

Untersuchung eines Kanalzugriffsprotokolls für eine mobile Erweiterung von ATM-Netzen*

Dietmar Petras (petras@dfv.rwth-aachen.de), Lehrstuhl für Kommunikationsnetze, RWTH Aachen

Zusammenfassung

Der Beitrag untersucht die Anforderung an ein Kanalzugriffsprotokoll für transparenten, mobilen Zugriff auf ATM-Netze. Es wird das DSA-Protokoll vorgestellt, welches das statistische Multiplexen von ATM-Multiplexern auf die Funkschnittstelle erweitert. Durch Simulationen wird gezeigt, daß die Leistungseinbußen aufgrund der Übertragung über die Funkschnittstelle im Rahmen der QoS Anforderungen der meisten Dienste liegen. Vor allem die zusätzlichen Übertragungsverzögerungen aufgrund von Wettbewerb und die damit verbundenen Kollisionen können weitestgehend eingegrenzt werden.

1 Einführung

Der Asynchrone-Transfer-Modus (ATM) hat sich als die Übertragungstechnik zukünftiger Kommunikationsnetze erwiesen. Er ermöglicht den Einsatz der gleichen Verfahren und Techniken für die Übertragung verschiedenster Diensten wie Sprache, Bild, Multimedia und Daten. ATM kann sowohl für WANs (Wide Area Network), MANs (Metropolitan Area Network), und LANs (Local Area Network) eingesetzt werden.

Dem allgemeinen Trend folgend, die Dienste der Festnetze mobilen Teilnehmern verfügbar zu machen, werden innerhalb des Projektes *Mobile Broadband System* (MBS, R2067, gefördert durch das RACE II Programm der Europäischen Kommission) die notwendigen Netzstrukturen und Protokolle für eine mobile Erweiterung von ATM-Netzen untersucht. Das MBS soll mobilen Anwendungen einen transparenten ATM-Zugriff auf das Festnetz ermöglichen. "Transparent" in diesem Sinne bedeutet "dienstunabhängig" und daher "transparent für die ATM-Adaptionsschicht (AAL)".

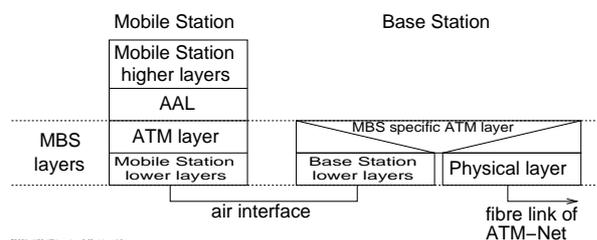


Bild 1 Schichtenmodell für transparenten, mobilen ATM-Zugriff

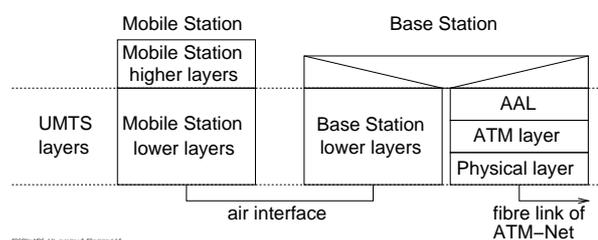


Bild 2 Schichtenmodell mit dienstspezifischer ATM-Übertragung

* This work was supported by the EC under the RACE programme and its publication has been approved by the MBS project R2067.

Zur Ermöglichung von transparentem, mobilem ATM-Zugriff dürfen auf der Funkschnittstelle die Protokolle des AAL nicht ausgeführt werden. Daraus resultiert ein Schichtenmodell, wie es in Abbildung 1 dargestellt ist. Als Vergleich enthält Abbildung 2 das Modell von UMTS, welches für einige spezielle, oftgenutzte Dienste optimiert wird und daher eine bessere Ausnutzung der Funkressourcen ermöglicht.

Die Anforderungen an die Übertragung von ATM-Zellen über die Funkschnittstelle resultieren in einem Kanalzugriffsprotokoll, welches das statistische Multiplexen von ATM-Multiplexern auf das spezielle Szenario erweitern, welches durch den konkurrierenden Vielfachzugriff von nicht einfach zu koordinierenden Mobilstationen gebildet wird. Das Protokoll muß dabei das Übertragungsmedium den einzelnen Mobilstationen abhängig von deren momentanen Übertragungsanforderungen zuteilen. Besonders die Übertragung von ATM-Zellen echtzeitorientierter Dienste stellt dabei hohe Anforderungen an möglichst kurze Verzögerungen, welche durch ein hochdynamisches, prioritätengesteuertes Kanalzugriffsprotokoll garantiert werden müssen.

Die Verzögerungen auf der Funkschnittstelle werden durch den Wettbewerb mehrerer Mobilstationen auf dem Uplink sowie durch notwendige Neuübertragungen hervorgerufen, die bei Übertragungsfehlern wegen der viel höheren BER auf der Funkschnittstelle im Vergleich zu Glasfaserleitungen notwendig werden. Die Neuübertragungen werden von einem speziellen ARQ Protokoll gesteuert [2]. Der Uplink bildet wegen des Wettbewerbs und der damit verbundenen Kollisionen den kritischen Teil für das Kanalzugriffsprotokoll. Die Zuweisung von Kanalkapazität muß unter Berücksichtigung der maximalen Übertragungsverzögerung eines jeden virtuellen Kanals und des momentanen Warteintervalls der gepufferten ATM-Zellen erfolgen. Dies resultiert in der Übertragung der ATM-Zellen entsprechend ihrer Restlebensdauer (residual lifetime). Daher ist ein Prioritätenmechanismus in Kombination mit einem Algorithmus zur schnellen Kollisionsauflösung notwendig. Der Kollisionsauflösungsalgorithmus erfordert einen schnellen synchronen Mechanismus zur Übertragung von sowohl positiven als auch negativen Quittungen zur Kollisionserkennung.

Probleme ergeben sich bei Verwendung von dezentral koordinierten Prioritätenmechanismen. Mit ihnen läßt sich eine bevorzugte Behandlung von bestimmten ATM-Zellen grundsätzlich nicht garantieren, sondern nur begünstigen. Daraus ergibt sich die Forderung nach einem zentral koordinierten Mechanismus.

2 Dynamic Slot Assignment Protokoll

Die Grundidee des *Dynamic Slot Assignment* (DSA) Protokolls [1] ist die Erweiterung des statistischen Multiplexens von ATM auf die Funkschnittstelle. Der Uplink innerhalb einer Zelle verhält sich wie ein ATM-Multiplexer. Innerhalb einer Mobilstation werden die parallel existierenden virtuellen Kanäle (Virtual Channel, VC) und virtuellen Pfade (Virtual Path, VP) auf einen sogenannten Verkehrskanal (Traffic Channel, TCH) gemultiplext. Die TCHs aller Mobilstationen einer Zelle werden auf den gleichen *physikalischen Kanal* (PCH) gemultiplext. Dabei hängt die Anzahl der Mobilstationen bzw. TCHs pro PCH von dessen Kapazität ab. Der Durchsatz auf einem PCH wächst aufgrund des statistischen Multiplexens mit der Anzahl der TCHs. Daher sollte die Kapazität eines PCH so groß wie möglich ausgelegt sein. Im günstigsten Fall wird ein Träger nicht durch Zeitmultiplexen in mehrere PCH unterteilt, sondern steht als Ganzes einem PCH zur Verfügung. Das DSA-Protokoll setzt ein FDD System voraus, wobei zwischen Uplink und Downlink eine feste Zeitbeziehung existiert. Ein PCH des MBS besitzt eine Kapazität von ca. 36Mbit/s sowohl auf dem Uplink als auch auf dem Downlink.

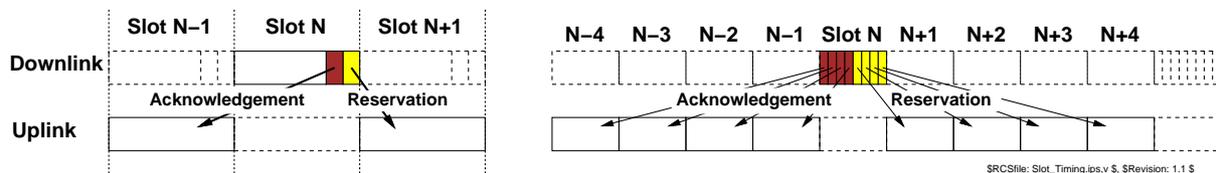


Bild 3 Relation zwischen Uplink und Downlink bei Signalisierung im Kopf eines Downlink-Rahmens bzw. in speziellen Broadcast-Rahmen

Um die Qualitätsanforderungen aller VCs erfüllen zu können, muß die Zuweisung von Übertragungsslots zu einem TCH in Abhängigkeit von den Übertragungsanforderungen aller anderen TCHs erfolgen. Neben den beim Verbindungsaufbau festgelegten *Quality of Service* (QoS) Parametern (*verbindungspezifische Parameter*) müssen vor allem die kurzzeitigen, schnell veränderlichen Anforderungen (*dynamische Parameter*) berücksichtigt werden. Daher sammelt die Basisstation als zentrale Instanz die verbindungspezifischen und dynamischen Parameter. Basierend dieser Daten wird die Vergabe von einzelnen Übertragungsslots (*Dynamic Slot Assignment*, DSA), sowie der Aufbau von neuen TCHs gesteuert. Die Kapazitätszuweisung erfolgt auf einer Slot-zu-Slot Basis, wodurch sehr dynamische Reaktionen erzielt werden.

Die Adressierung der Slots auf dem Uplink erfolgt durch kurze Signalisierungsnachrichten auf dem Downlink. Entweder enthält jeder Rahmen, der in einem Downlink-Slot verschickt wird, in seinem Kopf eine Reservierungsadresse für den nächsten Uplink-Slot, oder mehrere derartiger Adressen werden in einem speziellen Downlink-Rahmen zusammengefaßt. Zusammen mit den Reservierungsadressen für die nächsten N Slots werden Quittungen für die letzten N Slots übertragen. Das Verschicken von einzelnen Slot-Reservierungen ist in Abbildung 3 (links) dargestellt. Es erlaubt sehr kurze Reaktionszeiten. Allerdings müssen alle Downlink-Rahmen im Broadcast-Modus verschickt werden, da die Empfänger von Reservierungsnachrichten und Quittungen im Kopf eines Rahmens, sowie der ATM-Zelle im Rumpf zumeist unterschiedlich sind. Dies verhindert den Einsatz von Powercontrol-Mechanismen. Eine geringere Dynamik wird durch das Zusammenfassen mehrerer Signalisierungsnachrichten zu einem speziellen Signalisierungsrahmen erreicht (Abbildung 3, rechts), der dann im Broadcast-Modus übertragen wird. Dadurch kann bei normalen ATM-Zellen-Rahmen ein Powercontrol-Mechanismus angewendet werden.

Als schwierig erweist sich die Aktualisierung der zentralen Datenbank in der Basisstation, denn sie muß ständig über die dynamisch veränderlichen Kapazitätsanforderungen der Mobilstationen informiert werden. Dazu enthält jeder Rahmen auf dem Uplink in seinem Kopf die dynamischen Parameter der sendenden Mobilstation. Beispiele für dynamische Parameter sind:

- Anzahl der wartenden ATM-Zellen
- Kürzeste Restlebensdauer aller gepufferten ATM-Zelle

Allerdings gibt es häufig Situationen, in denen sich die Übertragungsdringlichkeit einer Mobilstation sehr stark erhöht, ohne daß die Basisstation darüber informiert werden kann. Zwei Fälle lassen sich unterscheiden:

1. Wenn sich bei der letzten Übertragung keine weitere ATM-Zelle mehr in einer Mobilstation befand, wird diese keine weiteren Slots anfordern. Da die Zuweisung eines Slots an eine bestimmte Mobilstation nur dann sinnvoll ist, wenn die Übertragung einer ATM-Zelle in diesem Slot garantiert werden kann, oder zumindest sehr wahrscheinlich ist, hat diese Mobilstation keine Möglichkeit, die Basisstation über die Ankunft einer neuen ATM-Zelle zu informieren.
2. Die kürzeste Restlebensdauer aller gepufferten Zellen in einer Mobilstation kann sich sehr

stark verkürzen, wenn etwa in einer Mobilstation mehrere parallele VCs mit unterschiedlichen maximalen Übertragungsverzögerungen existieren und eine neue ATM-Zelle von einem VC mit sehr kurzer maximaler Übertragungsverzögerung einläuft. In diesem Fall wird die Basisstation diese Mobilstation mit zu niedriger Priorität behandeln.

Für diese Fälle muß eine zusätzliche Möglichkeit zur Übertragung der dynamischen Parameter vorhanden sein. Dies geschieht durch das regelmäßige Einfügen von besonderen Slots, die für allgemeinen Zugriff bestimmt sind und auf denen Zufallszugriff stattfindet. Zur Vereinfachung wird die Sequenz dieser Wettbewerbslots *Random Access Channel (RACH)* genannt. Zum Auflösen und Vermeiden von Kollisionen und damit zur Stabilisierung des RACH-Protokolls ist ein Kollisionsauflösungsalgorithmus notwendig. Um unnötige Kollisionen zu vermeiden, werden nur diejenigen Mobilstationen auf den RACH zugreifen, auf die einer der beiden oben beschriebenen Fälle zutrifft. Eine derartige Mobilstation befindet sich im *Wettbewerbsmodus*. Dagegen befinden sich eine Mobilstation, die ihre dynamischen Parameter der Basisstation mitgeteilt hat, und gemäß ihrer Übertragungsdringlichkeit mit einem für sie reservierten Slot rechnen kann, im *Reservierungsmodus*. Durch diese Kombination von Reservierung und Wettbewerb brauchen für Mobilstationen mit büschelartigen Diensten in Phasen niedriger Datenrate keine Slots reserviert werden. In Abschnitt 2.3 wird erläutert, wie die Effizienz der RACH und damit die Dynamik des DSA-Protokolls stark erhöht werden kann, wenn durch Unterteilung der Wettbewerbslots in Subslots nur die dynamischen Parameter dem Zufallszugriff unterworfen werden.

2.1 Slotzuteilungsstrategie in der Basisstation

Die Basisstation sammelt die verbindungspezifischen und dynamischen Parameter von jeder Mobilstation. Basierend auf dieser Datenbank bestimmt sie für jeden einzelnen Slot die Reservierungsadresse (die Adresse derjenigen Mobilstation, die in diesem Slot übertragen darf) und versendet sie im Broadcast-Modus auf dem Downlink. Die Reservierungsadresse läßt sich sehr effektiv durch ein Prioritätenverfahren bestimmen. Dazu wird für jede Mobilstation eine Priorität bestimmt, und die Station mit der höchsten Priorität erhält den nächsten Slot zugewiesen. Den Mobilstationen, welche sich im Wettbewerbsmodus befinden, muß ebenfalls eine Zugriffsmöglichkeit gegeben werden. Dazu müssen genügend Wettbewerbslots eingefügt werden. Dies läßt sich sehr flexibel dadurch lösen, daß für den RACH ebenfalls eine Priorität berechnet wird, und daß dabei die Anzahl der letzten Kollisionen berücksichtigt wird, um so Kollisionsauflösung zu ermöglichen. Verschiedene Verfahren zur Optimierung des Zufallszugriffs werden in den Abschnitten 2.2 und 2.3 untersucht.

Die Berechnung der Priorität einer Mobilstation hängt davon ab, ob sie bei der letzten Übertragung ihrer dynamischen Parameter weitere Slots angefordert hat, oder ob sie mitgeteilt hat, daß sie in den Wettbewerbsmodus wechselt. Die Priorität von Mobilstationen im Reservierungsmodus wird nach Formel 1 berechnet.

$$P = \log \left(\frac{a}{\tau_r} \right) + b \cdot l \quad \begin{array}{l} \tau_r: \text{ Restlebensdauer} \\ l: \text{ Warteschlangenlänge} \\ a, b: \text{ Wichtungskoeffizient} \end{array} \quad (1)$$

Falls eine Mobilstation der Basisstation ihren Wechsel in den Wettbewerbsmodus mitgeteilt hat, ist die Warteschlangenlänge 0 und die Restlebensdauer ungültig. Derartige Mobilstationen müssen über den RACH übertragen. Weil jedoch der Durchsatz auf dem RACH aufgrund von Kollisionen sehr niedrig ist (Slotted Aloha: max. 37%), läßt sich durch Pollen das Aufkommen auf dem RACH reduzieren. Durch das Pollen wird gleichzeitig eine maximale Übertragungsverzögerung garantiert (falls keine dauerhafte Überlastsituation eintritt, die nur durch

Ausweichen auf einen anderen Frequenzkanal zu beheben ist) und außerdem eine mögliche Instabilität des RACH verhindert. Daher wird für Mobilstationen mit $l = 0$ die Priorität nach Formel 2 berechnet.

$$P = c \cdot \bar{r} \cdot \tau_f \quad \begin{array}{l} \bar{r}: \text{ mittlere Datenrate} \\ \tau_f: \text{ Dauer seit letzter erfolgreicher Übertragung} \\ c: \text{ Wichtungskoeffizient} \end{array} \quad (2)$$

2.2 Zufallszugriff und Kollisionsauflösung

Die Berechnung der Priorität für den RACH beruht auf folgenden Parametern:

$\sum \bar{r}_{rach}$: Summe der mittleren Datenraten von allen Mobilstationen im Wettbewerbsmodus

$\tau_{RACH_{free}}$: Dauer seit dem letzten Wettbewerbsslot

$\tau_{RACH_{max}}$: Maximaler Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Wettbewerbsslots

Durch die Verwendung eines Kollisionsauflösungsalgorithmus lassen sich die Prioritäten nicht durch eine einfache Formel berechnen. Durch den Algorithmus muß die Kollisionswahrscheinlichkeit minimiert, sowie im Falle einer Kollision die Kollisionsauflösungsphase kurz gehalten werden. Entgegen herkömmlichen Kanalzugriffsprotokollen stehen beim DSA-Protokoll zwei Möglichkeiten zur Einflußnahme zur Verfügung:

1. Das Verhalten der Mobilstationen läßt sich durch regelmäßig rundgesendete Parameter verändern. Es kann etwa die Sendewahrscheinlichkeit entsprechend der momentanen Last auf dem RACH variiert werden.
2. Es kann die Dichte der Wettbewerbsslots erhöht werden. So können nach dem Auftreten einer Kollision (vorausgesetzt, daß in der Basisstation ein Mechanismus zur Kollisionsdetektion vorhanden ist) eine Reihe von zusätzlichen Wettbewerbsslots eingefügt werden, um eine schnelle Kollisionsauflösung zu erreichen. Dies läßt sich flexibel durch Heraufsetzen der Priorität in Abhängigkeit des Zustandes des Kollisionsauflösungsalgorithmus steuern.

Ein heuristisch hergeleiteter Algorithmus verwendet als Maß für die Last auf dem RACH die Anzahl sendewilliger Mobilstationen, die aus der Folge von Kollisionen und freien Slots geschätzt wird. Die Priorität berechnet sich abhängig vom momentanen Zustand durch die Formel 3:

$$\begin{array}{l} \text{if } (\tau_{RACH_{free}} < \tau_{RACH_{max}}) \\ P_{Standard} = \sum \bar{r}_{rach} \cdot \tau_{RACH_{free}} \\ \text{else} \\ P_{Standard} = \infty \end{array} \quad (3)$$

$$P_{Collision} = \infty$$

Mit Hilfe von Simulationen wurde ermittelt, wie sich der Algorithmus den jeweiligen Kapazitätsanforderungen auf dem RACH anpaßt. In zukünftigen Studien wird mit verkehrstheoretischen Methoden eine Optimierung vorgenommen werden.

2.3 Verbesserter Zufallszugriff durch Subslots

Die Effizienz des RACH kann erhöht werden, wenn der Umfang der Daten, die durch eine Kollision zerstört werden, verringert wird. Bei der bisher betrachteten Variante des DSA-Protokolls

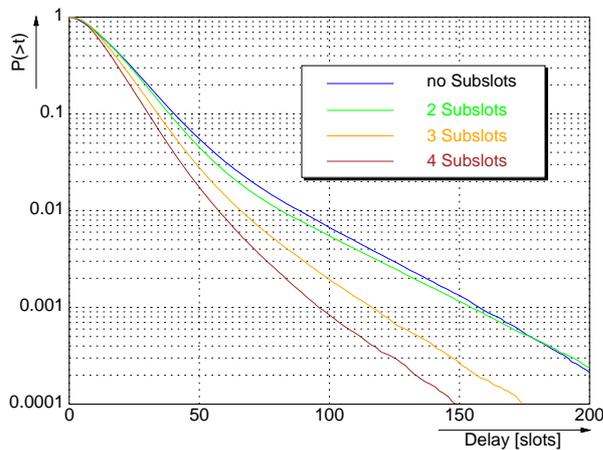


Bild 4 Mindestwert-Verteilungsfunktion der Übertragungsverzögerung für unterschiedliche Anzahl von Subslots

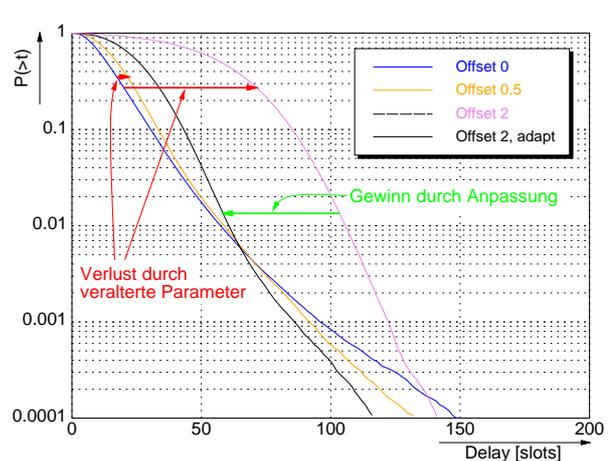


Bild 5 Einfluß des Physical-Layer Offsets auf die Verteilung der Übertragungsverzögerungen

werden in Wettbewerbsslots normale Rahmen mit ATM-Zellen im Rumpf übertragen. Es reicht jedoch aus, nur die dynamischen Parameter zu übertragen, da danach die Basisstation einen Reservierungsslot zur Übertragung der ATM-Zelle vorsehen wird. Die dynamischen Parameter lassen sich mit sehr kurzen Rahmen übertragen, so daß ein Wettbewerbsslot in mehrere Subslots unterteilt werden kann, um mehrere Wettbewerbsphasen zur Verfügung zu stellen. Aufgrund der höheren Anzahl von Wettbewerbssubslots bei gleichbleibendem Angebot verringert sich die Kollisionswahrscheinlichkeit. Dadurch erlangen die Mobilstationen schneller den Reservierungsmodus, wodurch kürzere Verzögerungen erreicht werden.

Wegen des Overheads für Guard-Time, Training-Sequence usw. in jedem Rahmen kann ein Wettbewerbsslot nicht beliebig unterteilt werden. Basierend auf der Rahmenstruktur von MBS [3] erscheinen vier Subslots als realistisch.

Der Algorithmus für Subslots ähnelt dem für normale Wettbewerbsslots. Es gibt jedoch zwei entscheidende Unterschiede:

- Eine Mobilstation muß einen RACH-Rahmen nicht für eine spätere Neuübertragung zwischenspeichern, da nach einer Kollision mit dem neuen Rahmen immer die aktuellsten dynamischen Parameter übertragen werden.
- Beim Zufallszugriff kann zusätzlich zur Zugriffswahrscheinlichkeit noch die Position des Subslots, in dem gesendet wird, variiert werden.

Mit einem Simulator wurden Messungen mit unterschiedlicher Anzahl von Subslots durchgeführt. Abbildung 4 enthält die Mindestwert-Verteilungsfunktion der Übertragungsverzögerung für negativ-exponentiell verteilte Zwischenankunftszeiten.

3 Berücksichtigung der Signalverarbeitungsdauer

Bisher wurde vorausgesetzt, daß nach einer Reservierungsnachricht in Slot(n) die adressierte Mobilstation in Slot($n + 1$) überträgt. In einem realen System benötigt der Physical-Layer der Mobilstation jedoch eine Weile für die Signalverarbeitung des empfangenen Rahmens, so daß erst nach der Dauer τ_{Sig} der Inhalt des Rahmens zur Verfügung steht. Durch die Einführung eines

Offsets zwischen Uplink und Downlink von $\tau_{off} = \frac{1}{2} \cdot \lceil 2\tau_{Sig} \rceil$ wird die benötigte Zeit für die Signalverarbeitung in Mobil- und Basisstation bereitgestellt. Realistische Werte für τ_{off} liegen zwischen 0.5 und 2.

Aufgrund des Offsets verringert sich die Reaktionsgeschwindigkeit des DSA-Protokolls. Dadurch ergibt sich die Problematik, daß die Prioritätsberechnung auf veralteten Werten basiert. Daher müssen die dynamischen Parameter korrigiert werden (Prädiktion).

In Abbildung 5 ist der simulativ ermittelte Einfluß des Offsets auf die Verteilung der Übertragungsverzögerungen dargestellt. Der Vergleich der Kurven "Offset 2" und "Offset 2, Pre" zeigt deutlich den Gewinn durch die Prädiktion.

4 Berücksichtigung von fehlerhafter Signalisierung

Aufgrund von Abschattung, Fading oder Interferenzen kommt es zu Übertragungsfehlern oder Nichtempfangen ganzer Rahmen. Dadurch kann es zu Fehlern in der Protokollausführung kommen, die zu sinkender Kanaleffizienz und zum Nichteinhalten der geforderten QoS führen. Das DSA-Protokoll muß auf derartige Situationen vorbereitet sein.

Fehlerhafte Übertragung kann zu folgenden Problemen führen:

1.: Falls eine Mobilstation eine für sie bestimmte Reservierungsnachricht nicht empfängt, wird der entsprechende Uplink-Slot unbenutzt bleiben. Die Eintrittswahrscheinlichkeit dieser Situation läßt sich durch die Verwendung von *Vorwärtsreservierungen* verringern. Dazu versendet die Basisstation die Reservierung nicht nur für den nächsten, sondern für die nächsten N Slots. Jede Reservierung wird dadurch N mal wiederholt.

2.: Falls die Basisstation die Antwort auf eine Reservierung nicht empfängt, muß sie mit den alten dynamischen Parametern weiterarbeiten und wird der entsprechenden Mobilstation erneut Slots zuweisen. Problematisch wird es, wenn die Mobilstation zwischenzeitlich die zu übertragende ATM-Zelle wegen Überschreiten der maximalen Wartezeit verworfen und deshalb in den Wettbewerbsmodus umgeschaltet hat, denn dann wird sie auf die Reservierungen nicht antworten. Um die daraus resultierende unbenutzte Kapazität so gering wie möglich zu halten, löscht die Basisstation nach einer bestimmten Anzahl von ungenutzten Reservierungen die dynamischen Parameter, so daß die Mobilstation über den RACH übertragen muß. Auf der anderen Seite sorgt ein Timer in der Mobilstation dafür, daß sie nach einer bestimmten Zeit ohne zugeteilte Slots automatisch in den Wettbewerbsmodus umschaltet.

Die Simulationsergebnisse in Abbildung 6 veranschaulichen den Einfluß von Übertragungsfehlern und Neuübertragung durch ein (vereinfachtes) ARQ-Protokoll auf die Übertragungsverzögerung. Als Last wurden mehrere Videoquellen mit einem Angebot von je 3.9Mbit/s und einer daraus resultierenden Auslastung von 76% verwendet. Die maximale Übertragungsverzö-

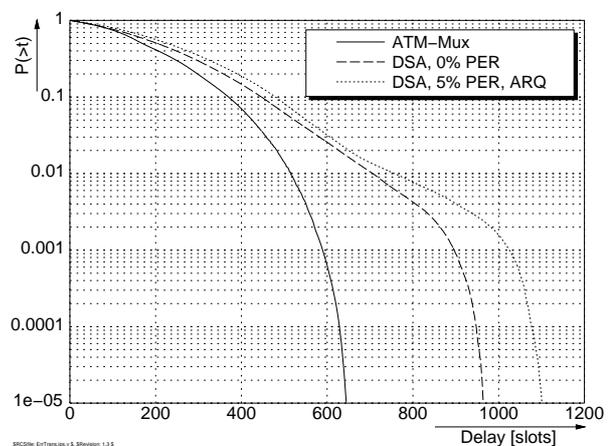


Bild 6 Mindestwert-Verteilungsfunktion der Übertragungsverzögerung bei Übertragungsfehlern und Neuübertragungen (7 Videoquellen, 76% Auslastung)

rung für diese Quelle beträgt 1548 Slots. Beim ARQ-Protokoll wurde zur Vereinfachung die Verzögerung durch die Übertragung der Quittungen vernachlässigt. Unter Berücksichtigung der durch die Neuübertragungen gestiegene Last von über 80% nehmen die Verzögerungen nur um einen akzeptablen Betrag zu. Als Referenz dient ein idealer ATM-Multiplexer mit gleicher Datenrate (hier 36Mbit/s).

5 Zusammenfassung und Ausblick

Es wurde erläutert, daß für transparenten, mobilen ATM-Zugriff neue Ansätze notwendig sind. Das in Abschnitt 2 vorgestellte DSA-Protokoll kommt diesen Anforderungen nach. Die Simulationsergebnisse zeigen, daß die Leistungseinbußen aufgrund der Übertragung über die Funkschnittstelle im Rahmen der QoS Anforderungen der meisten Dienste liegen. Vor allem die zusätzlichen Übertragungsverzögerungen aufgrund von Wettbewerb und damit verbundenen Kollisionen können weitestgehend eingegrenzt werden.

Weiterführende Untersuchungen werden sich mit der Optimierung der Algorithmen für die Kollisionsauflösung und die Prioritätenvergabe beschäftigen. Dazu sind verkehrstheoretische Analysen der verwendeten Algorithmen notwendig.

Ein Problem stellt noch die dynamische Vergabe von Frequenzen an Basisstationen dar. Aufgrund der hohen Bandbreiteanforderungen werden mobile ATM-Netze pico-zellulare Strukturen besitzen, die eine statische Frequenzvergabe unmöglich machen. Daher muß in zukünftigen Studien das DSA-Protokoll um einen Algorithmus zur *Dynamic Frequency Selection* erweitert werden. Dieser Algorithmus wird auf den bekannten *Dynamic Channel Allocation* Protokollen von DECT-ähnlichen Systemen basieren.

6 Danksagungen

Ich möchte den Mitarbeitern des MBS Projektes für ihre vielen Anregungen danken. Desweiteren wäre ohne die harte Arbeit und den Enthusiasmus der Studenten, die an ihrer Diplomarbeit arbeiten, dieses Projekt nicht möglich.

Literatur

- [1] D. Petras. *Performance Evaluation of Medium Access Control Schemes for Mobile Broadband Systems*. In *DMR VI*, pp. 255 – 261, Stockholm(S), June 1994.
- [2] D. Petras. *Performance evaluation of the ASR-ARQ Protocol for MBS*. In *RACE Mobile Telecommunications Summit*, Cascais(P), November 1995. to be published.
- [3] M. Prögler. *MBS Air Interface Principles*. In *RACE Mobile Telecommunications Summit*, Cascais(P), November 1995. to be published.