Queue-Längen

Bei einem Zentralspeicherelement entspricht normalerweise die Länge der Adreß-Queues der gesamten Puffergröße. Diese Forderung ist bei niedriger Last, die homogen auf die Ausgänge verteilt ist, gerechtfertigt. Es zeigt sich jedoch, daß sich bei *hot-spot*-Verkehr durch Begrenzung der logischen Adreß-Queue-Länge die Verlustwahrscheinlichkeit für den restlichen Querverkehr drastisch vermindern läßt. Selbst bei *homogenem* Verkehr hoher Last erhält man kleinere Zellverlustwahrscheinlichkeiten.

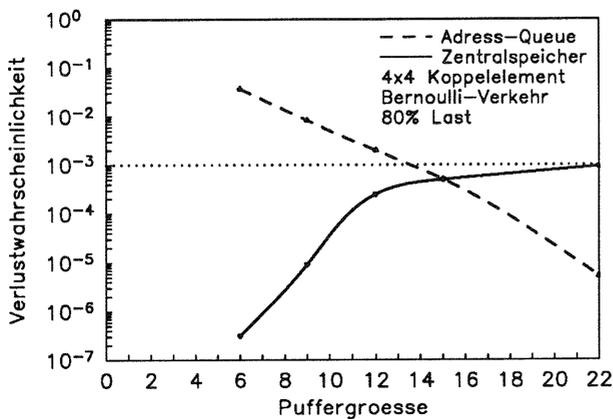
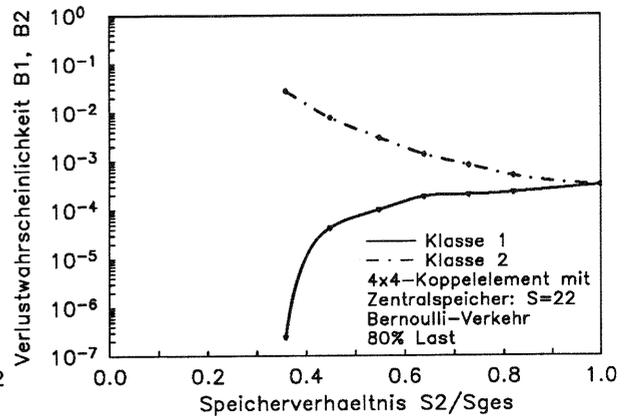


Bild 8: Einfluß der Adreß-Queue-Längen

Bild 9: Prioritätsmechanismus *partial buffer sharing*

Ergebnis (siehe Bild 8): Bei voller Adreßqueuelänge $AQL=22$ hat das Zentralspeicherelement eine Zellverlustwahrscheinlichkeit von $B \approx 10^{-3}$. Durch die Begrenzung der logischen Ausgangspuffer werden Zellen nun schon früher abgewiesen. Der Zentralspeicher wird nicht mehr so stark ausgelastet, sodaß hier die Verluste abnehmen.

Interessant ist dieser Fall für homogenen Verkehr hoher Last.

Bei *hot-spot*-Verkehr ist der Schnittpunkt ($S=15$) der beiden Kurven interessant. Werden hier die AQL 's für diesen Punkt dimensioniert, dann wird nahezu der gesamte Querverkehr durch das Koppellement vermittelt⁷. Außerdem ist die Verlustwahrscheinlichkeit für *homogenen* Verkehr nicht viel schlechter als bei voller Adreß-Queue-Länge.

4.4 Einfluß eines Prioritätsmechanismus

Durch eine Prioritätskennung von Zellen lassen sich unterschiedlichen Verkehrsklassen verschiedene Verlustwahrscheinlichkeiten zuordnen. Hierzu muß die Speicherverwaltung eines Koppellementes einen Prioritätsmechanismus enthalten, welcher ankommende Zellen entsprechend ihrer Verkehrsklasse bearbeitet. Untersucht wurde hier das Verfahren des *partial buffer sharing* [9].

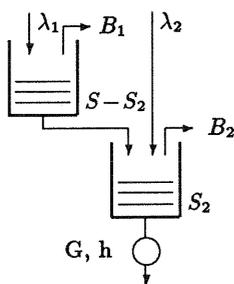


Bild 10: Modell

partial buffer sharing (Schwellwertverfahren):

Hier findet eine Aufteilung des Puffers statt (siehe Bild 10). Dabei stehen der Klasse niederer Priorität (Klasse 2) S_2 Plätze zur Verfügung, die restlichen $S_1 = S - S_2$ Plätze nur der Klasse höherer Priorität (Klasse 1). Die höher priorisierten Zellen haben dabei Zugriff auf den ganzen Speicher. Es findet aber keine Verdrängung von Zellen niederer Priorität statt. Durch Änderung der Grenze S_2 läßt sich das System verschiedenen Lastsituationen anpassen.

In einer ersten Simulation wurde der Einfluß des Speicherverhältnisses S_2/S_{ges} für gleichverteilte Last untersucht.

Ergebnis (siehe Bild 9): Bei einem Speicherverhältnis von $S_2/S_{ges} = 1$ verhält sich das Koppellement wie seither. Es wirkt kein Prioritätsmechanismus; beide Verkehrsklassen werden gleich behandelt ($B_1 = B_2 \approx 3 \cdot 10^{-4}$). Wird die Größe des niederprioritären Speicherbereiches verkleinert, dann steigt die Verlustwahrscheinlichkeit von Klasse 2 (B_2) an, und die von Verkehrsklasse 1 (B_1) nimmt wie erwartet ab.

Jetzt wurde die Speichergrenze fest eingestellt. Dabei sollte z.B. die Verlustwahrscheinlichkeit von Klasse 2 $B_2 \approx 10^{-3}$ sein. Dies ist bei dem Speicherverhältnis $S_1 = 7, S_2 = 15$ der Fall. Nun wurde ein *hot-spot* mit Klasse-2-Verkehr auf einen Ausgang gegeben. Hier müßte sich nun ein ähnlicher Effekt wie bei einer Begrenzung der logischen Adreß-Queue-Länge einstellen. Durch den *hot-spot*-Verkehr wird

⁷ Simulation: ein hot-spot-Ausgang, Querverkehr: $A = 0.8$ Erl/Ausgang
 \Rightarrow Durchsatz bei $AQL=15, \lambda=79\%$, bei $AQL=22, \lambda=42\%$

der ganze niederprioritäre Speicherbereich gefüllt. Mittels des Speicherbereiches S_1 müßte jedoch noch ein Verkehr von Paketen hoher Priorität zu den anderen Ausgängen möglich sein.

Ergebnis: Trotz Blockierung von Speicherbereich S_2 durch niederprioritäre Zellen können noch mehr als 90% aller Zellen von Verkehrsklasse 1 durch das Koppellement vermittelt werden.

5 Zusammenfassung

Es wurde der Zentralspeicher eines 4×4 -Koppelementes für eine Verlustwahrscheinlichkeit von 10^{-10} unter *Bernoulli*-Verkehr dimensioniert. Bei einer Last von 80% werden $S_{central} = 70$ Pufferplätze benötigt. Ein 4×4 -KE mit getrennten Ausgangspuffern würde ungefähr dreimal so viele Speicherplätze benötigen. Weiter wurde gezeigt, daß eine Begrenzung der logischen Adreß-Queue-Länge die Zellverlustwahrscheinlichkeit eines Zentralspeicherelementes bei *hot-spot*-Verkehr vermindert. Ebenso würde die Implementierung des Prioritätsmechanismus *partial buffer sharing* verschiedene Verlustwahrscheinlichkeiten zweier Verkehrsklassen garantieren.

Nachwort

Wir möchten uns hier bei J. Wenzel bedanken, der die Simulationen zum 64×64 -Koppelnetzwerk durchgeführt hat.

Literatur

- [1] REITER A., MEDOW R.: "Untersuchung von Koppelnetzstrukturen für ATM" bzw. "Untersuchungen und Entwurf eines Ein-Chip ATM-Koppelementes", Diplomarbeiten am IND Nr. 949 bzw. Nr. 1014, Universität Stuttgart, 1989 bzw. 1990.
- [2] BERNATH E., SCHWEDERSKI T., SIEGEL M., WENZEL J.: ^{effiziente VLSI-Strukturen für} ~~"VLSI-Entwurf eines ATM-Koppelementes mit Zentralspeicher"~~, ITG/GI-Workshop, IMS Stuttgart, September 1991.
- [3] KUWAHARA H., ENDO N., OGINO M., KOZAKI T.: ^{Verbleib in Planung und Entwurf ist off.} "A Shared Buffer Memory Switch for an ATM Exchange", 1989 Proceedings of the International Conference on Communication (ICC), S. 118-122, 1989.
- [4] GARRETT E., ET AL.: "An experimental ATM switching architecture for the evolving B-ISDN scenario", Proceedings of the XIII International Switching Symposium, Vol. IV, Paper A5.3, S. 15-22, Stockholm, 1990.
- [5] BÖTTLE D., HENRION M. A.: "Das ATM-Koppelfeld von Alcatel und seine Eigenschaften", Elektrisches Nachrichtenwesen, Bd. 64, Nr. 2/3, S. 156-165, 1990.
- [6] DEVAULT M., COCHENNEC J., SERVEL M.: "The 'PRELUDE' ATD Experiment: Assessments and Future Prospects", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 6, No. 9, S. 1528-1537, Dezember 1988.
- [7] RATHGEB E.: "Verkehrsflüsse in ATM-Netzen - Modellierung und Analyse von Verkehrsquellen und Quellflußkontrollverfahren", Dissertation am IND, Universität Stuttgart, 1990.
- [8] HABERMANN R., HEUER P.: "Verkehrstheoretische Untersuchung eines $N \times N$ -Koppelvielfaches in ATD-Koppelnetzen", ntz Archiv, Bd. 10, H. 12, S. 325-330, 1988.
- [9] KRÖNER H.: "Comparative Performance Study of Space Priority Mechanisms for ATM Networks", Proceedings of the IEEE INFOCOM 90, S. 1136 - 1143, San Francisco, Juni 1990.
- [10] KÜHN P. J.: "Input Process Model GMDP", Race 1022 Document UST_123-0003-CC-CD, Juni 1988.
- [11] RATHGEB E., THEIMER T., HUBER M.: "ATM Switches - Basic Architectures and their Performance", International Journal of Digital and Analog Cabled Systems, Vol. 2, No. 4, S. 227-236, 1989.