

Ein Konzept zur Integration von Netzwerk-Filtern in verteilte Multimedia-Systeme

Gabriel Dermler
Universität Stuttgart, IPVR
Breitwiesenstraße 20-22
70565 Stuttgart

Kurzfassung

Multicast-Übertragungen mit heterogenen Empfängern können unter Verwendung von Filtern im Netzwerk optimiert werden. Dieser Artikel beschreibt die Einbettung des Filter-Konzepts in eine Architektur, die die Realisierung verteilter Multimedia-Systeme erlaubt. Die Schichtung der Architektur entspricht einer Trennung in Anwendungs- und Systemsicht. Die Rolle des Systems bei der Konfiguration multimedialer Kommunikation sowie der Reservierung von Ressourcen wird beschrieben im Hinblick auf Teilstrom- und Filterbildung. Die Verzahnung der Ressourcenreservierung und der Propagierung der Filter durchs Netzwerk wird erläutert. Drei Möglichkeiten der Filterpropagierung auf Netzwerkebene werden diskutiert und bewertet.

1 Einleitung

Kontinuierliche Datenströme bedingen häufig eine hohe Verkehrslast zu deren Übertragung erhebliche Netzwerkressourcen benötigt werden. Ein Weg, diesen Bedarf bei Multicast-Kommunikationsmustern zu senken, ist die Verteilung eines Stromes über einen Multicastbaum. Multicast-Übertragungen sind bzgl. Ressourcenverwendung optimierbar, wenn angeschlossene Empfänger den übertragenen Strom in gleicher Weise benötigen. Multimedia-Kommunikation weicht jedoch häufig von dieser Voraussetzung ab: heterogene Empfänger können oder wollen häufig ein- und denselben Datenstrom in unterschiedlicher Qualität empfangen. Um auch für diesen Fall Multicast-Übertragungen zu optimieren, wurden in [PPAK92], [PPAK93] und [ZDE+93] Konzepte zum Filtern in den Knoten eines Multicastbaums eingeführt.

Filter können unterschiedliche Funktionen haben ([PPAK93]). Gegenstand dieses Artikels sind selektive Filter. Sie sorgen in Netzwerknoten dafür, daß nur die Teile eines Stroms weitergeleitet werden, die von angeschlossenen Empfängern benötigt werden ([PPAK93], [ZDE+93]). Die Selektion von Teilen eines Stroms setzt eine entsprechende Kodierbarkeit des Stroms voraus. Diese ist für Video- und für Audioströme gegeben ([DHH+93], [Stei94], [HSF93]). So ist z.B. ein Videostrom in eine Hierarchie von Teilströmen zerlegbar, durch deren teilweise Auswahl unterschiedliche Stromqualitäten in Bezug auf Bildgröße, Bildrate oder Pixelauflösung generiert werden. Ein Empfänger hat somit die Möglichkeit, über die Auswahl einer Teilstrommenge die von ihm gewünschte Stromqualität einzustellen. Die Auswahl wird in Form eines Filters spezifiziert, der zur optimierten Ressourcenbelegung im Netzwerk

vom Empfänger entlang des Multicastbaums in Richtung Sender propagiert wird ([PPAK93], [ZDE+93]).

In diesem Artikel wird ein Konzept zur Verwendung von Teilströmen und Filtern in CINEMA vorgestellt. CINEMA ([BDH+93]) ist ein System, das Anwendungen (Klienten) erlaubt, zur Kommunikation und Verarbeitung multimedialer Ströme Geflechte aus Verarbeitungsbausteinen (Komponenten) aufzubauen und zu benutzen. Komponentengeflechte können sich über mehrere Rechner erstrecken und insbesondere beliebig verteilte Quellen und Senken beinhalten. Zur Integration des Teilstromkonzepts in CINEMA wird ein 3-Schichten-Modell vorgestellt. Sinn der Schichtung ist eine weitgehende Kapselung der Generierung bzw. Zusammenführung von Teilströmen vor der Anwendung. Für diese Aufgaben werden in einer eigenen Schicht zwei Bausteintypen eingeführt: Splitter und Combiner. Ihre Rolle in CINEMA wird für zwei Phasen erläutert: die Konfigurationsphase und die Phase der Ressourcen-Reservierung. Anschließend wird die Verzahnung der Ressourcenreservierung in CINEMA mit der Filterpropagierung auf Netzwerkebene beschrieben. Drei verschiedene Möglichkeiten zur Filterpropagierung werden aufgezeigt und unter verschiedenen Gesichtspunkten diskutiert. Den Abschluß bildet eine kurze Zusammenfassung des Artikels sowie des Stands der Arbeit.

2 Integration des Filterkonzepts in CINEMA

2.1 Das 3-Schichten-Modell

Die Integration der Netzwerkfilter wird durch eine geschichtete Architektur realisiert. Die Architektur stellt eine Erweiterung der im Rahmen des CINEMA-Projekts angestellten Überlegungen zur Strukturierung verteilter Multimedia-Systeme dar. Drei Schichten werden unterschieden:

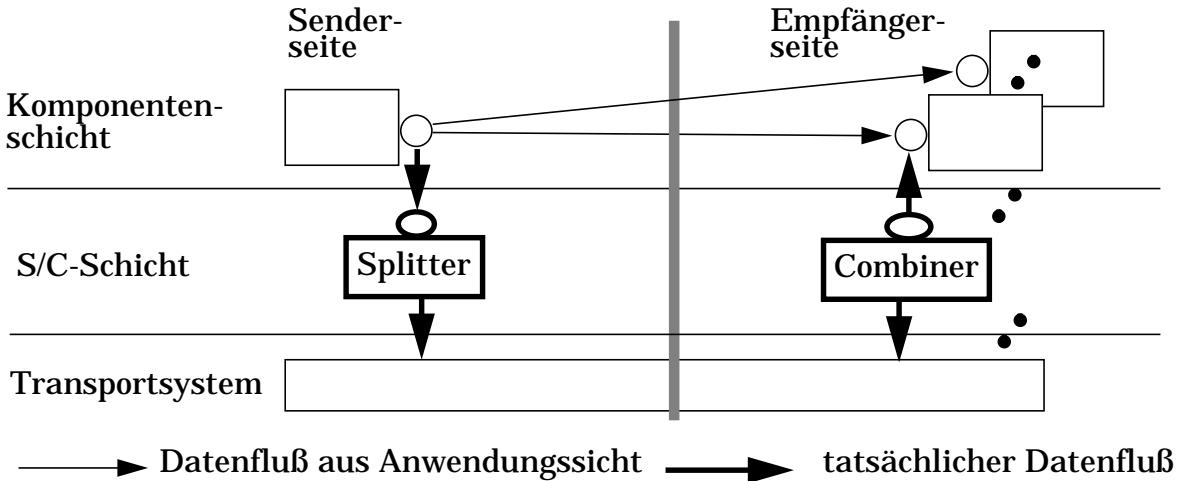


Bild 2.1: 3-Schichten-Modell

In der *Komponentenschicht* sind Bausteine enthalten, die von einer CINEMA-Anwendung zu einem Komponentengeflecht zusammengestellt werden. Eine Komponente bearbeitet einen oder mehrere kontinuierliche Datenströme in einer für sie spezifischen Art. Durch ein Komponentengeflecht legt eine Anwendung eine Sequenz von Bearbeitungsschritten für die Datenströme fest. Die Anwendungen benutzen hierzu in einer **Konfigurationsphase** den Konfigurationsmanager von CINEMA (s. 2.2). CINEMA erlaubt die Konfiguration beliebiger Topologien. Zur Erläuterung der Integration des Teilstromkonzepts wird eine einfache Multicast-Topologie aus jeweils einer Komponente beim Sender und jedem Empfänger betrachtet (Bild 2.1).

In der *Splitter/Combiner-Schicht* sind zwei Bausteintypen enthalten, die für die Teilstrombildung nötig sind. Splitter und Combiner sind der Anwendung nicht sichtbar, vielmehr werden sie vom CINEMA-System vor bzw. nach dem Transportsystem eingefügt. Aufgabe des Splitters ist es, während der **Datenübertragungsphase** Teilströme aus einem Strom zu bilden. Entsprechend stellt ein Combiner auf der Empfangsseite aus Teilströmen einen Gesamtstrom her. Durch diese Schichtung wird erreicht, daß die Behandlung der Teilströme einer Anwendung als möglichst transparente Systemunterstützung bereitgestellt wird. Wie in 2.3 gezeigt wird, ist der Combiner in der **Phase der Ressourcen-Reservierung** für die Berechnung generischer, d.h. stromtypunspezifischer Filter zuständig, die vom Transportsystem propagiert werden.

Das *Transportsystem* ist für den Transfer der Teilströme zwischen Sender und Empfängern einer Multicast-Beziehung verantwortlich. In der Phase der Ressourcenreservierung ist es ferner für die Propagierung von Filtern zwischen Knoten des Netzwerks zuständig (s. 3). Im folgenden werden die Phasen der Konfiguration und

der Ressourcen- Reservierung näher beschrieben, soweit sie von Bedeutung für die Betrachtung von Teilströmen in CINEMA sind.

2.2 Die Konfigurationsphase

Ein Komponentengeflecht wird von einer Anwendung in einer Konfigurationsphase zusammengestellt. Neben dem logischen Zusammenhang wird von der Anwendung auch die Lokation der Komponenten festgelegt. Eine mögliche Unterstützung bei der Verteilung der Komponenten durch CINEMA wird gegenwärtig untersucht. Steht die Konfiguration und die Lokation der Komponenten fest, ermittelt CINEMA, welcher Splitter zum Stromtyp verfügbar ist, der durch die getroffene Auswahl und Lokation von Komponenten bedingt ist. Wird z.B. von CINEMA festgestellt, daß auf der Senderseite aus dem dortigen Geflecht ein JPEG-kodierter Strom ([Wall91]) hervorgeht, wird es einen JPEG-spezifischen Splitter suchen und ans Ende des senderseitigen Geflechts anfügen. Entsprechend wird auf der Empfänger-Seite der Multicast-Beziehung ein typgleicher Combiner vor das dortige Geflecht gesetzt.

Nach Abschluß der Konfiguration verbindet CINEMA die Komponenten durch geeignete Transfermechanismen. Splitter und Combiner werden durch ein multicast-fähiges Transportsystem verbunden, das zudem den Transfer von Teilströmen und Filterpropagierung unterstützt. Steht ein solches Transportsystem nicht zur Verfügung, werden Splitter und Combiner nicht eingefügt. Ein bestehendes Komponentengeflecht kann dynamisch verändert werden, so z.B. auch während der Datenübertragungsphase. Für die Teilstrombildung von Bedeutung ist die mögliche Erweiterung eines Multicast-Geflechts um neue Empfänger. Ein neuer Empfänger spezifiziert sein lokales Geflecht und verbindet es mit dem senderseitigen Komponentengeflecht. War auf Senderseite ein Splitter vorhanden, wird von CINEMA bei dem neuen Empfänger ein entsprechender Combiner eingebaut.

Durch die dynamische Konfigurierbarkeit werden Szenarien unterstützt, in denen Empfänger von Multicast-Übertragungen dynamisch hinzugenommen werden müssen, wie dies z.B. bei Informationsverteilern oder Konferenzen mit wechselnder Teilnehmerschaft der Fall ist. Der Vorgang der Hinzunahme führt, aus der Sicht des neuen Empfängers, zum Import des verfügbaren Stromes. Die folgenden Betrachtungen in der Phase der Ressourcenreservierung konzentrieren sich auf die Dynamik in diesen Szenarien, genauer auf den Import-Vorgang durch einen neuen Empfänger.

2.3 Import eines Stromes durch einen Empfänger

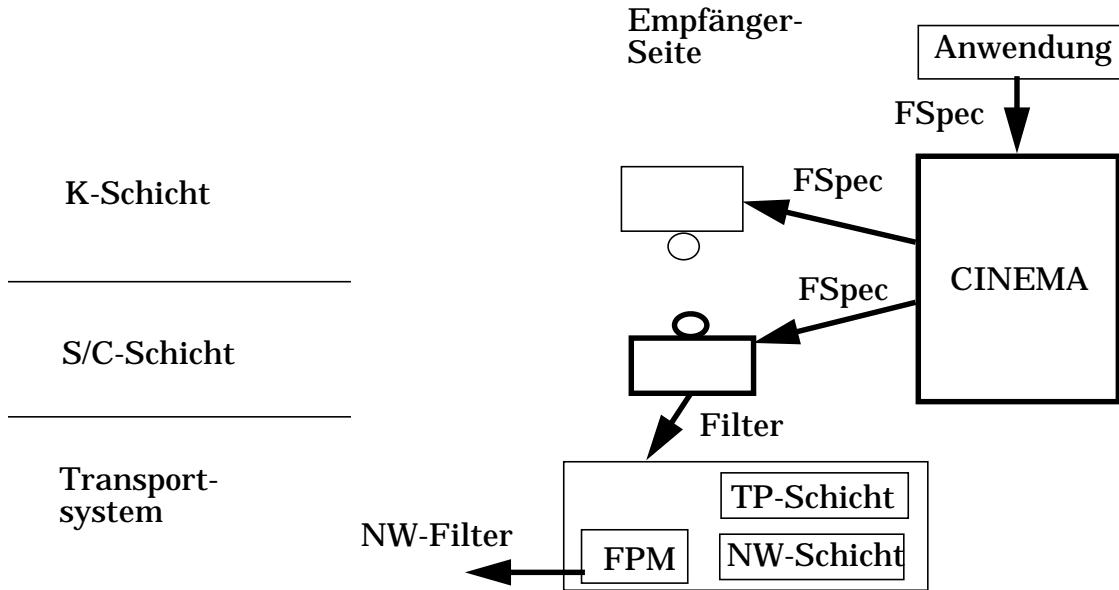


Bild 2.2: Ressourcenreservierung und Filterpropagierung (ohne Rücklaufphase)

Nachdem bei einem Empfänger das Geflecht installiert wurde, wird zum Import eines Stromes durch die Anwendung eine FlowSpec spezifiziert. Die FlowSpec enthält u.a. Angaben über die Stromqualität (z.B. Bildgröße, Bildrate eines Videostroms), in der ein Strom zu importieren ist. Diese Angaben werden von CINEMA den Komponenten und dem Combiner zur Verfügung gestellt, so daß sie ihren jeweiligen Bedarf an Ressourcen berechnen und bei Ressourcenmanagern belegen können (Bild 2.2). Die FlowSpec wird von CINEMA nacheinander durch die Komponenten geschleust, beginnend mit der letzten Komponente des Geflechts. Hierdurch realisiert CINEMA ein Ressourcenreservierungsprotokoll, das das gesamte Empfänger-Geflecht durchläuft. Es wird ergänzt durch ein Filterpropagierungsprotokoll, das die Ressourcenreservierung auf Netzwerkebene abwickelt (s. 3).

Wichtig für die Teilstrombildung ist, daß die FlowSpec eine Stromqualität anzeigt, die vom Combiner durch den Import aller oder nur eines Teils der Teilströme gebildet werden kann, die zum ausgewählten Strom gehören. CINEMA unterstützt dies, indem es nach abgeschlossener Konfigurierungsphase eine geeignete Form der FlowSpec zusammenstellt. Ist im Geflecht ein Combiner enthalten, wird in die FlowSpec eine Liste möglicher Qualitätsstufen (z.B. unterschiedliche Bildgrößen) eingefügt, die durch den Combiner unterstützt werden. Die Anwendung verwendet diese FlowSpec-Schablone um die von ihr gewünschte Qualitätsstufe(n) auszuwählen.

Wenn CINEMA im Rahmen des Ressourcenreservierungsprotokolls die FlowSpec an den Combiner übergibt, berechnet dieser aus der angezeigten Qualitätsstufe die zu importierenden Teilströme, d.h. er stellt für das Transportsystem einen generischen (vom Stromformat unabhängigen) Filter zusammen, in dem durch einen Schwellwert

die Menge der zu importierenden Teilströme spezifiziert ist:
Filter(StreamId, Schwellwert, FlowSpec für Teilstrom 1, ...)

In der Filterspezifikation ist auch eine Beschreibung des Datenflusses für jeden Teilstrom enthalten, typischerweise in der Form (TSDU-Größe, TSDU-Rate). Die Spezifikation wird vom Empfängertransportsystem benötigt, um Ressourcen reservieren zu können. Das Transportsystem enthält neben entsprechenden Mechanismen ein Filterpropagierungsmodul (FPM). Das FPM hat die Aufgabe, den Filter durchs Netzwerk in Richtung des Senders zu propagieren. Im Abschnitt 3 werden hierzu verschiedene Möglichkeiten vorgestellt. Auf der Netzwerkebene enthält der Filter, sofern nötig, eine Beschreibung jeder Teilstromlast als (NPDU-Größe, NPDU-Rate).

Als Ergebnis der Filterpropagierung zeigt das Transportsystem an, ob die im Filter angegebenen Teilströme importiert werden konnten. Falls ein vollständiger Import nicht möglich war, wird angezeigt, welche der Teilströme importiert werden konnten. Die Anzeige initiiert die Rücklaufphase des Ressourcenreservierungsprotokolls beim Empfänger. Hierbei können Combiner und Komponenten ihre Ressourcenbelegung anpassen und der Anwendung wird mitgeteilt, welche evtl. reduzierte Qualitätsstufe von CINEMA für den importierten Strom gewährleistet werden kann.

3 Filterpropagierung zum Import von Teilströmen

Ausgangspunkt sind erneut Szenarien, die dynamische Hinzunahmen von Empfängern erlauben. Für die Betrachtung des Importvorganges wird vorausgesetzt, daß auf Netzwerkebene bereits bekannt ist, welche Teilströme zu einem Strom insgesamt verfügbar sind. Findet beispielsweise im unteren Bild bereits Kommunikation zwischen dem Sender und Empfänger E1 statt, ist in Knoten K1 und K2 dieses Wissen vorhanden (Bild 3.1).

Im folgenden werden verschiedene Verfahren zur Filterpropagierung diskutiert. Eine vollständige Diskussion müßte diverse Aspekte einschließlich Routing, Auf- und Abbau von Verbindungen umfassen. Wir beschränken uns hier auf folgende Aspekte. Zum einen unterscheiden sich die Verfahren darin, wo sich ein neuer Empfänger beim bestehenden Multicastbaum mit seinem Filter zuerst anmeldet, anders ausgedrückt, über welchen Knoten der Empfänger andockt. Zum anderen involvieren (und belasten) die verschiedenen Ansätze den Sender in unterschiedlichem Maß, was eine unterschiedliche Skalierbarkeit in Bezug auf die Häufigkeit von Empfängerzunahmen bedingt. Ferner wird anhand eines der Verfahren ein Protokoll skizziert, das während der Filterpropagierung überbelegte Ressourcen freigibt.

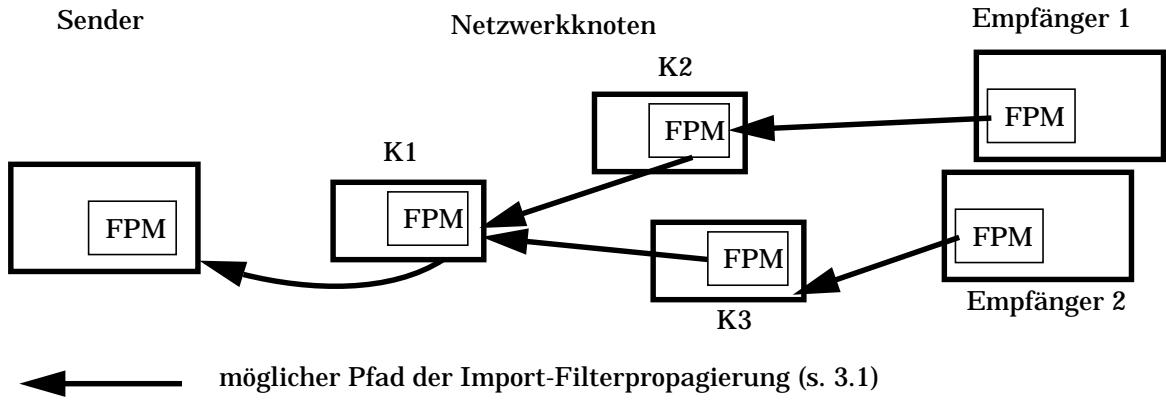


Bild 3.1: Multicastbaum der Netzwerkebene

3.1 Andocken über erweiterten Multicast-Baum

Bei diesem Verfahren wird davon ausgegangen, daß zunächst der Multicast-Baum erweitert wird, um den neuen Empfänger zu berücksichtigen ([PPAK92]), z.B. im Bild 3.1 um den Knoten K3 falls Empfänger 2 neu hinzukommt. Die Filterpropagierung erfolgt erst in einem zweiten Schritt. Die Berechnung des Multicastbaums erfolgt ohne Kenntnis des Filters, was zu Lasten der Optimalität gehen kann. Dem neuen Empfänger muß explizit mitgeteilt werden, über welchen Knoten (K3) er andocken soll.

Das Prinzip der Filterpropagierung vom Empfänger in Richtung des Senders sowie die Aggregierung der Filter in Netzwerkknoten sind in [PPAK92], [ZDE+93] beschrieben. Das Verfahren stellt sicher, daß der Sender beim Verbindsaufbau nur dann involviert wird, falls ein Empfänger Teilströme importiert, die von keinem der angeschlossenen Empfänger vorher importiert wurden. Die Häufigkeit der Senderinvolvierung ist damit in der Regel von der Anzahl der Teilströme abhängig, nicht aber von der Anzahl der Empfängerhinzunahmen.

Die Frage, in welcher Weise das Verfahren reagiert, falls in einem der Knoten nicht genügend Ressourcen vorhanden sind, wurde in [PPAK92], [ZDE+93] nicht näher untersucht. Folgendes Verfahren ist möglich. Wird in einem Knoten Ressourcenknappheit festgestellt, werden für den neuen Empfänger Ressourcen (im Knoten und für den abgehenden Link in Richtung Empfänger) soweit wie möglich reserviert. Der Schwellwert im Filter wird auf den Wert herabgesetzt, der der begrenzten Ressourcenbelegung entspricht. Der Wert wird außerdem im Knoten im Kontext des abgehenden Links festgehalten.

Der Filter wird weiter in Richtung des Senders propagiert, bis er an einem Knoten ankommt, bei dem bereits alle vom Empfänger gewünschten Teilströme importiert sind. Hierbei kann es passieren, daß Ressourcen, die in zuerst durchlaufenden Knoten reserviert wurden, durch die Herabsetzung des Schwellwerts in später durchlaufenden Knoten nicht mehr benötigt werden. Die Freigabe dieser Ressourcen geschieht wie folgt: der Sender sendet für einen Strom periodisch sogenannte Auffrischpakete, die zunächst den beim Sender eingestellten Schwellwert enthalten. In jedem Knoten

wird überprüft, ob für abgehende Links der Schwellwert höher ist. Ist dies der Fall, wird der Schwellwert für den Link reduziert und die entsprechenden Ressourcen werden freigegeben. Das Auffrischpaket wird entlang aller Links weiterpropagiert, über die Teilströme importiert wurden. Jeder angeschlossenen Empfänger erhält auf diese Weise ein Auffrischpaket, das ihm angezeigt, welche der Teilströme ihm bereitgestellt werden können.

Das Verfahren hat den Vorteil, daß es keine empfängerbezogene Information in den Knoten erfordert, um während der Verbindungsauflaufphase überbelegte Ressourcen freizugeben. Zum anderen kann es Empfängern laufend Schwankungen in der Stromqualität anzeigen, die durch Überlast in Netzwerknoten entstehen, auf die diese durch Herabsetzen von Schwellwerten reagieren. Zur Freigabe von Ressourcen bei Verbindungsabbruch durch einen Empfänger eignet sich das Verfahren jedoch nicht (s. [ZDE+93] für ein Verfahren hierfür).

3.2 Andocken über den Sender

In diesem Fall wendet sich ein neuer Empfänger mit seinem Filter grundsätzlich an den Sender. Das Verfahren ist gering skalierbar, da jedes Mal der Sender involviert wird. Eine Verbindung zum Empfänger wird aufgebaut, indem der Sender den Filter in Richtung Empfänger propagiert. In jedem durchlaufenen Knoten wird der nächste Link in Richtung Empfänger ausgewählt und die dafür nötigen Ressourcen werden analog zu 4.2 belegt. Neben der geringen Skalierbarkeit hat das Verfahren den Nachteil, daß das oben beschriebene Verfahren zur Ressourcenfreigabe nicht anwendbar ist. Als Vorteil kann gelten, daß ein neuer Empfänger nicht über die Andockstelle in einem erweiterten Multicast-Baum informiert werden muß, bevor er seinen Filter versenden kann. Der Sender ist als Andockstelle bekannt und der Multicast-Baum wird schritthalbend mit der Filterpropagierung erweitert.

3.3 Andocken über einen Empfänger

Dieses Verfahren versucht die Vorteile der beiden vorigen Ansätze zu vereinigen. Die Idee ist, daß ein neuer Empfänger über einen anderen, bereits angeschlossenen Empfänger (bzw. seinen vorgelagerten Netzwerknoten) andockt. Der Filter des neuen Empfängers würde zunächst in Richtung des Senders propagiert. In jedem durchlaufenen Knoten muß entschieden werden, ob der Multicast-Baum von dem Knoten aus durch eine neue Abzweigung in Richtung des neuen Empfängers ergänzt werden soll. Das Verfahren erfordert u.a. zweierlei. Zum einen sind Routing-Algorithmen nötig, die die Lokation für die neue Abzweigung bestimmen. Zum anderen hängt die Güte des Verfahrens davon ab, welcher bestehende Empfänger zum Andocken ausgewählt wird. Diese Fragen sind Gegenstand laufender Untersuchungen. Falls sie geeignet lösbar sind, würde das Verfahren sowohl eine Erweiterung des Multicast-Baums im voraus als auch eine übermäßige Belastung des Senders vermeiden.

4 Zusammenfassung

Im Artikel wurde ein 3-Schichten-Modell zur Verwendung von Teilströmen und Netzwerk-Filtern in CINEMA vorgestellt. Wesentlich hierfür war die Splitter/Combiner Schicht, in der die Generierung und Zusammenführung von Teilströmen zusammengefaßt wurde. Konfigurations- und Ressourcenreservierungsphase in CINEMA wurden im Schichtenmodell für den Fall des Imports eines Stroms durch einen Multicast-Empfänger erläutert. Die Verzahnung der Ressourcenreservierung mit der Filterpropagierung auf Netzwerkebene wurde beschrieben. Drei Verfahren zur Filterpropagierung wurden diskutiert im Hinblick auf die Art der Hinzunahme eines neuen Empfängers zu einer Multicast-Übertragung, auf den Grad der Involvierung des Senders sowie die Freigabe überbelegter Ressourcen während der Verbindungsauftaktphase. Insbesondere wurde ein neuer Ansatz beschrieben, der die Hinzunahme eines neuen Empfängers über einen bereits aktiven Empfänger vorsieht.

Gegenwärtig werden Splitter und Combiner für einige gängige Audio- und Videostromformate implementiert. Ferner werden Algorithmen untersucht, die zum Routing von Teilströmen geeignet sind, insbesondere auch für den Fall des Andockens über angeschlossene Empfänger. Die Algorithmen sowie die Mechanismen zur Filterpropagierung werden in einem weiteren Schritt implementiert werden.

5 Referenzen

- [BDH⁺93] I. Bart et al.: *CINEMA: Eine konfigurierbare, integrierte Multimedia-Architektur*. GI/ITG Arbeitstreffen, Stuttgart, Februar 1993.
- [DHH⁺93] L. Delgrossi et al.: Media Scaling for Audiovisual Communication with the Heidelberg Transport System. In *Proc. of the First ACM Intl. Conference on Multimedia*, S. 99–104. acm press, August 1993.
- [HSF93] D. Hoffman et al.: Network Support for Dynamically Scaled Multimedia Data Streams. In *Proc. of the 4th Intl. Workshop on Network and OS Support for Digital Audio and Video*, Lancaster, Nov 1993.
- [PPAK92] J. Pasquale et al.: The Multimedia Multicast Channel. In *Proc. of the Third Intl. Workshop on Network and Operating System Support for Digital Audio and Video*, San Diego, Nov 1992.
- [PPAK93] J. Pasquale et al.: Filter Propagation in Dissemination Trees: Trading Off Bandwidth and Processing in Continuous Media Networks. In *Proc. of the Fourth Intl. Workshop on Network and Operating System Support for Digital Audio and Video*, Lancaster, November 1993.
- [Stei94] R. Steinmetz. Compression Techniques in Multimedia Systems: A Survey. *to be published in "Multimedia Systems"*, acm/Springer Verlag, 1994.
- [Wall91] G.K. Wallace. The JPEG Still Picture Compression Standard. *Comm. of the ACM*, 34(4), 1991.
- [ZDE⁺93] L. Zhang et al.: A New Resource Reservation Protocol. *IEEE Network Mag.*, Sep 1993.